

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ФИЗИОЛОГИИ  
И ПАТОЛОГИИ ДЫХАНИЯ СО РАМН

**МАТЕРИАЛЫ VI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**



**СИСТЕМНЫЙ  
АНАЛИЗ В  
МЕДИЦИНЕ**

**29-30 мая 2012 года**

**Благовещенск**

## **ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания СО РАМН,  
Чунцинский медицинский университет (Китай),  
Национальный центр кардиологии и терапии им. акад. М.Миррахимова (Кыргызстан),  
Тихоокеанский государственный университет,  
Институт автоматике и процессов управления ДВО РАН,  
Институт геологии и природопользования ДВО РАН,  
Институт прикладной математики ДВО РАН,  
Амурский государственный университет,  
Министерство здравоохранения Амурской области.

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:**

Колосов Виктор Павлович, чл.-корр. РАМН, директор ФГБУ «ДНЦ ФПД» СО РАМН – *председатель*  
Сооронбаев Талантбек Маратбекович – д-р мед. наук, профессор, президент Кыргызского торакального общества (Республика Кыргызстан) – *сопредседатель*  
Чжоу Сяндун – профессор, руководитель отдела респираторной медицины, 2-й госпитальной клиники Чунцинского медицинского университета (КНР)  
Бушманов Александр Вениаминович – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой информационных и управляющих систем Амурского государственного университета  
Воронин Владимир Викторович – д-р техн. наук, доцент, директор института информационных технологий Тихоокеанского государственного университета  
Гузев Михаил Александрович – чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, директор Института прикладной математики ДВО РАН  
Еремин Евгений Леонидович – д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе и информатизации Тихоокеанского государственного университета  
Кику Павел Федорович – д-р мед. наук, профессор, руководитель научной лаборатории медико-информационных технологий Владивостокского филиала ДНЦ ФПД СО РАМН – НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения  
Кульчин Юрий Николаевич – чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, директор Института автоматике и процессов управления ДВО РАН  
Перельман Юлий Михайлович – д-р мед. наук, профессор, зам. директора по научной работе ДНЦ ФПД СО РАМН  
Сорокин Александр Петрович – чл.-корр. РАН, д-р геол.-мин. наук, председатель Амурского научного центра ДВО РАН  
Ульянычев Николай Вячеславович – канд. физ.-мат. наук, руководитель лаборатории моделирования и информатики неспецифических заболеваний легких ДНЦ ФПД СО РАМН

## СОДЕРЖАНИЕ

### *СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ*

<b>Богомоллов А.В., Кукушкин Ю.А.</b> Методы исследования статистической однородности исходных данных при проведении мета-анализа .....	6
<b>Нагребецкая Ю.В.</b> Взаимодействие трёх бинарных факторов.....	9
<b>Панов В.Г.</b> О чувствительности теста в подходе достаточных причин.....	12
<b>Столбов А.Б.</b> Исследование магистральных решений в медико-эколого-экономических задачах .....	15
<b>Панов В.Г.</b> Об условиях взаимодействия двух факторов с тремя уровнями	18
<b>Берестнева О.Г., Осадчая И.А., Немеров Е.В.</b> Visualization of multidimensional medical data.....	22
<b>Алёхин М.Д.</b> Оценка эффективности кратномасштабного вейвлет-анализа при формировании признакового пространства физиологических паттернов нестационарных биорадиолокационных сигналов.....	25
<b>Кукушкин Ю.А., Дворников М.В., Богомоллов А.В., Шмакова Л.В.</b> Метод расчёта риска опасных состояний человека в условиях гипоксической гипоксии.....	29

### *СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ*

<b>Ильин А.В., Перельман Ю.М., Леншин А.В.</b> 3d-волюметрия как метод количественной оценки воздухонаполненности легких у больных бронхиальной астмой с помощью мультиспиральной компьютерной томографии	33
<b>Одинцова И.Н., Писарева Л.Ф., Ананина О.А.</b> Применение компьютерного анамнестического тестирования для оценки индивидуального риска развития рака молочной железы.....	36
<b>Безруков Н.С.</b> Сбор информации для построения систем диагностики заболеваний.....	39
<b>Потемкина Н.С.</b> Компьютерная система для оптимизации питания в интерактивном режиме с диетологом.....	42
<b>Лебедев Ю.А., Шабанов Г.А., Рыбченко А.А., Агапова Т.М.</b> Исследование резонансной чувствительности головного мозга при воздействии слабых импульсных электромагнитных полей.....	45
<b>Меркулова Г.А., Пегова Е.В.</b> Комплексный подход к диагностике и коррекции экстрасистолии с применением компьютерных технологий.....	48
<b>Пегова Е.В., Меркулова Г.А.</b> Новые методические подходы к изучению и диагностике экстрасистолии с применением диагностического комплекса ДГКТД-01.....	51
<b>Ульянычева В.Ф., Огилькин Д.С., Ульянычев Н.В.</b> Исследование беспроводной технологии bluetooth для удаленного контроля состояния живых систем.....	54

<b>Алёхин М.Д.</b> Сравнение методов биорадиолокации и респираторной плевтизмографии при параллельной регистрации частоты дыхания.....	62
<b>Ульянычева В.Ф., Яценко А.А., Ульянычев Н.В.</b> Разработка метода исследования электроэнцефалографического сигнала на основе вейвлет-анализа.....	65
<b>Черняховская М.Ю., Москаленко Ф.М.</b> Формальное описание синдромов заболевания «хронический панкреатит».....	68
<b>Бушманов А.В., Вакуленко О.Н.</b> Исследование влияния геометрической формы и размеров трабекул на прочность костной ткани.....	71
<b>Воронцов А.В., Бушманов А.В.</b> Изучение изменения плотности костной ткани при действующей на неё нагрузке.....	72
<i>СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ НАУКЕ</i>	
<b>Еськов В.В., Степанова Д.И., Гроссу Н.Ф., Бондаренко О.А.</b> Матрицы межаттракторных расстояний в оценке эффективности проведения физиотерапевтических мероприятий.....	79
<b>Мартусевич А.К., Симонова Ж.Г., Кривоногова П.Л., Шубина О.И., Коноплева Н.А.</b> Оценка потенциала экзогенной модуляции кристаллостаза биологических субстратов.....	82
<b>Радомский С.М., Радомская В.И.</b> Влияние геохимических факторов среды обитания на минеральный состав жидких биологических сред человека	86
<b>Симакова Т.Г., Пожарицкая М.М., Минаев С.С., Чекалина Т.Л.</b> Сравнительный анализ состояния твёрдых тканей зубов в группах лётчиков с различной выраженностью патологического процесса в пародонте.....	89
<b>Логинов С.И., Бурыкин Ю.Г., Брагинский М.Я.</b> Системный анализ произвольных микродвижений спортсменов-полиатлонистов при фотостимуляции зрительного анализатора.....	92
<b>Филатов М.А., Гавриленко Т.В., Химикова О.И., Буров И.В.</b> Расчёт параметров микрохаоса в оценке психофизических функций учащихся.....	96
<b>Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Пашнин А.С., Балтикова А.А.</b> Стохастические и хаотические методы оценки динамики тремора.....	99
<b>Нахамчен Д.Л., Нахамчен Л.Г., Приходько А.Г., Колотова Е.В., Нахамчена Е.В.</b> Изменения паттерна и вариабельности ритма дыхания у больных бронхиальной астмой.....	102
<b>Деревич В.Е.</b> О системе обеспечения соответствия показателям норм и правил, устанавливаемых в нормативных документах по требованиям безопасности для жизни, здоровья, имущества и окружающей среды в Республике Молдове.....	106
<b>Потемкина Н.С.</b> Как повысить нутриентную плотность продовольственной корзины РФ.....	108

<b>Кощев В.П., Вечканов И.Н., Еськов В.В., Молягов Д.И.</b> Матрицы межаттракторных расстояний в оценке особенностей протекания гепатита	111
<b>Филатова О.Е., Попов Ю.М., Добрынин Ю.В., Еськов В.В.</b> Параметры квазиаттракторов вектора состояния сердечно-сосудистой системы больных с остеохондрозом.....	113
<b>Харитонов В.В., Шешегов П.М.</b> Технология анализа потенциальной ненадежности действий специалистов, обслуживающих летательные аппараты военно-воздушных сил.....	117
<b>Панченко А.К., Панченко К.И., Сухов Д.В.</b> Изменения ткани головного мозга в зависимости от силы и длительности этанольной интоксикации....	120
<b>Катола В.М.</b> Образования комплексных золотосодержащих микоаллергенов.....	123
<b>Катола В.М.</b> Морфология бактерий и микроскопических грибов в зимнем атмосферном воздухе.....	126
<b>Мартусевич А.К., Ковалева Л.К., Жданова О.Б.</b> Кристаллогенная активность сыворотки крови мышей в норме и при формировании лимфолейкоза.....	129
<b>Мартусевич А.К., Перетягин С.П., Перетягин П.В.</b> Характер системного гемодинамического ответа на ингаляционное введение активных форм кислорода.....	133
<i>ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В ЗДРАВООХРАНЕНИИ</i>	
<b>Буданова Е.И., Зуева Т.В., Тушнова Л.К., Еркин Н.В.</b> Диагностическая модель оценки уровня здоровья студентов с учетом показателей качества их жизни.....	137
<b>Карась С.И., Баталова О.В.</b> Системный анализ деятельности медицинского учреждения с применением методологии структурного моделирования.....	140
<b>Кику П.Ф., Веремчук Л.В.</b> Модель оценки воздействия качества воды на распространение заболеваемости мочеполовой системы.....	143
<b>Русак С.Н., Молягов Д.И.</b> Биоинформационные аспекты оценки хронического ингаляционного риска для здоровья населения г. Сургута от воздействия загрязняющих веществ.....	147
<b>Сапегин А.Н.</b> Опыт автоматизации медицинского центра	150
<b>Батурин В.А., Малтугуева Н.С., Столбов А.Б., Ефимова Н.В., Будням С.</b> Система медико-экологических моделей города Улан-Батор.....	154

**А.В. Богомолов**, д-р техн. наук; **Ю.А. Кукушкин**, д-р техн. наук  
(НИИЦ авиационно-космической медицины и военной эргономики  
ФБУ «4 ЦНИИ Минобороны России», Москва)

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕТА-АНАЛИЗА

Описывается схема исследования статистической однородности исходных данных при проведении мета-анализа результатов независимых медико-биологических исследований и особенности реализующего её математического обеспечения.

*Ключевые слова:* мета-анализ, обработка экспериментальной информации, медицинская статистика.

**A.V. Bogomolov**, Dr. Sc. Sciences, **Yu.A. Kukushkin**, Dr. Sc. Science  
(Scientific-Research Test Center for Aerospace Medicine and the military ergonomics FBU "4 Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia", Moscow)

### METHODS STATISTICALLY HOMOGENEOUS INITIAL DATA IN META-ANALYSIS

Describes the study design of the statistical homogeneity of the source data for meta-analysis of the results of independent biomedical research, and features of the software implementing it.

Key words: meta-analysis, experimental data processing, medical statistics.

*Мета-анализ* – это статистический метод, использующийся для получения количественной оценки эффекта воздействия изучаемого фактора на основании результатов нескольких независимых исследований, которые, по мнению исследователя, могут быть объединены [1, 2]. Для корректного выполнения мета-анализа необходимо исследовать статистическую однородность объединяемых исследований.

Понятие «статистическая однородность» (отсутствие различия) может быть формализовано различными способами. Максимальная степень однородности достигается, если обе выборки взяты из одной и той же генеральной совокупности, т.е. справедлива нулевая гипотеза  $H_0$  о равенстве функций их распределений при любых значениях аргумента. Отсутствие статистической однородности означает, что верна альтернативная гипотеза: функции распределений не равны хотя бы при одном значении аргумента. Если гипотеза  $H_0$  принята, то объединение исследований корректно, а если нет – то некорректно.

Статистическая неоднородность может быть обусловлена двумя причинами:

– случайной ошибкой, т.е. случайным разбросом данных в объединяемых исследованиях (внутригрупповая вариация) – в этом случае объединение результатов исследований даст возможность приблизиться к истинной оценке эффекта;

– смещениями, обусловленными набором различных контингентов в исследованиях, различиями в дизайне исследований, особенностями проведения вмешательств или иными дополнительными факторами (межгрупповая вариация) – в этом случае при объединении исследований возможна ошибочная оценка.

В первом случае для исследования статистической однородности применяется *модель с фиксированными эффектами*, которая предполагает, что изучаемое вмешательство во всех исследованиях имеет один и тот же эффект, а выявляемые различия обусловлены дисперсией внутри исследований.

Во втором случае для исследования статистической однородности применима *модель со случайными эффектами*, которая предполагает различный эффект вмешательства в разных исследованиях, при этом суммируются дисперсии как внутри исследований, так и между исследованиями.

Для расчёта оценки статистической значимости межгрупповых различий используют  $Q$ -статистику, основанную на  $\chi^2$ -распределении ( $\chi^2$ -тест Кокрана), и вычисляемую как сумму квадратов разностей между наблюдаемыми и ожидаемыми результатами каждого исследования, исходя из гипотезы, что во всех исследованиях оценивался один и тот же эффект. Такая статистика имеет низкую чувствительность к выявлению неоднородности, поэтому общепринятый уровень значимости при её использовании принимается равным 0,1 [3–5]. Практически удобно оценивать значение  $Q$ -статистики по следующему правилу: при однородности результатов значение  $Q$  близко числу степеней свободы ( $n-1$ ), где  $n$  – число объединяемых исследований. Соответственно, если  $Q$  существенно больше  $n$ , то результаты исследования следует считать статистически неоднородными.

Другим способом определения статистической значимости является оценка остаточной дисперсии суммарного показателя эффекта. Если результаты объединяемых исследований однородны, то единственной причиной их вариации считается случайная ошибка, а общая дисперсия суммарного показателя эффекта будет равняться дисперсии, обусловленной случайной ошибкой. Однако на практике всегда имеется остаточная дисперсия, которая определяется как разность между общей дисперсией и дисперсией, обусловленной случайной ошибкой. Если не менее 75% общей дисперсии составляет дисперсия ошибки, то исследования можно считать однородными. Если остаточная дисперсия составляет более 25% от суммарного размера эффекта, то объединяемые исследования считаются статистически неоднородными, делая вывод о невозможности суммарной оценки эффекта [6].

При выявлении статистической неоднородности результатов необходимо исследовать ее причины. Для этого применяют мета-регрессионный анализ и анализ в подгруппах.

*Мета-регрессионный анализ* позволяет изучить взаимосвязи между одним или несколькими факторами (ковариантами), характеризующими исследования, и выраженностью эффекта в этих исследованиях. В типичном случае единицей ана-

лиза является отдельное исследование, а ковариантами могут быть какие-либо дополнительные характеристики исследований. Результаты мета-регрессионного анализа обычно представляют как значение коэффициента в уравнении мета-регрессии и его доверительного интервала. Ограничениями метода могут являться: малая степень свободы при малом количестве включенных исследований, коллинеарность ковариантов и др. [7]. Возможны затруднения с получением необходимых данных по ковариантам для всех объединяемых исследований, в таком случае проведение мета-регрессионного анализа нецелесообразно.

*Анализ в подгруппах* используется при решении частных вопросов в том случае, когда данные по различным подгруппам доступны во всех исследованиях, а его выводы должны формулироваться с учетом следующего [4]:

- 1) количество подгрупп сведено к минимуму,
- 2) проведение анализа в подгруппах запланировано изначально (по протоколу исследования) на основе имеющихся предпосылок,
- 3) имеется научное обоснование для проведения анализа в подгруппах,
- 4) различия между подгруппами выявлены путем наблюдационного сравнения и могут быть обусловлены иными факторами.

Практический опыт [8, 9] убедительно свидетельствует о том, что обеспечение статистической однородности данных, объединяемых с помощью мета-анализа, является необходимым условием корректности результатов, получаемых с его помощью.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология: основы доказательной медицины. М., 1998.
2. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Математическое обеспечение мета-анализа результатов независимых экспериментальных медико-биологических исследований // Информатика и системы управления. 2011. № 4. С. 65–74.
3. Гринхальх Т. Основы доказательной медицины. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2004.
4. Lau J., Ioannidis J.P.A., Schmid C.H. Quantitative synthesis in systematic reviews // Ann. Intern. Med. 1997. №127 (9). P. 820–826.
5. Кокрен У. Методы выборочного исследования. М.: Статистика, 1976.
6. Плавинский С.Л. Биостатистика: планирование, обработка и представление результатов биомедицинских исследований при помощи системы SAS. СПб: Изд. дом СПбМАПО, 2005. С. 242–291.
7. Meta-regression approaches: what, why, when and how? // Morton S.C., Adams J.L., Suttorp M.J. [et al.]. URL: [www.ahrq.gov](http://www.ahrq.gov).
8. Macaskill P., Walter S.D., Irwig L. A comparison of methods to detect publication bias in meta-analysis // Stat Med. 2001. № 20. P. 641–654.
9. Бащинский С.Е. Разработка клинических практических руководств с позиций доказательной медицины. М.: Медиа Сфера, 2004.

*E-mail: a.v.bogomolov@gmail.com; kukushkinya@gmail.com*



**Ю.В. Нагребецкая**, канд. физ.-мат. наук.  
(Уральский федеральный университет, Екатеринбург)

### **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРЁХ БИНАРНЫХ ФАКТОРОВ**

Формализуются понятия взаимодействия и синергетического взаимодействия в контексте модели клинических испытаний с тремя бинарными факторами. Для этого использована концепция достаточных причин и разработанная автором для классификации типов взаимодействия двух и трёх бинарных факторов теория.

*Ключевые слова:* подход достаточных причин, бинарные испытания, булева функция, (минимальная) дизъюнктивно нормальная форма, (синергетическое) взаимодействие, синергизм, свободная булева алгебра, автоморфизм, действие группы, орбита.

**J.V. Nagrebetskaya**

(Ural federal university, Ekaterinburg)

### **THREE BINARY FACTORS INTERACTION**

Notions of interaction and synergetic interaction are formalized within a model of clinical trials with 3 binary factors. To do this the Sufficient Cause Component Framework and the author's classification of interaction types for 2 and 3 binary factors are used.

*Keywords:* SCCF, binary trials, Boolean function, (minimal) disjunctive normal form, (synergetic) interaction, free Boolean algebra, automorphism, group action, orbit.

Понятие синергизма играет принципиально важную роль в понимании характера взаимодействия лекарственных или токсических веществ в живом организме. Однако само это понятие остается недостаточно формализованным. Более того, даже нет строгого определения взаимодействия этих веществ.

В работе [1] исследуется понятие синергизма для двух и трёх бинарных факторов. Здесь же приводится полная классификация возможных исходов. Исследование основывается на одном из подходов доказательной медицины (клинической эпидемиологии), который называется теорией достаточных причин [2,3]. В настоящей работе формализуются понятия взаимодействия трёх бинарных факторов и синергетического взаимодействия этих факторов. Таким образом, результаты из [1] развиваются и обобщаются.

Пусть на изучаемое событие  $D$  оказывают воздействие некоторые факторы  $X_1, X_2, X_3$ . Событие  $D$  и действующие факторы  $X_1, X_2, X_3$  считаются бинарными, т.е. имеющими только два уровня, условно обозначаемыми 0 и 1. Появление события  $D$  означает заболевание, повреждение или летальный исход, а отсутствие этого события – удовлетворительное состояние организма. События  $X_1, X_2, X_3$  – это, например, воздействие или не воздействие на организм того или иного лекарственного средства или токсина. Важно отметить, что в рассматриваемой здесь теории уровни 0 и 1 не являются показателями того, есть воздействие фактора или нет, а носят условный характер.

В рамках подхода достаточных причин каждый из факторов  $X_1, X_2, X_3$  рассматривается как причина исхода  $D = 1$ , который дальше будет обозначаться просто  $D$ . И основная задача состоит в том, чтобы определить, есть ли взаимодействие между причинами и какой характер оно носит.

Бинарный опыт состоит в воздействии на каждого испытуемого трёх бинарных факторов при всевозможных сочетаниях уровней этих факторов. При этом регистрируется, наступило ли событие  $D$  при каждом отдельном испытании или нет. Подобно [1] мы можем считать исход  $D$  некоторой булевой функцией от переменных  $X_1, X_2, X_3$ .

Хорошо известно [4], что каждую булеву функцию  $D$  можно представить в дизъюнктивно нормальной форме (ДНФ). Мы хотим иметь описание взаимодействия причин в наиболее простой, чёткой форме. Поэтому будем брать для представления данной функции  $D$  ДНФ минимальной длины. Под *длиной* мы будем понимать количество всех входящих в неё конъюнкций и дизъюнкций. В работе [2] тоже предлагалось рассматривать булевы функции в виде ДНФ, но при этом не акцентировалось, что эти представления должны быть минимальной длины.

Чтобы определить, что такое синергетическое взаимодействие между тремя бинарными факторами, очень важно понять, что такое взаимодействие между этими факторами вообще. Анализ результатов из [2] и самостоятельные исследования из [1] привели нас к введению следующих определений.

Мы будем говорить, что между тремя бинарными факторами  $X_1, X_2, X_3$  есть *взаимодействие*, для некоторой минимальной ДНФ  $f$ , представляющих булеву функцию  $D$ , пересечение некоторого множества её элементарных конъюнкций [6] равно конъюнкции  $U_1U_2U_3$ , где  $U_i$  – переменная  $X_i$  или её отрицание. Будем говорить, что ДНФ  $f$  *описывает взаимодействие* между факторами  $X_1, X_2, X_3$ .

В работе [3] анонсировано полное описание синергетического взаимодействия между тремя бинарными факторами. Напомним определение синергетического взаимодействия.

Будем говорить, что между факторами  $X_1, X_2, X_3$  есть *синергетическое взаимодействие (синергизм)*, если в некоторой минимальной ДНФ  $f$ , представляющей функцию  $D$ , существует хотя бы одна элементарная конъюнкция  $U_1U_2U_3$ , где  $U_i$  – переменная  $X_i$  или её отрицание. Будем говорить, что ДНФ  $f$  *описывает синергетическое взаимодействие* между факторами  $X_1, X_2, X_3$ .

Из приведённых выше определений следует, что если между тремя бинарными факторами есть синергетическое взаимодействие, то между ними есть просто взаимодействие. Это показывает корректность этих определений.

В [1] отмечалось, что преобразования переменных бинарной теории, которые используются для классификации события  $D$  [2,5], могут быть сформулированы как определенные симметрии свободной булевой алгебры  $B(x_1, x_2, x_3)$  от трёх переменных. Из общих соображений следует, что такие преобразования, как замена любых двух переменных и замена любой переменной её отри-

цием, не должны влиять на факт взаимодействия трёх бинарных факторов или факт отсутствия этого взаимодействия. Хорошо известно [6], что эти преобразования порождают группу  $G$  всех автоморфизмов булевой алгебры  $B(x_1, x_2, x_3)$ . Эта группа связана с группой всех симметрий трёхмерного булева куба. Её действие вызывает разбиение всей булевой алгебры  $B(x_1, x_2, x_3)$  на непесекающиеся классы (орбиты).

Для булевой функции от трёх переменных, вообще говоря, может существовать несколько минимальных её представляющих ДНФ. Тем не менее, можно показать, что справедлива следующая

Лемма 1. Все минимальные ДНФ, представляющие булеву функцию от трёх переменных, переводятся друг в друга преобразованиями из группы  $G$ .

Легко понять, что минимальная ДНФ переводится преобразованием из группы  $G$  в минимальную ДНФ. Кроме того, из определения следует

Лемма 2. Минимальная ДНФ описывает взаимодействие (синергетическое взаимодействие) между тремя бинарными факторами, тогда и только тогда, когда минимальная ДНФ, полученная из данной, в результате любого преобразования из группы  $G$ , описывает взаимодействие (синергетическое взаимодействие) между этими факторами.

Из лемм 1,2 следует, что если какая-то минимальная ДНФ, представляющая булеву функцию  $D$ , описывает взаимодействие (синергетическое взаимодействие) между тремя бинарными факторами, то и любая другая минимальная ДНФ, представляющая ту же функцию, тоже описывает взаимодействие (синергетическое взаимодействие) между этими факторами. В этом случае можно говорить, что булева функция  $D$  описывает взаимодействие (синергетическое взаимодействие) между тремя факторами.

Из леммы 2 следует

Теорема. Булева функция  $D$  описывает взаимодействие (синергетическое взаимодействие) между тремя бинарными факторами, тогда и только тогда, когда булева функция, полученная из  $D$ , в результате любого преобразования из группы  $G$ , описывает взаимодействие (синергетическое взаимодействие) между этими факторами.

Типы взаимодействия двух бинарных факторов были получены в теории достаточных причин полуэмпирическими рассуждениями [2]. А в работе [1] описаны все типы синергетического взаимодействия трёх бинарных факторов. Теорема позволяет использовать орбиты действия группы  $G$  на алгебре  $B(x_1, x_2, x_3)$  для полной классификации типов взаимодействия и синергетического взаимодействия между тремя бинарными факторами. Синергетическое взаимодействие является частным случаем взаимодействия.

Пример. Рассмотрим различные типы взаимодействия, представленные булевыми функциями в виде минимальных ДНФ:

$$X_1 X_2 X_3 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2, X_1 X_2 \vee X_3, X_1 X_2 \vee \bar{X}_1 X_3$$

Первая булева функция описывает синергетическое взаимодействие между тремя бинарными факторами  $X_1, X_2, X_3$ . Вторая не описывает синергетиче-

ского взаимодействия между этими факторами, однако описывает просто взаимодействие между ними. А последняя не описывает взаимодействия между тремя факторами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Нагребецкая Ю.В. О понятии синергизма между тремя бинарными факторами // Материалы V межд. научн. конференции «Системный анализ в медицине», Благовещенск, 25-26 мая 2011г. Благовещенск, 2011. С. 48-51.
2. VanderWeele T.J., Robins J.M. The identification of synergism in the sufficient-component-cause framework // *Epidemiology*. 2007. Vol. 18, № 3. P. 329–339.
3. Общая эпидемиология с основами доказательной медицины / под ред. В.И. Покровского и Н.И. Брико. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2008.
4. Ершов Ю.Т., Палютин Е.А. Математическая логика. М.: Наука, 1978.
5. Greenland, S. and Poole, C. Invariants and noninvariants in the concept of interdependent effects // *Scand. J. Work Environ. Health*. 1988. Vol.14. P. 125–129.
6. Пережогин А.Л. О прямых автоморфизмах гамильтоновых циклов в  $n$ -мерном булевом кубе // *Дискретн. анализ и исслед. опер.* 2007. Т. 14, № 3. С. 67–79.

*E-mail: julia.nagrebetskaya@usu.ru*

**В.Г. Панов**, канд. физ.-мат. наук

(Институт промышленной экологии, УрО РАН, Екатеринбург)

### О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТЕСТА В ПОДХОДЕ ДОСТАТОЧНЫХ ПРИЧИН<sup>1</sup>

В подходе достаточных причин рассматривается проблема оценки чувствительности теста обнаружения причинного фактора в выборке со случайными характеристиками. На основе статистической обработки массива данных предлагается интерпретировать вычисляемую условную вероятность появления клинического отклика как нижнюю оценку для чувствительности теста для данной выборки.

*Ключевые слова:* бинарные испытания, достаточные причины, чувствительность теста, таблицы сопряженности.

**Panov V.G.**

(Institute of Industrial Ecology Ural Division of RAS, Ekaterinburg)

### TO THE NOTION OF TEST SENSITIVITY IN SUFFICIENT CAUSE COMPONENT FRAMEWORK

Abstract: The problem of estimation test sensitivity within SCCF is considered. The estimation are obtained from a sample with random traits. It is supposed to interpret conditional probability of the outcome to be a lower estimate for the test sensitivity within the given sample.

*Keywords:* binary trials, sufficient causes, test sensitivity, crosstabulation.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-01-00218-а

### Введение

В медико-биологических, токсикологических и экологических исследованиях довольно часто имеющиеся факторы являются причинными, т.е. такими которые обязательно приводят к наступлению того или иного оцениваемого исхода [1–6]. Однако особенности рассматриваемой популяции, степень выраженности фактора (например, концентрация токсиканта) и другие обстоятельства приводят к тому, что причинная природа данного воздействия остается скрытой, во всяком случае, не выраженной теми проявлениями, которые интерпретируются как наступления данного события (например, появление заболевания или наличие достаточного количества маркера в медицинских анализах). Таким образом, с одной стороны теоретические положения, экспериментальные исследования, клинические испытания показывают, что данный фактор, безусловно, является причинным для данного события, однако практическое применение предлагаемых тестов наталкивается на такие существенные отклонения от постановочных условий, которые маскируют причинный характер фактора, делая его *как бы* случайным. Истинная природа этой случайности состоит не в спорадическом действии фактора, а в том, какова выборочная совокупность, по которой мы определяем результат воздействия фактора.

### Постановка задачи

Рассмотрим формальное описание этой ситуации с точки зрения подхода достаточных причин [3–6]. Бинарный исход  $D$  ( $D = 0, 1$ ) определяет наступление или ненаступление некоторого интересующего нас события, которое регистрируется при обследовании данной выборки. В рассматриваемом подходе имеет место разложение (здесь  $D$  означает  $D=1$ , т.е. наступление  $D$ )

$$D = a_1 X \vee a_2 \bar{X},$$

в которой  $a_1, a_2$  – индивидуальные случайные характеристики, которые проявляются при действии того или иного уровня бинарного фактора  $X$ .

Как и в двумерном случае [6] можно составить таблицу откликов, в которой будут присутствовать все возможные сочетания уровней фактора  $X$  и соответствующие значения исхода  $D$ . В общем случае эта таблица имеет вид:

Таблица 1. Отклики и их логическое представление

Отклики	Уровни фактора $X$		Логическая формула
	1	0	
(1,1)	1	1	1
(0,1)	0	1	$\bar{X}$
(1,0)	1	0	$X$
(0,0)	0	0	0

Оценка чувствительности теста в подходе достаточных причин для *данной выборки* может быть сделана на основе того, насколько велика вероятность наступления  $D$  в зависимости от  $X$  или от  $\bar{X}$ , т.е. насколько велика вероятность откликов (0,1) или (1,0).

Для решения этой задачи вычислим таблицу связанности признаков  $D$  и  $X$ . Эта таблица имеет вид и внешне аналогична хорошо известной таблице сопряженности [7], однако ее интерпретация иная.

Таблица 2. Таблица сопряженности исхода  $D$  и фактора  $X$

Значения $D$	Уровни фактора $X$	
	0	1
0	$n_0^0$	$n_1^0$
1	$n_0^1$	$n_1^1$
Сумма	$n_0$	$n_1$

Здесь  $n_i^\delta$  — количество испытуемых, для которых  $D = \delta$  и  $X = i$ ,  $i, \delta \in \{0, 1\}$ ,  $n_i = n_i^\delta + n_i^{1-\delta}$  — общее количество испытуемых с  $X = i$ . Отсюда следует, что отношение  $n_i^\delta / n_i$  есть оценка вероятности  $P(D = \delta | X = i)$ , мы находим условную вероятность того, что событие  $D$  наступило (при  $\delta = 1$ ) или не наступило (при  $\delta = 0$ ), если  $X = i$ . Тогда вероятности откликов равны

$$P((\delta_1, \delta_2)) = p_1^{\delta_1} \cdot p_0^{\delta_2},$$

где  $p_i^{\delta_i} = n_i^{\delta_i} / n_i$ . Пусть  $p^*$  — наблюдаемое значение вероятности  $\pi = P(D = 1 | X = 1)$ . Специфика рассматриваемой ситуации приводит к оптимизационной задаче определения такого максимального значения вероятности  $\pi$  исхода  $D = 1$ , при котором гипотеза  $H_0: p = \pi$  еще принимается на заданном уровне значимости. Для этого образуем новую переменную

$$z = \frac{p^* - \pi}{\sqrt{\frac{p^*(1-p^*)}{n}}}$$

В данном случае имеет смысл рассматривать в качестве альтернативной одностороннюю гипотезу  $H_1: \pi < p$ . Следовательно, гипотеза  $H_0$  будет отвергаться, если  $z < 0$  и  $|z| \geq z_\alpha$  при заданном уровне значимости  $\alpha$ . Отсюда следует, что максимальное допустимое значение вероятности  $\pi$  будет равно

$$\pi_{\max} = p^* + z_\alpha \cdot \sqrt{\frac{p^*(1-p^*)}{n}},$$

где  $z_\alpha = 1.65$ ,  $z_\alpha = 2.33$  для  $\alpha = 0,05$  и  $\alpha = 0,01$  соответственно (критические точки для односторонней альтернативы).

*Пример*

Рассмотрим оценку чувствительности теста нефротоксичности свинца по величине микроглобулина  $B2u$  в моче детей. По исходной базе данных было выполнено сведение к бинарному представлению делением диапазона выбо-

рочных значений по клиническим показателям нефропатологии. После сведения к вероятностям по приведенным выше формулам, получим

Отклики	Вероятности		Логическая формула
	$B_{2u\_gr} = 0$	$B_{2u\_gr} = 1$	
(1,1)	0,237	0,213	1
(0,1)	0,435	0,116	$\bar{X}$
(1,0)	0,116	0,435	X
(0,0)	0,213	0,237	0
Сумма	1,001	1,001	

Таким образом,  $p^* = 0.435$ ,  $n = 273$ ,  $z_{0.05} = 1.65$ ,  $\pi_{\max} = 0.485$ . Понятно, что в ситуации с большим объемом выборки существенной разницы между  $p^*$  и  $\pi_{\max}$  не будет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Rothman K.J. Causes // Am. J. Epidemiol. 1976. Vol. 104. P. 587–592.
2. Общая эпидемиология с основами доказательной медицины / под ред. В.И. Покровского и Н.И. Брико. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2008.
3. VanderWeele T.J., Robins J.M. The identification of synergism in the sufficient-component-cause framework // Epidemiology. 2007. Vol. 18, №3. P. 329–339.
4. VanderWeele T.J. Sufficient cause interactions and statistical interactions // Epidemiology. 2009. Vol. 20, №1. P. 6–13.
5. Панов В.Г. Некоторые достаточные условия синергизма в теории достаточных причин // Ученые записки ТОГУ. 2010. Т.1, № 1. С. 66–69.
6. Панов В.Г. К вопросу определения типа взаимодействия двух бинарных факторов в подходе достаточных причин // Материалы V Международной научной конференции «Системный анализ в медицине», Благовещенск, 25–26 мая 2011. Благовещенск, 2011. С. 19–22.
7. Аптон Г. Анализ таблиц сопряженности. М: Финансы и статистика, 1982.

*E-mail: vpanov@ecko.uran.ru*

УДК 51-77

**А.Б. Столбов**

(Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Иркутск)

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В МЕДИКО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ**

Рассматриваются задачи оптимального управления для медико-эколого-экономической модели при различных критериях оптимальности. Для поиска магистральных решений применяется метод кратных максимумов.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, оптимальное управление, магистраль, здоровье население, экология.

A.B. Stolbov

(Institute for system dynamics and control theory SB RAS, Irkutsk)

**MAGISTRAL SOLUTION OF MEDICAL ECOLOGICAL  
ECONOMICAL PROBLEMS**

Optimal control problem of medical ecological economical model is considered. Several new criterions of optimality are proposed. Method of multiple maximum is used for searching magisterial solution of medical ecological economical problems.

*Keywords:* mathematical modeling, optimal control, magistral, population health, economics, ecology.

**Введение.** Математическое моделирование взаимодействия экономических, экологических факторов и заболеваемости населения является важным этапом системного анализа проблем общественного здоровья. Проведение многовариантных расчетов по математической модели медико-эколого-экономических (МЭЭ) систем позволяет анализировать и прогнозировать медико-экологическое состояние региона. Подобные исследования проведены для МЭЭ модели предприятий города [1] и модели развития Азиатской части России [2]. Следующим шагом исследования МЭЭ моделей является постановка задач управления. Для этого требуется задать критерии оптимальности и, если необходимо, добавить ограничения на некоторые переменные модели. В настоящем исследовании поиск решения полученных задач оптимального управления осуществляется в форме магистральных решений [3].

Магистральное решение определяет оптимальную траекторию, не зависящее непосредственно от граничных условий. Такая траектория соответствует некоторому желаемому долгосрочному уровню состояния медико-эколого-экономической системы. Для того чтобы получить решение, удовлетворяющее заданным начальным и конечным условиям, полученные магистральные решения аппроксимируются, например, последовательностью линейных функций в периоды входа и выхода с магистрали. Для поиска магистральных решений применяется метод кратных максимумов [4].

Медико-эколого-экономическая задача. Исследование магистральных режимов для задачи по МЭЭ модели предприятия города проведено в [1]. Критерии оптимальности и значения медико-экологических показателей  $h$  на магистрали имеют следующий вид:

$$I = \int_0^T [l^{(p)} \sum_{i=1}^M p_i - l^{(h)} h^T H h] \rightarrow \max \quad \tilde{h} = \frac{l^p}{2l^h} [A^{(y)}]^T Q H^{-1}$$

где функционал имеет место смысл комбинации суммарной прибыли предприятий города (вектор  $p$ ) и ущерба, связанного с отклонениями показателей здоровья населения от желаемых значений (вектор  $h$ ); здесь  $M$  – количество предприятий в городе,  $l^{(p)}$ ,  $l^{(h)}$  – некоторые весовые коэффициенты. Далее приводятся магистральные решения задачи оптимального управления для модели из [1] с новыми критериями оптимальности.



Магистральные решения. В процессе развития экономики, т.е. количественного увеличения валового продукта по всем отраслям экономики, характер изменения показателей ресурсов в модели известен: загрязнение и, соответственно, заболеваемость увеличиваются, а запасы ресурсов уменьшаются. Эту априорную информацию можно учитывать при конструировании критерия в задачах оптимизации. В случае нелинейного вхождения штрафной составляющей в критерий, важно разделить ресурсные показатели на два класса: увеличивающиеся и уменьшающиеся во времени при развитии экономики. Тогда можно выявить следующий эффект. Для «уменьшающихся» показателей в случае, например, квадратичного критерия с развитием экономики штраф, соответствующий негативному эффекту будет уменьшаться, а не увеличивается, как необходимо с точки зрения содержательного смысла критерия. Для решения этой проблемы для каждого класса можно предложить свою функцию штрафа.

Пусть рассматривается  $N$  медико-экологических показателей (вектор  $h$ ), тогда для модели из [1] исследуется следующий критерий оптимальности:

$$I = \int_0^T [l^{(p)} \sum_{i=1}^M p_i - l^{(h^I)} (h^I)^T H^I h^I - l^{(h^{II})} (h^{II})^T H^{II} h^{II}] \rightarrow \max$$

$$h^I = \begin{cases} h_i, & i \in K^I \\ 0, & i \notin K^I \end{cases}, \quad h^{II} = \begin{cases} 1/h_i, & i \in K^{II} \\ 0, & i \notin K^{II} \end{cases}, \quad h_i > 0, i \in \{1, \dots, N\}$$

где  $K^I$  - множество индексов показателей ресурсов, значения которых увеличиваются при росте экономики;  $K^{II}$  - множество индексов показателей ресурсов, значения которых уменьшается при росте экономики. Применяв метод кратных максимумов к задаче с новым критерием оптимальности, получаем следующие значения медико-экологических показателей на магистрали:

$$\tilde{h}_i = \frac{-l^{(p)}}{2l^{(h^I)}} ([A^{(y)}]^T Q H^{-1})_i, \quad i \in K^I,$$

$$\tilde{h}_i = \frac{-2l^{(h^{II})} H_{ii}}{l^{(p)} ([A^{(y)}]^T Q)_i}, \quad ([A^{(y)}]^T Q)_i \neq 0, i \in K^{II},$$

где  $A^{(y)}$  - вектор прямых затрат на восстановление медико-экологических показателей;  $Q$  - матрица, отражающая процесс самовосстановления и взаимного влияния медико-экологических показателей;  $l^{(h^I)}$ ,  $l^{(h^{II})}$  - некоторые весовые коэффициенты.

Следующий критерий позволяет учитывать наряду с медико-экологическими показателями и численность населения:

$$I = \int_0^T [l^{(p)} \sum_{i=1}^M p_i - l^{(h)} (\beta h^\alpha(t) P^{1-\alpha}(t))] \rightarrow \max, \quad 0 < \alpha < 1,$$

$$\tilde{h} = \left( -\frac{l^{(p)}}{\alpha\beta^{(h)}} [(A^{(y)})]^T Q \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} P(t)$$

где  $P(t)$  - либо заданная экзогенно скалярная функция, либо определяемая из дополнительного дифференциального уравнения динамики численности населения;  $\alpha, \beta$  – некоторые весовые коэффициенты.

Выводы. Для того, чтобы провести процедуру поиска магистрального режима к сформированным моделям необходимо добавить критерий оптимальности, ограничения на переменные модели и ввести дополнительные предположения для некоторых элементов модели (например, представление динамики некоторых переменных как экзогенно заданных функций времени).

Магистральные решения медико-эколого-экономических задач являются основой для формирования планов развития экономических систем с учетом экологических факторов и заболеваемости населения. Их также можно использовать как эффективное начальное приближение в численных методах поиска оптимального решения; для построения оценок параметров модели, которые могут дополнить условия, используемые при верификации полученных в процессе идентификации параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование и оценка состояния медико-эколого-экономических систем / под ред. В.А. Батурина. Новосибирск: Наука, 2005.
2. Сценарный анализ медико-экологического развития регионов Азиатской части России / В.А.Батурин, В.Ю.Малов, Б.В.Мелентьев, А.Б.Столбов // Материалы международной научной конференции "Системный анализ в медицине. Благовещенск, 2011. С. 174-177.
3. Гурман В.И. Магистральные решения в процедурах поиска оптимального управления // Автоматика и телемеханика. 2003. №3. С. 61-71.
4. Гурман В.И. Принцип расширения в задачах управления. М.: Наука, 1985.

*E-mail: [stolboff@icc.ru](mailto:stolboff@icc.ru)*

©2012 г. **В.Г. Панов**, канд. физ.-мат. наук  
(Институт промышленной экологии, УрО РАН, Екатеринбург)

### ОБ УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ФАКТОРОВ С ТРЕМЯ УРОВНЯМИ<sup>2</sup>

Рассматривается задача нахождения условий взаимодействия двух факторов с тремя уровнями на основе трактовки понятия взаимодействия, принятом в дисперсионном анализе. Показано, что условие отсутствия взаимодействия выра-

<sup>2</sup> Работа выполнена при поддержке программы Президиума УрО РАН «Фундаментальные науки – медицине», проект № 12-П-1033.

жается системой из четырех уравнений, нарушение любого из которых интерпретируется как наличие взаимодействия факторов на некоторых их уровнях.

*Ключевые слова:* трехуровневый факторы, дисперсионный анализ, взаимодействие.

**Panov V.G.**

(Institute of Industrial Ecology Ural Division of RAS, Ekaterinburg)

### **ON THE INTERACTION OF TWO 3-LEVEL FACTORS**

Considering the notion interaction within ANOVA a problem of interaction of two 3-level factors is studied. We demonstrate that non-interaction conditions are expressed by the system of 4 linear equations. Violation any of them should be treated as interaction of factors at some particular levels.

*Keywords:* 3-level factor, ANOVA, interaction.

### **Введение**

Наличие взаимодействия факторов приводит к тому, что изменяется ожидаемый эффект от воздействия этих факторов. Это изменение может быть как в сторону увеличения эффекта (синергизм, или супераддитивность), так и в сторону его уменьшения (антагонизм, или субаддитивность). Поэтому ожидаемые эффекты от каждого фактора по отдельности не дают возможности корректной оценки суммарного эффекта на основе простого сложения отдельных эффектов. Это особенно важно, например, при анализе клинических испытаний и в токсикологии при оценке риска. Так, в случае оценки риска в качестве эффекта рассматривается частота (вероятность) появления некоторого события, наличие которого нежелательно. Соответственно, оценка риска на основе суммирования эффектов от отдельных факторов будет *недооценивать* риск при наличии синергизма, и *переоценивать* его при наличии антагонизма [1].

Методы оценки наличия и силы взаимодействия хорошо известны в случае двух бинарных факторов [2–5]. В этом случае в работах [4–6] были построены методы как статистического, так и формально-логического анализа результатов соответствующего эксперимента. В данной работе рассматриваются статистические аспекты определения взаимодействия двух трехуровневых факторов в рамках подхода достаточных причин.

### **Постановка задачи**

Пусть имеется два фактора  $A$  и  $B$ , каждый из которых принимает 3 значения (3 уровня). Обозначим  $w_{ij}$  вероятности наступления интересующего нас исхода  $D$  при условии присутствия уровней факторов  $A = i, B = j, i, j = 0, 1, 2$ . Рассмотрим следующий вопрос: при каких условиях можно утверждать, что между факторами  $A$  и  $B$  имеется взаимодействие?

Вместо этого вопроса мы рассмотрим условия того, что взаимодействие между  $A$  и  $B$  отсутствует на всех уровнях, т.е. рассмотрим условия *отсутствия взаимодействия*.

Мы будем применять обычные методы дисперсионного анализа к таблице эксперимента, в соответствующих ячейках которой стоят вероятности появле-

ния события  $D$  в присутствии уровней факторов  $A = i, B = j, i, j = 0, 1, 2$ . Таким образом, с точки зрения дисперсионного анализа можно считать, что в нашем случае в каждой ячейке находится выборка из одного элемента.

Пусть уровни фактора  $A$  расположены в первом столбце, а уровни  $B$  – в первой строке.

$A \backslash B$	0	1	2	Средние
0	$w_{00}$	$w_{01}$	$w_{02}$	$w_{0\bullet}$
1	$w_{10}$	$w_{11}$	$w_{12}$	$w_{1\bullet}$
2	$w_{20}$	$w_{21}$	$w_{22}$	$w_{2\bullet}$
Средние	$w_{\bullet 0}$	$w_{\bullet 1}$	$w_{\bullet 2}$	1

Здесь

$$w_{\bullet j} = \frac{w_{0j} + w_{1j} + w_{2j}}{3}, \quad w_{i\bullet} = \frac{w_{i0} + w_{i1} + w_{i2}}{3}$$

Если  $w$  вероятность наступления  $D$ , усредненная по всей популяции, то взаимодействие  $i$ -го уровня фактора  $A$  и  $j$ -го уровня фактора  $B$  описывается соотношением [7]

$$\gamma_{ij} = w_{ij} - w_{i\bullet} - w_{\bullet j} + w$$

Условие того, что взаимодействие между факторами *отсутствует*, состоит в том, что при всех  $i, j$  выполняется равенство  $\gamma_{ij} = 0$ . Это приводит к системе из 9 уравнений от 10 неизвестных ( $w_{ij}$  и  $w$ ). Полное решение этой системы невозможно (ранг матрицы системы равен 5). После алгебраических преобразований можно исключить параметр  $w$  и получить систему из четырех уравнений

$$\begin{cases} w_{22} - w_{21} = w_{12} - w_{11} \\ w_{22} - w_{20} = w_{12} - w_{10} \\ w_{22} - w_{21} = w_{02} - w_{01} \\ w_{22} - w_{20} = w_{02} - w_{00} \end{cases} \quad (1)$$

Эти уравнения аналогичны уравнению  $w_{11} - w_{00} = w_{10} - w_{01}$  для бинарного случая. Как видно, возможностей для нарушения условий отсутствия взаимодействий факторов для тернарного случая больше, чем для бинарного, так как теперь нарушение любого из равенств (1) при выполнении остальных уравнений означает наличие какого-то типа взаимодействия факторов  $A, B$  на *каких-то* уровнях. Следует также заметить, что эти уравнения могут быть записаны и в других видах, которые, разумеется, будут эквивалентны уравнениям (1).

Для геометрической интерпретации этих условий по оси абсцисс отложим уровни фактора  $B$ , по оси ординат – наблюдаемые частоты  $w_{ij}$ . Тогда, например, первое уравнение системы (1) геометрически можно описать как ра-

венство расстояния между точками  $(2, w_{22})$  и  $(2, w_{12})$  (левая часть первого уравнения) и расстояния между точками  $(1, w_{21})$  и  $(1, w_{11})$  (правая часть первого уравнения). Учет всех таких условий приводит к тому, что система (1) выражает параллельность линий вероятностей для всех трех уровней фактора  $A$  (рис.1).

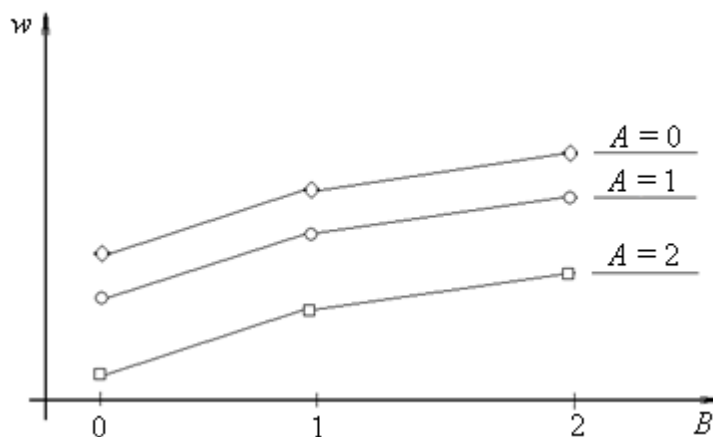


Рис. 1. Диаграмма вероятностей наступления отклика  $D$  при разных сочетаниях уровней тернарных факторов. Отсутствие взаимодействия.

Таким образом, нарушение условий отсутствия взаимодействия факторов на всех уровнях, т.е. системы (1), геометрически проявляется в нарушении параллельности соответствующих ломаных на том или ином участке. Ввиду многовариантности общего описания ситуации, можно отметить только, что возможен синергизм на одних уровнях и антагонизм на других, или же отсутствие взаимодействия на одних уровнях и какое-то взаимодействие (положительное или отрицательное) на других. Геометрическое представление таких ситуаций очевидно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kacnel'son B.A., Privalova L.I., Varaksin A.N., Kireyeva E.P., Panov V.G., Kazmer Yu.I. An Approach Characterizing the Type of Combined Environmental Toxicity Based on Epidemiologically Assessed Exposure-Response Relationships // *The Open Epidemiology Journal*. 2010. Vol. 3. P.113–122.
2. Аптон Г. Анализ таблиц сопряженности. М: Финансы и статистика. 1982.
3. Панов В.Г. К вопросу определения типа взаимодействия двух бинарных факторов в подходе достаточных причин // *Материалы V Международной научной конференции «Системный анализ в медицине»*, 25-26 мая 2011. Благовещенск, 2011. С. 19–22.
4. *Общая эпидемиология с основами доказательной медицины* / под ред. В.И. Покровского и Н.И. Брико. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2008.
5. VanderWeele T.J. Sufficient cause interactions and statistical interactions // *Epidemiology*. 2009. Vol.20, №1. P. 6–13.

6. Панов В.Г., Нагребецкая Ю.В. О понятии синергизма в исследованиях с бинарными факторами // Материалы IV международной научной конференции «Системный анализ в медицине» // Информатика и системы управления. №2(24). С. 22–24.

7. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. М.: Наука, 1980.

*E-mail: [vpanov@ecko.uran.ru](mailto:vpanov@ecko.uran.ru)*

**О.Г. Берестнева<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, **И.А.Осадчая<sup>1</sup>**,

**Е.В. Немеров<sup>2</sup>**, канд. мед. наук

(<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Сибирский государственный медицинский университет, Томск)

### **VISUALIZATION OF MULTIDIMENSIONAL MEDICAL DATA**

При анализе данных исследователь довольно часто сталкивается с многомерностью их описания. Методы многомерного анализа - наиболее действенный количественный инструмент исследования процессов, описываемых большим числом характеристик. В данной работе рассмотрены методы структурного анализа многомерных данных (кластерный анализ и методы визуализации) в медицине.

*Ключевые слова:* кластерный анализ, методы визуализации, когнитивная графика, структура медицинских данных.

The main purpose of any information technology is obtaining adequate information that a researcher needs for analysis and making decisions on the basis of this analysis. In this case the information implies data concerning objects, their parameters, properties and states, reducing the degree of uncertainty and incompleteness of knowledge. Adequacy should be expressed in three forms: syntactic, semantic, pragmatic. The way of information representation is considered at the syntactic level. Semantic aspect involves consideration of the meaningful content of the information. Pragmatic adequacy reflects the value (utility) of information received in making a particular decision.

Moreover, the notion of information completeness is connected with semantic content (semantics), and pragmatics. Both incomplete, i.e. insufficient to make a right decision, and redundant information result in reducing the effectiveness of the decisions the user has made [1].

Information technology, as well as any other one, must meet the following requirements: to provide a high degree of division of the whole process of information processing into stages (phases), operations, activities; to include the entire set of elements necessary for achieving this goal; to be understandable for a specialist of non-computer sphere [2]. An individual is able to work with sensitive images and concepts of these images. Such images have a much greater specificity and integrity versus a symbolic representation. Ability to work with sensitive images (especially the visual ones) determines what might be called the geometric way of thinking.

Data visualization is a problem that any researcher faces in his work. The problem of representing the experimental data or the results of theoretical research in visual forms leads to the problem of data visualization. Traditional instruments in this area, charts and graphs, are not efficient in visualization when there is a need to represent more than three interrelated variables. When analyzing the data the researcher is often faced with the multidimensionality of their description. Methods of multidimensional analysis are the most effective tool for quantitative investigation of the processes described by a large number of characteristics.

Computer data processing requires some mathematical data conversion using specific software. One must have an idea of both mathematical methods of data processing and relevant software tools [5]. Nowadays there are many different packages for experimental data analysis in various fields of human activity. The most famous ones are the computer systems SAS, SPSS, SYSTAT, Minitab, Statgraphics. The most popular software packages in Russia are Statistica / W and STADIA. In this work we use the «NovoSparkVisualizer» package.

The usage of a computer for data processing makes quite complex data analysis methods more accessible and visible. Therefore, the researcher is mainly to do creative work: setting goals, selecting methods for solving them, interpreting results, developing proposals and management decisions.

The use of graphics in research does not only increase the data transfer rate and the level of understanding, but also contributes to development of such professional qualities as intuition and creative thinking, which are important in any industry.

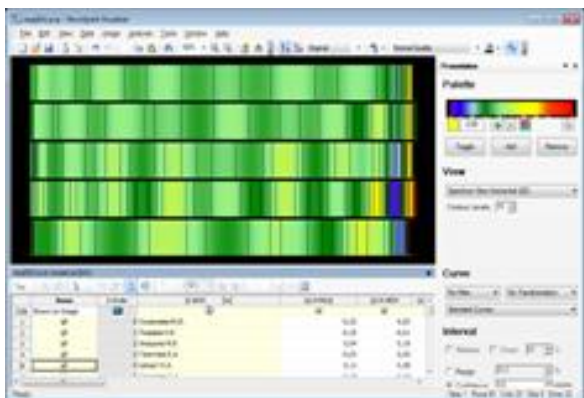
Impact of Interactive Computer Graphics (ICG) has led to the emergence of a new trend in the problems of artificial intelligence called cognitive (i.e., promoting the knowledge) computer graphics.

Cognitive graphics is a set of techniques and methods of figural representation of the problem, which allows to see any solution immediately or to get a hint to its location [6]. Cognitive graphics forms a separate area in medicine. Visualization of the current state of the object and its characteristics allows to monitor continually the status of groups of individuals or a certain individual.

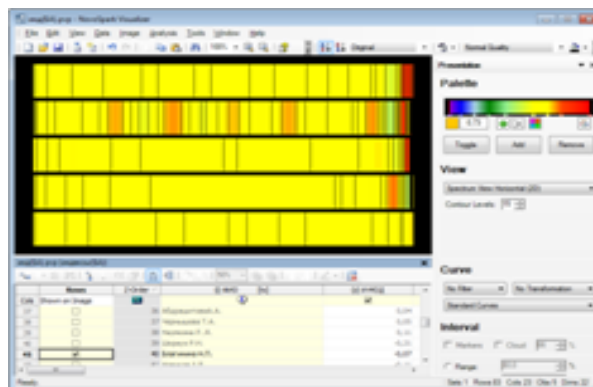
In our opinion the approach to displaying multi-dimensional objects in a generalized form of graphic images: curves, or "spectra" [7, 8], seems to be of particular interest. "Spectral representations" in this method emphasize the distinctive characteristics of each curve and help to explore their visual properties in more detail. Color palette emphasizes the levels of the curves values changes. Making the imaginary extension of curves along Z-axis and looking down on the result of this operation you can get color bars representing the spectrum of each observation [7].

We have used this approach dealing with the problems of identifying hidden regularity in medical data [8], particularly analyzing the characteristics of various bronchopulmonary diseases [9]. Background information is data of patients with four types of bronchopulmonary diseases: bronchial asthma non-psychogenic (BANP), bronchial asthma somatic psychogenic (BASP), bronchial asthma psychogenic-induced (BAPI), psychogenic dyspnea (PD).

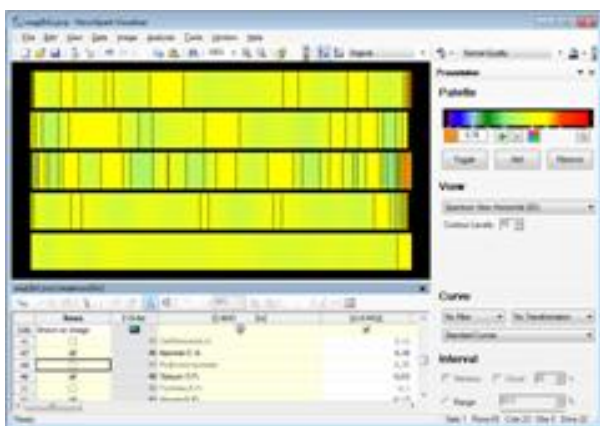
Let us compare the sample data of all 4 forms of the disease on visual closeness of observations spectra.



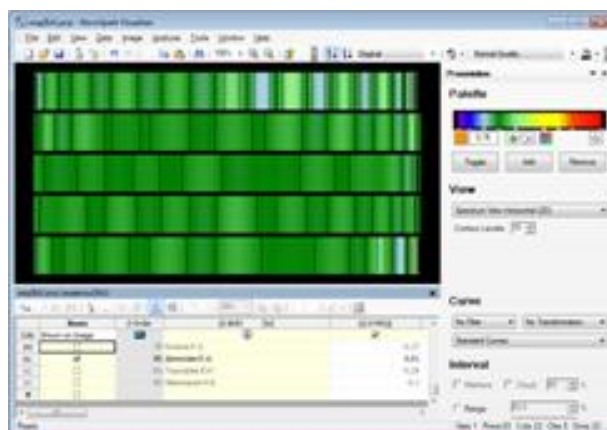
*Pic. 1.* The spectral representation of the data on patients diagnosed with BAPI.



*Pic. 2.* The spectral representation of the data on patients with a diagnosis of BASP.



*Pic. 3.* The spectral representation of the data on patients diagnosed with BANP.



*Pic. 4.* The spectral representation of the data on patients diagnosed with PD.

Each color bar in the spectral view corresponds to a certain patient data. In our case in Pictures 1 - 4 each image is represented by five bars respectively representing five members of a certain group. The color scheme of the patients diagnosed with BAPI and patients with a diagnosis of PD are similar. The same is true of patients with a diagnosis of BASP and BANP.

As it can be seen from the Pictures, people with BASP and PD have the closest figures. The most evident differences can be seen in patients with BAPI.

Thus, the use of cognitive graphics has revealed some previously unknown regularity of physiological reactions of the bronchopulmonary system in response to the psycho-physiological effects (similar reactions are observed, on the one hand, in patients with psychogenic dyspnea and psychogenic-induced asthma, on the other hand - in patients with somatic and non-psychogenic and somatic psychogenic asthma).

#### REFERENCES

1. Берестнева О.Г., Шаропин К.А., Старикова А.В., Кабанова Л.И. Технология формирования баз знаний в медицинских информационных системах //



Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2010. Т.109. №8. С. 32–37.

2. Татур Ю.Г. Компетентность в структуре модели качества подготовки специалистов // Высшее образование сегодня. 2004. № 3. С. 20–26.

3. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С.А.Айвазян и др. М.: Финансы и статистика, 1989.

4. Дюк В., Эмануэль В. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. СПб.: Питер, 2003. 528 с.

5. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

6. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика / под ред. Д.А.Поспелова. М.: Наука, 1991. 187с.

7. Воловоденко В.А. Визуализация и анализ многомерных данных с использованием пакета «NovoSparkVisualizer». URL: <http://www.tsu.ru/storage/iro/k020410/s4/s4.doc>

8. Берестнева О.Г., Пеккер Я.С., Шаропин К.А., Воловоденко В.А. Выявление скрытых закономерностей в медицинских и социально-психологических исследованиях // Аппликативные вычислительные системы: Труды 2-й международной конференции по аппликативным вычислительным системам - Москва, 29-31 октября 2010. - Москва: Институт Актуального образования «ЮрИнфоР-МГУ», 2010. – С. 287–296.

9. Берестнева О.Г., Осадчая И.А., Немеров Е.В. Методы исследования структуры медицинских данных // Вестник науки Сибири. 2012. URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/245/250>

*E-mail: [Irishka\\_tomsk@mail.ru](mailto:Irishka_tomsk@mail.ru)*

**М.Д. Алёхин**

(Московский государственный технический университет  
имени Н.Э.Баумана, Москва)

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КРАТНОМАСШТАБНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ НЕСТАЦИОНАРНЫХ БИОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ**

Проводится оценка эффективности использования кратномасштабного вейвлет-анализа при формировании признакового пространства физиологических паттернов в задаче распознавания движений в нестационарных биорадиолокационных сигналах на основе методов корреляционного и кластерного анализа.

*Ключевые слова:* биорадиолокация, кратномасштабный вейвлет-анализ, распознавание образов.

### Введение

Распознавание физиологических паттернов нестационарных биорадиолокационных (БРЛ) сигналов является актуальной задачей [1]. Классификация паттернов движений в принимаемом сигнале биорадиолокатора представляет особый интерес при идентификации персональных особенностей двигательной активности человека и в аспектах реализации обратной связи с оператором в эргатических системах. В таких биомедицинских приложениях, как сомнология, анализ особенностей двигательных паттернов БРЛ сигналов является информативным при оценке качества сна пациентов [2].

Кратномасштабный вейвлет-анализ (КМВА) является перспективным математическим аппаратом, который востребован в обработке нестационарных многокомпонентных сигналов с шумовой составляющей [3]. Подход КМВА становится особенно эффективным, когда сигнал имеет высокочастотные компоненты короткой длительности и протяженные низкочастотные компоненты. Такие особенности часто встречаются на практике при обработке БРЛ сигналов.

### Проведение эксперимента

В экспериментах применялся биорадиолокатор БИОРАСКАН [4], работающий в диапазоне операционных частот от 3,6 до 4,0 ГГц с непрерывным сигналом и ступенчатой частотной модуляцией, разработанный в Лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана. При проведении эксперимента испытуемый усаживался на стул перед антенным блоком биорадиолокатора. Было необходимо под счет друг за другом выполнить последовательность упражнений, которые составили основу двигательных паттернов для анализа. Рассматривалось по три реализации для каждого из следующих типов движений: *A* – сгибание локтей в сагиттальной плоскости; *B* – поднятие плеч во фронтальной плоскости; *C* – движение рук вверх во фронтальной плоскости.

### Формирование признаков пространства

Основной принцип КМВА заключается в том, что разложение анализируемого сигнала производится по базису, образованному сдвигами и кратномасштабными копиями вейвлетной функции. Свертка сигнала с вейвлетами позволяет выделить характерные особенности сигнала в области локализации этих вейвлетов. При этом возможна реализация каскадного алгоритма вычислений, подобного быстрому преобразованию Фурье [5].

Для формирования векторов признаков физиологических паттернов нестационарных БРЛ сигналов предложено использовать последовательность абсолютных значений детализирующих вейвлет-коэффициентов квадратур БРЛ сигнала, отражающую преимущественно низкочастотную область. При этом отпадает необходимость обработки данных в комплексной форме. Каждая компонента вектора признаков на выбранной операционной частоте с заданным уровнем декомпозиции определяется следующим образом:

$$V_j = \sqrt{(d_j^Q)^2 + (d_j^I)^2}$$

где:  $V_j$  - компонента вектора признаков;  $d_j^Q$  - детализирующий коэффициент  $Q$ -квadrатуры;  $d_j^I$  - детализирующий коэффициент  $I$ -квadrатуры;  $j$  - номер компоненты.

В качестве материнского использовался вейвлет Хаара. Значения коэффициентов разложения вычислялись с помощью процедуры дискретного вейвлет-преобразования, реализованной в программном пакете MATLAB. Длина всех анализируемых фракции сигнала была выбрана равной 320 отсчетам. Это обеспечило 20 компонент в структуре векторов признаков физиологических паттернов БРЛ сигналов на четвертом уровне вейвлет-декомпозиции. Предварительно амплитуды квадратур принимаемого сигнала и размах по оси времени нормировались.

### Оценка эффективности предложенных решений

Задачу распознавания физиологических паттернов нестационарных БРЛ сигналов можно формально свести к определению центра класса в евклидовом пространстве, наиболее близкого к рассматриваемому объекту [6]. Координаты объектов в таком случае соответствуют номерам компонент векторов признаков. Решение о принадлежности объекта к тому или иному классу принимается исходя из минимума евклидова расстояния (таблица 1).

Таблица 1.

Результаты кластерного и корреляционного анализа

Паттерн		Расстояния до центров классов				Оценки коэффициентов корреляции			
Класс	№	$\rho_A$	$\rho_B$	$\rho_C$	$\rho_{min}$	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_{max}$
А	1	0,371	1,184	1,510	0,371	0,94	0,46	-0,07	0,94
	2	0,443	1,295	1,786	0,443	0,95	0,40	-0,21	0,95
	3	0,335	1,334	1,566	0,335	0,96	0,24	-0,08	0,96
В	1	1,204	0,32	1,089	0,320	0,37	0,96	0,42	0,96
	2	1,264	0,416	1,163	0,416	0,33	0,93	0,38	0,93
	3	1,268	0,423	1,212	0,423	0,38	0,94	0,38	0,94
С	1	1,555	0,976	0,624	0,624	-0,07	0,55	0,81	0,81
	2	1,771	1,343	0,370	0,370	-0,17	0,30	0,98	0,98
	3	1,659	1,274	0,550	0,550	-0,11	0,29	0,88	0,88

Для каждого класса физиологических паттернов БРЛ сигналов рассчитывался вектор средних значений признаковых компонент. Далее находились коэффициенты парной корреляции Пирсона между вектором признаков выбранного паттерна и вектором средних значений каждого класса (таблица 1). Решение о принадлежности объекта к тому или иному классу принимается исходя из максимума корреляционной связи [6]. Для случая малых выборок при нормальном распределении исходных данных вопрос о значимости оценок коэффици-

ентов корреляции решается на основании сравнения фактического значения статистики Стьюдента с критическим значением в каждом случае.

### Заключение

Пространство признаков двигательных паттернов биорадиолокационных сигналов, сформированное с использованием последовательности абсолютных значений детализирующих коэффициентов высокого уровня вейвлет-декомпозиции квадратурных компонент, является эффективным в рамках решения задачи классификации, как на основании определения минимума евклидова расстояния, так и с использованием максимума коэффициента корреляции с вектором средних значений для каждого класса. Таким образом, кратномасштабный вейвлет-анализ является эффективным инструментом в решении задач распознавания физиологических паттернов нестационарных биорадиолокационных сигналов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Биорадиолокация / под. ред. А.С.Бугаева, С.И.Ивашова, И.Я.Иммореева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 396 с.
2. Алёхин М.Д., Анищенко Л.Н., Журавлев А.В. Метод биорадиолокации в бесконтактной скрининговой диагностике расстройств дыхания во сне // Материалы V конференции «Системный анализ в медицине». Благовещенск, 2011. №2. С. 105-108.
3. Митрофанов Д.Г., Сафонов А.В. Применение вейвлет-анализа для сохранения структуры дальностных портретов воздушных целей при повышении уровня шумов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2005. № 9. С. 19-24.
4. Использование метода биорадиолокации для оценки двигательной активности лабораторных животных / Л.Н.Анищенко [и др.] // Радиотехника. 2010. № 2. С. 43–48.
5. Дьяконов В.П. Вейвлеты: от теории к практике. М.: СОЛОН-Пресс. 2002. 448 с.
6. Потапов А.С. Распознавание образов и машинное восприятие. М.: Изд-во Политехника. 2007. 552 с.

*E-mail: [maksim.alekhin@gmail.com](mailto:maksim.alekhin@gmail.com)*

© 2012 г. **Ю.А.Кукушкин**, д-р техн. наук; **М.В.Дворников**, д-р мед. наук;  
**А.В.Богомолов**, д-р техн. наук; **Л.В.Шмакова**  
(НИИЦ авиационно-космической медицины и военной эргономики  
ФБУ «4 ЦНИИ Минобороны России», Москва)

### МЕТОД РАСЧЁТА РИСКА ОПАСНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ<sup>3</sup>

Изложен метод расчёта риска опасных состояний человека в условиях гипоксической гипоксии, основанный на дозовом принципе нормирования воздействия гипоксической газовой среды на организм человека.

*Ключевые слова:* гипоксическая гипоксия, опасные состояния, доза гипоксии, рискометрия здоровья.

© 2012 **Yu.A. Kukushkin**, Dr. Sc. Science; **M.V. Dvornikov**, Dr. Med. Sciences;  
**A.V. Bogomolov**, Dr. Sc. Sciences; **L.V. Shmakova**  
(Scientific-Research Test Center for Aerospace Medicine and the military  
ergonomics FBU "4 Central Research Institute of the Ministry  
of Defense of Russia", Moscow)

### METHOD OF CALCULATING THE RISK OF DANGEROUS STATES RIGHTSUNDER HYPOXIC HYPOXIA

The method of calculating the risk of dangerous conditions of human beings in hypoxic hypoxia, based on the principle of normalization of the dose effects of hypoxic gas environment on the human body.

*Key words:* hypoxic hypoxia, hazardous condition, the dose of hypoxia, risk of health.

Ситуации, связанные с воздействием на человека среды с низким парциальным давлением кислорода, которые имеют место, например, при разгерметизации салона самолета, обуславливают высокий риск потери сознания и даже гибели человека [1 – 7].

Известные математические модели [1, 4, 7] позволяют рассчитать оценку такого риска в статических условиях, то есть при сохранении постоянства интенсивности гипоксического воздействия в течение анализируемого интервала времени, что существенно ограничивает область их применения. Преодолеть указанный недостаток можно за счет реализации нормирования воздействия гипоксической газовой среды на организм человека на основе дозового принципа.

Аналитически «доза гипоксии», определяется выражением

$$D(t) = \int_0^T [p_{6500}^m - p^m(t)] dt,$$

---

<sup>3</sup> Работа поддержана РФФИ, грант 12-08-01273-а

где  $D(t)$  – экспозиционная доза гипоксического воздействия,  $P_{6500}^m = 37,8$  кПа – парциальное давление кислорода в трахее при значении барометрического давления 44 кПа (соответствует высоте над уровнем моря 6,5 км),  $P^m(t)$  – текущее значение парциального давления кислорода в трахее,  $T$  – интервал интегрирования.

Разность  $P_{6500}^m - P^m(t)$  определена нами как интенсивность гипоксического воздействия ( $U$ ).

В высотной физиологии [1, 4, 6, 7] получены эмпирические результаты, позволяющие рассчитать оценки минимального ( $T_{min}^{nc}$ ), среднего ( $T_{mean}^{nc}$ ), и максимального ( $T_{max}^{nc}$ ) резервного времени потери сознания при пребывании человека на различных высотах (при различном барометрическом давлении).

По этим данным методом Левенберга-Марквардта (Levenberg–Marquardt) синтезированы регрессионные уравнения, описывающие зависимости времени потери сознания от интенсивности гипоксического воздействия. Эти уравнения имеют следующий вид

$$\begin{aligned} T_{min}^{nc} &= 186,15 U^{-1,0003} ; \\ T_{mean}^{nc} &= 367,23 U^{-1,0008} ; \\ T_{max}^{nc} &= 710,37 U^{-1,1557} . \end{aligned}$$

Статистическая значимость синтезированных уравнений по критерию Фишера соответствует уровню значимости  $p < 0,001$ .

С учетом результатов структурной идентификации законов распределения резервного времени потери сознания получены аналитические выражения для расчёта оценок вероятностей потери сознания  $W_U^{nc}$  в зависимости от времени  $t$  пребывания в гипоксической газовой среде, интенсивность которой постоянна, т.е.  $U = const$

$$W_U^{nc}(t) = \begin{cases} 0,5 - \Phi \left[ 3,224 \times \frac{t_i - T_{i mean}^{nc}(U)}{T_{i mean}^{nc}(U) - T_{i min}^{nc}(U)} \right] , & \text{если } ( t_i - T_{i mean}^{nc}(U) ) \leq 0 ; \\ 0,5 + \Phi \left[ 3,224 \times \frac{t_i - T_{i mean}^{nc}(U)}{T_{i max}^{nc}(U) - T_{i mean}^{nc}(U)} \right] , & \text{если } ( t_i - T_{i mean}^{nc}(U) ) > 0 ; \end{cases}$$

где  $\Phi$  – функция Лапласа.

Параметры этой модели определены при соблюдении условия постоянства барометрического давления в течение всего времени пребывания человека

в газовой среде, что затрудняет ее использование применительно к динамическим условиям. Однако дозовый подход позволяет преодолеть эти трудности.

Коэффициенты выражений, аппроксимирующих зависимости  $T_{\min}^{nc}$ ,  $T_{mean}^{nc}$  и  $T_{\max}^{nc}$  от  $U$ , равны дозам, соответствующим указанным временам переносимости гипоксического воздействия. С учетом этих значений получена модель, позволяющая определять вероятность потери сознания в зависимости от дозы гипоксии в произвольный момент времени  $t_i$

$$W_D^{nc}(t) = \begin{cases} 0,5 - \Phi \left[ \frac{\sum_{i=1}^n U(t_i) \Delta t - 367,23}{181,01} \right], & \text{если } \left( \sum_{i=1}^n U(t_i) \Delta t - 367,23 \right) \leq 0 ; \\ 0,5 + \Phi \left[ \frac{\sum_{i=1}^n U(t_i)^\alpha \Delta t - 367,23}{343,14} \right], & \text{если } \left( \sum_{i=1}^n U(t_i)^\alpha \Delta t - 367,23 \right) > 0 , \end{cases}$$

где  $\sum_{i=1}^n U(t_i) \Delta t$  – текущее значение дозы гипоксии в момент времени  $t_i$ ,

$\Delta t$  – интервал времени, через который производится определение дозы,

$n$  – количество измерений дозы;

$$\alpha = 1 + 0,000454 \sum_{i=1}^n U(t_i) \Delta t - 367,23$$

Методология дозового подхода и реализующее её математическое обеспечение позволяют рассчитать время сохранения работоспособности человека в условиях гипоксической гипоксии и её восстановления после потери сознания, обусловленной воздействием гипоксии. Временем начала восстановления работоспособности человека является момент изменения знака дозы гипоксии, а временем полного восстановления сознания – момент, при котором наступает равенство по модулю положительных и отрицательных доз гипоксии.

Предложенный метод обеспечивает расчет адекватных оценок вероятностей рассматриваемых неблагоприятных эффектов при любых значениях скоростей и профилей изменения парциального давления кислорода в трахее, кратности, времени воздействия гипоксической среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационная медицина / под ред. Н.М.Рудного, П.В.Васильева, С.А.Гозулова. М.: Медицина, 1986. 578 с.
2. Ушаков И.Б., Черняков И.Н., Шишов А.А. Физиология высотного полета. Воронеж: Истоки, 2008. 147 с.
3. Плотников Н.И. Гипоксия (кислородное голодание): аналитический обзор // Проблемы безопасности полетов. 2009. № 11. С. 12-17.

4. Методика определения потенциальной ненадёжности действий и резервного времени сохранения работоспособности лётчика в высотном полёте / Ю.А.Кукушкин, М.В.Дворников, А.В.Богомолов, В.К.Степанов, В.А. Сухолитко // Проблемы безопасности полётов. 2002. № 11. С. 22-27.

5. Гузий А.Г., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Теоретические основы функционально-адаптивного управления системами «человек–машина» повышенной аварийности // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. №1. С. 39-48.

6. Методическое обеспечение автоматизированной оценки функциональной надёжности авиационных спасателей в условиях высокогорья / Ю.А.Бубеев, Ю.А.Кукушкин, Е.А.Тимме, Л.В.Шмакова // Проблемы безопасности полетов. 2010. №7. С.63-70.

7. Особенности поддержки принятия решений по устранению особых событий и опасных состояний летчика в высотном полете / Ю.А.Кукушкин, М.В.Дворников, А.В.Богомолов [и др.] // Проблемы безопасности полетов. 2009. №1. С.34-42.

*E-mail: [kukushkinya@gmail.com](mailto:kukushkinya@gmail.com)*



**А.В. Ильин, Ю.М. Перельман**, д-р мед. наук, **А.В. Леншин**, д-р мед. наук  
(ФГБУ «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»  
СО РАМН, г. Благовещенск)

### **3D-ВОЛЮМЕТРИЯ КАК МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВОЗДУХОПОЛНЕННОСТИ ЛЕГКИХ У БОЛЬНЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ**

Изложена методика регистрации нарушений воздухополненности легких у больных бронхиальной астмой посредством 3D-волюметрии с применением мультиспиральной компьютерной томографии.

*Ключевые слова:* 3D-волюметрия, воздухополненность легких, мультиспиральная компьютерная томография, бронхиальная астма.

### **A.V.Il'in, J.M.Perelman, MD Ph.D DSc., A.V.Lenshin, MD Ph.D DSc., QUANTITATIVE ASSESSMENT OF AIR TRAPPING IN ASTHMA USING 3D-BASED VOLUMETRIC MULTIDETECTOR COMPUTED TOMOGRAPHY**

The method of lungs air trapping registration by 3D-multidetector computed tomography in asthmatic patients is described.

*Key words:* 3D-volumetry, multidetector computed tomography, lungs air trapping, bronchial asthma.

Бронхиальная астма относится к числу наиболее распространенных заболеваний и является серьезной глобальной проблемой. В диагностике бронхиальной астмы используется целый ряд методов: сбор анамнеза и клинических симптомов, функциональные методы исследования, такие как спирография и бодиплетизмография, позволяющие оценить степень нарушения функции внешнего дыхания, а также аллергологические методы для определения факторов риска и триггеров. Применение лучевых методов (флюорография, рентгенография) в диагностике бронхиальной астмы на современном этапе служит, в основном, для дифференциальной диагностики и исключения осложнений.

В последние годы, благодаря внедрению и распространению современных методов лучевой диагностики, появилась возможность дополнить комплексное исследование больных бронхиальной астмы методом мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ). Данный метод обладает максимальной разрешающей способностью, позволяет оценить минимальные изменения легочной ткани и бронхов и является наиболее достоверным среди других методов лучевой диагностики при исследовании органов дыхания [5, 6].

Томографическая картина при бронхиальной астме разнообразна и включает в себя изменение бронхов и признаки нарушения вентиляции. Применение методов компьютерного анализа позволяет измерять толщину бронхиальной стенки на протяжении бронха, площадь сечения бронхов на различных уровнях, что помогает дифференцировать интактные и воспаленные бронхи [2].

Но даже с использованием высокоразрешающей компьютерной томографии с толщиной среза менее 1 мм достоверно удается изучить состояние бронхов лишь до 4-й генерации. Бронхостеноз более мелких генераций, включая дистальные, возможно определить по признакам нарушения вентиляции, степень выраженности которых различна - от единичных «воздушных ловушек» до распространенной тотальной мозаичной гипервоздушности, обусловленной чередованием в легочной ткани участков с различной воздухонаполненностью [1]. Особенно заметно нарушения вентиляции выявляются при дополнительном исследовании легких в фазе глубокого выдоха (экспираторная фаза).

При томографическом исследовании легких не всегда удается визуально установить признаки нарушения вентиляции. Нами разработан новый метод, позволяющий количественно оценить степень нарушения вентиляционной функции легких, в основе которого лежит методика двухэтапной МСКТ с инспираторно-экспираторным тестом.

Исследования проводились с использованием мультиспирального компьютерного томографа *Toshiba-Activion 16* с последующей обработкой результатов со стандартным программным обеспечением путем построения 3D-моделей легких. Объемы измерялись в рамках интересующих денситометрических параметров. Так, для измерения воздухонаполненности легких подсчитывались все воксели, соответствующие по плотности воздуху ( $-850$  HU и ниже [3, 4]), сопоставлялись результаты, полученные при исследовании в инспираторную и экспираторную фазы дыхания. В первую очередь, для решения поставленной задачи, нас интересовала воздухонаполненность легких в фазе максимального выдоха (экспираторная фаза), отражающая объем воздушных ловушек, степень гипервоздушности. Было отмечено, что воздухонаполненность легких в экспираторную фазу в рамках заданных денситометрических параметров у здоровых лиц стремится к нулю, в большинстве случаев не превышая 100 вокселей в обоих легких. У больных бронхиальной астмой регистрировалась остаточная воздухонаполненность, которая увеличивалась с нарастанием степени тяжести бронхиальной астмы и отражала степень нарушения вентиляционной функции легких (рис. 1). Кроме того, предложенный метод позволяет произвести измерения отдельно для каждого легкого.

Всего было обследовано 80 больных бронхиальной астмой, в том числе, 33 с легкой (БАЛТ), 35 со среднетяжелой (БАСТ) и 12 с тяжелой (БАТТ). Контрольную группу составили 20 здоровых лиц.

В результате обследования, нарушение вентиляционной функции легких зарегистрировано у 74 (93%) больных бронхиальной астмой. По результатам 3D-волюметрии воздухонаполненность при максимальном выдохе по отношению к воздухонаполненности при максимальном вдохе в группе БАЛТ составила  $3,79 \pm 2,58\%$  (у здоровых лиц  $0,35 \pm 0,55\%$ ,  $p < 0,001$ ), у пациентов БАСТ  $17,21 \pm 5,06\%$  ( $p < 0,05$  к БАЛТ) и у пациентов БАТТ  $29,78 \pm 7,02\%$  ( $p < 0,05$  к БАСТ).

Таким образом, предложенный метод позволяет диагностировать нарушение вентиляционной функции легких у больных бронхиальной астмой, коли-

чественно оценить их степень, общий объем «воздушных ловушек», а, главное, выявить локальные и регионарные нарушения, достаточно точно определить локализацию изменений, что существенно дополняет классические интеграционные методы (спирография, бодиплетизмография) и расширяет возможности лучевых методов исследования в диагностике бронхиальной астмы.

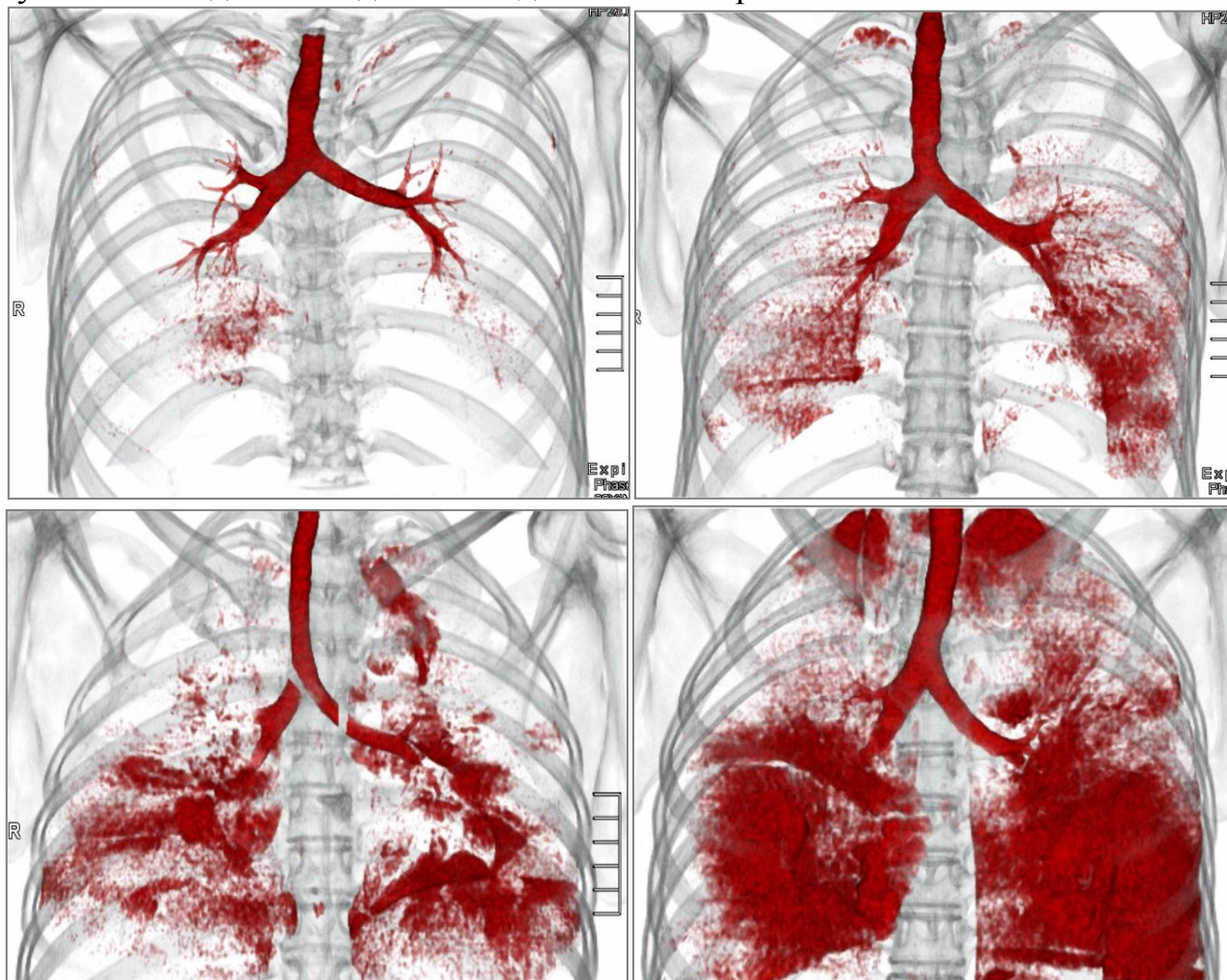


Рис. 1. Практическое применение метода 3D-волюметрии. Представлены 3D-модели воздухонаполненности легких в экспираторной фазе здорового человека (А), больного бронхиальной астмой легкой степени (Б), средней степени (В) и тяжелой степени (Г). Окрашены участки легочной ткани, соответствующие по своим денситометрическим показателям плотности воздуха.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Леншин А.В. Разработка и клиническое применение методов рентгенофункционального исследования легких // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2004. Вып.16. С.6-11.
2. Bankier A.A., O'Donnell C.R., Boiselle P.M. Respiratory instructions for CT examinations of the lungs: a hands-on guide // Radiographics. 2008. Vol. 28, №4. P.919-923
3. Bergstermann H., Westerburg K.W. Computertomographische Dichtebestimmung beim klinisch angenommenen Lungenemphysem // Atemwegs Lungenkrr. 1983. Bd. 9, № 10. S.418-423.

4. Quantitative assessment of air trapping in chronic obstructive pulmonary disease using inspiratory and expiratory volumetric MDCT / S.Matsuoka [et al.] // Am. J. Roentgenol. 2008 Vol.190. P.762-769.

5. Walker C., Gupta S., Hartley R. Computed tomography scans in severe asthma: utility and clinical implications // Curr. Opin. Pulm. Med. 2012. Vol.18, №1. P.42-47.

6. MDCT-based 3-D texture classification of emphysema and early smoking related lung pathologies / Y.Xu [et al.] // IEEE Trans Med Imaging. 2006. Vol. 25. P.464-475.

*E-mail: [dr.ilyin.av@gmail.com](mailto:dr.ilyin.av@gmail.com)*

**И.Н. Одинцова**, канд. мед. наук, **Л.Ф. Писарева**, д-р мед. наук,

**О.А. Ананина**, канд. мед. наук

(ФГБУ «НИИ онкологии» СО РАМН, Томск)

#### **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАМНЕСТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА РАЗВИТИЯ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

Предлагается разработанная компьютерная программа анамнестического тестирования для оценки индивидуального риска и формирования групп повышенного риска развития рака молочной железы при проведении профилактического осмотра среди организованного и неорганизованного населения региона Сибири и Дальнего Востока.

*Ключевые слова:* компьютерное анамнестическое тестирование, профилактический осмотр, скрининг, оценка индивидуального риска развития рака молочной железы, группы повышенного риска развития рака молочной железы, регион Сибири и Дальнего Востока

**I.N. Odintsova**, MD Ph.D, **L.F. Pisareva**, MD Ph.D DSc.,

**O.A. Ananina**, MD Ph.D

(Cancer Research Institute, Siberian Branch of the RAMS, Tomsk),

#### **COMPUTER-BASED ANAMNESTIC TESTING FOR ASSESSING THE INDIVIDUAL BREAST CANCER RISK**

The computer-based program of anamnestic testing for assessing the individual risk and forming the groups at high risk of breast cancer development was devised for prophylactic survey among the organized and unorganized population of Siberia and the Russian Far East region.

*Keywords:* computer-based program of anamnestic testing, prophylactic survey, screening, assessing the individual risk, forming the groups at high risk of breast cancer development, Siberia and the Russian Far East region

Проблема роста заболеваемости раком молочной железы (РМЖ) носит не только медицинский, но и социальный характер, поэтому требует широкого проведения профилактических осмотров всего населения, с применением суще-

ствующих диагностических методов, что на современном этапе практически невозможно. В связи с этим на первом этапе возникает необходимость сужения круга лиц для углубленного обследования с целью выявления предопухолевых процессов и опухолей в самых ранних стадиях. Эффективным методом решения этой проблемы является разработка и внедрение различных форм и методов массового скрининга РМЖ, которые относительно дешевые и в достаточной мере информативные [4].

**Цель исследования:** Разработать автоматизированную систему тестирования для оценки индивидуального риска развития и формирования групп повышенного риска рака молочной железы (РМЖ) на территории региона Сибири и Дальнего Востока (с учетом возраста и этнической принадлежности).

**Материалы и методы:** В основу работы положен анализ результатов анкетного опроса по выявлению факторов риска развития РМЖ среди женского населения, проживающего на различных территориях региона Сибири и Дальнего Востока, накопленных в отделе эпидемиологии ФГБУ «НИИ онкологии» СО РАМН. Исследование проводилось по методике «случай-контроль» среди больных РМЖ и здоровых женщин Приморского (г. Владивосток) и Красноярского (г. Норильск) краев, Иркутской области (г. Иркутск), республик Тыва, Хакасия и Алтай. Проанкетировано 936 человека, из них 431 больная с морфологически верифицированным диагнозом РМЖ, 505 женщин контрольной группы без онкологических заболеваний. В лаборатории была разработана информационная система (ИС) для оценки индивидуального риска развития РМЖ у женщин, проживающих в регионе Сибири и Дальнего Востока. ИС состоит из двух модулей. Первый – «ПИФАРО» (Исследование факторов риска в онкологии) предназначен для хранения и анализа данных [2]. Второй – «ОИР» (Оценка индивидуального риска рака молочной железы) позволяет оценивать индивидуальный риск развития и формировать группы повышенного риска РМЖ [3]. Оценка диагностической эффективности работы модуля «ОИР» производилась по показателям чувствительности, специфичности, диагностической точности.

**Результаты:** Основываясь на том, что показатели заболеваемости РМЖ различны в популяциях коренного и пришлого населения и зависят от возраста [1], были сформированы 4 группы: 1) лица славянской национальности больные и здоровые в возрасте до 50 лет (средний возраст  $38,8 \pm 2,3$  и  $38,7 \pm 1,7$  года соответственно); 2) лица славянской национальности больные и здоровые в возрасте 50 лет и старше ( $62,2 \pm 1,7$  и  $59,5 \pm 2,3$  года); 3) лица коренной национальности больные и здоровые в возрасте до 50 лет ( $40,0 \pm 3,3$  и  $38,8 \pm 2,1$  года); 4) лица коренной национальности больные и здоровые в возрасте 50 лет и старше ( $62,4 \pm 3,4$  и  $56,5 \pm 5,0$  года). С помощью первого модуля ИС «ПИФАРО» были выявлены факторы риска (эндогенные и экзогенные) развития злокачественных новообразований молочной железы в женской популяции региона Сибири и Дальнего Востока. Риск развития РМЖ среди женщин до 50 лет снижен как у лиц славянской ( $OR=0,4$ ;  $p=0,000$ ), так и коренной национальности ( $OR=0,3$ ;  $p=0,000$ ) и повышен в возрасте 50 лет и старше у лиц славянской – в 2,5 ( $p=0,000$ ) и у лиц коренной национальности – в 3,2 раза ( $p=0,000$ ).

Выявленные факторы легли в основу построения 4 прогностических таблиц по оценке индивидуального риска развития РМЖ для каждой из исследуемой популяции. Диагностический порог, критическое значение суммы диагностических коэффициентов (ДК) для принятия решения об отнесении объекта к группе больных или здоровых, определен по экзаменационной выборке, в которую вошли 42 больных РМЖ и 50 здоровых женщин коренных национальностей, 87 больных РМЖ и 89 здоровых женщин славянского населения. Диагностический порог прогностических таблиц для лиц коренной национальности принят от «+13,0 до -10,0», для лиц славянской национальности – от «+13,0 до -13,0», т.е. при положительной сумме ДК более «+13,0» в обеих популяциях пациентка относится к группе риска развития РМЖ, при отрицательном значении более «-10,0» и «-13,0» соответственно к здоровым лицам. Если сумма диагностических коэффициентов оказывается в промежутке от «+13,0 до -10,0» и «+13,0 до -13,0» соответственно, то это группа неопределенности и для данной пациентки необходимы дополнительные методы диагностики. Показатели диагностической эффективности прогностической модели для коренного населения составили: специфичность 80,9%, чувствительность 86,0%, диагностическая точность 83,5%, для лиц славянской национальности – 84,6; 77,3 и 80,9% соответственно. Полученные прогностические модели легли в основу модуля информационной системы «ОИР».

Автоматизированный скрининг проводится в диалоговом режиме. В начале опроса женщина регистрируется: вводится фамилия, имя, отчество, возраст. Последовательность вопросов и ответов в модуле ИС «ОИР» соответствует построенной ранее «прогностической таблице». Каждому варианту ответа соответствует ДК (он не виден опрашиваемому при анкетировании), который был получен по статистически значимым обобщенным факторам риска. После ответов на все вопросы, компьютерная программа суммирует полученные ДК и в соответствии с определенным уровнем порога, выдает заключение об отнесении опрашиваемой к одной из групп: группе риска, группе отсутствия риска, группе неопределенности. При отнесении пациента к группам риска или неопределенности, рекомендуется проведение дальнейшего углубленного обследования. Результат опроса записывается в отдельный текстовый файл (в зависимости от групп), который впоследствии анализируются врачом.

Апробирование программы проведено в ГУЗ «Республиканский онкологический диспансер» МЗ Республики Тыва. На маммологическом приеме, с предварительным тестированием, было обследовано 123 тувинки и 67 женщин славянской национальности, считающих себя здоровыми. При тестировании женщин славянской национальности чувствительность метода составила 80,0%, специфичность – 75,7%, диагностическая точность – 77,8%, при тестировании тувинки – 84,5; 83,2; 83,8 % соответственно.

**Заключение.** Результаты апробации компьютерной программы «ОИР» в Республике Тыва говорят, что формирование групп риска, основанное на ис-

пользовании предварительного тестирования, является достаточно эффективным, только 3,1% женщин из всех обследованных с наличием заболеваний молочной железы попали в группу здоровых. Разработанная информационная система для формирования групп риска развития РМЖ рекомендована и внедряется на территории Иркутской области, Приморского края, Республики Тыва как первый этап популяционного скрининга населения. Использование автоматизированной компьютерной программы «ОИР», позволяет формировать группы риска развития РМЖ, сузить круг лиц, подлежащих более углубленному обследованию, обеспечить своевременное обследование и лечение женщин, экономить время врача и диагностические средства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гормональный статус женщин различных национальностей региона Сибири и Дальнего Востока / Л.Ф.Писарева И.Н. Одинцова, О.А. Ананина [и др.] // Сибирский онкологический журнал. 2011. №2 (44). С. 5–10.
2. «ПИФАРО» (Исследование факторов риска в онкологии): программа для ЭВМ / О.А. Ананина, Л.Ф. Писарева, В.А. Фокин // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ, рег. св-во №2007613323. от 08.08.2007г.
3. «ОИР» (Оценка индивидуального риска): программа для ЭВМ / И.Н.Одинцова, Л.Ф.Писарева, О.А.Ананина, А.А.Шивит-оол // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам рег. св-во №2010616823 РФ от 13.10.2010 г.
4. Mandel J.S., Smitt R. Principles of cancer screening // Cancer Principles & Practice Oncology / Eds. V.T. De Vita, Jr.S. Hellman, S.A. Rosenberg. Philadelphia, Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2008. P. 659–676.

*E-mail: [epidem@oncology.tomsk.ru](mailto:epidem@oncology.tomsk.ru)*

**Н.С. Безруков**, канд. техн. наук  
(ФГБУ «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»  
СО РАМН, г. Благовещенск)

### СБОР ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Рассмотрены этапы медицинского процесса при построении систем диагностики. Предложен способ сбора информации для последующего построения системы диагностики.

Известно [1, 2], что применение системы диагностики существенно ускоряет и упрощает работу врача, может помочь ему избежать собственных ошибок в различных областях. Однако поскольку такая система не может нести ответственность за полученное с ее помощью решение (вся ответственность за

диагноз ложится на врача), то считается, что система выступает только в качестве консультанта, следовательно, при ее использовании возникает проблема доверия врача к результату, полученному с ее помощью [3]. Таким образом, важным условием создания таких систем является простота и понятность методов ее построения и использования врачом.

Медицинский процесс можно представить в виде цикла [1], состоящего из пяти последовательных этапов, схематически показанных на рис. 1.

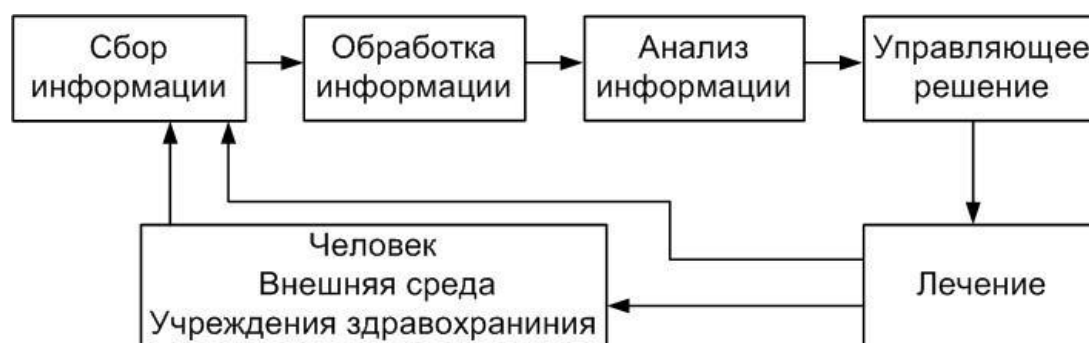


Рис.1 Схема медицинской деятельности

Первый этап – сбор информации для исследования, которое проводит врач для подтверждения или опровержения какой-либо гипотезы. На втором этапе он выполняет обработку полученной информации: отбрасывает лишнее, заполняет пробелы, исправляет ошибки и создает базу данных. На третьем этапе врач-исследователь анализирует информацию различными методами, подтверждая либо опровергая выдвинутую гипотезу, а также строит модель. Результаты третьего этапа внедряются врачом в практическую медицину в виде формул, таблиц или списка мероприятий, которыми затем – на четвертом этапе – могут использовать и другие врачи для диагностики, выбора оптимального пути лечения или профилактического мероприятия. Наконец, на пятом этапе непосредственно проводится лечение, профилактическое мероприятие и т.п. Очередной цикл начинается вновь со сбора информации.

Каждый из этапов можно полностью или частично автоматизировать для решения какой-либо медицинской задачи. Например, если системно подойти к проблеме сбора и обработке информации, то в последующем можно избежать множества ошибок.

**Сбор информации.** Одно из основных положений дифференциального диагноза – обнаружение характерных патологических симптомов – является обязательным, но не всегда достаточным фактором для идентификации заболевания, что объясняется меняющейся в процессе прогрессирования болезни диагностической ценностью одних и тех же признаков [4].

Более строго следовало бы сказать, что процесс дифференциальной диагностики направлен на идентификацию состояния больного в смысле распознавания поразившей его болезни. Формально это может звучать следующим образом: необходимо определить болезнь (нозологическую форму), при которой бу-



дуг иметь место непротиворечивые отношения между наблюдаемыми признаками и интегрирующим их понятием диагноза [4]. Тогда чем больше признаков будет участвовать в диагностике, тем более точным будет диагноз.

В работе [5] показано, что при построении системы диагностики для  $n$  признаков необходим набор из  $k$  примеров в зависимости от количества настраиваемых коэффициентов системы. То есть на практике сложно реализовать одну большую систему диагностики со всеми возможными признаками на входе, так как это потребовало бы большого количества примеров (рис.2), поэтому целесообразно создавать небольшие подбазы для подгруппы признаков.

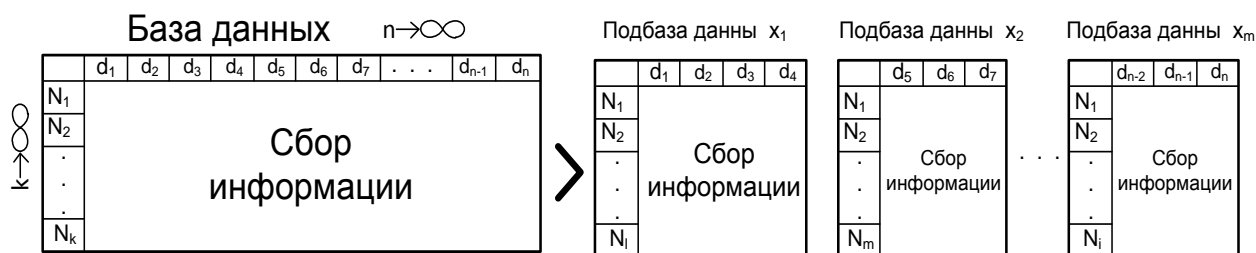


Рис. 2 Разбиение базы данных

Признаки можно разбивать на подгруппы, к примеру, в зависимости от их метода получения, тогда на каждой подбазе можно строить отдельную систему диагностики и тем самым получить множество параллельных подсистем диагностики одного и того же заболевания. При таком подходе признаки из разных подбаз нельзя объединять в одной системе диагностике.

**Заключение.** Понятность методов построения систем для дифференциальной диагностики является гарантией доверия врача к ней. Рассмотренный способ разбиения базы на подбазы позволяет избежать врачу трудоемкой и рутинной работы по сбору одной большой базы данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арсеньев С. Извлечение знаний из медицинских баз данных / 1999 URL: <http://www.megaputer.ru>
2. Нейроинформатика / А.Н.Горбань [и др.]. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. 296 с.
3. Москаленко Ф.М. Задача медицинской диагностики и алгоритм ее решения, допускающий распараллеливание // Информатика и системы управления. 2005. №2(10). С. 52-63.
4. Кобринский Б.А. Логика аргументации в принятии решений в медицине // Информационные процессы и системы. 2001. №9. С. 1-8.
5. Безруков Н.С. Особенности построения диагностической системы на основе гибридной сети при неполных данных // «Вестник АмГУ» серия «Естественные и экономические науки». 2006. №33. С. 60-63.

E-mail: [bezrukow@mail.ru](mailto:bezrukow@mail.ru)

© 2012 г. **Н.С. Потемкина**, канд. биол. наук  
(Институт Системного Анализа, Москва)

## КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПИТАНИЯ В ИНТЕРАКТИВНОМ РЕЖИМЕ С ДИЕТОЛОГОМ

Показаны возможности применения компьютерной системы «Питание для здоровья и долголетия» в решении задачи оптимизации питания с помощью интерактивной диалоговой процедуры, позволяющей, с одной стороны ограничить область поиска решения, а с другой стороны, реализующей удобную для врача пошаговую инструкцию постановки и решения задачи.

*Ключевые слова:* компьютерная система, питание, линейная оптимизация

© 2012 **N.S. Potemkina**, Ph.D. in biology  
(Institute for Systems Analysis, Moscow)

## COMPUTER-BASED SYSTEM FOR DIET OPTIMIZATION IN INTERACTIVE MODE WITH NUTRITIONIST

Diet optimization pursuant to modern dietary requirements is a multi-criterion problem with many restrictions. Its solving with mathematical methods is a complicated problem. On the other hand the problem definition is an intricate task for a physician. Practical decision is to develop an interactive procedure for diet optimization being convenient for nutritionist and providing limitation of solution search area on one hand, and implementing a step-by-step guide for the problem definition and solution on the other.

*Keywords:* computer systems, human nutrition, the linear optimization

**Актуальность проблемы.** Одной из сложнейших проблем современной диетологии является проблема увеличения нутриентной адекватности рациона с одновременным снижением его калорийности. Опыт показывает, что человек не справляется с решением задач такой сложности. Даже рационы, созданные опытнейшими врачами-диетологами не оптимальны по ряду нутриентов. Эмпирический выход из этой ситуации определен важнейшим принципом диетологии – максимально разнообразным питанием. Однако, в современных условиях низких физических нагрузок и широкого распространения пищевых добавок, необходима определенная точность.

**Целью и задачи исследования** является разработка компьютерной системы для оптимизации питания, помогающей диетологу в создании рационов, блюд и продуктов питания, отвечающих самым разнообразным диетологическим требованиям, например требованию минимизации калорийности рациона при полноценном витаминно-минеральном составе. Или – разработка рационов и продуктов питания с ограничениями, которые накладывают диеты, рекомендованные для профилактики и лечения болезней, являющихся основными причинами потери трудоспособности и преждевременной смерти.

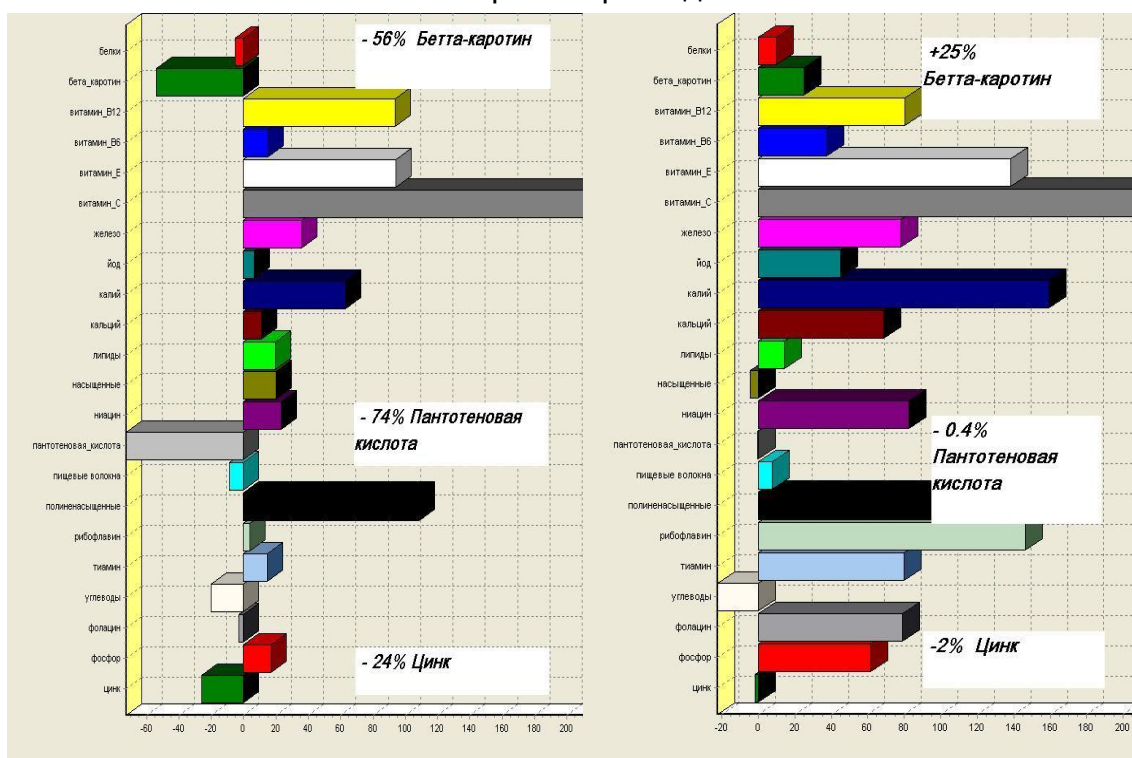
**Материал и метод.** Для решения поставленной задачи оптимизации использовался метод линейного программирования. Для разработки базы данных по химическому составу продуктов питания и нормативам использовался справочник [3].

**Результаты.** Нами разработана компьютерная система «Питание для здоровья и долголетия» [1] позволяет:

- конструировать индивидуальный норматив;
- оценивать повседневное питание;
- планировать адекватное индивидуальное питание, создавать новые блюда и продукты;
- в диалоговом режиме оптимизировать рацион, состав блюда или продукта по заданному критерию;
- давать рекомендации по питанию;
- контролировать динамику состояния клиента;
- пополнять базу данных по диетам, нормативам, рационам, меню, блюдам, продуктам, составу продуктов.

С целью сужения области поиска решения задачи, а также для удобства врача-диетолога, разработана интерактивная диалоговая процедура оптимизации рациона, которая позволяет последовательно задавать ограничения и цели оптимизации в зависимости от поставленной задачи и от промежуточных результатов ее решения. Процедура фактически реализует пошаговую инструкцию по постановке и решению задачи.

**Нутриентная оценка стандартного и улучшенного рационов питания при сахарном диабете**



Система позволяет накапливать опыт разработки оптимальных рационов в виде наборов продуктов для оптимизации, индивидуальных наборов продуктов, обязательно включаемых в рацион, индивидуальных норм. Накопленные данные могут использоваться для решения новых задач, что со временем значительно облегчает работу с системой.

Используя разработанную систему нам удалось улучшить состав ряда стандартных диетических рационов, а также решать другие диетологические задачи. Иллюстрирует описанный подход рисунок, на котором дана сравнительная оценка стандартного (рекомендованного МЗ РФ) рациона при сахарном диабете и варианта этого рациона, улучшенного с применением компьютерной оптимизации.

**Обсуждение.** С математической точки зрения оптимизация рациона является сложнейшей задачей многопараметрической и многокритериальной оптимизации. Решение задачи такой сложности наталкивается на серьезные трудности, которые ограничивают сферу ее применения, поэтому работы в этой области имеют в большей степени исследовательский, чем прикладной характер [3-6]. Основой для оптимизации, как правило, служит повседневный рацион отдельных людей или групп населения, которые улучшаются путем удаления или добавления некоторых продуктов [4, 6, 7]. Показано, что не все современные диетологические требования могут быть удовлетворены без серьезного изменения привычной продовольственной базы [4-6]. Предложенный подход расширяет область применения математической оптимизации питания.

### **Выводы:**

1. Разработанная система позволяет не только оценивать фактическое питание, но и создавать новые рационы, продукты питания или блюда, соответствующие заданным диетологическим требованиям, а также повышать нутриентную плотность рационов, соответствующих общепризнанным диетам или основанных на индивидуальных предпочтениях.

2. Интерактивная диалоговая процедура оптимизации, удобная для практического врача-диетолога, с одной стороны упрощает математически сложную задачу многокритериальной оптимизации с большим количеством ограничений, так как конкретизирует область поиска решения, а с другой стороны предоставляет широкие возможности выбора исходных условий поставленной задачи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Потемкина Н.С., Крутько В.Н. Питание как система: возможности современной информатики для оптимизации питания // Информатика и системы управления. 2009. №4. С.168-169.

2. Химический состав Российских продуктов питания / под. ред. И.М.Скурихина, В.А.Тутельяна. М. 2002, 235с.

3. Briend A., Darmon N., Ferguson E., Erhardt J.G. Linear programming: a mathematical tool for analyzing and optimizing children's diets during the complementary feeding period // J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. 2003. Vol. 36(1). P. 12-22.

4. Design of optimal food-based complementary feeding recommendations and identification of key "problem nutrients" using goal programming // E.L.Ferguson [et al.] // J. Nutr. 2006. Vol.136(9). P. 2399-2404.

5. Maillot M., Drewnowski A. A conflict between nutritionally adequate diets and meeting the 2010 dietary guidelines for sodium // Am. J. Prev. Med. 2012. Vol. 42(2). P. 174-179.

6. Santika O., Fahmida U., Ferguson E.L. Development of food-based complementary feeding recommendations for 9- to 11-month-old peri-urban Indonesian infants using linear programming // J. Nutr. 2009. Vol.139(1). P.135-141.

7. Soden P.M., Fletcher L.R. Modifying diets to satisfy nutritional requirements using linear programming // Br. J. Nutr. 1992. Vol. 68(3). P.565-572.

УДК 612.424:613.693:615.471

**Ю.А.Лебедев<sup>1</sup>, Г.А.Шабанов<sup>1</sup>**, канд. биол. наук,

**А.А.Рыбченко<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, **Т.М.Агапова<sup>2</sup>**, канд. мед. наук

(<sup>1</sup>Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН, Владивосток)

(<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЛАБЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

В работе показана возможность воздействия на ритмические компоненты электрической активности головного мозга слабым импульсным электромагнитным полем. Подтверждено наличие резонансных частот в активирующей системе мозга. Показано, что на резонансных частотах мозг проявляет гиперчувствительность. На межрезонансных частотах мозг обладает слабой чувствительностью.

*Ключевые слова:* магнитоэлектрическая активность головного мозга, ритмические компоненты биопотенциалов головного мозга, электромагнитные поля, резонансные частоты.

Помимо известных способов взаимодействия нейронных популяций – синаптических, электротонических, - предполагалась возможность вовлечения в «частотный модуль» с относительно стабильной центральной частотой множества осциллирующих удаленных нейронных ансамблей с помощью слабых ритмически пульсирующих электромагнитных полей. Анализ воздействия слабых электромагнитных полей на ритмические компоненты биопотенциалов головного мозга на резонансных частотах при значениях магнитной индукции 1 мТл описан в работе [1]. В настоящей работе рассматривается воздействие слабых импульсных электромагнитных полей на ритмические компоненты биопотенциалов головного мозга при уменьшении величины магнитной индукции, а так же на межрезонансных частотах.

У группы добровольцев (12 человек) регистрировалась фоновая и контрольная магнитоэнцефалограмма с последующим спектральным анализом, для чего вся исследуемая полоса частот от 27 до 0,13 Гц разбивалась гребенкой узкополосных фильтров на 840 центральных частот с временем интегрирования 160 сек. Анализировались амплитуды спектральных компонент. Ширина полосы составляла 3% от центральной частоты. Попавшие в полосу амплитуды спек-

тральных частот в результате быстрого преобразования Фурье интегрировались. Центральной частоте присваивалась получившаяся амплитуда интегральной спектральной оценки. Центральные частоты образовывали ряд геометрической прогрессии с числом членов 840. Коэффициент геометрической прогрессии –  $2^{1/24}$ . Опорная частота 27,0 Гц. На выходе каждого полосового фильтра в результате операции суммации выделялись только повторяющиеся события – наличие длительнотекущего диффузного ритма. Длительность эпохи анализа – 160 сек. Она образует один кадр информации. У каждого испытуемого снималось не менее пяти кадров. Такая длительность эпохи анализа значительно превышала период частоты фильтрации самого низкочастотного полосового фильтра. Указанным методом регистрировался длительнотекущий ритмический процесс с измерением структуры амплитуд его частотных составляющих.

Воздействие производилось с помощью катушки индуктивности, изготовленной в виде тора диаметром 80 мм, которая располагалась над головой человека на высоте 20 мм. Катушка могла излучать электромагнитное поле, модулированное частотами в диапазоне от 27 до 0,13 Гц. Шаг изменения частоты –  $2^{1/24}$ . Величина магнитной индукции составляла 1 мТл. Резонансные частоты выбирались из «Сегментарной матрицы» [2]. Исследовалась реакция центральной нервной системы (ЦНС) на воздействие электромагнитного поля (ЭМП), модулированного резонансными частотами и межрезонансными частотами, т.е. частотами, находящимися посередине между двумя соседними резонансными частотами. Вопросы формирования стабильных центральных (резонансных) частот в суммарной электрической активности головного мозга рассмотрены в работе [3].

У испытуемых снимали фоновую магнитоэнцефалограмму, 5 кадров по 160 сек. Исследование проводили в диапазоне частот от 0,13 Гц до 27 Гц. Над головой испытуемых располагали катушку индуктивности. Задавали резонансную частоту воздействия  $f_i$ . Воздействовали 5 мин. Через 10 минут снимали контрольную магнитоэнцефалограмму, 5 кадров по 160 сек. При величине магнитной индукции 1 мТл наблюдали устойчивое изменение амплитуды спектральных компонент, соответствующих частоте воздействия  $f_i$ . Результаты навязывания ритма достоверно повторились у всех испытуемых.

При воздействии на ритмические компоненты электрической активности головного мозга человека слабыми импульсными электромагнитными полями резонансных частот величина магнитной индукции может быть значительно меньше, чем у приборов, основанных на прогревающем эффекте электромагнитного поля. Проводили исследования при следующих значениях магнитной индукции: 100 мкТл, 10 мкТл, 1 мкТл, 0,1 мкТл. Анализировались изменения амплитуд спектральных компонент. Наблюдали устойчивое изменение амплитуды спектральных компонент, соответствующих частоте воздействия  $f_i$ , при значениях магнитной индукции: 100 мкТл, 10 мкТл, 1 мкТл. Изменения амплитуды спектральных компонент, соответствующих частоте воздействия  $f_i$ , при значении магнитной индукции 0,1 мкТл не наблюдалось.

*Вывод.* При воздействии на ритмические компоненты электрической активности головного мозга человека слабым импульсным электромагнитным полем в диапазоне частот от 0,13 Гц до 27,00 Гц при подаче на катушку индуктивности импульсов с резонансной частотой  $f_i$  при значениях магнитной индукции: 100 мкТл, 10 мкТл, 1 мкТл наблюдается устойчивая реакция центральной нервной системы (ЦНС) на частоте воздействия  $f_i$ . Реакция заключается в изменении амплитуды спектральной компоненты МЭГ, соответствующей частоте  $f_i$ .

Проводились исследования по оценке влияния слабых импульсных электромагнитных полей на ритмические компоненты электрической активности головного мозга человек при воздействии импульсным электромагнитным полем с межрезонансными частотами, выбранными из «Сегментарной матрицы».

Теоретически предсказано наличие межрезонансных «темных» промежутков – «дуатов». То есть, между центральными или резонансными частотами, на которых можно провести резонансную стимуляцию мозга, существует узкая полоса, на которой возбудить головной мозг затруднительно.

Исследование явления отсутствия навязывания ритма (возбуждения головного мозга) на межрезонансных частотах, выбранных из «Сегментарной матрицы», производился следующим образом. Регистрировали фоновое состояние мозга. Производили стимуляцию головного мозга импульсным электромагнитным полем. Воздействие производилось межрезонансными частотами в диапазоне от 0,13 до 27,00 Гц при значениях магнитной индукции: 1 мТл, 100 мкТл, 10 мкТл, 1 мкТл. Регистрировали реакцию ритмической активности головного мозга. Анализировались изменения амплитуд спектральных компонент. Изменения амплитуды спектральных компонент, соответствующих частоте воздействия  $f_i$ , не наблюдалось.

Аналогичные результаты получены и на других межрезонансных частотах, например, на частоте воздействия  $(14,725+14,305)/2=14,515$  Гц .

*Вывод.* При воздействии на ритмические компоненты электрической активности головного мозга человека слабым импульсным электромагнитным полем при подаче на катушку индуктивности импульсов межрезонансных частот, т.е. частот, находящихся посередине между двумя соседними резонансными частотами, выбранными из «Сегментарной матрицы», реакции ЦНС не наблюдается.

Анализ полученных результатов показал возможность воздействия слабым импульсным электромагнитным полем в низкочастотном диапазоне от 27 до 0,13 Гц на активирующую систему мозга. Такое воздействие проявляется в виде навязывания длительно текущего диффузного ритма. Было подтверждено наличие резонансных и межрезонансных частот. Таким образом было показано, что на резонансных частотах  $f_i$  мозг обладает высокой резонансной чувствительностью, и достаточно величины магнитной индукции ЭМП порядка 1 мкТл, чтобы навязать мозгу соответствующую частоту. Результаты исследований легли в основу создания программно-аппаратного комплекса для коррекции выра-

женных дисфункций внутренних органов человека с помощью слабых электромагнитных полей, который прошел все стадии регистрации в МЗ и СР РФ [4].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев Ю.А., Шабанов Г.А., Рыбченко А.А. Исследование влияния слабых электромагнитных полей на ритмические компоненты электрической активности головного мозга // Информатика и системы управления. 2010. №2. С. 94-97.

2. Шабанов Г.А., Максимов А.Л., Рыбченко А.А. Функционально-топическая диагностика организма человека на основе анализа ритмической активности головного мозга. Владивосток: Дальнаука, 2011. 206 с.

3. Шабанов Г.А., Лебедев Ю.А., Рыбченко А.А., Максимов А.Л. О формировании стабильных центральных частот в суммарной электрической активности головного мозга // Материалы II всероссийской научно-практической конференции «Количественная ЭЭГ и нейротерапия». СПб, 2009. С. 63.

4. Рыбченко А.А., Лебедев Ю.А., Шабанов Г.А., Короченцев В.И. Программно-аппаратный комплекс для коррекции выраженных дисфункций внутренних органов человека на основе анализа ритмической активности головного мозга // Медицинская техника. 2010. №1. С. 27-30.

УДК 618.21  
М 523

**Г.А. Меркулова, Е.В. Пегова**, канд. биол. наук  
(Научно-исследовательский центр «АРКТИКА» ДВО РАН, Магадан)

### **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ И КОРРЕКЦИИ ЭКСТРАСИСТОЛИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Проведение диагностических и коррегирующих мероприятий с использованием компьютерных технологий ДгКТД-01 и АНКФ-01 у лиц с экстрасистолией позволяет выявлять заболевания на стадии функциональных нарушений и проводить их нормализацию, что способствует ранней профилактике заболеваний сердца

*Ключевые слова:* новые медицинские технологии, экстрасистолия.

Существенным вектором внедрения исследований для сохранения здоровья практически здорового человека является научный поиск новых убедительных моделей исследования здоровья и проведения эффективных коррегирующих мероприятий с использованием автоматизированных информационных систем. В лаборатории экологической нейрокибернетики НИЦ «Арктика» ДВО РАН разработана технология, которая состоит из функционально связанных компьютерных комплексов: диагностического – ДгКТД-01, в котором реализован принцип компьютерной дермографии (КД), и оздоровительного – АНКФ-



01. Основной задачей диагностической системы ДгКТД-01 является интегральная оценка состояния здоровья с анализом базовых функций (F – тоническое состояние различных групп рецепторов внутренних органов) и выделение очага дисфункции или патологической активности в частотной системе сегментарных координат. Основной задачей корректора функционального АНКФ-01 является коррекция этого выделенного очага. Принцип работы АНКФ-01 основан на возможности дистантно (с помощью набора излучателей физических полей) воздействовать на осциллирующие элементы ЦНС, целенаправленно изменяя потенциал возбуждения (торможения) в корково-подкорковых взаимоотношениях [1].

**Цель исследования:** на основе КД-критериев разработать методические подходы к проведению коррекции экстрасистолии с использованием корректора функционального АНКФ-01 (Аппарат-корректор компьютеризованный воздействия низкоинтенсивным электромагнитным полем для нормализации функциональной активности центральной и периферической нервной системы. РУ № ФС 022а2005/2792-06 от 08.02.2006 г.).

Современное отношение к экстрасистолии в целом сводится к следующему: экстрасистолы нередко регистрируются у здоровых и не требуют лечения. В большинстве случаев обусловлены изменениями тонуса вегетативных нервов сердца, вызывающих нарушение его возбудимости. Клинические проявления экстрасистол довольно типичны и состоят в ощущении «замирания» или «толчка» сердца, связанного с усилением постэкстрасистолических сокращений.

Критериями включения пациентов в исследование явились: возрастные ограничения 35-50 лет; наличие типичных при экстрасистолии клинических проявлений без фармакологической коррекции; электрокардиографическое исследование; наличие выраженных дисфункций внутренних органов, относящихся к психосоматическим, пострессовым, хроническим, вялотекущим состояниям, не сопровождающихся выраженными структурными изменениями внутренних органов. Критериями исключения явилось наличие обострения сопутствующих заболеваний, заболевания сердца.

Согласно поставленной цели нами на ДгКТД-01 было проведено обследование 34 человек (средний возраст  $40,5 \pm 4,1$  лет) с установленным диагнозом экстрасистолия, которые в дальнейшем разделены на две группы. В основную группу вошло 23 чел., контрольную составили 11 чел. Основной группе проведена коррекция выявленных выраженных дисфункций на АНКФ-01 в количестве 8-10 сеансов с периодичностью 2 раза в неделю. Контрольная группа не подвергалась дополнительным воздействиям и находилась на мониторинге с обследованием на ДгКТД-01 в течение всего периода исследования.

**Результаты и обсуждение.** После проведения курса коррекции выявленных дисфункций в основной (1) группе во всех случаях отмечалась положительная динамика: улучшение общего самочувствия, настроения, нормализация сна; уменьшение эпизодов экстрасистол, жалоб на «замирание» сердца, сердце-

биение, чувство страха (95,7% – 22 чел.), что было подтверждено при суточном мониторинге ЭКГ. У 1 чел. не отмечалось уменьшение основных жалоб, но отмечалось улучшение общего самочувствия, настроения, нормализация сна. В дальнейшем данный пациент был направлен на углубленное обследование к врачу. Фоновое исследование на ДгКТД-01 в основной и контрольной группах показало, что средние значения вегетативного индекса (ВИ) были сходными (соответственно  $2,32 \pm 0,8$  и  $2,32 \pm 0,6$  усл. ед.) и соответствовали ваготоническому типу вегетативного регулирования. Преобладали лица с ваготонией соответственно 52,2% и 54,5%, с нормотонией – 26,1% и 27,3%, с симпатикотонией – 21,7% и 18,2%. Средние значения группового индекса здоровья (ГИЗ) соответствовали вероятности наличия хронических заболеваний в стадии компенсации и субкомпенсации ( $5,52 \pm 0,3$  и  $5,50 \pm 0,4$  усл. ед.). Преобладало число лиц отнесенных к 3-й группе диспансеризации (ГД) соответственно 56,2% и 54,5%, 2 ГД – 30,4%, и 27,3%; 4 ГД – 13,1% и 18,1%. Средние значения иммунного статуса (ИС) были ниже нормативных значений ( $0,3 \pm 0,09$  и  $0,3 \pm 0,07$  усл. ед.), что свидетельствует о недостаточности функциональной активности иммунной системы.

После коррекции в основной группе установлено, что в среднем значение ВИ соответствует нормотоническому типу вегетативного регулирования ( $3,27 \pm 0,7$  усл. ед.) с увеличением в 2 раза числа лиц с нормотонией (52,2%) и отсутствием лиц с симпатикотонией. Среднее значение ГИЗ соответствовало наличию хронических заболеваний в стадии компенсации, функциональные возможности организма снижены ( $5,0 \pm 0,3$  усл. ед.). Увеличение в 1,3 раза числа лиц 2 ГД (39,1%); в 1,1 раза лиц с 3 ГД (60,9%) и отсутствие лиц 4 ГД установлено за счет перераспределения лиц 3-4 ГД. Среднее значение ИС соответствовало 0,6 усл. ед. (норма). Полученные результаты свидетельствуют о восстановлении адаптационного потенциала и снятии стресса.

При фоновом анализе графиков базовых функций (F) в режиме 1, 4 в шейном 7 и грудных Th 1-2 сегментах спинного мозга (предсердия, желудочки сердца) регистрируется выраженное рассогласование функций распределения тонической активности системы холинорецепторов в пределах физиологического коридора: аномально высокое значение  $F5-2 (L) > 2,0$  усл. ед. (торможение) при значениях в пределах нормы  $F5-2 (R)$ , что свидетельствует о нарушении регуляции холинорецепторов (рис. 1-I). После коррекции на АНКФ-01 в основной группе фиксируется стимуляция активности  $F5-2 (L)$  в пределах физиологического коридора при сохраненных значениях  $F5-2 (R)$ , что выражается графически превышением значений первой упомянутой функции над второй и указывает на нормализацию влияния холинорецепторов в сегментах (рис. 1-II). В контрольной группе по окончании периода исследования по определяемым показателям значимых различий от исходного уровня не зафиксировано (см. рис. 1-I).

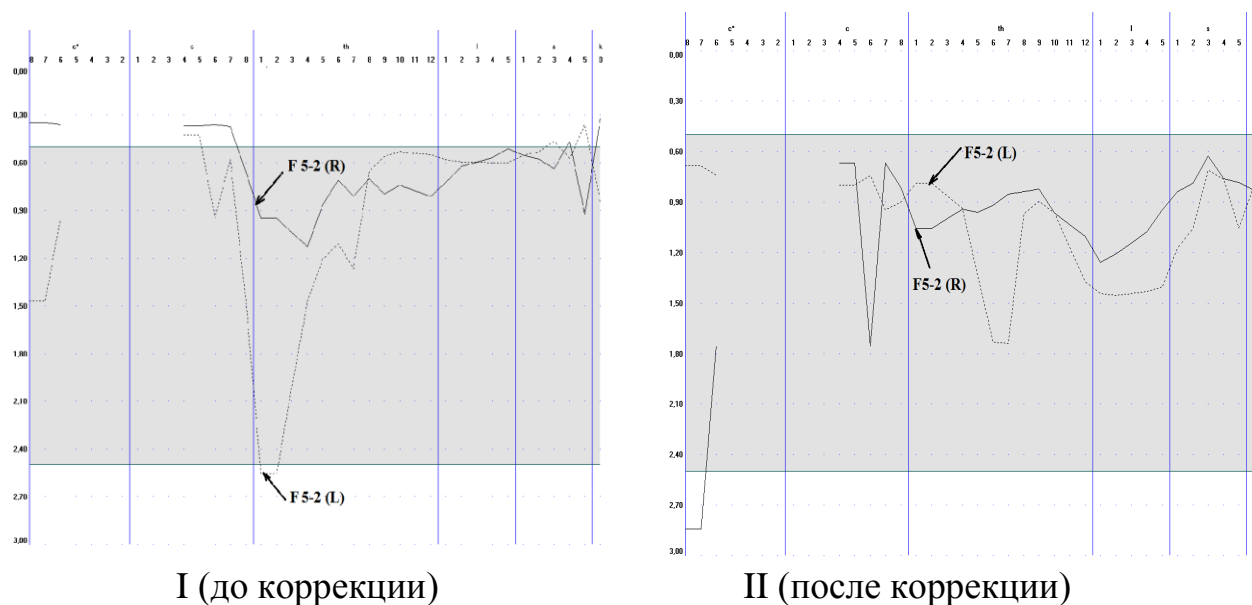


Рис. 1. Вид базовой функции F5-2 (распределение тонической активности холинорецепторов миокарда, где R ветка - сплошная линия, L - пунктирная) в области сегментов С7-Тh2 до коррекции (I), после коррекции (II)

Таким образом, объективно подтвержденные данные клинических исследований показали целесообразность применения замкнутой системы с применением компьютерных технологий ДгКТД-01 и АНКФ-01 у лиц с экстрасистолией, что позволяет выявлять заболевания на стадии функциональных нарушений и проводить их нормализацию, способствуя ранней профилактике заболеваний сердца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шабанов Г. А., Рыбченко А.А., Максимов А.Л. Модель активирующей системы пространственной организации биопотенциалов головного мозга: теоретическое и экспериментальное обоснование // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2005. № 1. С. 49–56.

*E-mail: [neurokib@mail.ru](mailto:neurokib@mail.ru).*

УДК 618.21

**Е.В. Пегова**, канд. биол. наук, **Г.А. Меркулова**  
(Научно-исследовательский центр «АРКТИКА» ДВО РАН, Магадан)

### **НОВЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ И ДИАГНОСТИКЕ ЭКСТРАСИСТОЛИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДгКТД-01**

По анализу данных полученных при обследовании на диагностическом комплексе ДгКТ-01 выявлено специфическое сочетание амплитудно-

конфигурационных особенностей графиков базовых функций, с определенным набором режимов и сегментов, характерных для лиц, страдающих экстрасистолией.

*Ключевые слова:* экстрасистолия, новые медицинские технологии

Нарушение ритма сердца – часто встречающийся в практике синдром, клиническое значение которого выходит далеко за пределы субъективных ощущений сердцебиения, «перебоев» или «замирания» сердца. По данным суточного мониторинга ЭКГ экстрасистолия – самое распространенное нарушение ритма и наблюдается более чем у 60% обследованных. Обычно она развивается у практически здоровых лиц любого возраста, реже при заболеваниях сердца. Приступы провоцируются изменениями тонуса вегетативной нервной системы (симпатикотония) у пациентов с неврозами, переутомлением, при употреблении большого количества тонизирующих напитков. К настоящему времени определены стандарты диагностики экстрасистолии. Диагноз должен быть подтвержден по ЭКГ, по суточному мониторингу ЭКГ, которые занимают значительное время, требуют специальной подготовки пациента. Поэтому поиск альтернативных методов диагностики экстрасистолии актуален. Решение системного подхода к оценке состояния здоровья возможно при использовании в практике здравоохранения медицинских компьютерных технологий, повышающих качество лечебно-диагностической помощи.

Целью нашего исследования явилась разработка методических подходов к диагностике экстрасистолии с использованием диагностического комплекса ДгКТД-01 (Дермограф компьютерный для регистрации и анализа топографии сопротивления кожи постоянному сверхслабому стабилизированному току для топической диагностики внутренних органов человека), в котором реализован принцип компьютерной дермографии. ДгКТД-01, относится к приборам функциональной диагностики (Регистрационное удостоверение №ФС022а2004/0892-04 от 18.11.04 Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и социального развития). Данный комплекс имеет ряд преимуществ перед другими диагностическими комплексами, таких как неинвазивность, безболезненность, отсутствие противопоказаний, безопасность, простота и быстрота обследования. Физиологическая характеристика и медико-биологический смысл получаемых показателей подробно проанализирован в ряде диссертационных работ и научных публикаций [1, 2, 3].

Согласно поставленной цели нами совместно с кардиологами было обследовано 78 человека, средний возраст  $36,6 \pm 4,1$  года, из них 67 женщин и 11 мужчин. В 1-ю группу вошло 33 (42,4%) чел. с установленным диагнозом – экстрасистолия. Во 2-ю – 35 (44,8%) чел. без комплексного клинического обследования с жалобами на периодические приступы аритмии, «замирание» или «остановка» сердца, сопровождающиеся чувством страха. Контрольную группу составили 10 (12,8%) чел., практически здоровые лица без жалоб, при суточном

мониторинге ЭКГ без электрокардиографических признаков экстрасистолии. Критериями включения в 1-ю, 2-ю группы являлись наличие жалоб на периодические приступы аритмии, «замирание» или «остановка» сердца, сопровождающиеся чувством страха и отсутствие фармакологической коррекции состояния. Критериями исключения являлись наличие обострения сопутствующих заболеваний, заболеваний сердца. Верификация данных ДгКТД-01 основывалась на данных ЭКГ и по суточному мониторингу ЭКГ.

При анализе данных диагностического комплекса ДгКТД-01 выявлено, что в 1-й и во 2-й группах во всех случаях выявлены специфические амплитудно-конфигурационные особенности графиков, не встречавшихся в контрольной группе. Эти особенности графиков базовой функции (БФ) 5-2, сочетались с определенным набором режимов (1, 4) и сегментов (7 шейный и 1-2 грудной). Анализ данных показал, что обследуемые 2-й группы составляют один кластер с лицами из 1-й группы с установленной экстрасистолией. Статистически достоверное совпадение набора специфических амплитудно-конфигурационных особенностей базовых функций, режимов и сегментов позволило сделать вывод о возможности развития экстрасистолии у пациентов 2-ой группы, что и было подтверждено при суточном мониторинге ЭКГ.

Таким образом, объективно подтвержденные данные клинических исследований показали целесообразность применения диагностического комплекса ДгКТД-01, как скрининг-теста в диагностике экстрасистолии, являясь дополнительным методом экстренной неинвазивной диагностики, способствуя определению вида и объема лечебно-диагностических мероприятий, сокращению осложненных форм заболевания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев Ю.А., Шабанов Г.А., Рыбченко А.А. Дермограф компьютерный для топической диагностики очагов патологии внутренних органов человека // Медицинская техника. 2007. № 5. С. 37–39.
2. Методика регистрации и анализа данных по оценке индивидуального здоровья с помощью диагностического комплекса ДгКТД-01. Уч-метод. Пособие / А.А. Рыбченко, Шабанов Г.А., Пегова Е.В. [и др.]. Владивосток: Из-во Дальневост. ун-та, 2009. 29 с.
3. Шабанов Г.А., Рыбченко А.А., Максимов А.Л. Разработка системы мониторинга индивидуального здоровья для практически здоровых людей // Вестник ДВО РАН. 2004. № 3. С. 139–154.

*E-mail: [neurokib@mail.ru](mailto:neurokib@mail.ru)*

УДК 681.3:616-071.6:612.216.1

**В.Ф. Ульянычева**, канд. физ.-мат. наук, **Д.С. Огилькин**  
(Амурский государственный университет, Благовещенск)

**Н.В. Ульянычев**, канд. физ.-мат. наук  
(ДНЦ физиологии и патологии дыхания СО РАМН, Благовещенск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ BLUETOOTH ДЛЯ УДАЛЕННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ**

Излагается результат исследования беспроводной технологии Bluetooth для удаленного контроля состояния живых систем.

*Ключевые слова:* Bluetooth, дыхательные шумы, спектральный фурье-анализ, спектральный вейвлет-анализ, вейвлет-фильтрация, фильтрация на основе задержки дыхания.

### **Введение**

В современной диагностической практике врач, используя свои знания, опыт, специальное оборудование, лично выставляет диагноз. Метод аускультации не стал исключением, но в этом методе врач, используя фонендоскоп, прослушивает шумы дыхания, сердцебиения человека, и, полагаясь только на свой слух, делает те или иные выводы. Следовательно, при таком методе обследования есть большая вероятность субъективной ошибки.

Для уменьшения вероятности ошибки была предложена идея создания компьютерного фонендоскопа, который бы одновременно с прослушиванием акустического сигнала врачом преобразовал его в электрический, оцифровывал, а затем сохранял на компьютере в виде аудио файла с целью его дальнейшего анализа, визуализации и прослушивания. Подобное устройство помогло бы не только уменьшить вероятность ошибки при диагностике, но и увеличить количество необходимой и полезной информации, получаемой при обследовании. Кроме этого, появляется возможность проведения долгосрочного мониторинга дыхательных шумов, это позволит упростить и ускорить обнаружения различных заболеваний органов дыхания.

После создания такого устройства было решено создать программный продукт, который выполнял бы следующие функции:

1. Запись сигнала.
2. Визуализация сигнала.
3. Сохранение сигнала на жесткий диск компьютера.
4. Линейная цифровая фильтрация сигнала.
5. Спектральный анализ сигнала на основе фурье-преобразований.
6. Вейвлет-анализ и вейвлет-фильтрация сигнала.

### **Постановка задачи и результаты исследования**

Таким образом, основной целью было исследование беспроводной технологии Bluetooth для удаленного контроля состояния живых систем. Задачи, которые необходимо было решить, состояли в следующем:

- 1) Исследовать методы обработки и анализа сигналов

2) Разработать программный продукт для обработки и анализа дыхательных шумов, обладающий следующими возможностями:

- запись и визуализация дыхательных шумов
- цифровая линейная фильтрация
- спектральный анализ на основе преобразования Фурье
- спектральный анализ и фильтрация на основе вейвлет-преобразований

3) Получить с помощью исследуемого беспроводного устройства данные и обработать их с помощью разработанного программного продукта

4) Исследовать полученные данные на предмет соответствия дыхательным шумам.

На рисунке 1 представлено исследуемое устройство (рисунок слева) и место крепления устройства на теле человека (рисунок справа). Составляющие устройства:

1. Микрофон
2. АЦП
3. Передатчик, использующий технологию Bluetooth 1.2.



Рис. 1 Исследуемое устройство (рисунок слева) и место крепления устройства на теле человека (рисунок справа).

Теоретически, исходя из характеристик устройства, можно сделать вывод о возможности передавать сигнал дыхательные шумов, однако на практике, этого никто не проверял.

Данные получаемые устройством передаются при помощи радиоволн по технологии Bluetooth 1.2. **Bluetooth**— производственная спецификация беспроводных персональных сетей. Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами как персональные компьютеры (настольные, карманные, ноутбуки), мобильные телефоны, принтеры, цифровые фотоаппараты на надёжной, недорогой, повсеместно доступной радиочастоте для ближней связи.

Записываемый исследуемым устройством сигнал сильно зашумлен. Это видно на рисунке 2. Чтобы адекватно оценивать сигнал получаемый устройством, было решено использовать различные методики обработки сигнала. Данные, получаемые от устройства, обрабатывались при помощи фурье-преобразований и вейвлет-преобразований.

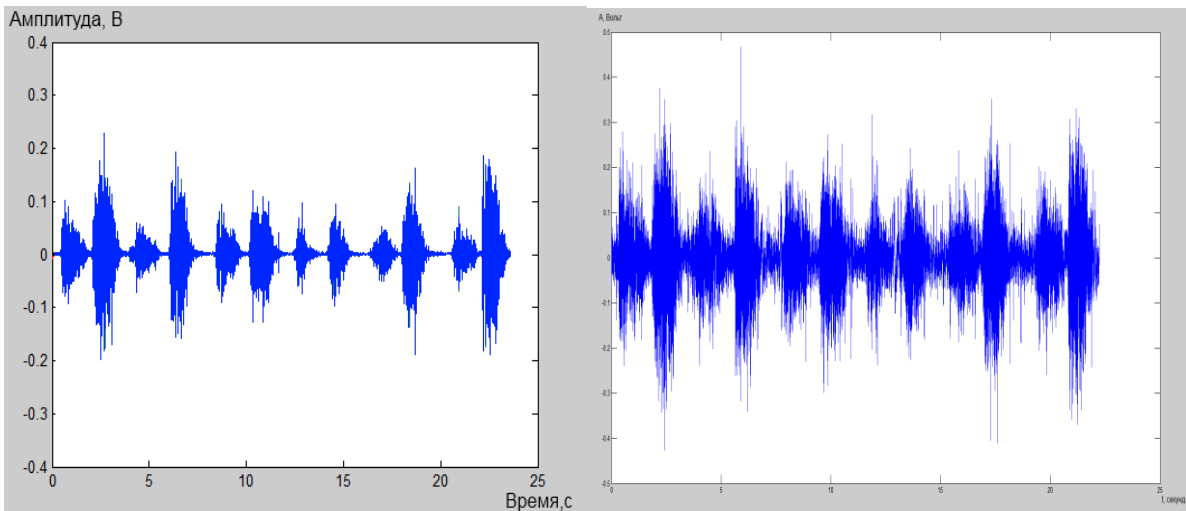


Рис. 2 Сигнал (справа), полученный при помощи исследуемого устройства и дыхательные шумы (слева), записанные на малошумящей аппаратуре (сигнал-эталон).

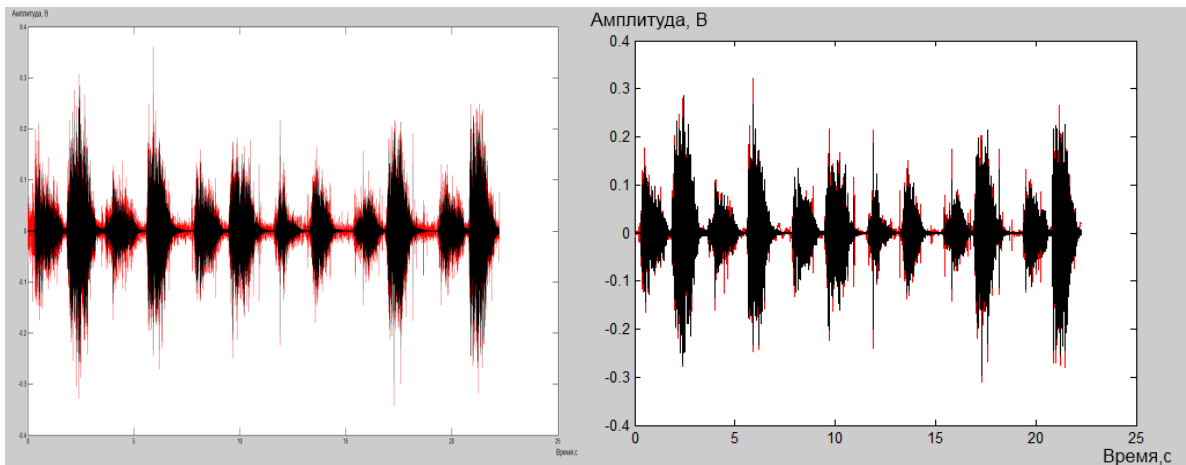


Рис. 3 Сигнал (красный), очищенный от шумов при помощи фильтрации методом задержки дыхания и дыхательные шумы (черный), записанные на малошумящей аппаратуре (сигнал-эталон), и тоже для сигнала после вейвлет-фильтрации

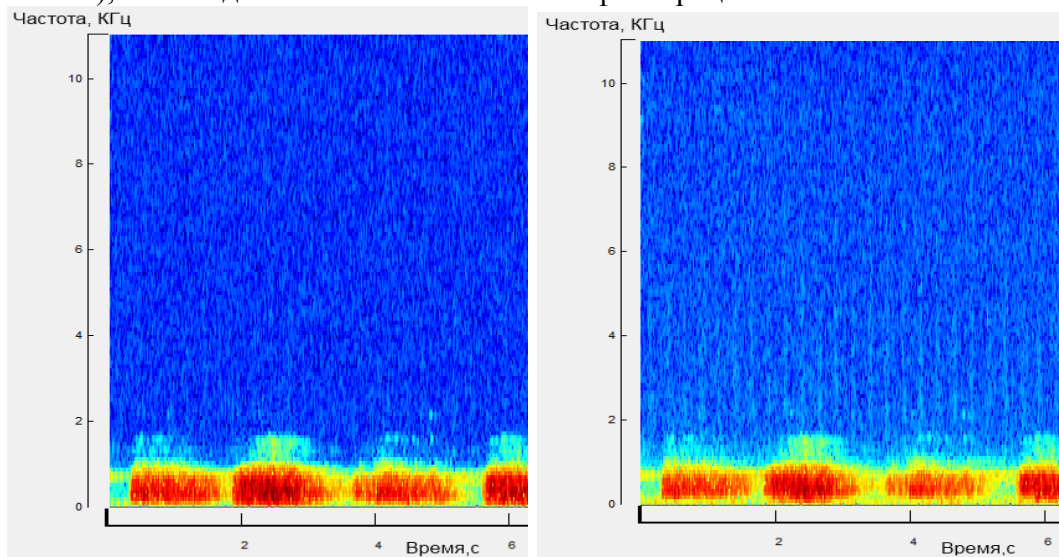


Рис. 4 Спектрограмма сигнала эталона (слева) и исследуемого сигнала (справа) подвергнутого вейвлет-фильтрации



На рисунках 3, 4 представлено сравнение сигнала - эталона и сигналов, прошедших фильтрация двумя разными способами. Коэффициенты взаимной корреляции составляют 0.707 и 0.924 для сигналов, прошедших фильтрацию на основе задержки дыхания и вейвлет-фильтрацию, соответственно.

### Программный продукт «Исследование дыхательных шумов»

«Исследование дыхательных шумов» - программный продукт, позволяющий осуществлять регистрацию дыхательных шумов, а также выполнять анализ и обработку полученных данных. Основные задачи программы – съем данных с АЦП, обработка, отображение на экране монитора, хранение на жестком диске компьютера. Обработка данных включает в себя: фильтрацию сигналов, расчет основных амплитудных и временных параметров сигнала, расчет спектральных характеристик сигналов. На рисунке 5 представлен внешний вид главного окна программы. В верхней части окна располагается главное меню программы. Все действия в программе можно выбрав соответствующий пункт в главном меню.

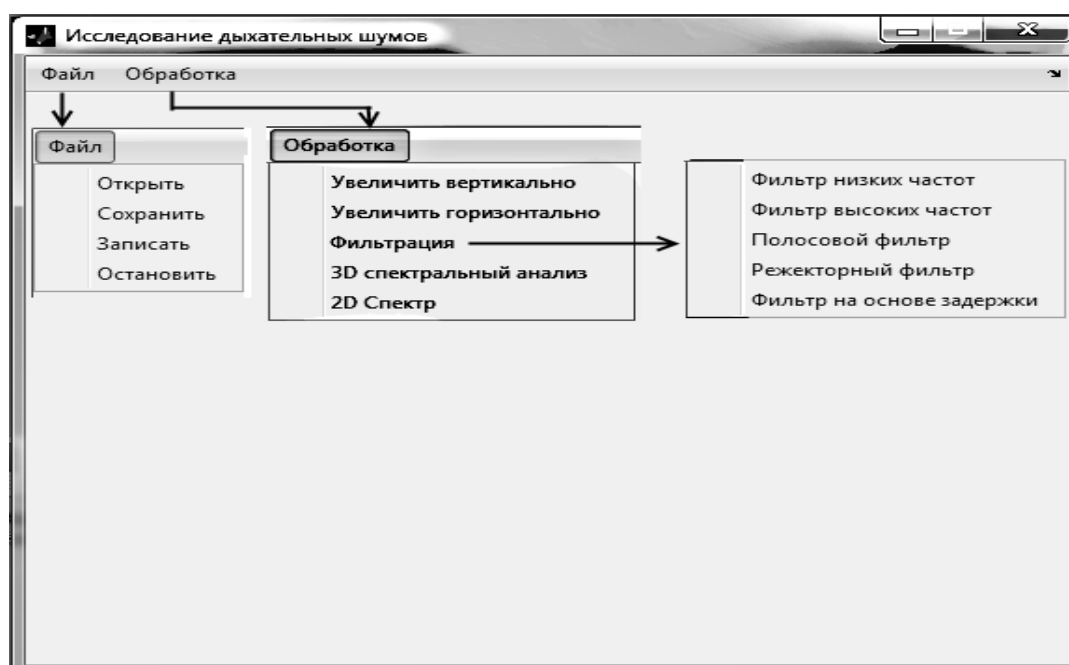


Рис. 5 Главное окно и меню программы.

При выполнении любого действия из меню, кроме действия “сохранить”, появляется новое окно. В зависимости от выбранного действия, в новом окне отображаются требуемые данные.

При выборе действия «записать» появляется небольшое окно с просьбой ввести имя записываемого файла (рис. 6).

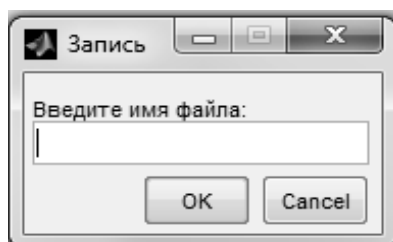


Рис. 6 Окно ввода имени файла.

После ввода имени и нажатии кнопки «ОК» начинается запись сигнала и появляется окно с отображением записываемого сигнала в реальном времени (рис. 7). После нажатия кнопки «остановить» появляется окно с отображением записанного сигнала в амплитудно-временной форме (рисунок 8).

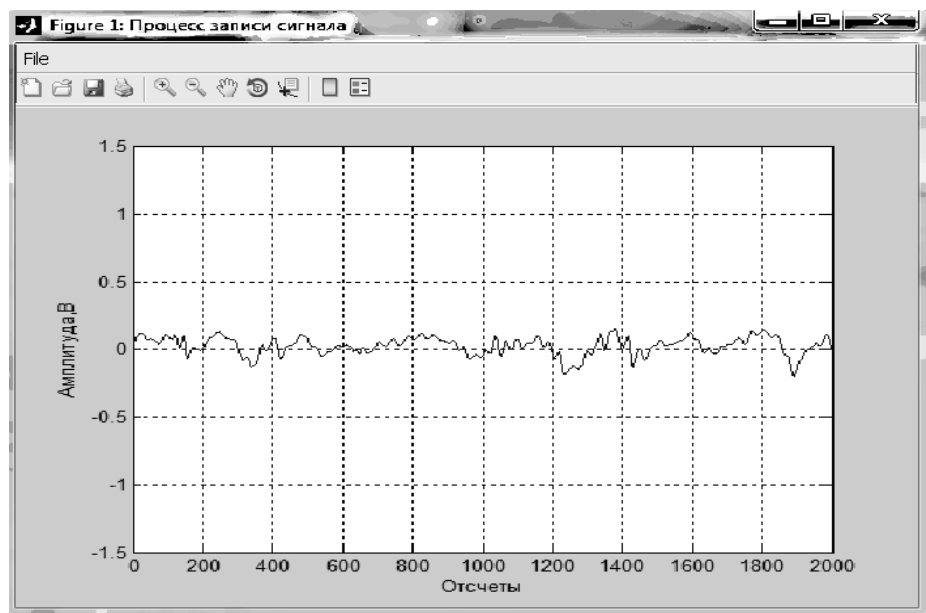


Рис. 7 Окно отображения записи сигнала

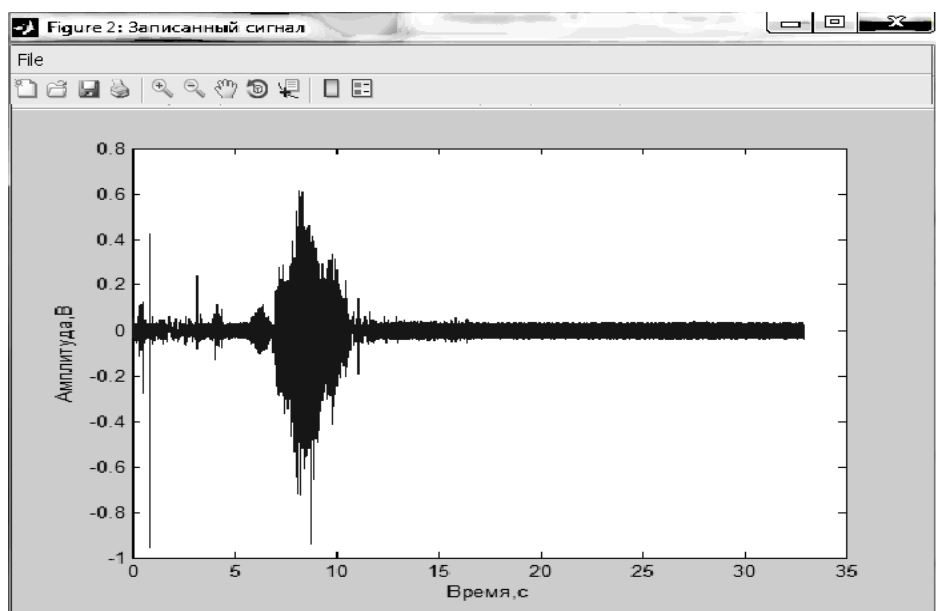


Рис. 8 Окно отображения записанного сигнала

При выполнении действия “3D Спектральный анализ” появляется окно со спектрограммой записанного сигнала (рисунок 9). Для построения спектрограммы используется окно Хемминга.

Программа также может выполнить расчет амплитудно-частотной характеристики сигнала. Для этого соответственно должен быть выбран пункт «2D Спектр». Пример результата представлен на рисунке 10.

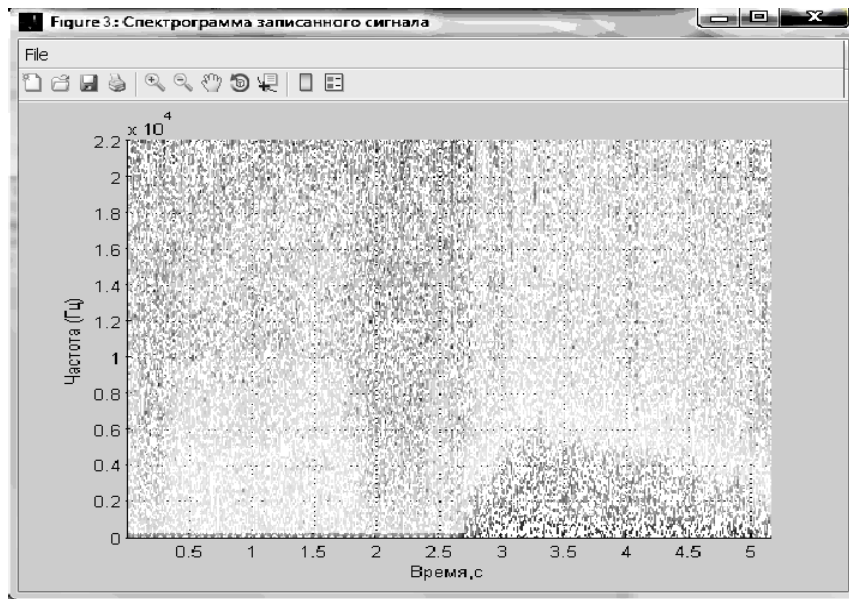


Рис. 9 3D Спектрограмма сигнала

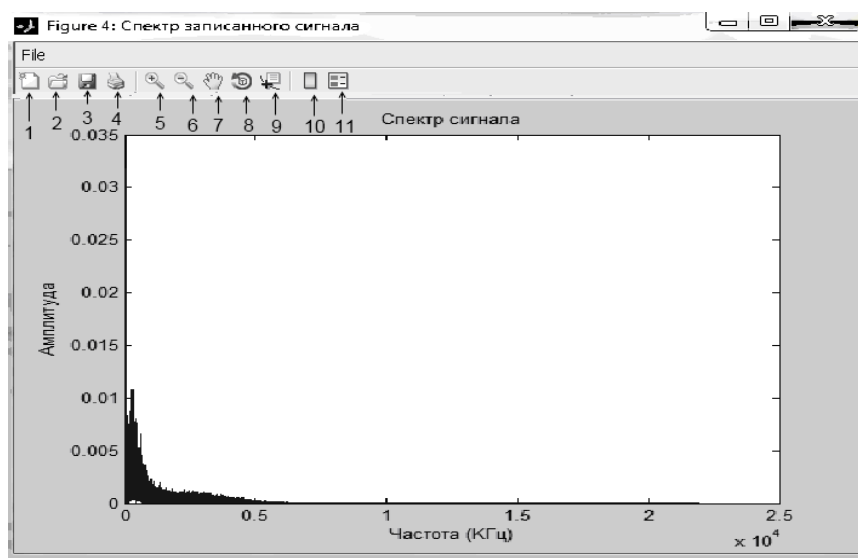


Рис. 10 АЧХ сигнала

На рисунке 10 стрелками обозначены кнопки управления:

1. Открывает новое окно без графика.
2. Открывает выбранное сохраненное окно с графиком.
3. Сохраняет окно с графиком.
4. Печать графика.
5. Увеличить масштаб графика.
6. Уменьшить масштаб графика.
7. Перемещение по графику.
8. Вращение в трехмерном пространстве.
9. Вывод на экран координат выбранной точки графика.
10. Включить/выключить цветовую шкалу (для спектрограммы).
11. Включить/выключить легенду графика.

Фильтрацию сигнала можно осуществить, выбрав один из вариантов в меню «фильтрация». Программа осуществляет алгоритмы низкочастотной, высокочастотной, полосовой, режекторной фильтрации. Фильтрация выполняется фильтрами Баттерворта 3-го порядка. При выборе одного из типов фильтрации, необходимо будет указать частоту среза (рисунок 11), либо полосу пропускания/задержки.

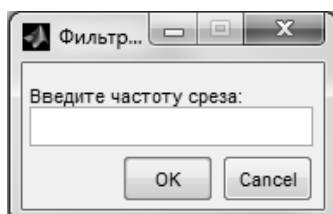


Рис. 11 Окно ввода частоты среза.

Также разработан алгоритм фильтрации основанной на задержке дыхания. Для осуществления фильтрации основанной на задержке дыхания необходимо будет указать часть сигнала, считающуюся шумом (рисунок 12). Это процесс выполняется при помощи мыши. Первым щелчком на графике указывается начало участка содержащего шум. Вторым щелчком указывается конец данного участка. Выделенная часть отличается по цвету (красная (на рисунке серая)). При нажатии любой клавиши происходит обработка сигнала и на экране появляется окно с конечным результатом фильтрации (рисунок 13).

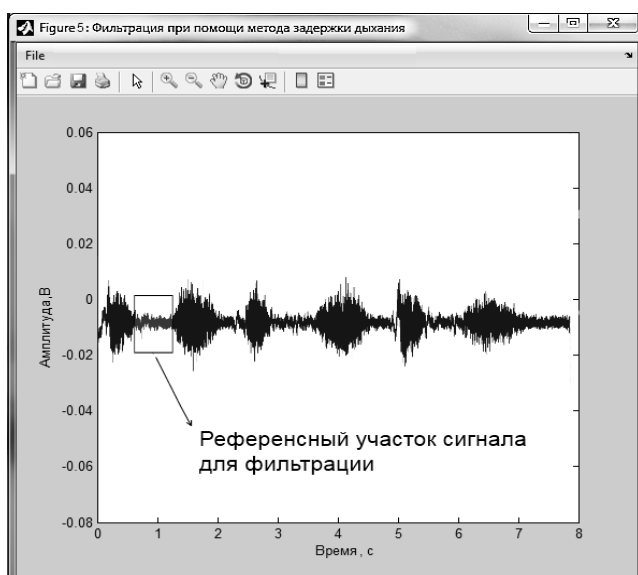


Рис. 12 Выделение шумов в сигнале

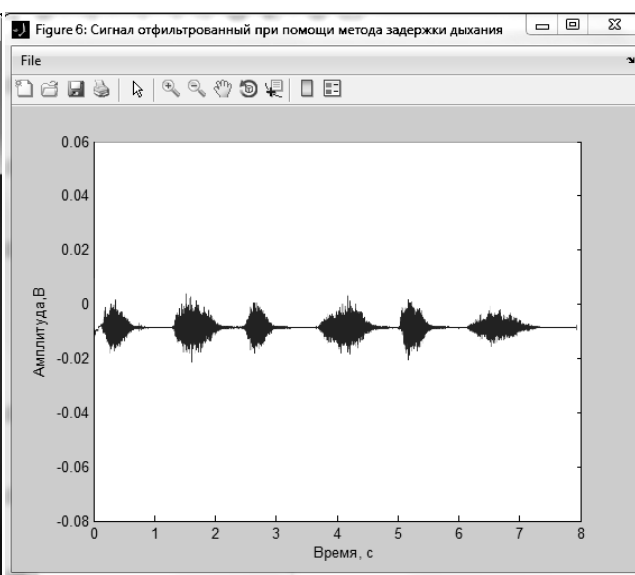


Рис. 13 Окно с конечным результатом фильтрации при помощи метода задержки дыхания

В программе есть возможность выполнить спектральный вейвлет-анализ, построив спектрограмму любого участка сигнала. Могут задаваться следующие параметры вейвлет-анализа: вид «сканирующей» вейвлет-функции, участок сигнала для анализа, шаг по частоте, интервал частот для анализа. На рисунке 14 представлен пример спектрограммы участка дыхательных шумов, построенный при помощи разработанного программного продукта.

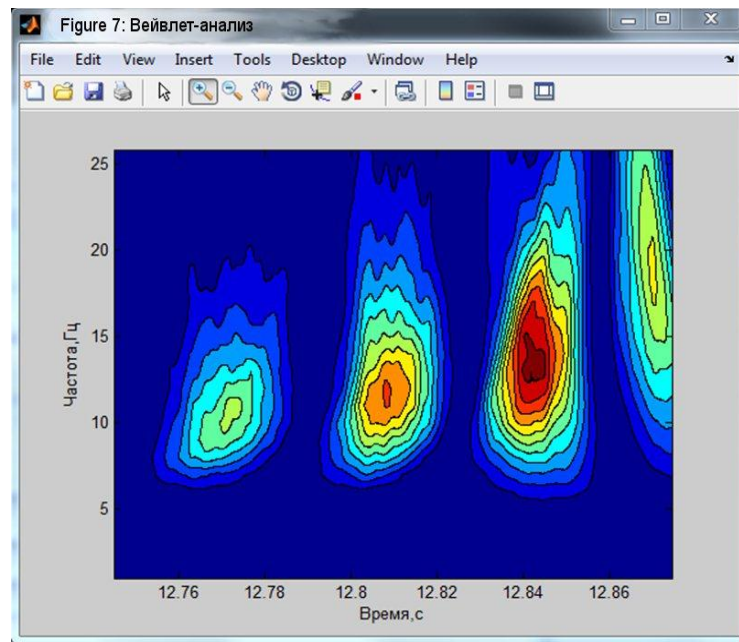


Рис. 14 Окно со спектрограммой небольшого участка исследуемого сигнала

В программе реализована вейвлет-фильтрация, суть её – в ограничении амплитуды коэффициентов на различных уровнях разложения сигнала. Также как и при вейвлет-анализе задается вейвлет-функция, используемая при разложении сигнала. На рис. 15 показан пример вейвлет-фильтрации.

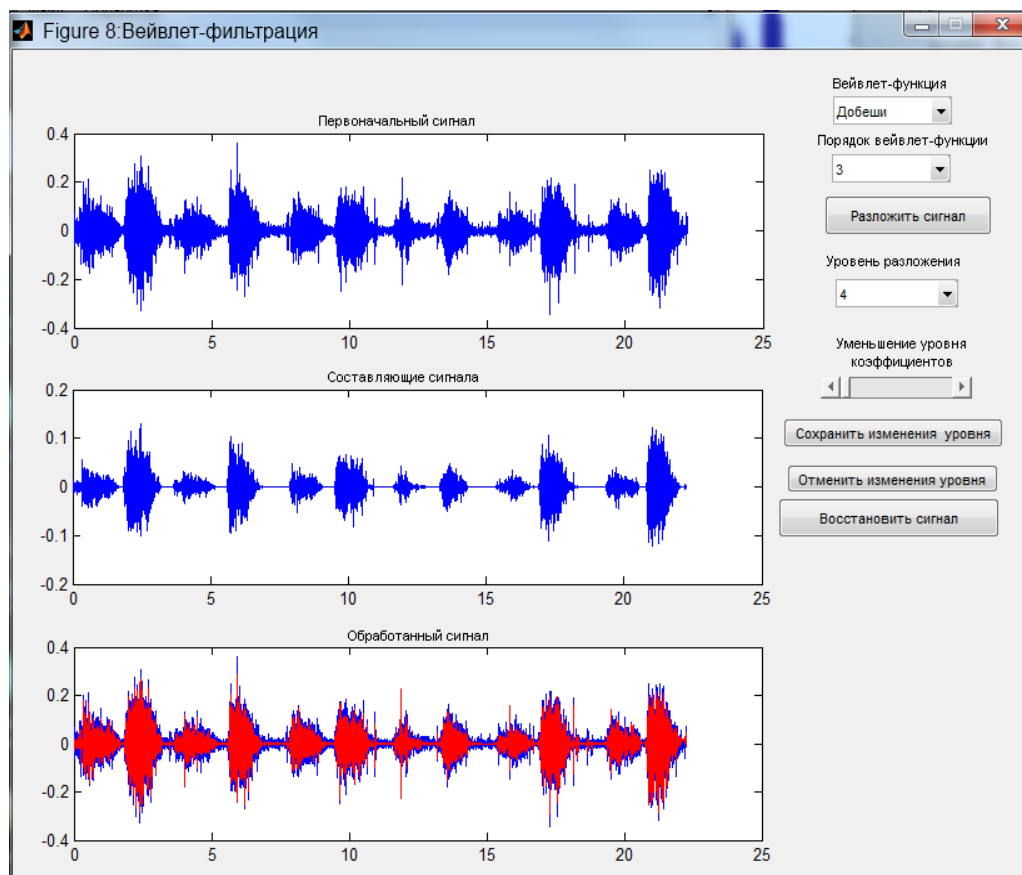


Рис. 15 Пример вейвлет-фильтрации сигнала, выполняемой, в разработанном программном продукте.

### Заключение

В результате можно сделать следующие выводы:

- 1) Исследованы методы обработки и анализа сигналов
- 2) Разработан программный продукт для обработки и анализа дыхательных шумов, обладающий следующими возможностями:
  - запись и визуализация дыхательных шумов
  - цифровая линейная фильтрация
  - спектральный анализ на основе преобразования Фурье
  - спектральный анализ и фильтрация на основе вейвлет-преобразований
- 3) Получены данные с помощью исследуемого беспроводного устройства. Полученные данные обработаны разработанным программным продуктом.
- 4) Исследование полученных данных посредством сравнения формы сигналов, их спектрограмм, отклонений по амплитуде, а также, коэффициента взаимной корреляции показало, что записанный с помощью исследуемого устройства сигнал является дыхательными шумами.

*E-mail: [nikolaj287@gmail.com](mailto:nikolaj287@gmail.com)*

**М.Д. Алёхин**

(Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана)

### **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ БИОРАДИОЛОКАЦИИ И РЕСПИРАТОРНОЙ ПЛЕТИЗМОГРАФИИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТОТЫ ДЫХАНИЯ**

Проводится сравнение методов биорадиолокации и респираторной плетизмографии при параллельной регистрации различных типов дыхательных движений испытуемых и анализируется корреляционное поле зависимости значений частоты дыхания для обоих методов.

**Ключевые слова:** биорадиолокация, респираторная плетизмография, корреляционное поле, частота дыхания.

### Введение

Эффективная регистрация параметров внешнего дыхания является важным аспектом функциональной диагностики и мониторинга жизненно важных показателей [1]. В настоящее время для анализа характера дыхательных движений и связанных с ними изменениями объемов абдоминальной и торакальной компонент дыхательной системы широкое применение получила респираторная плетизмография (РПГ) [2]. Для широкого внедрения новых методов регистра-

ции параметров дыхательной активности в клиническую практику необходима их верификация со стандартными методами исследований. В работе проводится сравнение бесконтактного метода биорадиолокации (БРЛ) [3] и контактного метода РПГ при параллельной регистрации различных типов дыхательных движений испытуемых на основе анализа корреляционного поля [4] зависимости значений частоты дыхания (ЧД), рассчитанных для обоих методов.

### **Проведение эксперимента**

В экспериментах по сравнению БРЛ и РПГ данных принимали участие трое практически здоровых добровольцев, мужчин в возрасте от 22 до 24 лет с ростом от 170 до 176 см весом от 64 до 82 кг без выявленных дыхательных патологий. Исследования проводились на базе Лаборатории физиологии и биомеханики кардиореспираторной системы Института медико-биологических проблем Российской академии наук (ИМБП РАН).

В экспериментах использовался биорадиолокатор БИОРАСКАН [5], работающий в диапазоне операционных частот от 3,6 до 4,0 ГГц с непрерывным сигналом и ступенчатой частотной модуляцией, разработанный в Лаборатории дистанционного зондирования МГТУ им. Н.Э. Баумана. Для сравнения БРЛ с контактным РПГ методом был выбран приборный комплекс «ДЫХАНИЕ-1» [6], разработанный в СКТБ «Биофизприбор». Для регистрации дыхательных движений испытуемых использовались специальные абдоминальный и торакальный пояса с встроенными периметрическими датчиками с конструкцией на основе реостата.

Во время проведения эксперимента по параллельной регистрации БРЛ и РПГ сигналов каждый из испытуемых выполнял различные типы дыхательных движений, соответствующих спокойному дыханию (от 6 до 15 вдохов в минуту) и учащенному дыханию (от 16 до 30 вдохов в минуту).

В процессе дыхания наибольший вклад в формирование БРЛ сигнала вносят колебания кожных покровов в области живота [7]. В дальнейшем сравнивались данные абдоминального поясного периметрического датчика и первой квадратуры биорадиолокатора на операционной частоте 3,6 ГГц.

### **Предварительная обработка экспериментальных данных**

Выполнялась предварительная обработка экспериментальных данных, процедура которой для соответствующих пар реализаций БРЛ и РПГ сигналов (рис. 1) включала следующие основные этапы: ресемплирование и приведение к единой частоте дискретизации (10,0 Гц); сглаживание фильтром скользящего среднего; нормировка и центрирование; синхронизация начал отсчетов.

Таким образом, после проведения предварительной обработки исходных данных эксперимента были сформированы двумерные массивы равномерных центрированных временных рядов с синхронизированными началами отсчетов для последующего корректного построения корреляционного поля зависимости ЧД, зарегистрированной параллельно БРЛ и РПГ методами.

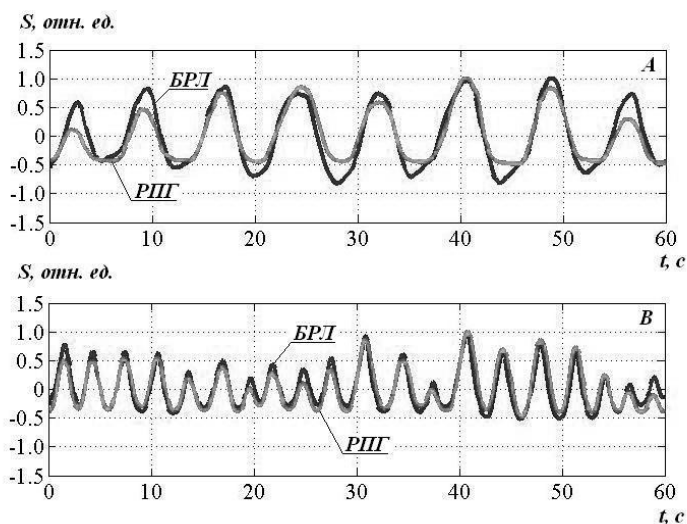


Рис. 1. Характерные формы анализируемых БРЛ и РПГ сигналов (А – спокойное дыхание, В – учащенное дыхание).

### Анализ корреляционного поля зависимости частоты дыхания

Для установления характера зависимости между значениями ЧД, зарегистрированных параллельно БРЛ и РПГ методами, было построено корреляционное поле (Рис. 2). При этом для каждой реализации сигнала ЧД определялась как разность между положениями соседних максимумов, умноженная на частоту дискретизации.

Стоит отметить, что для всех испытуемых оказалось возможным однозначно разделить спокойное дыхание с ЧД в диапазоне от 0,12 Гц до 0,23 Гц и учащенное дыхание с ЧД в диапазоне от 0,27 Гц до 0,48 Гц.

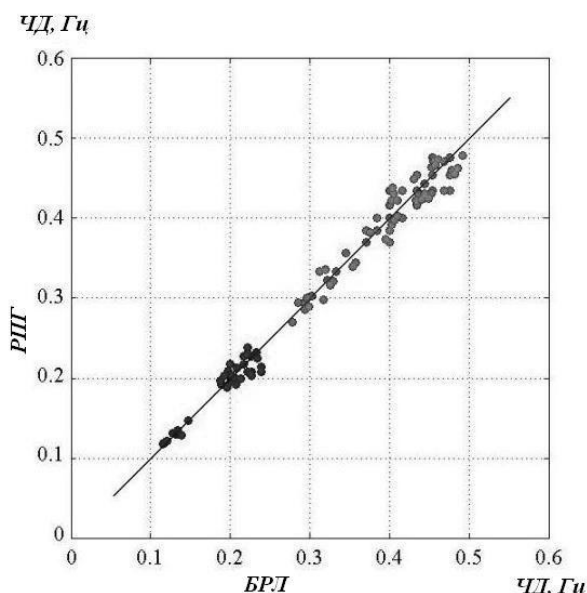


Рис. 2. Корреляционное поле зависимости ЧД, зарегистрированной параллельно БРЛ и РПГ методами для всех пар реализаций соответствующих сигналов.

Анализ построенного корреляционного поля выявил наличие сильной положительной линейной взаимосвязи между значениями ЧД, зарегистрированными параллельно БРЛ и РПГ методами.



## Заключение

Проведенное сравнение данных биорадиолокации и респираторной плевтизмографии при параллельной регистрации различных типов дыхательных движений испытуемых позволяет сделать заключение о высокой степени соответствия значений частот дыхания для обоих методов. Таким образом, биорадиолокация является достоверным и эффективным методом бесконтактного дистанционного мониторинга параметров дыхательной активности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Konno K., Mead J. Measurement of the Separate Volume Changes of Rib Cage and Abdomen During Breathing // Journal of Applied Physiology. 1967. V. 22. P. 407-422.
2. American Sleep Disorders Association Standards of Practice Committee Practice Parameters for the Indications for Polysomnography and Related Procedures. Polysomnography Task Force // Sleep. 1997. V. 20. P. 406-422.
3. Биорадиолокация / под. ред. А.С.Бугаева, С.И.Ивашова, И.Я.Иммореева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 396 с.
4. Бендат Д., Пирсол А. Применения корреляционного и спектрального анализа, пер. с англ. М.: Мир. 1983. 312 с.
5. Анищенко Л.Н., Бугаев А.С., Васильев И.А., Ивашов С.И., Медведев О.С., Парашин В.Б. Использование метода биорадиолокации для оценки двигательной активности лабораторных животных // Радиотехника. 2010. № 2. С. 43–48.
6. Пневмографический способ определения компонентов дыхательных движений: Патент РФ № 2382593 / В.И.Миняев, А.В.Миняева, Р.М.Гречишкин
7. Алёхин М.Д., Анищенко Л.Н., Корчагина Д.А. Метод биорадиолокации в анализе перемещений грудной клетки при спокойном дыхании // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. №10. С. 56-61.

*E-mail: [maksim.alekhin@gmail.com](mailto:maksim.alekhin@gmail.com)*

УДК: 517.98:612.822.3:616-073.7

**В.Ф. Ульянычева**, канд. физ.-мат. наук, **А.А. Яценко**  
(Амурский государственный университет, Благовещенск)

**Н.В. Ульянычев**, канд. физ.-мат. наук  
(ДНЦ физиологии и патологии дыхания СО РАМН, Благовещенск)

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКОГО СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Рассматриваются ритмы, стандарты описания, обозначения и возможность применения вейвлет-анализа для обработки ЭЭГ сигнала.

*Ключевые слова:* ЭЭГ сигнал, нестационарный, вейвлет-анализ.

Электроэнцефалограмма (греч. *enkephalos* — головной мозг) — суммарная электрическая активность множества нейронов головного мозга, регистрируемая с поверхности головы.

ЭЭГ позволяет судить о физиологической активности головного мозга, его функциональном состоянии, наличии очаговых поражений, общемозговых расстройств и их характере. Метод ЭЭГ перспективен и показателен, что позволяет рассматривать его в области диагностики психических расстройств.

Применение математических методов анализа ЭЭГ и внедрение их в практику позволяет автоматизировать и упростить работу врачей. ЭЭГ является составной частью объективных критериев течения исследуемой болезни в общей системе оценок, разработанных для персонального компьютера.

Большинство сигналов медико-биологического происхождения являются нестационарными и имеют сложные частотно-временные характеристики. К таким относится и сигнал ЭЭГ. Для их анализа необходимо использовать метод, обеспечивающий хорошее разрешение и по частоте и по времени. Наиболее результативным для решения этой задачи является вейвлет-анализ.

Вейвлет-анализ представляет собой особый тип линейного преобразования функций из некоторого достаточно широкого класса. Базис собственных функций, по которому проводится разложение, обладает многими специальными свойствами. Правильное применение этих свойств позволяет исследователю сконцентрировать внимание на тех или иных особенностях анализируемого процесса, которые не могут быть выявлены с помощью традиционно применяемых преобразований Фурье и Лапласа.

При проведении ЭЭГ исследования пациента врач-нейрофизиолог обращает особое внимание на выявление характерных признаков (кривые особой формы, частоты и амплитуды), указывающие на патологические отклонения, а также производит выделение основных ритмов ЭЭГ сигнала.

При расшифровке ЭЭГ записи необходимо учитывать влияние артефактов (явлений, не связанных с деятельностью мозга). Такие помехи способны скрывать характерные особенности данных или выдавать себя за них и могут сильно ухудшить результаты исследования. Поэтому рекомендуется очистить данные, прежде чем анализировать их.

Данными для исследования послужили записи ЭЭГ исследования. Частота дискретизации, с которой выполнялась запись, составляет 250 Гц. В качестве материнского вейвлета был использован вейвлет 'db2'. Центральная частота которого 0,6667 Гц. Выбираем фрагмент длительностью 5 сек (1250 отсчетов). Выполним 3-х уровневое вейвлет разложение. Несложно рассчитать, что для третьего уровня частота будет составлять 42,7 Гц. Обнуляем детализирующие коэффициенты. После восстановления сигнал не будет содержать высокочастотных компонент (частота которых выше 42,7 Гц). Это позволяет значительно уменьшить объем информации без потери данных. Этот важный критерий связан с тем, что при ЭЭГ исследовании записывается большое количество информации и для ее обработки требуются большие вычислительные мощности.

На рисунке 1 представлен исходный сигнал и сигнал после обработки.

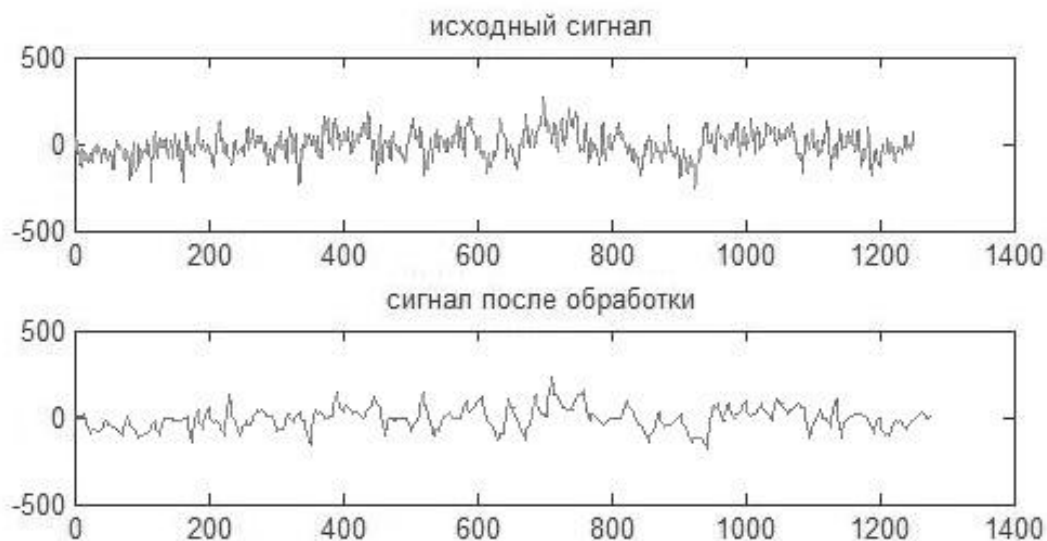


Рис. 1 Исходный сигнал ЭЭГ и сигнал после обработки.

После такой процедуры работа ведется с сигналом не содержащем артефакты.

Достоинство вейвлет-анализа заключается также в способности определить частоту нестационарного сигнала в любой момент времени. На рисунке 2 представлен сигнал и его спектр. Наглядное представление упрощает работу и способствует более точному толкованию ЭЭГ исследования.

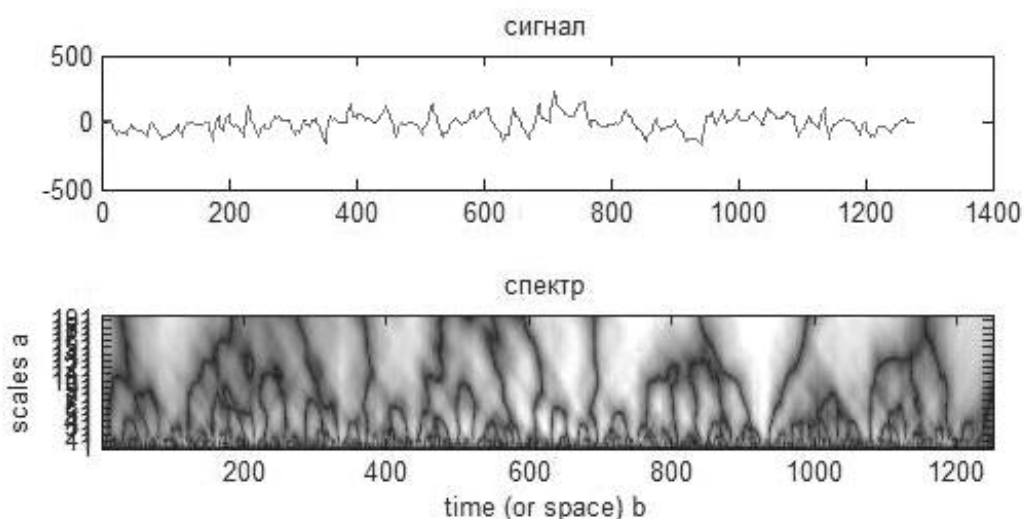


Рис. 2 Сигнал ЭЭГ и его спектр.

На сегодняшний день существует метод обработки ЭЭГ основанный на Фурье преобразовании. Этот метод имеет ряд недостатков. Он не приспособлен для обработки нестационарных сигналов, прежде всего это связано с трудностями по определению частотно-временных характеристик сигнала в определенный момент времени.

По уже приведенным выше соображениям, а также благодаря наличию быстрых и эффективных алгоритмов реализации, вейвлеты представляются

весьма удобным и перспективным механизмом очистки и обработки данных ЭЭГ, исследования поведения спектра ЭЭГ сигнала во времени.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005.

2. Солонина А.И., Арбузов С.М. Основы цифровой обработки сигналов. Моделирование в MATLAB. СПб.: БВХ-Петербург, 2008.

*E-mail: [nikolaj287@gmail.ru](mailto:nikolaj287@gmail.ru)*

**М.Ю. Черняховская**, д-р мед. наук, **Ф.М. Москаленко**, канд. техн. наук  
(Институт автоматизации и процессов управления, Владивосток)

### ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ СИНДРОМОВ ЗАБОЛЕВАНИЯ «ХРОНИЧЕСКИЙ ПАНКРЕАТИТ»<sup>4</sup>

Проведен системный анализ описания заболевания хронически панкреатит. На основе онтологии медицинской диагностики, проведено формальное описание синдромов при данном заболевании.

*Ключевые слова:* база синдромов, группа синдромов, описание синдрома, наблюдение, модальность, медицинская диагностика.

Проведен системный анализ заболевания «хронический панкреатит», выделены основные объекты, их отношения и их содержание. В терминах онтологии медицинской диагностики [1] описываются проявления заболеваний хронического панкреатита.

Разработка фондов компьютерных знаний, включающая формальное представление синдромов заболевания хронический панкреатит, является продолжением работ по накоплению и совершенствованию современных медицинских знаний.

Целью настоящей работы является формальное описание (на основе онтологии [1]) клинических проявлений синдромов при заболевании хронический панкреатит.

Наличие у пациента некоторого синдрома определяется проявлением нескольких клинических проявлений наблюдений или наличием не менее одного из синдромов.

Описание синдромов заболевания включает описание клинической картины (жалоб, объективного исследования больного). Клиническая картина заболевания состоит из описаний различных клинических проявлений синдромов, характеризующихся модальностью. Модальность "необходимость" в тексте обо-

---

<sup>4</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11-07-00460-а) и ДВО РАН (проект 12-1-П15-03).

значена (Н), "возможность" – (В) [2].

Группа синдромов *жалобы* описывается следующими синдромами:

1. *Синдром внешнесекреторной недостаточности.*

1.1. *Синдром мальабсорбции.*

1.2. *Синдром белково-энергетической недостаточности.*

1.2.1. *Синдром дефицита жирорастворимых витаминов и микроэлементов.*

1.2.2. *Синдром дефицита витаминов и микроэлементов.*

2. *Синдром эндокринных нарушений.*

2.1. *Синдром вторичного сахарного диабета.*

2.2. *Синдром приступы гиперинсулинизма.*

3. *Диспептический синдром.*

Группа синдромов *данные объективного исследования* описывается следующими синдромами:

4. *Синдром, связанный с «уклонением» ферментов в кровь.*

5. *Инттоксикационный синдром.*

1. *Синдром внешнесекреторной недостаточности* описывается следующим синдромом: *синдром мальабсорбции, синдром белково-энергетической недостаточности.*

1.1. *Синдром малабсорбции* описывается следующим наблюдениями (группа наблюдения *жалобы*): *гипотония, депрессия, нарушение половой функции, нарушение психики, слабость, снижение работоспособности, сонливость, утомляемость.* Каждое из перечисленных наблюдений входит в клиническую картину с модальностью *возможность (В).*

1.2. *Синдром белково-энергетической недостаточности* описывается следующим синдромом: *синдром дефицита жирорастворимых витаминов и синдром дефицита витаминов и микроэлементов.*

1.2.1. *Синдром дефицита жирорастворимых витаминов* описывается следующим наблюдениями (группа наблюдения *жалобы*): *дефицит витамина А, дефицит витамина Д, дефицит витамина К.*

*Дефицит витамина А*

описывается следующими характеристиками:

Присутствие (В) – имеется.

Проявление (В) – нарушение адаптации глаз в темноте, сухая кожа, обезжиренная кожа, «жабья кожа» (грубая шероховатость).

Локализация (В) – на ягодицах, бедрах, разгибательных поверхностях рук и ног, в области коленей и локтей.

...

1.2.2. *Синдром дефицита витаминов и микроэлементов* описывается следующим наблюдениями (группа наблюдения *жалобы*): *дефицит витамина В<sub>2</sub>, В<sub>12</sub>, дефицит витамина С, дефицит железа, дефицит магния, кальция, калия, дефицит цинка.*

*Дефицит витамина В<sub>2</sub>, В<sub>12</sub>*

описывается следующими характеристиками

Присутствие (В) – имеется.

Проявление (В) – заеда, глоссит, периферическая нейропатия (боль, онемение, снижение чувствительности).

*Дефицит магния, кальция, калия*

описывается следующими характеристиками

Присутствие (В) – имеется.

Проявление (В) – аллергия на кистях, аллергия на стопах, экзема на кистях, экзема на стопах, периферические парестезии, судороги пальцев рук, судороги пальцев ног.

2. *Синдром эндокринных нарушений* описывается следующими синдромами: *синдром вторичного сахарного диабета, синдром приступа гиперинсулинизма.*

2.1. *Синдром вторичного сахарного диабета* описывается следующим наблюдениями (группа наблюдения *жалобы*): *кожный зуд, полидипсия, полиурия, полифагия.* Каждое из перечисленных наблюдений входит в клиническую картину с модальностью *возможность (В).*

2.2. *Синдром приступа гиперинсулинизма* описывается следующим наблюдениями (группа наблюдения *жалобы*): *возбуждение, дрожь во всем теле, нарушение работы органов зрения (диплопия), парестезии, расстройство сознания, слабость, судороги, холодный пот, чувство голода.* Каждое из перечисленных наблюдений входит в клиническую картину с модальностью *возможность (В).*

3. *Диспептический синдром* описывается следующими наблюдениями: *диарея, изжога, метеоризм, отрыжка, поносы, сменяющиеся запорами, рвота, снижение массы тела, тошнота.*

*Снижение массы тела*

описывается следующими характеристиками

Присутствие (В) – имеется.

Периодичность снижения (В) – периодически, постоянно.

Значения (В) – 10-20% за период -6 мес, меньше 10% за -6 мес.

Причины похудения (В) – боязнь приема пищи (ситофобия), отсутствие аппетита, редуцированные диеты (ограничение жиров и углеводов).

4. *Синдром, связанный с «уклонением» ферментов в кровь* (группа наблюдений *данные объективного исследования*): *симптом Грея-Тернера, симптом Грюнвальда, симптом Гюльзова, симптом Дэвиса, симптом Куллена, симптом Лагерлефа, симптом Мондора, симптом Тужилина, симптом Турнера, симптом Холстеда, цианоз.*

*Симптом Грея-Тернера*

(В) – имеется (участки цианоза на боковой поверхности живота).

*Симптом Дэвиса*

(В) – имеется (цианоз на передней брюшной стенке и петехии на ягодицах).

*Симптом Холстед*

(В) – имеется (участки цианоза на передней брюшной стенке).

### *Цианоз*

описывается следующими характеристиками

Присутствие (В) – имеется.

Проявления (В) – общий (все тело).

5. *Интоксикационный синдром* описывается следующими наблюдениями:

### ЛИТЕРАТУРА

1. Клещёв А.С., Москаленко Ф.М., Черняховская М.Ю. Модель онтологии предметной области «Медицинская диагностика». Часть 1. Неформальное описание и определение базовых терминов // НТИ. Сер. 2. 2005. №.12. С.1-7.

2. Формальное представление знаний о заболевании хронический панкреатит. ИАПУ ДВО РАН, 2012. 32с.

*E-mail: [chernyah@iacp.dvo.ru](mailto:chernyah@iacp.dvo.ru), [philipmm@iacp.dvo.ru](mailto:philipmm@iacp.dvo.ru)*

**А.В. Бушманов**, канд. техн. наук, **О.Н. Вакуленко**  
(Амурский государственный университет, Благовещенск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ТРАБЕУКУЛ НА ПРОЧНОСТЬ КОСТНОЙ ТКАНИ**

В работе представлен результат измерения формы трабекул на распиле проксимальной части бедренной кости.

*Ключевые слова:* трабекулярная ориентация, кортикальная порозность.

Снижение плотности кости с возрастом приводит к повышению риска переломов, таких как предплечье, позвоночник, бедро. Риск перелома бедра возрастает в 13 раз в 80 лет по сравнению с 60-летним возрастом [1]. Это повышение риска переломов прочно связано с изнашиванием механической прочности кости. Известно, что прочность кости характеризуется как структурными, так и внутренними физическими свойствами костной ткани. Под структурными свойствами подразумевают размер, геометрию и микроструктурные характеристики (трабекулярная ориентация и кортикальная порозность) кости. То, что геометрия кости оказывает влияние на риск переломов, нашло подтверждение и в ретроспективных исследованиях, показавших взаимосвязь между размером и формой кости и переломами, особенно это касается проксимального отдела бедра, где вследствие эндокортикальной резорбции происходит истончение кортикальной пластинки, которое ведет к изменениям геометрических параметров кости [2, 3].

В качестве объекта исследования был выбран продольный разрез проксимальной части бедренной кости рис.1. Для этого исследуемый объект был разделен на три зоны по пористости трабекул.

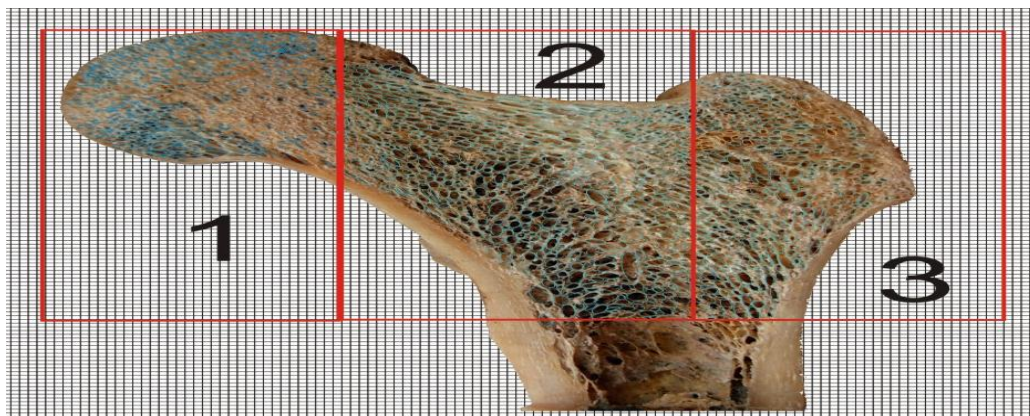


Рис.1. продольный разрез бедренной кости человека.

В результате проведенной работы рассчитаны площадь каждой зоны и количество трабекул на ней. Выявлено, что на зону 2, приходится наибольшая площадь и размер трабекул представленной в табл.1, а их пористость способствует риску переломов в этой области.

Таблица 1

Срез проксимальной части бедра	Количество трабекул, шт.	Площадь среза, мм <sup>2</sup>	Площадь трабекул, мм <sup>2</sup>
зона 1	697	957,9903915	419,056692
зона 2	665	2212,244695	2184,571344
зона 3	336	1181,651	991,9154739

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bone density and risk of hip fracture in men and women: cross sectional analysis / C.E. De Laet [et al.] // BMJ. 1997. Vol. 315. P. 221-225.
2. Proximal femur geometry to detect and distinguish femoral neck fractures from trochanteric fractures in postmenopausal women / S.Gnudi [et al.]. // Osteoporosis Int. 2002. № 13. С. 69-73.
3. Intracapsular hip fracture and the region-specific loss of cortical bone: analysis by peripheral quantitative computed tomography / N. Crabtree [et al.] // J.Bone Miner Res. 2001. № 16. 1318-1328.

*E-mail: [irina.362002@mail.ru](mailto:irina.362002@mail.ru)*

**А.В. Воронцов, А.В. Бушманов**, канд. техн. наук  
(Амурский государственный университет, Благовещенск)

#### **ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА НЕЁ НАГРУЗКЕ**

В данном исследовании представлена модель костной ткани, в которой отражены важные механические и биологические процессы. Результаты имитаци-



онного моделирования соответствуют экспериментальным данным, и хорошо согласуются с результатами известных в этой области работ, вследствие чего представленная модель может быть полезна для исследования механизма усталостного повреждения и как следствие – причины усталостного перелома.

*Ключевые слова:* кость, нагрузка, перелом, моделирование, ремоделирование, усталостный перелом, остеокласт, остеобласт, повреждение, модуль упругости, пористость.

**A.V.Vorontsov, A.V.Bushmanov, Ph.d.**

(Amur State University)

### **STUDY OF CHANGES IN BONE DENSITY AT THE CURRENT LOAD**

In this study, we represent a constitutive model for bone remodeling which includes a number of relevant mechanical and biological processes. These results bear some correspondence to experimental findings and to other studies, suggesting that the model may be useful for investigating the role fatigue damage removal plays in preventing or causing stress fractures.

*Keywords:* bone, load, fracture, modeling, remodeling, fatigue damage, osteoclast, osteoblast, damage, elastic modulus, porosity.

Кость – это исключительная материя, которая в основном состоит из несущей матрицы из кальция. Достоинство этой кальцификации в том, что кость вдвое плотнее, чем обычная мягкая материя. Следовательно, инерциальная структура кости должна быть приспособлена для контролирования веса скелета, пока поддерживается необходимая сила. Костная материя, которая недостаточно нагружена, удаляется при реконструкции. Поддержание относительно высокой скелетной нагрузки, означает, что кость также субъект для накопления усталостного микроповреждения. Вторая функция реконструкции – удаление этого повреждения, предупреждая возможное усталостное разрушение. В самом деле, в результате экспериментов видно, что реконструкция активируется отсутствием нагрузки, и усталостным микроповреждением, так же хорошо, как и химическими факторами, такими как нехватка эстрогена.

**Целью исследования** является изучение изменения пористости, минеральной плотности кости и микроповреждений при изменяющихся значениях механических напряжений и при меняющихся значениях количества циклов нагрузки в день. Изменения значений напряжений и циклов нагрузки приводит к изменению давления на костную ткань.

**Постановка задачи.** Исходя из известных значений частоты нагрузки, начального повреждения, иницируемой частоты активации, механических напряжений, необходимо определить изменение пористости, минеральной плотности и повреждение костной ткани в зависимости от величины действующего на неё механического напряжения, а также от изменения количества циклов нагрузки.

Для решения задачи используем математическую модель, основанную на системе из двух дифференциальных уравнений первого порядка. Система описывает изменение пористости и повреждения. Минеральную плотность определяем из полученных результатов пористости костной ткани.

**Определение отношения между пористостью, плотностью и модулем упругости**

Модель костной ткани представим в виде балки, т.е. небольшого участка вырезанного из кости. Важным компонентом данной модели является отношение модуля упругости участка кости ( $E$ ), к его пористости ( $p$ ), получающейся в результате разрушения и повторного построения базового клеточного модуля (VMU). Принимая линейные соотношения между условной плотностью ( $\rho$ ) и пористостью (для  $p=0, \rho=2.0$  г/см<sup>3</sup>; для  $p=1, \rho=0$  г/см<sup>3</sup>), имеем

$$A = (0.83 \cdot 10^5) p^6 - (2.99 \cdot 10^6) p^5 + (3.99 \cdot 10^6) p^4 - (2.64 \cdot 10^6) p^3,$$

$$B = (9.08 \times 10^5) p^2 - (1.68 \cdot 10^5) p + (2.37 \cdot 10^4),$$

$$E_0 = A + B \tag{1}$$

$$E = E_0 \times (1 - p)^b \tag{2}$$

где  $b = 1,33$ .

Минеральную плотность кости (BMD) вычисляем используя следующее выражение

$$BMD = \rho \times (1 - p) \tag{3}$$

Напряжение определяем используя закона Гука:

$$\varepsilon = \sigma / E \tag{4}$$

Определение пористости костной ткани под действием нагрузки

Как было предложено в исследовании [1] и в исследовании [2], функция

изменения пористости,  $P$ , была принята как зависимость от резорбции кости ( $Q_R$ ) и реконструкции ( $Q_F$ ), а также плотности резорбции ( $N_R$ ) и реконструкции ( $N_F$ ) для каждой VMU.

$$P = Q_R N_R - Q_F N_F \tag{5}$$

Здесь ресорбция ( $Q_R = A/T_R$ ) и пере заполнение ( $Q_F = A/T_F$ ), были приняты линейными во времени,  $A$  означает площадь кости, резорбированной каждой VMU.  $T_R$  и  $T_F$  периоды резорбции и пере заполнения соответственно. В трабекулярной части кости VMU резорбирует и пере заполняет борозды лучше, чем туннели, но процесс аналогичен, и  $A$  было принято одинаковым для кортикальной и трубчатой части кости.

Совокупность значений  $N_R$  и  $N_F$  находятся интегрированием по временным интервалам резорбции ( $T_R$ ) и неактивности ( $T_I$ ), частоты активации VMU ( $f_a$ ). Для костной ткани,  $T_R$  определяется как период с момента вхождения в участок остеокласта резорбирующей VMU, до момента прекращения резорбции на участке. Период реверсирования или неактивности ( $T_I$ ), выделяем как период времени перехода от остеокластической к остеобластической активности. Остеобласты VMU формируют кость в течение периода реконструкции ( $T_F$ ). Плот-

ность резорбции ( $N_R$ ) находится интегрированием по интервалу от  $(t - T_R)$  до  $t$ , где  $t$  настоящее время

$$N_R = \int_{t-T_R}^t f_a(t') dt' \quad (6)$$

Плотность ( $N_F$ ) находится интегрированием по периоду реконструкции, т.е. время от  $t - (T_R + T_I + T_F)$  до  $t - (T_R + T_I)$

$$N_F = \int_{t-(T_R+T_I+T_F)}^{t-(T_R+T_I)} f_a(t') dt' \quad (7)$$

**Расчёт частоты активации базового многоклеточного модуля.**

Частота активации базового многоклеточного модуля  $f_a$  (ВМУ/площадь/время), может быть принята в виде функции при отсутствии нагрузки или в виде функции с существующей нагрузкой. Учитывая, что клетка ВМУ в начальный период должна располагаться на поверхности кости, частота активации была принята как функция изменения площади поверхности кости. Учитывая диапазон пористости в пределах от 0 до 1, удельную поверхность кости ( $S_A$ ) определяли используя соотношение [3]

$$S_A = S_p(1 - p) \quad (8)$$

Частота активации базового многоклеточного модуля при реконструкции на большом участке поверхности запишется как,

$$f_a = (f_{a(disuse)} + f_{a(damage)}) S_A \quad (9)$$

где  $f_{a(disuse)}$  и  $f_{a(damage)}$  представляют параметры влияния на  $f_a$  в состояниях отсутствия нагрузки и ее действия соответственно.

**Определение величины возрастания усталостного повреждения костной ткани**

Повреждение костной ткани ( $D$ ) рассматривается как трещина на площади поверхности кости.

Согласно исследованию [4], величина возрастания усталостного напряжения записывается как,

$$\dot{D} = \dot{D}_F - \dot{D}_R \quad (10)$$

где  $\dot{D}_F$  и  $\dot{D}_R$  – величины образования и удаления усталостного напряжения.

Образование усталостного напряжения ( $\dot{D}_F$ ) вычисляется как произведение диапазона нагрузки ( $s$ , напряжение,  $\mu\epsilon$ ), на силу и частоту нагрузки ( $R_L$ , циклов на единицу времени), просуммированных  $n$  раз по количеству дискретных состояний нагрузки

$$\dot{D}_F = k_D \sum_{i=1}^n s_i^q R_{Li} = k_D \Phi \quad (11)$$

где  $\Phi$  – определяется как механическая нагрузка;

$k_D$  – коэффициент степени повреждения.

Основываясь на результатах полученных в 1988 году [5], значение для экспоненты  $q$  было принято равным 4. Циклическая нагрузка была принята  $n = 1$ . Частота нагрузки ( $R_L$ ), принята 3000 циклов в день, для анализа также были использованы значения 1500 и 4500 циклов в день.

**Результаты моделирования.** При стандартных значениях механических напряжений,  $\Phi_0 = 1.875 \times 10^{-10}$ , и значении  $R_L = 3000$  циклов в день, получаем зависимости для пористости, минеральной плотности и повреждения изображённые на рисунках (рисунок 1 (а), рисунок 2 (а)).

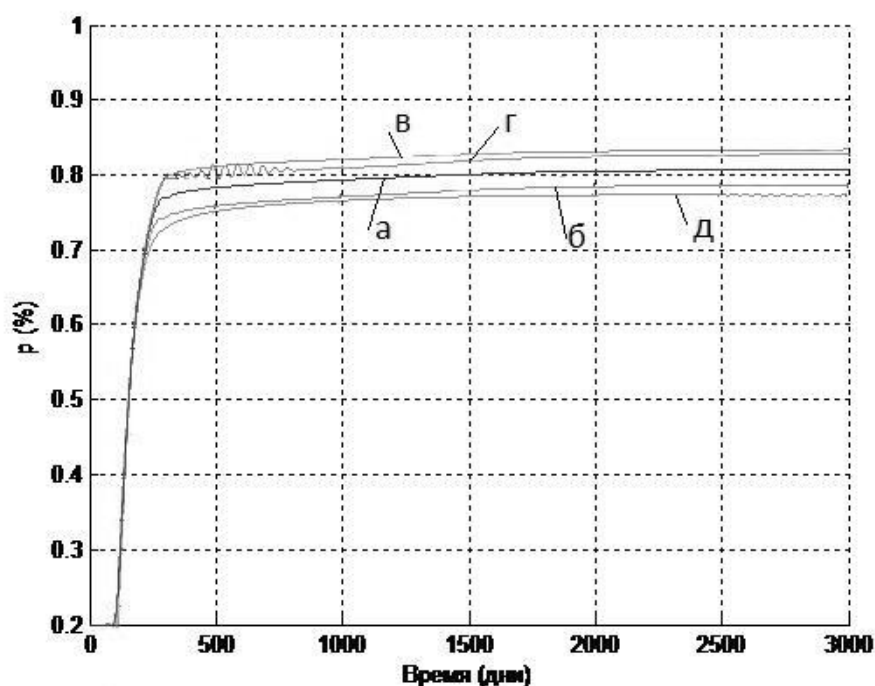


Рис. 1. Зависимость пористости от времени.

При увеличении циклов нагрузки до  $R_L = 4500$ , оставляя механические напряжения равными  $\Phi_0 = 1.875 \times 10^{-10}$ , получим графики, отображённые на рисунках (рисунок 1 (б), рисунок 2 (б)).

Получим графики для пористости, минеральной плотности кости и повреждения при уменьшении значения циклов нагрузки до  $R_L = 1500$  (рисунок 1 (в), рисунок 2 (в)).

Увеличим механические напряжения до  $\Phi_0 = 3.75 \times 10^{-10}$  при  $R_L = 3000$  срд. (рисунок 1 (г), рисунок 2 (г)).

Уменьшим механические напряжения до  $\Phi_0 = 9.375 \times 10^{-11}$  при  $R_L = 3000$  срд (рисунок 1 (д), рисунок 2 (д)).

График минеральной плотности кости от времени обратно пропорционален графику зависимости пористости от времени.

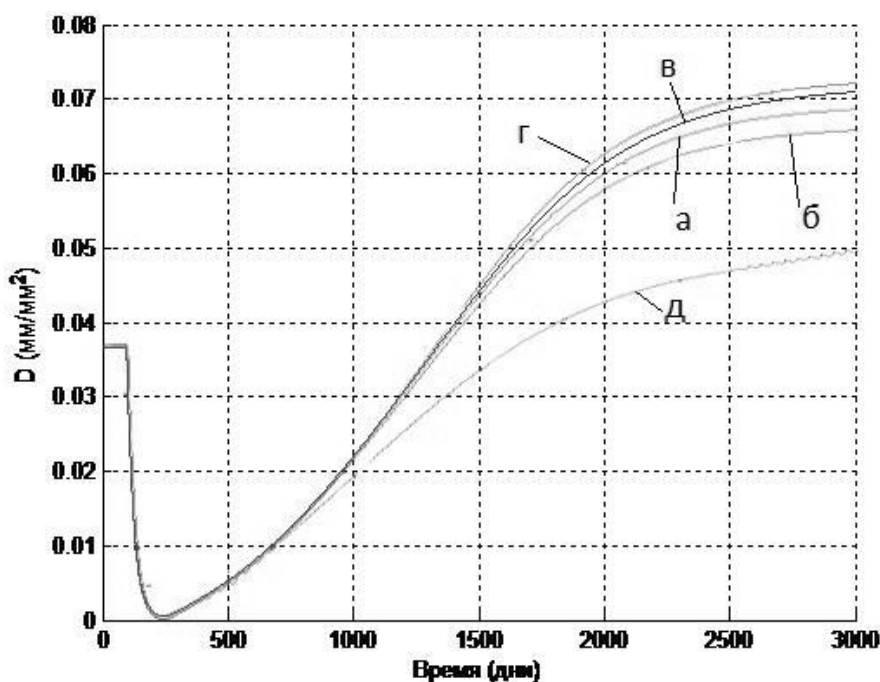


Рис. 2. Зависимость повреждения от времени по формуле (10)

Из полученных результатов видно, что на увеличение количества циклов нагрузки в день, кость реагирует уменьшением пористости и уменьшением повреждения, при уменьшении циклов нагрузки пористость увеличивается до ~83%, а повреждения увеличиваются до 0,38 мм/мм<sup>2</sup>.

При увеличении механических напряжений до  $\Phi_0 = 3.75 \times 10^{-10}$  пористость увеличивается до ~84%, повреждения увеличиваются до 0,38 мм/мм<sup>2</sup>.

При уменьшении значения до  $\Phi_0 = 9.375 \times 10^{-11}$ , значения пористости и повреждения кости также уменьшаются ( $p = 78\%$ ,  $D = 0.23$  мм/мм<sup>2</sup>).

### Заключение

В данном исследовании были рассмотрены зависимости минеральной плотности кости и её повреждения от величины механических стимулов и от количества циклов нагрузки. Также были построены графики этих зависимостей. Графики при начальных значениях механических стимулов и значении циклов нагрузки  $R_L = 3000$  срд. согласуются с исследованиями других авторов [6, 7].

Настоящее исследование будет полезно для диагностики и предотвращения усталостных переломов у людей имеющих повреждения костной ткани в результате травм или болезней. Имитационное моделирование позволяет умеренно дозировать нагрузку у спортсменов, набирающих форму после серьёзных травм, которые вызывают появление трещин в костной ткани. Представленные модели исследования изменения пористости костной ткани под действием нагрузки, позволяют диагностировать лечение переломов кости при использо-

вании аппаратов чрескостного остеосинтеза, например, таких как аппарат Илизарова, так как все фиксирующие аппараты создают известную величину компрессии между костными отломками. С помощью представленной модели можно определить величину нагрузки, при которой будут созданы оптимальные условия для срастания отломков костной ткани. После снятия аппарата возможен контроль над состоянием пористости и плотности кости в тех участках, где проходил перелом костных тканей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Hart R.T., Davy D.T. Theories of bone modeling and remodeling // Bone mechanics. CRC press. P. 253-277.
2. Martin R.B. The usefulness of mathematical models of bone remodeling // Yearbook of Physical Anthropology. 1985. P. 227-236.
3. Martin R.B. Porosity and specific surface of bone // Critical Reviews in Biomedical Engineering. 1984. Vol. 10 P. 179-222.
4. Martin R.B. Mathematical model for repair of fatigue damage accumulation and repair in cortical bone // Journal of Orthopaedic Research. 1995. Vol. 13. P. 309-316
5. Whalen R.T., Carter D.R. Influence of physical activity on the regulation of bone density // Journal of Biomechanics. 1988. Vol. 21. P. 825-837.
6. Hazelwood S.J., Martin R.B., Rashid M.M. A mechanistic model for internal bone remodeling exhibits different dynamic responses in disuse and overload // Journal of Biomechanics. 2001. Vol. 34. P. 299-308.
7. Gardina C. Bone mass preservation and fracture risk assessment with bisphosphonate therapy during spaceflight // A Thesis Presented to the Faculty of California Polytechnic State University. San Luis Obispo, 2008.116 p.

*E-mail: [nameless323@gmail.com](mailto:nameless323@gmail.com)*

УДК 695.83/543.21

© 2012 г. **В.В. Еськов**, канд. мед. наук, **Д.И. Степанова**, **Н.Ф. Гроссу**,  
**О.А. Бондаренко**

(Сургутский государственный университет, Сургут)

## **МАТРИЦЫ МЕЖАТТРАКТОРНЫХ РАССТОЯНИЙ В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ**

В настоящей работе отражены результаты идентификации матриц межаттракторных расстояний, характеризующих эффективность применяемого комплекса физиотерапевтических мероприятий у пациентов с хроническими неинфекционными заболеваниями.

*Ключевые слова:* матрица межаттракторных расстояний, физиотерапевтические воздействия.

© 2012 **V.V. Eskov**, Ph. DM, **D.I. Stepanova**, **N.F. Grossu**,  
**O.A. Bondarenko**

(Surgut state university, Surgut)

## **MATRIX OF THE INTERATTRACTOR DISTANCES IN THE ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF CARRYING OUT PHYSIOTHERAPEUTIC ACTIONS**

In the real work results of identification of matrix of the interattractor distances characterizing efficiency of the applied complex of physiotherapeutic actions at patients with chronic noninfectious diseases are reflected.

*Keywords:* matrix of interattractor distances, physiotherapeutic influences.

### **Введение**

Адаптационные возможности организма являются одним из фундаментальных свойств живой системы. Здоровье как определенный уровень адаптационных возможностей организма включает в себя и понятие гомеостаза, который следует рассматривать в качестве результата деятельности многочисленных функциональных систем, как целевую функцию многоуровневого иерархического управления в организме [1]. В настоящей работе на базе методов ТХС предлагается комплексная оценка эффективности физиотерапевтических мероприятий в условиях ХМАО – Югры

### **Методы исследования**

Особую актуальность в процессе воздействия комплекса физиотерапевтических воздействий (ФВ) приобретает использование инновационного биоинформационного анализа на основе идентификации матриц межаттракторных расстояний с целью оценки динамики параметров вегетативной регуляции организма больных, проживающих в неблагоприятных условиях северных территорий, и позволяет выделить критерии эффективности применения методов восстановительной медицины с определением количественной меры значимости [3, 4].

В работе отражены результаты исследования показателей вегетативной регуляции организма пациентов на основе анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) на базе отделения восстановительной медицины и реабилитации НУЗ «Отделенческая клиническая больница на ст. Сургут ОАО «РЖД». В группу наблюдений вошли: 1 группа – пациенты с остеохондрозом позвоночника, средний возраст  $42,5 \pm 1,9$  лет ( $n=20$ ); 2 группа – пациенты с ГБ 2 стадии, средний возраст  $50,1 \pm 1,6$  лет ( $n=20$ ); 3 группа – пациенты с сочетанной патологией, средний возраст  $54,25 \pm 1,8$  лет ( $n=20$ ). Ранжирование больных на соответствующие группы проводилось согласно медицинским заключениям (диагнозам) в медицинской карте амбулаторного больного.

Исследование параметров ВСР проводилось с использованием аппаратно-программного комплекса «ЭЛОКС-01С2» (ЗАО ИМЦ Новые Приборы, г. Самара). Показатели снимались до влияния методов ФВ (в начале лечения: исходные данные, в первый день поступления в отделение), затем после всего комплекса физиотерапевтических процедур (перед выпиской). Анализ производился по 15-ти показателям ВСР: SpO<sub>2</sub>; СИМ; ПАР; ИНБ; SDNN; RMSSD; pNN50; HR; Total power; VLF; LF; HF; LFnorm; HFnorm; LF/HF.

Метод идентификации матриц межаттракторных расстояний в фазовом пространстве состояний движения вектора состояния организма обследуемых производился на основе попарного сравнения расстояний между центрами для всех пар квазиаттракторов движения ВСО пациентов до и после применения комплекса методов ФВ (табл. 1, 2).

Таблица 1

Матрица межаттракторных расстояний  $Z_{kf}$  (у.е.) между стохастическими центрами квазиаттракторов движения вектора состояния показателей ВРС у обследуемых групп в 15-мерном фазовом пространстве состояний до и после применения методов ФВ

		ОП	ГБ	ОП с СГБ	Сумма элементов столбцов	Усредненное значение
		До	До	До		
ОП	После	1 307	8 013	3 878	13 198	4 399
ГБ	После	2 280	9 607	5 301	17 188	5 729
ОП с СГБ	После	1 429	8 873	4 492	14 794	4 931
Сумма элементов столбцов		5 016	26 493	13 671		
Усредненное значение		1 672	8 831	4 557		

Примечание. ОП – остеохондроз позвоночника, ГБ – гипертоническая болезнь, ОП с СГБ – остеохондроз позвоночника с сопутствующей гипертонической болезнью.

### Результаты исследования

По данным обследования были получены таблицы 1 и 2, где представлены 6 квазиаттракторов из 6 измерений пациентов с тремя нозологическими единицами.



Выявлены существенные различия в динамике изменения межаттракторных расстояний  $Z_{kf}$  между стохастическими центрами и межаттракторных расстояний  $Z_{kf}$  между хаотическими центрами квазиаттракторов движения вектора состояния показателей ВСП у пациентов трех групп в 15-мерном ФПС при проведении методов ФВ.

При общем (суммарном) сравнении расстояний между квазиаттракторами (при сложении всех элементов столбцов) в гипотезе равномерного распределения, до применения комплекса физиотерапевтических мероприятий установлено, что большие отличия были получены для группы обследуемых с ГБ 2 стадии (26439 абсолютно и 8831 усредненно). Меньшие значения по величине данного параметра имеет группа обследуемых с сочетанной патологией (остеохондрозом позвоночника и сопутствующей ГБ (13671 абсолютно и 4557 усредненно), самые меньшие значения отмечены в группе пациентов с остеохондрозом позвоночника (5016 абсолютно и 1672 усредненно). Однако, после воздействия комплекса восстановительных мероприятий происходит приближение абсолютных и усредненных значений для трех групп больных (таб. 1).

Таблица 2

Матрица межаттракторных расстояний  $Z_{kf}$  (у.е.) между хаотическими центрами квазиаттракторов движения вектора состояния показателей ВРС у обследуемых групп в 15-мерном фазовом пространстве состояний до и после применения методов ФВ

		ОП	ГБ	ОП с СГБ	Сумма элементов столбцов	Усредненное значение
		До	До	До		
ОП	После	3952	45321	9160	58 433	19 478
ГБ	После	5630	48224	11480	62 648	20 883
ОП с СГБ	После	2516	45277	8794	56 587	18 862
Сумма элементов столбцов		12 098	138 822	29 434		
Усредненное значение		4 033	46 274	9 811		

Примечание. ОП – остеохондроз позвоночника, ГБ – гипертоническая болезнь, ОП с СГБ – остеохондроз позвоночника с сопутствующей гипертонической болезнью.

При сравнении межаттракторных расстояний между хаотическими центрами квазиаттракторов движения вектора состояния показателей ВСП, т.е. в гипотезе неравномерного распределения, у обследуемых трех групп выявлена тенденция, аналогичная значениям межаттракторных расстояний между стохастическими центрами как до, так и после применения комплекса физиотерапевтических мероприятий, но более выраженная. Наибольшие отличия получены для группы пациентов с ГБ (138822 абсолютно и 46274 усредненно), на втором месте группа обследуемых с остеохондрозом позвоночника и сопутствующей

ГБ (29434 абсолютно и 98011 усредненно). Наименьшие отличия отмечаются в группе обследуемых с остеохондрозом позвоночника (12098 абсолютно и 4033 усредненно). После применения комплекса восстановительной медицины отмечается приближение значений межаттракторных расстояний во всех трех группах больных как абсолютно, так и усреднено (таб. 2).

Данная тенденция в параметрах межаттракторных расстояний между стохастическими центрами (таб. 1) и между хаотическими центрами (таб. 2) квазиаттракторов соответствует существенным различиям в параметрах вегетативной регуляции организма больных до применения физиотерапевтических мероприятий в трех группах пациентов, и свидетельствует о приближении к сходным компенсаторно-адаптационным возможностям после применения комплекса восстановительной медицины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев, А.Ф., Шляхов В.В. Восстановительная медицина – социальный заказ общества // Тихоокеанский медицинский журнал. 2006. № 2. С. 12-15.
2. 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.
3. Программа идентификации параметров аттракторов поведения вектора состояния биосистем в m-мерном фазовом пространстве: программа для ЭВМ / В.М.Еськов, М.Я.Брагинский, С.Н.Русак, А.А.Устименко, Ю.В.Добрынин // Св-во о гос. рег. программы для ЭВМ №2006613212.

**А.К. Мартусевич**, канд. мед. наук, **Ж.Г. Симонова**, канд. мед. наук,  
**П.Л. Кривоногова**, **О.И. Шубина**, **Н.А. Коноплева**  
(Кировская государственная медицинская академия, Киров  
Нижегородский НИИ травматологии и ортопедии, Нижегородский научно-исследовательский кожно-венерологический институт, Нижний Новгород)

#### **ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭКЗОГЕННОЙ МОДУЛЯЦИИ КРИСТАЛЛОСТАЗА БИОЛОГИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ**

На основании экспериментальных исследований, направленных на изучение возможностей модификации кристаллогенной активности различных биологических жидкостей человека (сыворотка крови, моча) было показано, что введение в них метаболитов-антагонистов вызывает противоположные сдвиги кристаллостаза. Модуляция последнего экзогенным агентом может носить дозозависимый характер.

*Ключевые слова:* биокристалломика, сыворотка крови, моча, структуризация, кристаллостаз, кристаллокинез.

**A.K. Martusevich, Zh.G. Simonova, P.L. Krivonogova,  
O.I. Shubina, N.A. Konopleva**

**ESTIATION OF EXOGENIC MODULATION OF BIOLOGICAL  
SUBSTRATA CRYSTALLOSTASIS**

On the base of experimental investigations on blood serum and urine crystallogenesis modification we fixed, that substrata saturation by antagonistic metabolites lead to antagonistic changes of its crystallostasis. This modulation may has dose-dependent character.

*Key words:* biocrystallogics, blood serum, urine, crystallostasis, crystallokinesis.

Современная биокристалломика, являясь прикладным направлением медико-биологического профиля, решает преимущественно задачи диагностики и дифференциальной диагностики различной патологии человека [5, 7]. При этом максимальное внимание исследователей уделяется поиску показателей или характеристик кристаллограмм биологических жидкостей организма человека, специфичных для определенного состояния, тогда как механизмы, обеспечивающие подобный характер структурообразования биоматериала при дегидратации, изучаются лишь в единичных работах [1, 4]. Следует отметить, что имеющиеся сведения о кристаллогенной активности отдельных соединений преимущественно касаются модельных био-подобных систем и не всегда позволяют адекватно описать кристаллогенез реальных биологических субстратов.

Расширяют представления о характере структуризации биожидкостей результаты физико-химического анализа камней, удаленных из организма [1]. В частности, на основании этих экспериментов было показано, что уро- и холелиты имеют слоистую структуру, что косвенно свидетельствует о неодинаковости условий, в которых происходит их образование, во времени.

С другой стороны, подобный подход также не дает интегрального представления о кристаллогенной стабильности биосубстратов. Поэтому нами было предложено понятие «кристаллостаза», под которым мы понимаем новый параметр гомеостаза жидкой биосистемы, отражающий ее кристаллогенную стабильность. В свою очередь, кристаллостаз поддерживается на определенном уровне целым рядом внутренних и внешних (по отношению к биосистеме) механизмов («факторов макро- и микроокружения кристаллогенеза»). С этих позиций, целесообразным представляется выделить и обосновать новый аспект биокристалломики, связанный с возможностью управления процессами кристаллообразования [2, 3]. Обеспечение последнего, в соответствии с предлагаемой нами холистической теорией биокристалломики, происходит за счет системы модуляторов кристаллогенеза биоматериала.

В связи со всем вышеперечисленным, целью настоящей работы является анализ собственных результатов и данных литературы, касающихся модуляции дегидратационного структурообразования биожидкостей в условиях *in vitro* и *in vivo*.

На протяжении последних десятилетий в зарубежной литературе появляются единичные сообщения, касающиеся эффективности особых способов лечения некоторых заболеваний человека, основанных на изменении характера

процессов кристаллообразования. В частности, к ним относятся малярия и кальцифилаксия, одно из направлений фармакотерапии которых – ингибирование кристаллизации (формирующие кристаллические отложения субстанции – гем и карбонат кальция соответственно). Эти примеры успешного эмпирического применения модуляторов кристаллогенеза в лечебных целях раскрывают возможности управления этими процессами. Подобное воздействие мы предлагаем трактовать как кристаллотропную терапию (кристаллотерапию [3]).

Нами проведено несколько серий исследований, направленных на установление характера модулирующих воздействий *in vitro*. В частности, на примере мочи была продемонстрирована противоположность изменений кристаллогенного и инициирующего потенциала биосреды при добавлении в нее нарастающих концентраций антагонистичных субстратов лактатдегидрогеназы, содержащейся в ней – лактата и пирувата натрия, несмотря на нелинейную динамику сдвигов оценочных показателей, регистрирующуюся при введении в жидкую биосистему различных количеств модулятора [4].

Особого внимания, на наш взгляд, заслуживают данные, полученные нами при направленном повышении концентрации в биологической жидкости отдельного соединения, обладающего свойствами модулятора ее кристаллогенеза. Так, мочевины, активно кристаллизующаяся в индивидуальных водных растворах физиологической концентрации и входящая в варьирующих количествах в состав биосред, при введении в них неодинаково изменяет их кристаллогенные свойства, причем эти сдвиги не полностью зависят от исходной концентрации данного вещества в биосубстрате [2]. Эти данные косвенно свидетельствуют о возможности направленной коррекции кристаллогенеза биосред.

Подходы экспериментальной биокристалломики, исходно являясь исключительно исследовательскими, призваны решить одну из наиболее принципиальных задач дисциплины – разработку способов управления биокристаллогенезом [4]. По нашему мнению, подобное моделирование и изучение влияния широкого спектра модуляторов (физических, химических, биологических и смешанных) данного процесса позволит сформировать экспериментально-теоретические основы направленной качественно-количественной модификации био-ассоциированной кристаллизации.

Интегрируя имеющиеся представления о факторах, влияющих на формирование биогенных кристаллов в условиях *in vitro* и *in vivo*, а также данные литературы и результаты собственных многолетних исследований, нами предлагается единая концепция, трактующая фундаментальные закономерности кристаллообразования, ассоциированного с живыми организмами, которая названа нами *холистической теорией биокристаллогенеза*. Она включает 3 основных положения:

1. Явление био-ассоциированной кристаллизации представляет собой общебиологический феномен и присуще живой материи на всех уровнях ее организации.

2. Форма, состав и функциональное значение формируемых биогенных кристаллов зависят от механических свойств и метаболической активности живых существ и детерминированы выполняемой ими функцией.

3. Биокристаллогенез – сложный каскад физико-химических процессов, регулируемый системой биогенных и ксеногенных модуляторов, что обеспечивает возможность управления им.

**Заключение.** Таким образом, многогранность и полифункциональность явления био-ассоциированной кристаллизации заставляет рассматривать биокристалл как носитель метаболической информации, где в качестве «стержня» выступают белковые структуры (кристаллопротеом), а дополняющими агентами являются многочисленные гетерогенные факторы химической, физической и биологической природы, синергетично создающие окончательный вид хранимой и переносимой изучаемыми структурами биоинформации.

Подобный необычный взгляд на проблему биокристаллогенеза создает обоснованные предпосылки для использования новых возможностей биокibernетики и управления живыми системами в плане разработки принципиально новых технологий коррекции кристаллостаза жидких биологических субстратов организма и лечения заболеваний человека и животных, в патогенезе которых нарушение физиологической кристаллогенной стабильности биосред играет значимую роль.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голованова О.А. Патогенные минералы в организме человека. Омск: Изд-во ОмГУ, 2006.
2. Мартусевич А.К. Метод биокристаллопровокации в прогнозировании поведения биосистем макро- и микроуровня // Информатика и системы управления. 2009. №4. С. 36-38.
3. Мартусевич А.К. Направленный кристаллогенез как одна из потенциальных перспектив терапии патологии желудочно-кишечного тракта // Гастроэнтерология Санкт-Петербурга. 2008. №2-3. С. М71-М72.
4. Мартусевич А.К., Зимин Ю.В. Экспериментальная кристалломика – моделирование биокристаллогенеза // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. 15, №1. С. 14-17.
5. Савина Л.В. Кристаллоскопические структуры сыворотки крови здорового и больного человека. Краснодар, 1999.
6. Смирнов В.П., Фадеев М.Ю. Болезни накопления (тезауризмозы). Н. Новгород: Медицинская книга, 2007.
7. Шабалин В.Н., Шатохина С.Н. Морфология биологических жидкостей человека. М.: Хризопраз, 2001.
8. Sodium Thiosulfate Treatment for Calcific Uremic Arteriopathy in Children and Young Adults / С.Е.Аraya [et al.] // Clin. J. Am. Soc. Nephrol. 2006. Vol. 1. P. 1161–1166.
9. In vitro antimalarial activity of metalloporphyrins against Plasmodium falciparum / K.Begum [et al.] // Parasitol. Res. 2003. Vol. 90, №3. P. 221-224.

© 2012 С.М. Радомский, канд. геол.-минерал. наук,

В.И. Радомская, канд. хим. наук

(ФГБУН Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГИП ДВО РАН), Благовещенск)

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НА МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЖИДКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ЧЕЛОВЕКА**

Представлен минеральный химический состав крови и мочи людей в г. Благовещенске. Показана его региональная специфика и выполнено сравнение со стандартами принятыми в России.

*Ключевые слова:* тяжёлые металлы, распределение, миграция, биологические среды.

**S.M. Radomskii**, Ph.D. in geology-mineralogy,

**V.I. Radomskaya**, Ph.D. in chemistry

(Institute of Geology and Nature Management Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences (IGNM FEB RAS), Blagoveshchensk)

## **INFLUENCE OF THE GEOCHEMICAL FACTORS OF LIVING ENVIRONMENT ON THE MINERAL COMPOSITION OF THE LIQUID BIOLOGICAL MEDIA OF THE MAN**

Is represented the mineral chemical composition of blood and urine of people in g. Blagoveshchensk. Its regional specific character is shown and comparison with the standards is executed by those accepted in Russia.

*The keywords:* heavy metals, distribution, migration, biological media.

**Введение.** По мере развития техногенеза возрастает давление на природную среду таких загрязнителей, как химические элементы. Результатом этого является ухудшение экологической обстановки, ослабление здоровья населения и сокращение сроков средней продолжительности жизни. В настоящее время в Амурской области смертность среди населения превышает рождаемость, и среди её причин первые места занимают сердечно-сосудистые и онкологические заболевания. За более чем 140-летний период активности промышленного производства в Амурской области сформировались особые техногенные ландшафты с аномальными концентрациями различных химических элементов. Такие территории представляют исключительный интерес для установления закономерностей и особенностей биологического поглощения тяжёлых металлов организмом человека.

**Цель исследования** – выявление влияния группы токсикантов, а именно тяжёлых металлов (ТМ), на проблему безопасности жизнеобеспечения.

**Объекты и методы** – Объектом исследования являлись жидкие биологические среды человеческого организма кровь и моча, отобранные у группы добровольцев, проживающих в г. Благовещенске. Отобранные пробы были вы-

сушены до воздушно сухого состояния и минерализованы при 450°C в течение нескольких часов. Концентрации тяжелых металлов определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре 1 класса фирмы "Hitachi", модель 180-50.

### Обсуждение результатов

Между организмами и внешней средой существует неразрывное единство, которое определяется геохимической и биогенной миграцией вещества и энергии. Источниками и факторами, обуславливающими миграцию, являются постоянное и непрерывное действие различных физико-химических сил, жизнедеятельность организмов, разнообразная деятельность человека и прочие факторы, вызывающие разрушение горных пород, перемещение элементов во времени и пространстве [1, 2]. Давление токсичных элементов на организм передается по трофическим цепям питания: горные породы-почвы-растения-животные-человек. Связующим элементом между звеньями являются водные растворы табл. 1.

Таблица 1

Концентрации тяжёлых металлов в мг/дм<sup>3</sup> в крови и моче людей, проживающих в г. Благовещенске

Элемент	<u>Кровь</u> Min-Max Среднее	Лит. данные [1]	Лит. данные [3]	Лит. данные [5]	<u>Моча</u> Min-Max Среднее	Моча норма лит. данные [1, 3, 5]
Co	<u>0,13 – 0,21</u> 0,18	0,04			<u>0,01-0,15</u> 0,05	0,004
Fe	<u>59,1 – 338</u> 262,9	447		388	<u>1,05-36,7</u> 8,8	0,02-0,18
Pb	<u>0,05 – 0,34</u> 0,11	0,21			<u>0,03-0,17</u> 0,11	0,003-0,033
Cd	<u>0,005 – 0,007</u> 0,005	0,005	0,01		<u>0,001-0,007</u> 0,005	0,001-0,012
Cu	<u>0,45 – 1,12</u> 0,62	1,01	1-1,4	1,02	<u>0,01-0,62</u> 0,20	0,034-0,10
Zn	<u>3,9 – 4,7</u> 4,25	7	7-8	4,49	<u>0,3-1,03</u> 0,71	0,32
Cr	<u>0,02 – 1,5</u> 0,09	0,006- 0,11			<u>0,01-0,03</u> 0,02	
Ni	<u>0,18 – 0,23</u> 0,20	0,01- 0,05			<u>0,05-0,15</u> 0,08	0,007-0,03
Mn	<u>0,02 – 0,13</u> 0,57	0,0016- 0,075		0,022	<u>0,01-0,06</u> 0,03	0,001-0,01

Распространение Pb в биогеоценозе связано с технологическим использованием этилированного бензина и минералов горных пород определяемый уро-

вень концентраций элемента находится около значений предельно допустимых концентраций (ПДК). Для Cd не отмечаются опасные уровни действующих концентраций, вследствие отсутствия геохимических аномалий и производств, использующих этот элемент. Жизненно необходимые микроэлементы Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mn присутствуют в крови в больших концентрациях, по сравнению с мочой, что свидетельствует об их избирательном поглощении организмом и выполнении ими специфических функций. Токсичные элементы Pb, Cd находятся в этих биологических субстратах на одном уровне концентраций, определяемом частью валового поступления в организм, что косвенно подтверждает отсутствие биологически оправданного использования токсических элементов в процессе жизнедеятельности.

Из жизненно необходимых элементов в крови в недостаточном количестве присутствует Fe, а такие элементы как Mn, Co, Ni, Cr находятся в относительно повышенных концентрациях. Анализируя концентрации химических элементов в системе кровообращения и в системе выделения (в моче) можно заметить, что гомеостаз микроэлементов поддерживает сам организм. Так концентрации жизненно необходимых микроэлементов захватываются и поглощаются организмом Cu, Zn, Co, Ni, тогда как токсичные металлы не участвующие в процессе поддержания жизнедеятельности имеют одинаковые уровни концентраций, как в крови, так и в моче и не поглощаются организмом это Cd, Pb.

**Заключение.** Геохимический смысл преобразования природы хозяйственной деятельностью человека и глобальный характер этого процесса первым раскрыл академик В.И. Вернадский. Академиком А.Е. Ферсманом показана существенная роль горнодобывающей промышленности в концентрировании и «безвозвратном распылении» химических элементов земной коры. Учет этого аспекта необходим в пределах территорий, основой развития которых является добыча полезных ископаемых.

Таким образом, состояние здоровья человека тесно связано с геохимическими факторами среды обитания. Для проживающего населения ареал имеет выявленные опасные уровни воздействия концентраций водорастворимых соединений Fe, повышающих риск летальных исходов при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, и повышенные локальные уровни концентраций Pb, приближающиеся к значениям ПДК, что наряду со специфичным токсическим действием способствует также возникновению онкологических заболеваний, регистрируемых на территории. Для нормального функционирования организма микроэлементный состав должен быть постоянным, т.е. поддерживаться с помощью гормонов и ферментов [4].

### **Выводы:**

1. В связи с невысокой промышленной развитостью Верхнего Приамурья, давление на природную среду таких загрязнителей, как тяжелые металлы различных групп, не приводит к их сверхнормативному появлению в компонентах биогеохимического ландшафта, однако такие локальные зоны существуют вблизи действующих очагов промышленно-бытового загрязнения.



2. Отмечаются статистически значимые, длительно действующие уровни загрязнения жидких биологических сред человека устойчивыми неорганическими соединениями Fe и Pb, соответственно связанными с повышенным риском развития патологий инфаркта миокарда и онкологических заболеваний соответственно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000.
2. Справочник по геохимии / Г.В.Войткевич [и др.] М. Недра, 1990.
3. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп: справочник / под общ. ред. В.А. Филова. Л.: Химия, 1988.
4. Ершов Ю.А., Плетнева Т.В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М. Медицина, 1989.
5. Ларионова Т.К. Элементный состав некоторых биологических сред человека при хронической ртутной интоксикации // Медицина труда и промышленная экология. 2000. №8. С. 41-44.

E-mail: [rsm@ascnet.ru](mailto:rsm@ascnet.ru) , [radomskaya@ascnet.ru](mailto:radomskaya@ascnet.ru).

© 2012 г. **Т.Г.Симакова**, д-р мед. наук; **М.М.Пожарицкая**, д-р мед. наук;  
**С.С.Минаев**, канд. мед. наук; **Т.Л.Чекалина**, канд. мед. наук  
(Центр биотической стоматологии, Москва)

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТВЁРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ В ГРУППАХ ЛЁТЧИКОВ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫРАЖЕННОСТЬЮ ПАТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В ПАРОДОНТЕ**

Приводятся результаты сравнительного анализа состояния твёрдых тканей зубов в группах лётчиков сверхзвуковой авиации с различной выраженностью патологического процесса в пародонте, на основании которых обоснованы рекомендации по совершенствованию медицинского обеспечения и врачебно-лётной экспертизы лётчиков.

*Ключевые слова:* авиационная медицина, заболевания пародонта, твёрдые ткани зубов.

© 2012 **T.G.Simakova**, MD; **M.M.Pozharitskaya**, MD; **S.S.Minaev**, PhD;  
**T.L.Chekalina**, PhD.

(Center for Biotic Dentistry, Moscow)

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF HARD TISSUE OF TEETH IN A GROUP OF PILOTS WITH DIFFERENT PATHOLOGICAL PROCESS IN THE PERIODONTIUM**

The results of a comparative analysis of the hard tissues of the teeth in groups of pilots of supersonic aircraft with varying severity of the pathological process in the periodontium, which are justified on the basis of recommendations to improve health care and medical-flight examination of pilots.

*Keywords:* aviation medicine, periodontal disease, dental hard tissues

Профессиональная деятельность летного состава связана с рядом неблагоприятных факторов, таких как гипергравитация, измененное барометрическое давление, вибрация, шумы, искусственная атмосфера кабины летательного аппарата, повышенные психо-эмоциональные нагрузки и др., что ведет к значительному снижению уровня здоровья и развитию явлений дисрегуляции деятельности ряда органов и систем организма [1 – 4]. При этом создаются потенциальные возможности развития хронической патологии зубо-челюстной системы, а именно пародонта, жевательных и мимических мышц, височно-нижнечелюстного сустава, слизистой оболочки полости рта, твердых тканей зубов [1, 2, 4].

В связи с этим, исследование стоматологической заболеваемости, изучение механизмов влияния факторов профессиональной деятельности на возникновение патологических изменений в полости рта и разработка методов их коррекции, направленных на повышение адаптационно-приспособительных резервов организма у лётного состава военной авиации является актуальным.

Проведен сравнительный анализ состояния твёрдых тканей зубов в различных группах лётчиков, в зависимости от выраженности патологического процесса в пародонте и выявлены определенные различия. У лётчиков с хроническим генерализованным пародонтитом лёгкой степени распространённость кариеса была 100%, при этом интенсивность кариеса была высокой, индекс КПУ составил  $7,5 \pm 0,73$ . Некариозная патология зубов проявлялась в виде клиновидных дефектов твёрдых тканей, горизонтальной патологической стираемости, травматического повреждения (скола) и гипоплазии эмали. Клиновидные дефекты в пришеечной области и патологическая горизонтальная стираемость окклюзионной поверхности премоляров, резцов и клыков выявлялись у 6 лётчиков (66,7%). Травма твёрдых тканей локализовалась в области центральных зубов верхней челюсти и диагностировалась в пределах эмали у 2 человек. Гипоплазия эмали в виде белых пятен на вестибулярной поверхности премоляров, клыков и резцов верхней и нижней челюстей была у 1 лётчика.

В группе с хроническим генерализованным пародонтитом средней степени тяжести распространённость кариеса также составила 100%, выявлялась высокая интенсивность кариеса, индекс КПУ равнялся  $8,3 \pm 0,85$ . Клиновидные дефекты определялись в пришеечной области, патологическая горизонтальная стираемость на окклюзионной поверхности премоляров, резцов и клыков у 13 лётчиков (56,5%). Травма выявлялась в области центральных зубов верхней челюсти и локализовалась в пределах эмали у 8 (34,8%). Гипоплазия эмали была диагностирована в виде пятен белого цвета на вестибулярной поверхности премоляров, клыков и резцов верхней и нижней челюстей у 2 лётчиков.

В группе с хроническим генерализованным пародонтитом лёгкой степени распространённость кариозного процесса у лётчиков была 100%. Выявлена средняя интенсивность кариеса, индекс КПУ составил  $3,8 \pm 0,51$ . Клиновидные дефекты выявлены в пришеечной области, патологическая горизонтальная сти-

раемость на жевательной поверхности премоляров, режущем крае резцов и клыков имелись у 2 лётчиков. Травма твёрдых тканей выявлялась в области центральных резцов верхней челюсти в пределах эмали у 1 лётчика. Гипоплазия эмали (пятнистая форма) на вестибулярной поверхности премоляров, клыков и резцов верхней и нижней челюстей отмечена у 1 лётчика.

В группе с хроническим генерализованным пародонтитом средней тяжести распространённость кариеса была 100%. При этом интенсивность кариеса была средняя, индекс КПУ составил  $5,7 \pm 0,63$ . Некариозная патология проявлялась в виде клиновидных дефектов, патологической стираемости, гипоплазии эмали и травмы зубов. Клиновидные дефекты определялись в пришеечной области с вестибулярной поверхности, патологическая горизонтальная стираемость, выявлялась на жевательной поверхности премоляров, резцов и клыков у 3 лётчиков (42,8%). Травма зубов в пределах эмали в области центральных зубов верхней челюсти была у 2 человек. Гипоплазия эмали выявлена на вестибулярной поверхности премоляров, клыков и резцов верхней и нижней челюстей у 2 лётчиков.

Таким образом, клиническое стоматологическое исследование состояния твёрдых тканей зубов выявило, что распространённость кариеса в обследованных группах лётчиков составила 100%. При этом интенсивность кариеса была высокой в группах лётчиков сверхзвуковой авиации с хроническим генерализованным пародонтитом лёгкой и средней степени. В группах лётчиков сверхзвуковой авиации с хронический генерализованный пародонтит лёгкой и средней степени распространённость кариеса также составила 100%, но интенсивность кариеса была средняя.

При клиническом стоматологическом обследовании лётчиков сверхзвуковой авиации в 100% случаев выявлены патологические изменения в пародонте воспалительно-дистрофического характера. При этом в 74,4 % случаев преобладают изменения воспалительного характера, у 25,6% обследованных определяются дистрофические изменения. У лётчиков вертолётной авиации также выявлена высокая распространённость заболеваний пародонта (100%). Эта патология является фактором риска развития различных соматических заболеваний, что создает реальные предпосылки к снижению профессионального здоровья и соответственно надёжности лётчика в экстремальных условиях среды обитания.

Предложения по совершенствованию медицинского обеспечения и врачебно-лётной экспертизы лётчиков с хроническим генерализованным пародонтитом заключаются в необходимости внедрения в практику диспансерного стоматологического осмотра специалиста стоматолога-пародонтолога [3, 5]. Реабилитация лётчиков с хроническим пародонтитом должна проводиться на уровне специализированного пародонтологического кабинета (отделения). Программа подготовки авиационных врачей должна включать вопросы диагностики и профилактики заболеваний пародонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожарицкая М.М., Симакова Т.Г. Пропедевтическая стоматология. М.: Медицина, 2004. 304 с.
2. Пожарицкая М.М., Симакова Т.Г., Вавилова Т.П., Краснова В.В. Показатели перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты в смешанной слюне у лётчиков сверхзвуковой авиации при пародонтите // Российский стоматологический журнал. 2005. №2. С. 42–45.
3. Симакова Т.Г. Реабилитационные мероприятия при патологии твердых тканей зубов у летчиков Военно-воздушных сил Российской Федерации // Пародонтология. 2006. №3(40). С. 26–30.
4. Ушаков И.Б., Симакова Т.Г., Пожарицкая М.М., Солдатов С.К. и др. Состояние твердых тканей зубов и содержание кальция и фосфора в биосубстратах у летного состава // Военно-медицинский журнал. 2005. Т. 326, №6. С. 51–53.
5. Ушаков И.Б., Симакова Т.Г., Солдатов С.К., Пожарицкая М.М., Касаикина В.В., Богомолов А.В. Комплексное лечение хронического генерализованного пародонтита у летного состава военной авиации: методические рекомендации. – Директива начальника медицинской службы Военно-воздушный сил РФ №683/6/1847 от 18.07.2008. – 43 с.  
*simakovatg@mail.ru; cbiotis@mail.ru; ssmlas@yandex.ru; jasata@mail.ru*

**С.И. Логинов**, д-р биол. наук, **Ю.Г. Бурькин**, канд. биол. наук,  
**М.Я. Брагинский**, канд. тех. наук  
(Сургутский государственный университет, Сургут)

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ НЕПРОИЗВОЛЬНЫХ МИКРОДВИЖЕНИЙ  
СПОРТСМЕНОВ-ПОЛИАТЛОНИСТОВ ПРИ ФОТОСТИМУЛЯЦИИ  
ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА**

Представлена методика системного анализа сложных биомеханических колебаний в спортивной стрельбе при внешних фоторитмических управляющих воздействиях.

*Ключевые слова:* анализатор, колебания, микродвижения, фотостимуляция.

**S.I. Loginov**, Dr. of biology, **Yu.G. Burykin**, PhD, **M.J. Braginsky**, PhD.  
(Surgut State University, Surgut)

**SYSTEMIC ANALYSIS OF NONVOLUNTARY MICROMOVEMENTS  
OF SPORTSMEN-POLYATHLONISTS BY PHOTOSTIMULATION  
VISUAL ANALIZER**

The method of systemic analysis of difficult biomechanics frequencies in sport shooting by external fotorithmic intervention was presented.

*Key words:* analyzer, frequencies, micromovements, photostimulation.

**Введение.** Произвольная регуляция мелкой моторики имеет большое значение при осуществлении манипуляций, требующих высокой точности в различных сферах человеческой деятельности. В частности, управление тремором является важной задачей повышения точности в спортивной стрельбе [4]. Во время прицеливания фактически происходит уменьшение амплитуды постурального тремора, что позволяет говорить о наличии произвольного компонента регуляции двигательных функций у стрелков. Однако, полный произвольный контроль микродвижений вряд ли возможен. По всей вероятности существует определенный диапазон регуляции мелкой моторики.

Поскольку биологические организмы являются открытыми термодинамическими системами, т.е. обмениваются с окружающей средой веществом, энергией и информацией, то существующие в биосистеме информационные потоки оказывают влияние на состояние этой биологической системы, что собственно и отличает их от других систем, например, технических. Согласно этой фундаментальной закономерности следует, что изменение входящих информационных потоков изменяет и выходные функции, в частности, двигательные. В нашей гипотезе, изменение афферентных влияний со стороны зрительного анализатора должно привести к изменению эфферентных влияний на двигательные функции.

Непроизвольные микродвижения человека представляют собой сложный колебательный процесс. Наряду с использованием традиционных методов анализа (быстрого преобразования Фурье, вейвлет-анализа) нами предложено описание колебательных процессов с применением метода многомерного анализа, основанного на расчёте межкластерных расстояний в фазовом пространстве состояний (ФПС). Алгоритм расчёта представлен следующим образом: первоначально путём быстрого преобразования Фурье получаем амплитудно-частотные характеристики кинематограмм, которые затем представляем в виде матрицы межкластерных расстояний.

**Объект и методы исследования.** В исследованиях приняли участие 12 стрелков-полиатлонистов и 15 индивидуумов, не имеющих стрелковой подготовки. Кроме того, было сформировано две контрольные группы. Первую контрольную группу составили 16 стрелков-полиатлонистов, вторую контрольную – 13 индивидуумов, не занимающихся стрелковым спортом, отобранных случайным образом. Средний возраст участников составил  $19,2 \pm 0,7$  лет. В каждой группе было выполнено по 37 регистраций кинематограмм. Изучали амплитудно-частотные характеристики тремора до и после стрельбы из пневматической винтовки. В качестве воздействия на параметры постурального тремора применяли фотостимуляцию (ФС) с частотой 10 Гц с использованием программы «Компьютерная стимуляция зрительного аппарата спортсменов-стрелков» [1]. Участникам предъявляли на мониторе изображение красного квадрата размером  $200 \times 200$  мм в течение 5-ти минут. До и после ФС спортсмены производили по 10 выстрелов продолжительностью по 20 сек с 30-ти секундными паузами на отдых. Статической нагрузкой (СН) у всех испытуемых явилось удержание пневматической винтовки массой 5,5 кг. Регистрацию кинематограмм колеба-

ний ствола винтовки производили дистанционным методом с помощью датчика токовых рывков типа и измерительного комплекса на базе компьютера [2]. Время удержания винтовки над датчиком составляло 20 сек. Амплитудно-частотный анализ производили в диапазоне 0,1–12,5 Гц. Полученные данные обрабатывали с помощью статистической программы Biostat, а достоверность различий определяли с помощью парного критерия Уилкоксона. Амплитудные значения, по которым были получены достоверные различия использовали для построения матрицы межкластерных расстояний. Матрицы строили с помощью компьютерной программы [3].

Каждая группа обследуемых, находящаяся в определенном состоянии образуют некоторое «облако» (квазиаттрактор) в ФПС, которое имеет геометрический и стохастический центры. Между этими центрами определяются расстояния -  $Z_{kf}$  (здесь  $k$  и  $f$  – номера групп обследуемых), которые формируют матрицу расстояний  $Z$ . Каждый такой квазиаттрактор (КА) имеет свои параметры:

объем  $k$ -го КА  $V_g^k = \prod_{i=1}^m D_i^k$  ; координаты геометрического центра  $k$ -го КА  $x_c^k = (x_{1c}^k, x_{2c}^k, \dots, x_{mc}^k)^T$ , где  $x_{ic}^k = \frac{(x_{ic}^{k \max} + x_{ic}^{k \min})}{2}$  ; координаты стохастического центра

$x_{is}^k = \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}^k}{m}$ , где  $x_{ij}^k$  - значение величины диагностического признака для  $j$ -го обследуемого по  $i$ -ой координате из кластера обследуемых групп и свое положение в ФПС. Все  $p$  объемов ( $k = 1, 2, \dots, p$ ) всех КА образуют вектор объемов КА  $V_g = (V_g^1, V_g^2, \dots, V_g^p)^T$ , где  $p$  – число кластеров (групп обследуемых, видов воздействия), для которых (объемов КА) рассчитывается матрица расстояний  $Z = \{z_{kf}\}_{k,f=1,\dots,p}$  между геометрическими центрами КА (между  $k$ -м и  $f$ -м КА в

ФПС) по формуле  $z_{kf} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ic}^k - x_{ic}^f)^2}$ , т.е. берется разность между соответствующими координатами центра  $f$ -го КА ( $x_{ic}^f$ ) и  $k$ -го КА, возводится в квадрат, суммируется по всем  $i$ -м и из полученной суммы извлекается квадратный корень. Аналогично считается и матрица расстояний между статистическими центрами (статистическими математическими ожиданиями), т. е.

$z_{kf} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{is}^k - x_{is}^f)^2}$ . Полученные расстояния между центрами  $k$ -го и  $f$ -го КА или статистическими центрами количественно представляют степень удаленности сравниваемых КА в ФПС и выступают мерой состояния функции движения.

Результаты исследований. При ФС расстояние между статистическими центрами КА увеличивается, а между геометрическими – уменьшается. В контрольных группах, где на регуляцию двигательных функций оказывает влияние только СН, имеет место противоположный эффект.

Наиболее удалены в ФПС группы не стрелков до и после ФС  $Z_h=22,63$ ;  $Z_g=26,80$ . В контрольной группе не стрелков при СН  $Z_h=13,22$ ;  $Z_g=31,34$ . Наименьшие расстояния выявлены в группе стрелков до и после ФС  $Z_h=11,60$ ;  $Z_g=16,86$ . В контрольной группе стрелков  $Z_h=9,85$ ;  $Z_g=19,14$  (табл. 1).

Таблица 1

Расстояние между статистическими  $Z_h$  (и геометрическими  $Z_g$ ) центрами квазиаттракторов при фотостимуляции и статической нагрузке

		Стрелки		Не стрелки	
		До	После	До	После
Стрелки	до ФС	0	11,60 (16,86)	18,60 (22,22)	14,96 (17,58)
	до СН		9,85 (19,14)	15,98 (22,13)	12,89 (33,98)
	после ФС	11,60 (16,86)	0	20,32 (21,81)	16,10 (21,75)
	после СН	9,85 (19,14)		11,15 (29,31)	11,10 (44,58)
Не стрелки	до ФС	18,60 (22,22)	20,32 (21,81)	0	22,63 (26,80)
	до СН	15,98 (22,13)	11,15 (29,31)		13,22 (31,34)
	после ФС	14,96 (17,58)	16,10 (21,75)	22,63 (26,80)	0
	после СН	12,89 (33,98)	11,10 (44,58)	13,22 (31,34)	

В большей степени ФС оказывает влияние на группу не стрелков, что объясняется их лабильностью и отсутствием жестких двигательных стереотипов при статическом удержании винтовки. В контрольных группах СН также оказывает более сильное влияние на группу не стрелков, но менее выраженное, чем ФС в опытных группах. Таким образом, нами получены количественные интегральные характеристики микродвижений при фотостимуляции и статической нагрузке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурыкин Ю.Г., Брагинский М.Я., Логинов С.И., Апокин В.В., Ефимова Ю.С. Компьютерная стимуляция зрительного аппарата спортсменов-стрелков: св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ №2012612596.
2. Брагинский М.Я., Еськов В.М., Климов О.В. К вопросу о произвольности и непроизвольности микродвижений конечности человека (треморе) // Вестник новых медицинских технологий. 2002. № 3. С. 42-45.
3. Еськов В.М., Брагинский М.Я., Майстренко Е.В., Филатов М.А. Идентификация параметров порядка (наиболее значимых диагностических признаков) методом расчета матриц расстояний: св-во об офиц. рег. программы для ЭВМ №2010613309.
4. Davis E., Loiacono R., Summers R.J. The rush to adrenaline: drugs in sport acting on the beta-adrenergic system // Br. J. Pharmacol. 2008. V. 154, N 3. P. 584-597.

*E-mail: [yriig@yandex.ru](mailto:yriig@yandex.ru)*

УДК 543.21/612.82

© 2012 г. **М.А. Филатов**, д-р биол. наук, **Т.В. Гавриленко**, канд. техн. наук,  
**О.И. Химикина**, канд. биол. наук, **И.В. Буров**  
(Сургутский государственный университет, Сургут)

### **РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ МИКРОХАОСА В ОЦЕНКЕ ПСИХОФИЗИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ УЧАЩИХСЯ**

Представлен новый метод расчёта параметров тремора в оценке психофизиологических функций учащихся, обеспечивающий реализацию системного анализа и синтеза.

*Ключевые слова:* психофизиологические функции, вектор состояния системы, микродвижения, хаотичность.

© 2012 **M.A. Filatov**, Dr. biological sc., **T.V. Gavrilenko**, cand. tech. sc.,  
**O.I. Himikova**, cand. biological. sc., **I.V. Burov**  
(Surgut State University, Surgut)

### **CALCULATION OF MICROCHAOS PARAMETERS ASSESSMENT OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL FUNCTIONS IN PUPILS**

A new method of tremor's parameters evaluation in pupils is presented. The method providing realization of system's analysis and synthesis.

*Keys words:* psychophysiological functions, system's vector of state, micro-motions, chaotic state.

#### **Введение**

Активное развитие информационно-кибернетического подхода в физиологии и медицине (в аспекте познания сложноорганизованных биосистем) начало происходить после появления теории функциональных систем организма (ФСО) человека П.К. Анохина. Именно в этой теории была введена максимальная неопределенность [4] по числу элементов и их взаимосвязей (в частности, положительных связей) в организации ФСО. Теория П.К. Анохина является, фактически, продолжением бихевиористического подхода И.П. Павлова, но на сегодняшний день оба подхода не получили достаточного развития и настоящее сообщение является в определенном смысле продолжением представлений сторонников бихевиоризма и теории ФСО [1,2].

Известно, что важным свойством динамических систем с хаотической динамикой является свойство перемешивания. Свойство перемешивания более сильное свойство, чем эргодичность и оно обеспечивает экспоненциальное убывание автокорреляционной функции (скорость этого убывания связана со скоростью сходимости меры к инвариантной). Существенно, что свойство перемешивания требует доказательств в каждом отдельном случае (если мы имеем адекватную динамическую модель реальной БДС). При этом, наличие положительного ляпуновского показателя (он характеризует экспоненциальное разбегание близких траекторий с течением времени  $t$ ) не может гарантировать свойства перемешивания (т.е. хаотическую динамику БДС) и хотя имеются примеры именно это демонстрирующие (однако, в общем нет доказательств и



нет опровержения) или наоборот демонстрирующие, что скорость убывания автокорреляционной функции и скорость сходимости меры не связаны напрямую с ляпуновскими показателями, однако, на сегодняшний день общие подходы (теоремы), связывающие свойство перемешивания, динамики поведения автокорреляционной функции и ляпуновского показателя, авторам не известны. В настоящей работе приводится характерный пример области естествознания, который иллюстрирует эти закономерности и представляют принципиально новые возможности для изучения сложных биосистем с позиций многомерных фазовых пространств и теории микрохаоса (теории хаоса и синергетики – ТХС).

#### Методика исследования

Для описания, моделирования и прогнозирования особых сложноорганизованных биосистем необходимо, чтобы объекты, явления, процессы были повторяемы или воспроизводимы или хотя бы они имели неравномерное распределение в пределах некоторых областей фазового пространства (в этом случае мы будем изучать и находить функции распределения для компонент вектора состояния  $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$  системы – ВСС). Однако, в природе существует огромное число объектов, которые не имеют уже установленных законов развития и функционирования в рамках неравномерного распределения [2,4]. В этом случае эти объекты и их ВСС имеют некоторые ограниченные области в фазовом пространстве состояний – ФПС (т.е. имеются числовые ограничения на динамику движения ВСС в ФПС). При этом, движения ВСС в ФПС (изменения параметров системы в пределах этих областей) имеют хаотический характер. За 30 лет исследований в этой области В.М. Еськовым и его научной школой получено огромное число информационных кластеров, которые демонстрируют определенные закономерности в динамике поведения ВСС в ФПС с позиций компартментно-кластерного подхода (частичный список этих публикаций на сайте СурГУ <http://www.lib.surgu.ru/upload/662-evm.pdf>).

Исследования, выполнены в рамках ТХС при широтных перемещениях (группу из 300 детей перевозили из Сургута в Туапсе и обратно, при этом измерялись 12 психофизиологических показателей, но в работе представлены только 7), позволяют получать объективные данные о состоянии анализаторов и двигательных функций у учащихся различных возрастных групп с помощью метода многомерных ФПС. Определялись гендерные различия, в частности, на основе тестов распознавания четных и нечетных чисел (P5), распознавания символов (P6), скорости переработки информации (P7). В рамках семимерного ФПС нами был выполнен анализ динамики поведения вектора состояния организма человека для психофизиологических параметров учащихся Югры. В этом  $m$ -мерном пространстве состояний исследовались параметры квазиаттракторов поведения ВСОЧ с помощью авторской программы «Clusters». Определялись значения всех 7-ми координат ВСОЧ (размерность фазового пространства была равна  $m = 7$ ) по вышеуказанным психофизиологическим параметрам и находились параметры квазиаттракторов  $V_G$  для четырех состояний группы исследуемых [2, 3].

### Результаты исследования

Установлено, что статистическая обработка полученных результатов не выявила существенных различий в динамике состояния психофизиологических функций обследуемых. Например, у мальчиков результаты соотношения выполнения тестов  $P(1)$  при 1-ом обследовании и 4-ом обследовании имеют несущественные различия  $0,31 \pm 0,02$  и  $0,29 \pm 0,009$ , соответственно, у девочек –  $0,36 \pm 0,02$  и  $0,3 \pm 0,01$ . Практически, влияние переезда и лечебно-оздоровительных мероприятий, проведенных в санатории, на состояние психофизиологических функций с позиций статистики не отразилось (по всем семи предложенным тестам) при 4-х обследованиях: 1-е обследование – перед отъездом; 2-е обследование – сразу после приезда в санаторий; 3-е обследование – перед отъездом из санатория и 4-е – после приезда в Сургут.

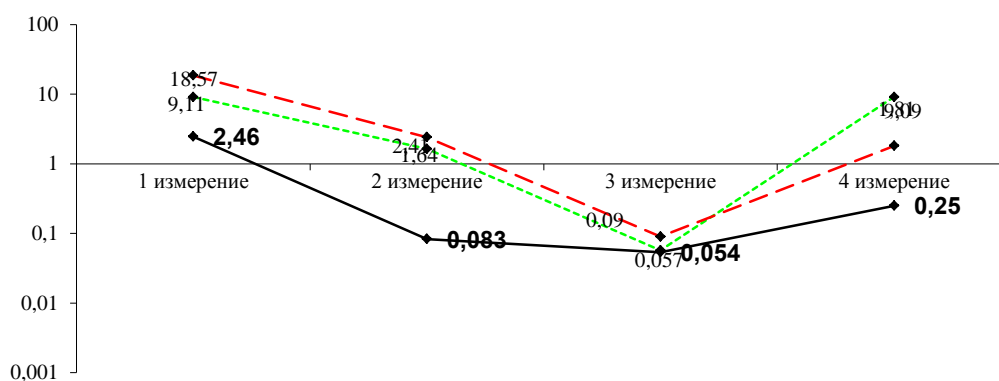


Рис.1. Динамика изменения объемов квазиаттракторов параметров психофизиологических функций учащихся в условиях широтного перемещения.

Здесь: — мальчики; --- девочки, --- общий

В рамках нового метода ТХС рассчитывались два типа матриц межаттракторных расстояний: вариант хаотического квазиаттрактора и вариант расстояний между статистическими математическими ожиданиями (некоторый аналог хаотического квазиаттрактора, но в расчете на неравномерное распределение). Характерно, что при третьем измерении (все хорошо отдохнули) квазиаттракторы мальчиков и девочек сблизилась по параметрам. В остальные измерения различие между ними существенные (шкала по вертикали неравномерная!). Это демонстрирует возможности ТХС при гендерных исследованиях поведения ВСС (см. рис.).

### Заключение

Анализ моделей в фазовом пространстве состояний поведения вектора состояния психофизиологических функций учащихся при широтных перемещениях (поездки на юг РФ) показывает высокую эффективность измерения микрохаотических моделей в ФПС в сравнении с традиционным стохастическим подходом: объемы квазиаттракторов параметров психофизиологических функций мальчиков и девочек различаются между собой существенно (мальчики имеют более низкие значения по всем временным точкам измерения), однако общая тенденция однотипная для мальчиков и девочек – наименьшее значе-

ние  $V_x$  мы имеем в третьем измерении (перед отъездом из санатория), а наибольшие значения в первом измерении (перед отъездом из Сургута), различия почти на 2 порядка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Еськов В.М., Полухин В.В., Карпин В.А. Синергетика в клинической кибернетике. Системный синтез в физиологии трудовых процессов на севере. Часть IV / под ред. В.Г. Зилова. Самара: «Офорт», 2010. 199 с.
2. Еськов В.М. Третья парадигма. Часть I. / Самара: «Офорт» (Гриф РАН), 2011. 250 с
3. Сравнение параметров квазиаттракторов поведения вектора состояния организма тренированных и нетренированных студентов / В.М.Еськов [и др.] // Теория и практика физической культуры и спорта. М. 2011. № 10. С. 92–94.
4. Weaver W. Science and Complexity. Rockefeller Foundation, New York City // American Scientist. 1948. P. 36.

УДК 577.3/612.89.05

© 2012 г. **В.М. Еськов**, д-р. физ.-мат. наук, **Т.В. Гавриленко**, канд. техн. наук, **А.С. Пашнин**, канд. техн. наук, **А.А. Балтикова**  
(Сургутский государственный университет, Сургут)

### СТОХАСТИЧЕСКИЕ И ХАОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ТРЕМОРА

Представлены новые подходы в оценке параметров динамики тремора конечностей. Обсуждается пример из области биомеханики.

*Ключевые слова:* биосистема, вектор состояния системы, микродвижения, хаотичность.

© 2012 **V.M. Eskov**, dr. phys.-math. sc., **T.V. Gavrilenko**, cand. tech. sc.,  
**A.S. Pashnin**, cand. tech. sc., **A.A. Baltikova**  
(Surgut State University, Surgut)

### STOCHASTIC AND CHAOTIC METHODS OF TREMOR'S DYNAMICS ASSESSMENT

The article presents new approaches for estimation of parameters of tremor's dynamics of limbs. An example from the field of biomechanics is discussed.

*Keys words:* biosystem, vector of system's state, micro-motion, chaotic state.

#### Введение

В интерпретации И.Р. Пригожина и В.И. Арнольда хаос является эпизодическим процессом, промежуточным состоянием между некоторыми детерминистскими или стохастическими состояниями. В представлениях же авторов настоящей статьи все сложные БДС (complexity) с синергетическими свойствами

находятся в постоянном микрохаосе (в физике, химии и технике мы такой хаос очень редко имеем). Вектор состояния таких (самоорганизованных) биосистем (ВСБ) совершает постоянное «рыскание» (вариации) в пределах некоторых квазиаттракторов. Такое движение ВСБ в пределах квазиаттракторов мы определяем как микрохаотическое состояние биосистем, и оно принципиально отличается от макрохаоса, который моделируется и исследуется в традиционной (по сути детерминистско-стохастической) теории хаоса, которую столь активно изучал И.Р. Пригожин и продолжают изучать его последователи во всех странах, где имеются научные лаборатории и ученые, занимающиеся исследованием сложных динамических систем. Сейчас все это определяется как нелинейная динамика, в рамках которой на моделях получают режимы движения векторов состояния в пределах некоторых аттракторов. Нами предлагается новый подход в оценке хаоса в динамике ВСБ.

### Методика исследования

Известно, что качество первичного отбора будущих спортсменов можно оценивать по очень простым тестам на произвольность (или непроизвольность) в организации физиологического тремора у испытуемых. Для этих целей нами был разработан специальный измерительный комплекс на базе токовихревых датчиков, который позволяет регистрировать с помощью специальной стальной пластинки (крепится на изучаемой конечности, например, на пальце) абсолютное смещение этой конечности ( $x(t)$ ) и скорость этого смещения, т.е.  $V = dx/dt$ . Эти две координаты могут образовывать двумерное фазовое пространство состояний (ФПС), в котором отсутствует время  $t$ , а имеется только координата  $x(t)$  и скорость  $V$  смещения  $x(t)$ , т.е.  $dx/dt$ .

На фазовой плоскости можно наблюдать хаотический характер движения ВСС и измерять параметры такого хаотического движения. Такими параметрами являются: объем  $V_G$  квазиаттрактора (объем прямоугольника, внутри которого движутся ВСС, т.е. изменяются координаты  $V(t)$  и  $x(t)$ ); координаты центра квазиаттрактора –  $x_c$ , матрица межаттракторных расстояний (если мы имеем несколько состояний БДС и для каждого рассчитывается два выше указанных параметра ( $V_G$  и  $x_c$ )). Используя эти величины, можно говорить о степени хаотичности в динамике поведения сложных биосистем (complexity).

### Результаты исследования

Сравнительный анализ поведения динамической системы управления движениями в режиме прицеливания и покоя проводился на фазовой плоскости методом многомерных фазовых пространств, в данном случае размерность фазового пространства была равна двум. На рисунке показаны фазовые портреты тремора в координатах положения пальца (ось X) и его скорости движения (ось Y) во время прицеливания – а и после прицеливания – б. Полученные значения объемов квазиаттракторов изображающей точки были следующие: во время прицеливания  $V_G^2$  - 4,6 E-06; после прицеливания  $V_G^3$  - 2,6 E-05, т.е. объем во

время прицеливания уменьшился в 5,6 раза, что характеризует изменение состояния системы в сторону большей степени хаотичности в период расслабления (после уменьшения величины драйвов при команде на удержание). Это, фактически, означает, что снижение степени произвольности (при прицеливании) снижает и параметры хаотического движения (микрохаоса).

В целях выявления определенных подобных (сходных) динамик изменения параметров хаоса в микродвижениях использовался стохастический подход в виде оценки энтропии Шеннона и дивергенции Кулбака-Лейблера [3]. Величина энтропии Шеннона характеризует распределение вероятностей амплитуд колебаний конечности человека: для абсолютно неподвижной конечности энтропия равна нулю, для равномерного (хаотического) распределения энтропия максимальна. По величине энтропии может быть определена степень хаотичности процесса управления движением конечности в рамках нервно-мышечной системы человека. Результаты наших расчетов для этого же примера (аналогичные примеры по всем 126 измерениям) показали, что при попытках произвольного удержания конечности энтропия микродвижений уменьшилась в 1,5 раза.

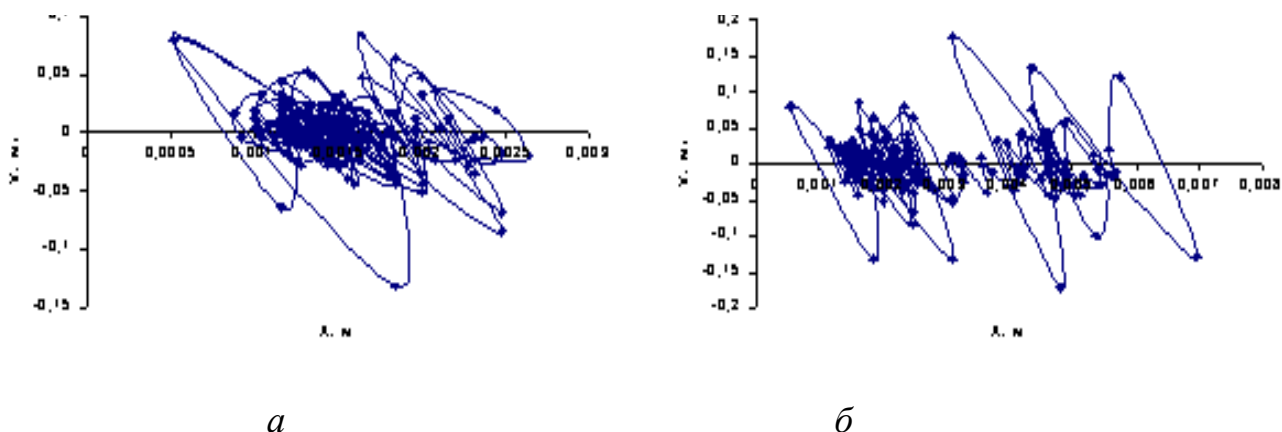


Рис. 1 Фазовый портрет тремора конечности во время прицеливания – а; после прицеливания – б.

Для сравнения и оценки степени эффективности в идентификации микрохаоса рассчитывалось также расхождение Кулбака-Лейблера для исследуемых двух распределений (Р и Q). Для разных сочетаний трёх треморограмм (соответствующих трём различным режимам удержания конечности) попарно вычисленным значениям расхождения Кулбака-Лейблера была получена матрица  $D$ , где элемент матрицы  $d_{ij}$  представлял расхождение Кулбака-Лейблера между  $i$ -той и  $j$ -той временной реализацией (треморограммой). Для вышеописанного эксперимента были получены определенные значения матрицы расхождения, в которой  $i$ -ая строка показывает меру отличия процесса  $i$  от остальных процессов (отраженных в треморограммах). Просуммировав эти значения по строкам, был получен интегральный показатель отличия (расхождения) процесса  $i$  от остальных процессов. В нашем случае это был вектор со значением  $(3,15 \ 1,34 \ 1,55)^T$ .

### Заключение

Полученные результаты показывают, что произвольные движения конечности в покое имеют большую свободу движений, более хаотичны, чем в состоянии прицеливания. Установлено, что при прицеливании у испытуемых мы имели расхождение Кулбака-Лейблера 1,34, а исходно – 3,15 (степень хаотичности максимальная). Энтропийный подход в оценке микрохаоса при треморе и расчет параметров квазиаттракторов дает некоторый согласованный результат, что свидетельствует об определенных общих корнях в этих методах и об определенной хаотической динамике оценки тремора. По мнению В.М. Еськова [1-2] такими общими корнями является свойство перемешивания, которое лежит и в оценке энтропии, и в расчете параметров квазиаттракторов. В последнем случае мы исходно работаем в гипотезе равномерного распределения в пределах квазиаттрактора, однако, параметры реальных аттракторов никогда не могут быть получены (из-за свойств мерцания и постоянной эволюции биосистем).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнение параметров квазиаттракторов поведения вектора состояния организма тренированных и нетренированных студентов / В.М.Еськов, В.В.Козлова, В.Н.Голушков [и др.] // Теория и практика физической культуры и спорта. М. 2011. № 10. С. 92–94.
2. Частичный список публикаций о закономерностях в динамике поведения ВСС в ФПС с позиции компартиментно-кластерного подхода. URL: <http://www.lib.surgu.ru/upload/662-evm.pdf> (дата обращения 30.10.2011).
3. Kullback S. Letter to the Editor: The Kullback-Leibler distance // [The American Statistician](#). 1987. Vol.41 (4). P. 340-341.

© 2012 г. Д.Л. Нахамчен, Л.Г. Нахамчен, канд. мед. наук,  
А.Г. Приходько, д-р мед. наук, Е.В. Колотова канд. мед. наук,  
Е.В. Нахамчена

(Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания СО РАМН,  
Благовещенск)

### ИЗМЕНЕНИЯ ПАТТЕРНА И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА ДЫХАНИЯ У БОЛЬНЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ

Обследованы 97 больных бронхиальной астмой различной степени тяжести с использованием спироинтервалометрии и бронхопровокационной пробы с холодным воздухом. В результате исследования выявлена вариабельность объемных и временных параметров дыхательного цикла и ритма дыхательного центра в зависимости от уровня контроля. Разработан объективный способ определения уровня контроля бронхиальной астмы.

*Ключевые слова:* бронхиальная астма, паттерн дыхания, ритм дыхания.

© 2012 г. **D.L. Nakhamchen, L.G. Nakhamchen, A.G. Prihodko, E.V. Kolotova, E.V. Nakhamchena**

(Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration of Siberian Branch RAMS, Blagoveshchensk)

### **CHANGES OF BREATHING PATTERN AND RESPIRATORY RHYTHM VARIABILITY IN PATIENTS WITH BRONCHIAL ASTHMA**

97 patients with bronchial asthma of different severity were examined of spirometry and bronchoprovocation test with cold air were used. A variability of volume and time parameters of the respiratory cycle and of respiratory center rhythm depending on the level of control. The identified changes allowed to develop objective ways to determine the level of control over the disease.

*Key words:* bronchial asthma, pattern of breathing, respiratory rhythm.

Бронхиальная астма (БА) – распространенное хроническое заболевание, которым, по данным различных авторов, страдают от 5 до 8% населения [3, 7]. Наиболее значимым клинико-функциональным признаком БА является переходящая обструкция дыхательных путей [3].

Паттерном дыхания принято называть совокупность объемных и временных параметров, характеризующих структуру дыхательного цикла и легочную вентиляцию в целом [1, 2]. Любой патологический процесс в организме, особенно заболевания бронхо-легочной системы, накладывает свой отпечаток на процессы регуляции дыхания и, как следствие, на паттерн и ритм дыхания.

**Цель настоящего исследования** состояла в определении особенностей паттерна и вариабельности ритма дыхания у больных БА в зависимости от уровня контроля над течением заболевания.

#### **Материалы и методы исследования**

Обследовано 97 больных БА, из них 51 (53%) с легким персистирующим течением, 46 (47%) со среднетяжелым персистирующим течением. Неконтролируемое течение БА установлено у 85% и частично контролируемое – у 15% больных. Средний возраст больных составил  $35 \pm 10,4$  лет, вес  $76,4 \pm 3,8$  кг, рост  $166 \pm 1,8$  см.

Ритм дыхательного центра оценивался при помощи спироинтервалометрии с регистрацией паттерна дыхания на базе инструментального комплекса для кардиореспираторных исследований фирмы «Эрих Егер» (Германия). Исследование проводилось по описанному ранее протоколу [4]. Регистрировались и вычислялись следующие параметры спироинтервалометрии и паттерна дыхания: дыхательный объем (ДО, л), длительность дыхательного цикла ( $T_0$ , с), время вдоха ( $T_{вд}$ , с), время выдоха ( $T_{выд}$ , с), частота дыхания (ЧД, в 1 мин.), минутный объем дыхания (МОД, л), эффективное время вдоха ( $T_{вд}/T_0$ ), эффективное время выдоха ( $T_{выд}/T_0$ ), средние скорости вдоха (ДО/ $T_{вд}$ , л/с) и выдоха (ДО/ $T_{выд}$ , л/с), максимальные скорости вдоха ( $V_i$ , л/с) и выдоха ( $V_e$ , л/с), математическое ожидание (M), дисперсия (d) и среднеквадратичное отклонение (СКО) продолжительности дыхательного цикла.

Реактивность дыхательных путей к холодному воздуху изучалась посредством бронхопровокационной пробы с изокапнической гипервентиляцией холодным воздухом ( $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $5\% \text{CO}_2$ ) [5, 6].

Все методики выполнялись согласно требованиям к подготовке и проведению исследований функции внешнего дыхания и одобрены комитетом по биомедицинской этике учреждения.

Статистическую обработку результатов исследования проводили, вычисляя среднее арифметическое значение ( $M$ ), ошибку среднего арифметического значения ( $m$ ), и представляли в виде  $M \pm m$ . Различия между группами оценивали с помощью непарного критерия Манна-Уитни, достоверными считались результаты при  $p < 0,05$ . Был проведен дискриминантный анализ.

### Результаты исследования и обсуждение

У больных с неконтролируемым течением БА выявлены существенные отличия временной структуры паттерна спокойного дыхания от больных в группе с частично контролируемым течением (табл. 1), проявившиеся укорочением спокойного выдоха ( $2,55 \pm 0,07$  по сравнению с  $2,91 \pm 0,17$  с у больных с контролируемым течением,  $p = 0,02$ ), уменьшением эффективного времени выдоха ( $0,61 \pm 0,01$  по сравнению с  $0,65 \pm 0,01$  у больных с частично контролируемым течением,  $p = 0,014$ ) и увеличением эффективного времени вдоха ( $0,39 \pm 0,01$  по сравнению с  $0,36 \pm 0,01$  у больных с частично контролируемым течением,  $p = 0,014$ ).

Зарегистрирована меньшая вариабельность ритма дыхания у больных БА с неконтролируемым течением, что демонстрирует различие среднеквадратичного отклонения ( $0,60 \pm 0,04$  по сравнению с  $0,82 \pm 0,13$  у больных с частично контролируемым течением,  $p = 0,019$ ). Выявленные отличия паттерна дыхания и вариабельности ритма дыхания в зависимости от уровня контроля демонстрируют патофизиологическую основу субъективной оценки пациентами своего состояния и могут быть использованы как объективный инструмент для определения уровня контроля над течением БА.

Из всей совокупности показателей паттерна дыхания, отражающих объемно-временную структуру дыхательного цикла, с помощью дискриминантного анализа выделено два параметра, наилучшим способом разделяющие указанные группы больных БА: эффективное время выдоха ( $T_{\text{выд}}/T_0$ ) и средняя скорость вдоха ( $DO/T_{\text{вд}}$ ).

Получено дискриминантное уравнение:

$$d = -27,966 \times T_{\text{выд}}/T_0 - 7,102 \times DO/T_{\text{вд}},$$

где  $d$  – дискриминантная функция, граничное значение которой  $-22,66$ . При  $d$  равной или большей граничного значения БА классифицируется как неконтролируемая, при  $d$  меньшем граничного значения следует говорить о частично контролируемом течении БА.

Данный способ определения уровня контроля над заболеванием является объективным инструментом в руках специалиста, позволяющим при помощи неинвазивного исследования выбрать адекватную тактику ведения пациента с БА.



Зарегистрированная вариабельность объемных и временных параметров дыхательного цикла и ритма дыхательного центра в зависимости от уровня контроля явственно демонстрирует вовлеченность и лабильность процессов центральной регуляции бронхомоторного тонуса и дыхательного ритма, характеризующие напряжение механизмов адаптации. Отличия временных и скоростных показателей паттерна дыхания у групп больных БА с неконтролируемым и частично-контролируемым течением позволяют определять уровень контроля над БА вне зависимости от субъективных ощущений больного.

Таблица 1

Различия показателей паттерна и вариабельности ритма дыхания здоровых лиц и больных БА в зависимости от уровня контроля

Показатели	Группа здоровых	Больные БА с неконтролируемым течением	Больные БА с частично контролируемым течением	p
ДО, л	0,78±0,04	0,75±0,02	0,83±0,06	0,166
Твд, с	1,76±0,10	1,53±0,03*	1,58±0,11	0,901
Твыд, с	2,66±0,18	2,55±0,07	2,91±0,17	0,020
То, с	4,41±0,27	4,06±0,10	4,50±0,24	0,070
ЧД, в 1 мин.	14,83±0,81	15,91±0,41	14,39±0,79	0,142
МОД, л	11,41±0,60	11,55±0,35	11,45±0,61	0,832
Твд/То	0,40±0,01	0,39±0,01	0,36±0,01**	0,014
Твыд/То	0,60±0,01	0,61±0,01	0,65±0,01**	0,012
ДО/Твд, л/с	0,47±0,02	0,51±0,02	0,55±0,03	0,232
ДО/Твыд, л/с	0,34±0,03	0,32±0,02	0,30±0,02	0,590
Vi, л/с	0,73±0,03	0,71±0,02	0,80±0,05	0,145
Ve, л/с	0,66±0,04	0,65±0,03	0,64±0,04	0,771
М	4,41±0,27	4,06±0,10	4,50±0,24	0,070
Д	0,49±0,07	0,46±0,06	1,01±0,32	0,019
СКО	0,65±0,05	0,60±0,04	0,88±0,13	0,019

Примечание: \* - уровень значимости различий в сравнении с группой здоровых (\* - p<0,05, \*\* - p<0,01, \*\*\* - p<0,001); p - в сравнении групп больных БА с ХГДП и без нее.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бреслав И.С., Исаев Г.Г. Физиология дыхания. СПб.: Наука, 1994.
2. Бреслав И.С., Ноздрачев А.Д. Дыхание. Висцеральный и поведенческий аспекты. СПб.: Наука, 2005.
3. GINA. Global strategy for asthma management and prevention. 2009. URL: <http://www.ginasthma.com>.
4. Нахамчен Д.Л. Особенности регуляции дыхания и реактивности дыхательных путей у больных бронхиальной астмой // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2010. № 38. С.7-11.

5. Перельман Ю.М., Приходько А.Г. Диагностика холодовой гиперреактивности дыхательных путей: методические рекомендации. Благовещенск, 1998.

6. Перельман Ю.М., Приходько А.Г. Методика комбинированной диагностики нарушений кондиционирующей функции и холодовой гиперреактивности дыхательных путей // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2002. №12. С.22-28.

7. Федосеев Г.Б. Бронхиальная астма. Л.: Медицинское информационное агентство, 1996.

*E-mail: [ndl.amur@mail.ru](mailto:ndl.amur@mail.ru)*

**В.Е. Деревич**

(Национальный Центр Общественного Здоровья МЗ РМ, Кишинев)

**О СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМ  
НОРМ И ПРАВИЛ, УСТАНОВЛЕННЫХ В НОРМАТИВНЫХ  
ДОКУМЕНТАХ ПО ТРЕБОВАНИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЖИЗНИ,  
ЗДОРОВЬЯ, ИМУЩЕСТВА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В  
РЕСПУБЛИКЕ МОЛДОВЕ**

В 11 Национальных технических комитетах по стандартизации специалистами ведется оценка, научная переработка и выдача нормативных документов по требованиям безопасности здоровья и жизни населения.

*Ключевые слова:* Национальный технический комитет по стандартизации, Национальная Служба Общественного Здоровья, нормативный документ, национальный стандарт, технический регламент.

**V.E.Derevich**

(National Center of Public Health of MZ RM, Kishinev)

**ABOUT SYSTEM OF ENSURING COMPLIANCE TO INDICATORS  
NORMS AND THE RULES ESTABLISHED IN THE STANDARD  
DOCUMENTS ON SAFETY REQUIREMENTS FOR LIFE, HEALTH,  
PROPERTY AND ENVIRONMENT IN TO THE REPUBLIC MOLDOVA**

In 11 National technical committees on standardization by experts the assessment, scientific processing and issue of normative documents according to requirements is conducted. safety of health and population life.

*Keywords:* National technical committee on standardization, National Service of Public Health, normative document, national standard, technical regulations.

Успешное решение первостепенных задач безопасности жизни, здоровья населения, санитарного состояния продуктов питания потребляемых населением Республики Молдова во многом зависит от санитарно-гигиенических и микробиологических показателей соответствия, устанавливаемых в нормативных документах Министерством Здравоохранения Республики Молдова.

Достижение желаемого качества НД требует вовлечения и участия всех специалистов, тогда как ответственность несет ее высшее руководство. В республике Молдова согласно СВР 1-2:2007 [1] организовано 31 Национальных технических комитетов по стандартизации для разработки терминологии, рассмотрения внесенных изменений и пересмотра методов контроля, групп, продукции и услуг, средств измерений [3], контроля над качеством НД [2], а именно, стандартов, принимаемых на Национальном уровне. В 11 НТКС [4] участвуют специалисты НЦОЗ, НПЦОЗ МЗ РМ, где занимаются гармонизацией Национальных стандартов с европейскими и международными стандартами, рассмотрением действующих НС, проектов межгосударственных стандартов и участвуют в разработке и согласовании технических регламентов. В работе существует своя специфика, которая должна быть учтена при разработке режима документообразования НД, а именно, СанПиНов, ГСЭНиП, МУ, МУК, МР, Гидов, Нормативов, Требований. Необходимо не просто наблюдать, собирать, хранить и выдавать потребителю информацию, но критически ее оценивать, творчески и научно перерабатывать, выдавать в лаконичной форме требуемые ему показатели норм и правил. Для выполнения задач НЦОЗ и МЗ РМ разрабатываются, утверждаются, издаются ТР, перечни НД на методы отбора проб, выполнения санитарно-гигиенических и микробиологических исследований, оценки санитарного состояния продуктов питания и выполняемых услуг потребителю. Также необходима активизация специалистов МЗ РМ при участии в заседаниях НТКС, в работах, осуществляемых по переписке, поддержании точки зрения, информировании Национальной Службы Общественного Здоровья о работах в рамках НТКС, информировании НТКС об изменениях для поддержания актуальности, представлении предложений по разработке новых НС и ТР или пересмотре существующих, принятии решений НТКС на основе консенсуса для безопасности, жизни, здоровья, имущества и окружающей среды.

### ЛИТЕРАТУРА

1. СВР 1-2:2007 Принципы и методология стандартизации. Структура и порядок организации технических комитетов по стандартизации. Moldovastandard, 2007.
2. О соответствии аккредитации центров превентивной медицины МЗ РМ // Информатика и системы управления. 2010. № 2(24).
3. Метрологические требования внедрения новых средств измерения в деятельности ЦПМ МЗ РМ // Информатика и системы управления. 2007. №1(13).
4. Buletinul de Standardizare Nr. 1-6-2001-2011. Institutul Național de Standardizare și Metrologie, Chișinău.

*E-mail: [vederevici@rambler.ru](mailto:vederevici@rambler.ru)*

© 2012 г. **Н.С. Потемкина**, канд. биол. наук  
(Институт Системного Анализа, Москва)

## **КАК ПОВЫСИТЬ НУТРИЕНТНУЮ ПЛОТНОСТЬ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ КОРЗИНЫ РФ**

Предложен способ существенно повысить степень соответствия продовольственной корзины россиянина нормативам рационального питания при минимальных отклонениях от официально утвержденного состава и стоимости. Для этого в корзину включены нетрадиционные продукты питания, такие как пророщенные зерна и дикоросы. Оптимизация нутриентного состава корзины выполнялась методом линейного программирования.

*Ключевые слова:* компьютерная система, питание, линейная оптимизация, пророщенные зерна, дикоросы.

© 2012 **N.S. Potemkina**, Ph.D. in biology  
(Institute for Systems Analysis, Moscow)

## **HOW TO INCREASE THE NUTRIENT DENSITY OF FOOD BASKET IN RUSSIA**

Method of essential improvement of food basket conformity with nutrition standards for Russians with minimum deviations from its officially approved content and cost. For this purpose the basket was replenished with such alternative food products as sprouts of grain and wild-growing herbs. Optimization of basket nutrient composition was performed by linear-programming technique.

*Keywords:* computer systems, human nutrition, the linear optimization, germinated seeds, wild plants

**Актуальность проблемы.** 31 марта 2006 года был принят Федеральный закон № 44-ФЗ «О потребительской корзине в целом по Российской Федерации». Действующий нормативный минимальный набор продуктов питания в составе потребительской корзины содержит всего 11 наименований (хлебные продукты: хлеб и макаронные изделия в пересчете на муку, мука, крупы, бобовые, картофель, овощи и бахчевые, фрукты свежие, сахар и кондитерские изделия в пересчете на сахар, мясопродукты, рыбопродукты, молоко и молочные продукты в пересчете на молоко, яйца, масло растительное, маргарин и другие жиры и прочие продукты: соль, чай, специи). Минимальный набор продуктов питания в составе потребительской корзины, утвержденный в начале 2006 г., действует по настоящее время, хотя по Закону о прожиточном минимуме ее срок истек, так как она подлежит пересмотру раз в пять лет. По определению продовольственная корзина – минимальный набор продуктов питания, необходимых для сохранения здоровья человека и обеспечения его жизнедеятельности. Возникает вопрос, насколько состав продовольственной корзины соответствует заявленному определению?

**Целью исследования** является оценить степень соответствия продовольственной корзины россиянина нормативам рационального питания и предложить метод повышения нутриентной плотности корзины при минимальных отклонениях от официально утвержденного состава и стоимости.

**Материал и метод.** В работе использовался список продуктов, входящих в продовольственную корзину РФ, опубликованный на сайте Министерства сельского хозяйства [7]. Оценка нутриентного состава выполнялась с помощью компьютерной системы «Питание для здоровья и долголетия» [2, 3], для оценки нутриентного состава продуктов использовались российские [4, 5, 6] и американские [8] источники, российские нормативы потребления нутриентов [6] и отдельные данные по составу продуктов, не вошедшие в основные базы. Разработка улучшенного состава продовольственной корзины выполнялась с использованием метода линейной оптимизации, реализованного в компьютерной системе «Питание для здоровья и долголетия» [2, 3].

**Результаты.** Оценка продовольственной корзины РФ показала множественные дефициты по жизненно важным нутриентам., что показано на рис. 1.

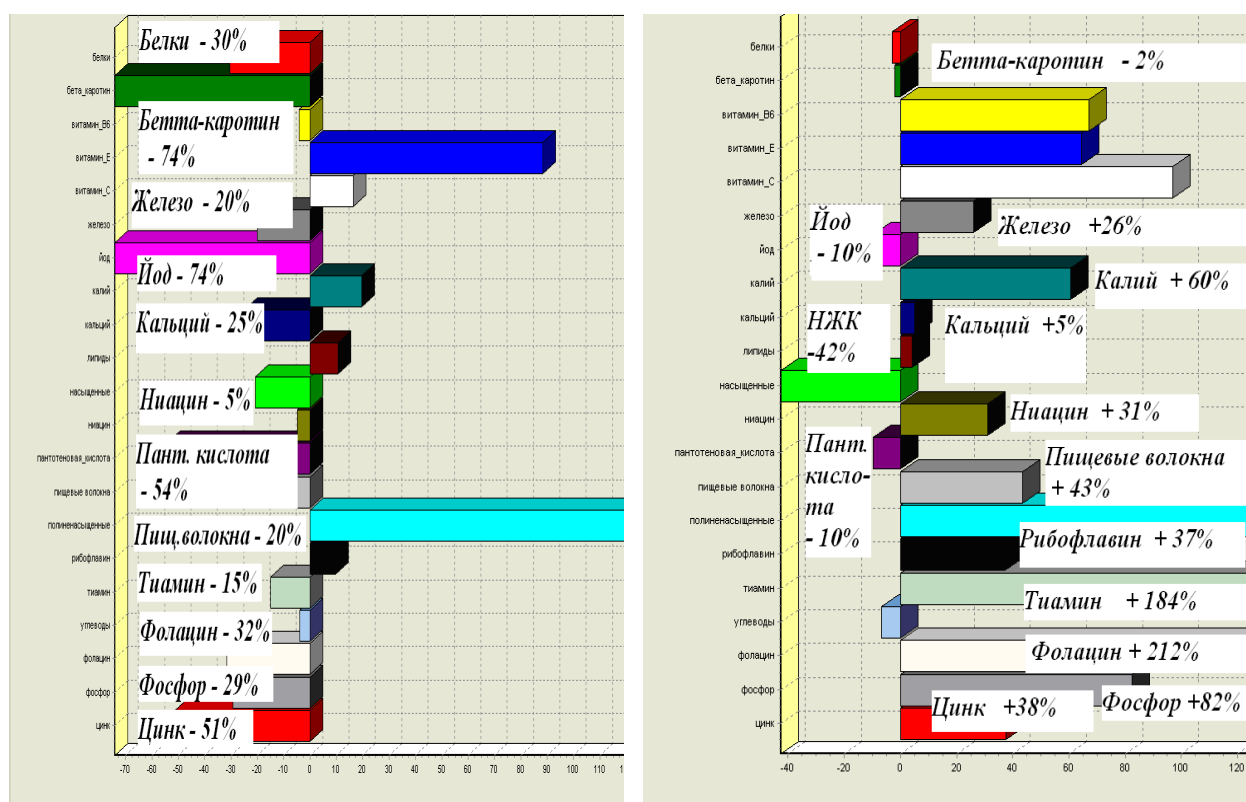


Рис. 1 Сравнительная оценка химического состава стандартной и модифицированной продовольственной корзины РФ

Здесь нет возможности дать сколько-нибудь подробную информацию о влиянии этих дефицитов на здоровье и продолжительность жизни человека. Дефицит белков сказывается на функции всех систем жизнедеятельности. Недостаток бета-каротина, селена и пищевых волокон способствует развитию онкологических заболеваний, железа – возникновению анемии, йода - умственной отсталости, кальция – остеопорозу, фолатина – патологии беременности, цинка – преждевременному старению. Все витамины группы В обеспечивают оптимальное функционирование нервной системы и отвечают за энергетический обмен, деятельность иммунной системы и эффективность процессов роста и размножения.

Замена части мясопродуктов на рыбу, муки и частично хлеба на проросшие зерна пшеницы, увеличение доли моркови за счет уменьшения доли картофеля и добавление в рацион дикоросов – крапивы и лебеды позволило существенно улучшить нутриентный состав продовольственной корзины (см. рис. 1) с незначительным увеличением калорийности и стоимости.

**Обсуждение.** Существует достаточно много сведений об улучшении нутриентного состава злаков при проращивании, поэтому их используют при разработке новых продуктов питания, для решения продовольственных проблем развивающихся стран, в животноводстве [1, 9]. Использование необработанных проростков и богатых по нутриентному составу дикоросов представляется перспективным решением снижения нутриентных дефицитов в питании человека и профилактики заболеваний, связанных с этими дефицитами.

**Выводы:**

1. Предложен способ существенно повысить степень соответствия продовольственной корзины россиянина нормативам рационального питания при минимальных отклонениях от официально утвержденного состава и стоимости. Для этого в корзину включены нетрадиционные продукты питания, такие как проросшие зерна и дикоросы.
2. Варьируя состав и количество проростков и дикоросов в рационе человека можно добиться существенного разнообразия рационов, удовлетворяющих различным диетологическим требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Залогин К.К. Повышение воспроизводительной функции хряков при использовании в рационах проросшего зерна ячменя: дисс. ... канд. с-х. наук. 2002. 117 с. URL: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-voisproizvoditelnoi-funktsii-khryakov-pri-ispolzovanii-v-ratsionakh-proroshchennogo-zerna-yachmenia>
2. Потемкина Н.С., Крутько В.Н. Питание как система: возможности современной информатики для оптимизации питания // Информатика и системы управления. 2009. №4. С.168-169.
3. Потемкина Н.С. Проблема здорового питания и возможности ее решения с помощью современных компьютерных технологий // Вестник восстановительной медицины. 2008. №5. С.63-67.
4. Химический состав пищевых продуктов: справочник в 2-х томах / под ред. И.М.Скурихина, М.Н.Волгарева. М., 1986.
5. Химический состав Российских продуктов питания / под. ред. И.М.Скурихина, В.А.Тутельяна. М. 2002. 235с.
6. Продовольственная корзина РФ. Специализированный центр учета в агропромышленном комплексе. Министерство сельского хозяйства РФ. URL: [http://specagro.ru/cenovaya\\_statistika1/?fo=123&region=0](http://specagro.ru/cenovaya_statistika1/?fo=123&region=0)
7. Products & Services / USDA National Nutrient Database for Standard Reference. URL: <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8964>
8. Gibson R.S., Perlas L., Hotz C. Improving the bioavailability of nutrients in plant foods at the household level // Proc. Soc. Nutr.

УДК 615.83/543.21

© 2012 г. **В.П. Кощеев**, д-р физ.-мат. наук, **И.Н. Вечканов**, канд. мед. наук, **В.В. Еськов**, канд. мед. наук, **Д.И. Молягов**  
(Сургутский государственный университет, г. Сургут)

## **МАТРИЦЫ МЕЖАТТРАКТОРНЫХ РАССТОЯНИЙ В ОЦЕНКЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОТЕКАНИЯ ГЕПАТИТА**

В настоящем исследовании рассматривается новый биоинформационный метод – метод расчёта матриц межаттракторных расстояний. На примере оценки лечебных воздействий при гепатите вирусной этиологии приводятся результаты использования такого метода.

*Ключевые слова:* вирусный гепатит, фазовое пространство, аттрактор, биоинформатика.

© 2012 г. **V.P. Kosheev**, Dr. of Phys.-math. Sc., **I.N. Vechkanov**, Ph.d.,  
**V.V. Eskov**, Ph.d., **D.I. Molyagov**  
(Surgut State University, Surgut)

## **MATRIX OF INTERATTRACTORS' DISTANCES IN INVESTIGATIONS OF GEPATITIS SPECIFICATION**

In present research the new bioinformational method of interattractor's distances matrixes calculation is considered. The assessment of therapeutic actions when viral hepatitis was performed by example through the instrumentality of the presented method.

*Key words:* virus hepatitis, phase space, attractor, Bioinformatics.

**Введение.** Большая широта распространения, уровень заболеваемости, поражение чаще всего трудоспособного населения (в возрасте 20 – 40 лет), увеличение частоты смешанных форм гепатита (ко-инфекции, суперинфекции, утяжеляющие течение заболевания), длительную нетрудоспособность и реабилитацию больных (занимающую до 3 – х месяцев), высокие экономические затраты на лечение, всё это вызывает повышенное внимание здравоохранения и общественности именно к вирусным гепатитам [1].

Отмечая такую тенденцию распространения вирусного гепатита, возникает задача оптимизации проводимых лечебных мероприятий, с целью снижения численности заболевших индивидуумов. Такая задача стоит перед врачом при лечении конкретного больного. Решения можно достичь, если определить, насколько эффективны те или иные проводимые лечебные мероприятия для конкретного пациента [3].

### **Объект и методы исследования**

В настоящем исследовании представляются результаты применения нового биоинформационного метода расчёта матриц межаттракторных расстояний, позволяющего по новому рассмотреть течение вирусного гепатита при проведении лечебных мероприятий. В рамках выполненного исследования регистрировались параметры биохимического профиля пациентов (общий и прямой билирубин крови, тимоловая проба, АЛАТ, АСАТ, протромбиновый индекс, фиб-

риноген). Определялись маркеры вирусных гепатитов у каждого пациента для установления этиологии (HBsAg, antiHBsAg, antiHBcor IgM, antiHAVIgM, antiHCV Ig M (методом иммуноферментного анализа). Наблюдалось 44 пациента с вирусным гепатитом А, 35 пациентов с вирусным гепатитом В и 28 пациентов с вирусным гепатитом С.

Предлагаемый в настоящей работе метод построения матриц расстояний [2-4] основан на методе многомерных фазовых пространств, когда для каждого вектора в одном и том же фазовом пространстве состояний имеются одинаковые наборы компонент (т.е. диагностических признаков), которые имеют наборы конкретных множеств значений самих диагностических признаков по каждой из координат вектора. Таким образом, описывается состояние каждого пациента в виде точки в  $m$ -мерном фазовом пространстве состояний (ФПС) с координатами (на соответствующих осях координат) конца вектора  $x$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Выполнены измерения биохимических показателей 3-х групп больных вирусным гепатитом А, В, С в разгар заболевания и в период реконвалесценции. Произведена обработка данных в фазовом пространстве состояний и рассчитаны матрицы расстояний между хаотическими квазиаттракторами. Проведено сравнение расстояний между центрами для всех пар хаотических квазиаттракторов движения вектора состояния организма больных вирусным гепатитом А, В и С в период разгара заболевания. На основе этих расчётов была рассчитана матрица межаттракторных расстояний движения вектора состояния организма пациентов (см. табл. 1).

Таблица 1

Матрицы расстояний  $Z_{ij}$  между центрами хаотических квазиаттракторов для 3-х нозологических единиц (вирусные гепатиты А, В и С) для 2-х периодов измерений (разгар заболевания и период реконвалесценции)

Период разгара заболевания	Период реконвалесценции			Сумма элементов горизонтальных столбцов
	Гепатит А	Гепатит В	Гепатит С	
Гепатит А	$Z_{11}= 853.81$	$Z_{12}=1 769.96$	$Z_{13} = 1784.81$	5 408.08
Гепатит В	$Z_{21}=2 433.61$	$Z_{22}=2 351.53$	$Z_{23}=2 367.43$	7 152.57
Гепатит С	$Z_{31}=1 585.41$	$Z_{32}=1 500.91$	$Z_{33}=1 515.59$	4 601.91
Сумма элементов диагональных столбцов	5 872.83	5 622.4	5 667.83	

Из построенной матрицы межаттракторных расстояний (см. табл.) видно, что расстояние между центрами квазиаттракторов имеет абсолютное наибольшее значение при сопоставлении вирусного гепатита В в период разгара заболевания с вирусным гепатитом А в период реконвалесценции и составляет  $Z_{21} - 2 433.61$  (у.е.), при сопоставлении с вирусным гепатитом В и вирусным гепати-



том С получаем: 2 351.53 ( $Z_{22}$ ) и 2 367.43 ( $Z_{23}$ ) соответственно. Наименьшее расстояние имеем между центрами квазиаттракторов при сравнении вирусного гепатита С в период разгара с реконвалесценцией гепатитов А, В, С, так  $Z_{31}$  – 1 585.41 (у.е.),  $Z_{32}$  – 1 500.91 (у.е.),  $Z_{33}$  – 1 515.59 (у.е.), см. таблицу. Среднее положение занимает сопоставление периода разгара при вирусных гепатитах А, В и С в период реконвалесценции – 1 853.81 ( $Z_{11}$ ), 1 769.96 ( $Z_{12}$ ), 1 784.81 ( $Z_{13}$ ). Отметим, что все эти расстояния значительно превосходят расстояния между центрами квазиаттракторов для трёх типов вирусных гепатитов (А, В, С) в разгар заболевания и особенно в период реконвалесценции. В последнем случае эти расстояния  $Z$  становились менее 100 условных единиц, в то время как сравнение  $Z$  для разгара заболевания и для периода реконвалесценции измеряется в тысячах условных единиц (т.е. почти на два порядка).

Из таблицы видно, что наибольший лечебный эффект наблюдается в случае вирусного гепатита В ( $Z_{22} = 2\,351$  у.е.) и наименьший для вирусного гепатита С ( $Z_{33} = 1516$ ). последнее можно объяснить довольно частым переходом человека в хроническую форму.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дунаевский О.А. Оценка тяжести сывороточного гепатита у взрослых математическим методом // Вирусный гепатит. М.: Медицина, 1973. Р. 46-47.
2. Идентификация параметров порядка (наиболее значимых диагностических признаков) методов расчета матриц состояний: программа для ЭВМ / М.Я.Брагинский, В.М.Еськов, В.В.Еськов, Е.В.Майстренко, М.А.Филатов. Св-во об офиц. рег. №2010613309.
3. Еськов В.М., Добрынин Ю.В., Филатов М.А. Оценка эффективности лечебного воздействия на организм человека с помощью матриц расстояний. // Информатика и системы управления. 2010. Т. 24, № 2. С. 105-109.
4. Anufriev A.S., Eskov V.M., Eskov V.M. A new method of stationary interval identification of human organism state vector behavior // Proceedings of 5th Conference of the Eastern Mediterranean Region of the International Biometric Society. Istanbul. 2009. P. 140.

*E-mail: [firing.squad@mail.ru](mailto:firing.squad@mail.ru)*

УДК 615.83/543.21

© 2012 г. **О.Е. Филатова**, д-р биол. наук, **Ю.М. Попов**, д-р биол. наук, **Ю.В. Добрынин**, канд. мед. наук, **В.В. Еськов**, канд. мед. наук  
(Сургутский государственный университет, Сургут)

#### **ПАРАМЕТРЫ КВАЗИАТТРАКТОРОВ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО – СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬНЫХ С ОСТЕОХОНДРОЗОМ**

Состояние параметров вегетативной регуляции ССС у больных остеохондрозом было исследовано методом минимальных фазовых пространств. Анализ

параметров квазиаттракторов обеспечил идентификацию наиболее значимых диагностических признаков.

*Ключевые слова:* фазовое пространство, хаос, параметры порядка.

**О.Е. Filatova, Dr. of Biol. Sc., Y.V. Popov, Dr. of Biol. Sc.,**

**Y.V. Dobrynin, Ph.doc, V.V. Eskov, Ph.doc**

**THE PARAMETERS OF VECTOR'S STATE QUASIATTRACTORS  
OF PATIENTS CARDIO-VASCULAR SYSTEM**

The parameters of cardio-vascular system vegetative regulation were investigated (patients with osteocheondrosis) by multi-phase space methods. The order parameters (main diagnostic parameters) were identified after identification of quasiattractors parameters.

*Key words:* phase space, chaos, order parameters.

Принято считать, что сердечно-сосудистая система является основной лимитирующей и интегративной системой с точки зрения жизнеобеспечения организма. Она чутко реагирует на изменения в функционировании любого органа, а также характеристик окружающей среды. В условиях Севера человек вынужден адаптироваться к холоду и резким перепадам суточных температур не только зимой, но и весной, осенью. Негативное влияние низких температур на приезжий контингент сопряжено с развитием в легких морфологических изменений, свидетельствующих о формировании специфического структурного преморбидного состояния. В складывающихся условиях становится актуальным комплексное использование методов медикаментозной терапии с различными методами восстановительной медицины в целях улучшения качества самочувствия пациентов, их дальнейшего выздоровления и пролонгации жизни в целом.

**Целью настоящей работы** является биоинформационный анализ в многомерном фазовом пространстве состояний показателей вегетативной регуляции у пациентов с остеохондрозом позвоночника в условиях применения комплекса физиотерапевтических воздействий.

**Объект и методы исследования**

В работе исследуются показатели вегетативной регуляции организма пациентов на основе анализа ВСР, на базе отделения восстановительной медицины и реабилитации НУЗ «Отделенческая клиническая больница на ст. Сургут ОАО «РЖД», за период 2008-2010 г.г. Были обследованы больные (n=101), страдающие хроническими заболеваниями опорно-двигательного аппарата (остеохондроз позвоночника).

В группу наблюдений вошли пациенты с остеохондрозом позвоночника, средний возраст  $42,5 \pm 1,9$  лет (n=31). Исследование параметров ВСР проводилось в два этапа с использованием аппаратно-программного комплекса «ЭЛОКС-01С2» (ЗАО ИМЦ Новые Приборы, г. Самара). Показатели снимались до управляющего физиотерапевтического воздействия (в начале лечения: исходные данные, в первый день поступления в отделение), затем после всего

комплекса физиотерапевтических процедур (перед выпиской). Мониторинг выполнялся приблизительно в сходных комфортных условиях в течение 5 минут.

### Результаты исследований и их обсуждение

У обследованных больных установлены следующие закономерности микрохаотической динамики параметров вегетативной регуляции в условиях применения методов физиотерапевтических мероприятий: 1. У пациентов с остеохондрозом позвоночника, не выявлено существенной динамики показателей уровня насыщения оксигемоглобином крови обследуемых ( $SpO_2$ ) под воздействием комплекса ФВ:  $SpO_{2до} = SpO_{2после} = 97,00\%$  ( $p_B > 0,05$ ). 2. Значения показателей СИМ и ПАР характеризовались слабой активностью (менее 15 у.е.) как до, так и после применения комплекса ФВ. 3. Для показателя частоты сердечных сокращений (HR) характерно достоверно значимое повышение на 7 уд.мин. ( $p < 0,05$ ). Повышение HR свидетельствует о мобилизации сердечно-сосудистой системы для обеспечения работы организма в неблагоприятных условиях (например при стрессе или болезни), что указывает на повышение тонуса СИМ.

Для группы больных с остеохондрозом позвоночника превалирующим типом вегетативного тонуса, по значениям ИНБ, является нормотония: 40,00 у.е. (62%) и 56,00 у.е. (65%) до и после применения комплекса ФВ соответственно. После применения комплекса ФВ наблюдалась тенденция к уменьшению вагусной активности. Частотные показатели ритма сердца (VLF, LF, HF, TP и LF/HF) у пациентов с остеохондрозом позвоночника имеют тенденцию к некоторому снижению значений после применения комплекса ФВ.

Значение показателя VLF уменьшилось с 2036,00  $мс^2$  до 1716,00  $мс^2$  ( $p > 0,05$ ), что отражает позитивные тенденции микрохаотической динамики параметров вегетативной регуляции, так как уменьшение VLF свидетельствует о переходе организма на более высокие уровни регуляции ВНС. Также отмечалось уменьшение значения LF с 1441,00  $мс^2$  до 1317,00  $мс^2$  ( $p > 0,05$ ); значение HF уменьшилось с 816,00  $мс^2$  до 618,00  $мс^2$  ( $p > 0,05$ ); значение TP уменьшилось с 5362,00  $мс^2$  до 3803,00  $мс^2$  ( $p > 0,05$ ).

Баланс отделов ВНС, LF/HF, имел тенденцию к росту от 1,80 у.е. до 2,65 у.е. после применения комплекса ФВ ( $p > 0,05$ ), что характерно для активации симпато-адреналовой системы. Показатели спектральной мощности ВСР LFnorm (увеличение) и HFnorm (уменьшение) имели достоверные изменения после применения методов УФВ: с LFnorm<sub>до</sub> = 62,00 % до LFnorm<sub>после</sub> = 73,00 % ( $p < 0,01$ ); с HFnorm<sub>до</sub> = 38,00 % до HFnorm<sub>после</sub> = 27,00 % ( $p < 0,01$ ). Значения данных показателей свидетельствуют о тенденции к активации вегетативной регуляции со стороны симпатической НС (повышение LFnorm и понижение – HFnorm).

Биоинформационный анализ показателей ВСР у обследуемых с остеохондрозом позвоночника выявил следующую тенденцию в динамике параметров квазиаттракторов в условиях применения методов ФВ (табл. 1).

Таблица 1

Идентификация параметров квазиаттракторов и параметров порядка по показателям вегетативной регуляции у пациентов с остеохондрозом позвоночника в условиях применения методов УФВ (m=15)

До применения ФВ	После применения ФВ	Параметры порядка
General asymmetry value $R_x = 10718,86$	General asymmetry value $R_x = 10303,73$	$Z_9 = 854,69$ $Z_{11} = 1106,46$
General V value $V_x = 1,33E36$	General V value $V_x = 5,86E36$	$Z_{12} = 938,49$

Примечание: m – размерность ФП;  $R_x$  – показатель асимметрии;  $V_x$  – объем 15-мерного ФПС. Z – расстояние между центрами двух квазиаттракторов (до и после ФВ) при исключении:  $Z_9$  – VLF;  $Z_{11}$  – HF;  $Z_{12}$  – Total power.

Использование алгоритма параллельной идентификации параметров квазиаттракторов ВСО человека обеспечило выделение параметров порядка – ПП, используемых для выделения критериев, обладающих существенной значимостью при сравнительном биоинформационном анализе показателей ВСР обследуемых в условиях применения методов ФВ. Существенными диагностическими признаками оказались показатели: VLF, HF и Total Power.

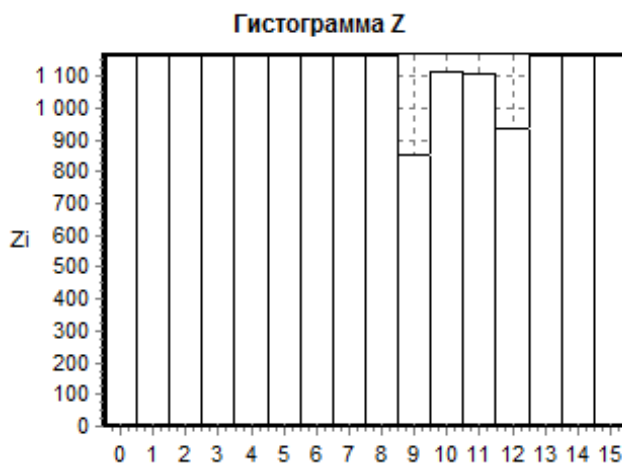


Рис. 1. Гистограмма распределения значимости показателей (1-15) при исключении отдельных признаков ( $Z_0$ - $Z_{15}$ ) у пациентов с остеохондрозом позвоночника в условиях применения методов ФВ. 0 – расстояние между центрами двух квазиаттракторов (до и после УФВ) без исключения признака; при исключении: 1 – SpO<sub>2</sub>; 2 – СИМ; 3 – ПАР; 4 – SDNN; 5 – ИНБ; 6 – RMSSD; 7 – pNN50; 8 – HR; 9 – VLF; 10 – LF; 11 – HF; 12 – Total power; 13 – LF norm; 14 – HF norm; 15 – LF/HF.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Программа идентификации параметров аттракторов поведения вектора состояния биосистем в  $m$ -мерном фазовом пространстве: программа для ЭВМ / В.М.Еськов, М.Я.Брагинский, С.Н.Русак, А.А.Устименко, Ю.В.Добрынин // Св-во о гос. рег. №2006613212.

3. Состояние функций организма учащихся Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: монография / В.М. Еськов, О.Е. Филатова, О.В. Климов. Ханты-Мансийск : Полиграфист, 2008. 164 с.

*E-mail: [firing.squad@mail.ru](mailto:firing.squad@mail.ru)*

**В.В. Харитонов**, канд. техн. наук, **П.М. Шешегов**, канд. мед. наук  
(НИИЦ (авиационно-космической медицины и военной эргономики)  
ФГБУ «4 ЦНИИ Минобороны России», Москва)

### **ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ НЕНАДЕЖНОСТИ ДЕЙСТВИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ СИЛ**

Изложена технология оценивания потенциальной ненадежности профессиональной деятельности инженерно-технического состава военной авиации от неблагоприятного воздействия авиационного шума.

*Ключевые слова:* авиационный шум, потенциальная ненадежность действия, эквивалентный уровень шума, средства индивидуальной защиты.

**V.V. Kharitonov**, PhD; **P.M. Sheshegov**, PhD

(Scientific-Research Test Center (aerospace medicine and military ergonomics)  
FSBU «4 Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia», Moscow)

### **TECHNOLOGY ANALYSIS POTENTIALLY UNRELIABLE ACTION PROFESSIONALS SERVING AIRCRAFT AIR FORCE**

Described the technology assessment of the potential unreliability of professional engineering and technical staff of military aircraft from the adverse effects of aircraft noise.

*Keywords:* aircraft noise, the potential unreliability of the equivalent noise level, personal protective equipment.

**Введение.** Установлено, в частности, что ошибочные и несвоевременные действия персонала при управлении сложными техническими объектами вызывают до 40% неблагоприятных исходов при испытаниях ракет, более 60% тяжелых происшествий на транспорте, до 80% аварий и катастроф в авиации неблагоприятных исходов при испытаниях ракет, более 60% тяжелых происшествий на транспорте, до 80% аварий и катастроф в авиации [1, 2].

Эффективность профессиональной деятельности оператора по качеству его функционирования в производственном процессе, точности и своевременности действий, по достижению поставленных задач, т.е. по конечному результату деятельности, характеризуются профессиональной надежностью.

Одной из причин снижения профессиональной надежности оператора является превышение на рабочем месте допустимых уровней физико-химических факторов (ФХФ) условий деятельности, обоснованных результатами физиолого-гигиенических исследований [3].

В работе [4] изложена концепция потенциальной ненадежности действий (ПНД) как вероятностной меры степени влияния на оператора ФХФ. Количественной основой этой меры является риск возникновения неблагоприятного эффекта (срыв деятельности, ошибочные действия).

**Целью исследования** явилось исследование потенциальной надежности действия авиационных специалистов, обслуживающих различные летательные аппараты.

**Методика исследования.** Одним из ФХФ неблагоприятного действия на человека, обслуживающего авиационную технику (АТ), является шумовое воздействие. Известно, что под воздействием шума надежность действий человека, выполняющего операторскую деятельность, снижается. Согласно [5], надежность человека-оператора – это его свойство сохранять способность осуществлять определенную деятельность с требуемым качеством в течение требуемого интервала времени, сохраняя требуемый уровень производительности. Нарушение деятельности является событием, имеющим определенную вероятность. В работе [4] эта вероятность определена как потенциальная ненадежность действия. В результате обработки данных экспериментальных исследований с использованием методов математической статистики получена математическая модель, описывающая зависимость ПНД от уровня звука, воздействующего на ИТС в течение летной смены, при подготовке ЛА к полетам, при опробовании двигателей после выполнения на АТ регламентных работ.

Структура этой модели представлена композицией двух усеченных нормальных функций распределения. Параметрами модели являются оценки математических ожиданий усеченных распределений  $M_1$ ,  $M_2$  и их среднеквадратические (стандартные) отклонения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  [6,7]. Параметрическая идентификация позволила определить параметры модели. Их численные значения равны:  $M_1=134,02$ ;  $M_2=116,03$ ;  $\sigma_1=42,00$ ;  $\sigma_2=8,67$ ;  $T=111,33$ .

В целях установления влияния шума, действию которого подвергаются авиационные техники, обслуживающие самолеты и вертолеты различных родов авиации ВС РФ в течение летной смены, на их профессиональную работоспособность были составлены циклограммы работы ИТС, подвергающегося воздействию шума при работе авиадвигателей во время проведения полетов, при опробовании двигателей после выполнения на ЛА регламентных работ [8].

Основными элементами циклограммы являлись:

- время от момента запуска авиадвигателей ЛА до момента его выруливания со стартовой площадки;
- количество вылетов ЛА за летную смену;
- время, необходимое для подготовки самолета (вертолета) к полету специалистами других профессий, которые работают только со вспомогательным оборудованием.

Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является эквивалентный уровень звука в дБА. Эквивалентный (по энергии) уровень звука непостоянного шума  $L_{экв}$  - величина, равная уровню звука  $L_A$  постоянного шума, который имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение неопределенного интервала времени [9].

Таким образом, если известны циклограммы работы ИТС и характеристики шума на рабочих местах ИТС, можно посчитать по вышеприведенной методике вероятность потенциальной ненадежности действия авиационных специалистов, обслуживающих различные типы летательных аппаратов.

В табл. 1 приведены значения ПНД инженерно-технического состава, подвергающегося воздействию шума от работы двигателей во время обеспечения полетов. Из таблицы видно, что риск возникновения неблагоприятного эффекта наиболее выражен при обслуживании и подготовке к полетам АТ штурмовой, истребительной и дальней авиации (ПНД составляет до 38 – 47%).

Таблица 1

Вид авиации	Время работы двигателей от запуска до выруливания, мин	Кол-во вылетов за летную смену	Общее время за летную смену	Уровень шума $L_{экв}$ , дБА	ПНД, отн. ед
Истребительная	5-7	2-6	15-42	94-114	0,17-0,38
Фронтовая	7	3	21	107	0,21
Штурмовая	10-11	3-4	30-44	116-118	0,35-0,47
Дальняя	10-25	1-3	10-75	96-114	0,18-0,38
Военно-транспортная	8-15	2-4	16-60	105-112	0,24-0,31
Армейская	3-8	3-4	9-32	102-111	0,22-0,29

**Обсуждение результатов.** В проведенном исследовании были использованы математические модели расчета оценки ПНД у авиационных специалистов, подвергающихся воздействию высокоинтенсивного шума во время летной смены. Результаты исследования позволяют сделать заключение о прикладной значимости математической модели расчета вероятности ПНД, целесообразности её использования для оценивания ПНД инженерно-технического состава при воздействии авиационного шума, образующегося на рабочих местах при обслуживании летательных аппаратов, и в качестве критерия для оценки средств индивидуальной и коллективной защиты от шума.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бодров В.А., Орлов В.Я. Психология и надежность: Человек в системах управления техникой. М.: ИП РАН, 1988. 288с.
2. Ушаков И.Б., Богомоллов А.В., Кукушкин Ю.А. Паттерны функциональных состояний оператора. М.: Наука, 2010. 390с.
3. Потенциальная ненадежность действий оператора как характеристика степени влияния физико-химических факторов условий деятельности /

И.Б.Ушаков, Ю.А.Кукушкин, А.В.Богомолов, В.Н.Карпов // Безопасность жизнедеятельности. 2001. №1. С.24-29.

4. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Физиология труда и надежность деятельности человека. М.: Наука, 2008. 317с.

5. Энциклопедический справочник по авиационной эргономике и экологии. М.: Изд-во ИП РАН, 1997. 508с.

6. Диагностика состояния человека: математические подходы / А.В.Богомолов, Л.А.Гридин, Ю.А.Кукушкин, И.Б.Ушаков. М.: Медицина, 2003. 464 с.

7. Методика оценивания умственной работоспособности и надежности профессиональной деятельности специалистов, подвергающихся воздействию авиационного шума / Ю.А.Кукушкин, С.К.Солдатов, В.Н.Зинкин [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. №1-2. С.50-56.

8. Методическое обеспечение и результаты исследования акустической обстановки на рабочих местах специалистов, подвергающихся воздействию авиационного шума / С.А.Щербаков, Ю.А.Кукушкин, С.К.Солдатов [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. 2007. №12. С. 21-27.

9. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Прокопенко Л.В. Человек и шум. М.: ГЕОТАР-МЕД, 2001. 384с.

*[haritonovvladimir@yandex.ru](mailto:haritonovvladimir@yandex.ru), [sheshegoff.pavel@yandex.ru](mailto:sheshegoff.pavel@yandex.ru)*

УДК 616.831–008.6

**А.К. Панченко**, канд. мед. наук, **К.И. Панченко**, д-р мед. наук, **Д.В. Сухов**  
(Ярославская государственная медицинская академия, Ярославль)

### **ИЗМЕНЕНИЯ ТКАНИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИЛЫ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭТАНОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ**

Проведён регрессионный анализ связей между изменениями структур головного мозга (нейронов, нейроглии и микрососудов) и основанной на сведениях о концентрации спирта в крови и моче оценкой силы и длительности этанольной интоксикации.

*Ключевые слова:* регрессионный анализ, этанольная интоксикация, нейроглия, микрососуды мозга, нейроны.

**A.K.Panchenko**, cand. of med. Sc., **K.I.Panchenko**, Dr. of med. Sc., **D.V Suhov**  
(Yaroslavl State Medical Academy)

### **CHANGES OF THE TISSUE OF THE BRAIN DEPENDING ON FORCE AND DURATION OF AN ALCOHOLIC INTOXICATIONS**

It is spent THE REGRESSIVE analysis of communications between changes of structures of a brain (neurons, a neuroglia and microvessels) and based on data on concentration of alcohol in a blood and urine an estimation of force and duration of an ALCOHOLIC intoxication.

*Keywords:* REGRESSIVE analysis, alcoholic intoxication, Neuroglia, brain microvessels, neurons.



**Введение.** Определение продолжительности этанольной интоксикации (ЭИ), предшествующей смерти, а возможно и фазы опьянения (резорбция, элиминация), имеет непосредственное практическое значение в судебно-медицинской практике. Этанол, как токсический агент, действует преимущественно на центральную нервную систему. Он особенно легко абсорбируется мозговой тканью, что объясняется большим содержанием в ней воды, высокой васкуляризацией ткани мозга и нейротропностью алкоголя. Среднее значение отношения концентрации этанола в мозговой ткани к концентрации его в крови (КЭК) выше единицы (1,15), причём выделение этанола из мозговой ткани, несколько отстает, от выделения из тканей других органов [1]. Вместе с тем, в утвержденной методике при оценке степени ЭИ учитывается только КЭК [2]. Однако, согласно новым исследованиям вывод о степени ЭИ только по КЭК, без учета концентрации этанола в моче (КЭМ) и внутренних органах, не может быть достоверным [3]. Нами была установлена корреляция между концентрациями этанола в КЭК и КЭМ и трансформацией нервной ткани [4,5]. В настоящей работе данные о КЭК и КЭМ связываются в единый показатель с целью оценки силы и давности опьянения (ОСДО).

**Результаты исследования.** Кусочки головного мозга (всего 160) от 40 трупов людей, разного возраста от 20 до 81 года ( $49 \pm 1$ ), изымались из различных отделов головного мозга: кора с субкортикальным отделом белого вещества предцентральной извилины и гиппокампа, а также кора и белое вещество мозжечка. Кусочки мозга фиксировали нейтральным формалином, резали в криостате и срезы, окрашивали глицинкрезоловым красным. Кусочки печени, заливали в парафин, и срезы их окрашивали гематоксилин-эозином. При микроскопии ткани печени оценивали выраженность патологического процесса в баллах, как в предыдущей работе [4]. При микроскопии в белом веществе мозга определяли количество астроцитов с различным числом отростков, отдельно количество амебоидных астроцитов с зернистостью цитоплазмы (зернистые астроциты) и количество олигодендроцитов как с отеком и хроматолизом ядер, так и без них. В сером веществе мозга считали количество микрососудов с признаками стаза и определяли максимальный диаметр самого крупного из этих сосудов (мкм). В пятом слое коры больших полушарий и в слое грушевидных нейронов мозжечка считали количество картин нейронофагии. Все подсчёты проводили в пределах поля зрения микроскопа (40x7) и брали среднее из 10 полей. Кроме того, во всём препарате определяли окраску стазов (коды: отсутствие стазов – 100, только красные – 101, желтые и красные – 102, только желтые – 103). КЭК варьировала от 0 до 6‰ ( $1,3 \pm 0,15\%$ ;  $1,09 \div 1,6\%$ ), а КЭМ – от 0 до 6,9‰ ( $1,89 \pm 0,19\%$ ;  $1,4 \div 2,2\%$ ). Поскольку и КЭК, и КЭМ свидетельствуют о силе опьянения, то определялась их средняя арифметическая (САКМ). Длительность опьянения обычно не известна, однако она прямо пропорциональна КЭМ и обратно пропорциональна КЭК. Это отношение использовалось, как поправочный коэффициент длительности опьянения (ДО) к САКМ.

$$ОСДО = САКМ \times ДО$$

Показатель ОСДО варьировал от 0 до 9‰ (2,3±0,2‰; 1,8÷2,8‰). Проведен регрессионный анализ (*STATISTICA 5.5.*), для определения предикторов данного фактора в мозговой ткани, с учетом возраста и поражения печени.

Определена регрессия связей для показателя ОСДО: R=0,79; скорректированный коэффициент детерминации RI=0,61; F(9,150)=28; p<0,00000; стандартная ошибка (m) регрессии = 1,91 (табл. 1).

Таблица 1

Показатели	$\beta$	m $\beta$	B	mB	t(152)	p<
Свободный член			-37,01	16,87	-2,19	0,03
Возраст (года)	-0,25	0,05	-0,06	0,01	-4,89	3E-06
Поражение печени (баллы)	-0,16	0,06	-0,46	0,18	-2,54	0,01
Количество А6	-0,16	0,05	-1,23	0,38	-3,22	0,002
Количество ОПОХЯ	0,34	0,08	0,46	0,11	4,39	2E-05
Количество ЗА	0,24	0,08	0,57	0,20	2,81	0,01
Количество картин НФ	-0,15	0,07	-0,21	0,1	-2,13	0,03
Окраска сладжей (код)	0,13	0,05	0,41	0,17	2,48	0,01
Количество МССК	0,41	0,06	0,52	0,07	7,08	5E-11
МДМСК (мкм)	-0,12	0,05	-0,17	0,08	-2,18	0,03

Примечание: А6 – астроциты с числом отростков  $\geq 6$ ; ООХЯ – олигодендроциты с перипеллюлярным отеком и хроматолизом ядра; ЗА – зернистые астроциты; НФ – нейронофагия; МССК – микрососуды со стазом в коре мозга; МДМСК – максимальный диаметр микрососудов коры мозга.

Уравнение регрессии для показателя ОСДО:

$$Y = -37 - 0,1 \times X_1 - 0,5 \times X_2 - 1,2 \times X_3 + 0,5 \times X_4 + 0,6 \times X_5 - 0,2 \times X_6 + 0,4 \times X_7 + 0,5 \times X_8 - 0,2 \times X_9$$

где: Y – единый показатель ОСДО (‰), X<sub>1</sub> – X<sub>9</sub> – показатели, перечисленные в левом столбце таблицы 1, начиная с возраста.

**Заключение.** Таким образом, предложен показатель ОСДО, полнее оценивающий алкогольное опьянение. При оценке его, по сравнению с КЭК, при одинаковом количестве (9) предикторов, скорректированный коэффициент детерминации выше (0,61 против 0,55), а по сравнению с КЭМ, такой же уровень достигается с меньшим количеством предикторов. Для суммарной же оценки КЭК и КЭМ требуется 14 предикторов [5]. Учитывая  $\beta$  коэффициенты и t критерии, опьянение прямо пропорционально связано с нарушением микроциркуляции в мозге (количество микрососудов со стазом в сером веществе, олигодендроцитов с перипеллюлярным отеком и хроматолизом ядра в белом веществе) и количеством зернистых астроцитов и обратно пропорционально связано с возрастом умершего. Остальные предикторы имеют меньшее значение. Следует отметить, что предикторами являются изменения всех тканевых компонентов (глии, нейронов, сосудов, крови), более значима роль нарушения микроциркуляции. Возраст является важным фактором, как это показано [6], и сведения о нём вносят поправку в регрессионное уравнение. Следовательно, по трансформации тка-

ни мозга, с большей достоверностью, можно судить о степени алкогольного опьянения, учитывая силу и длительность воздействия этанола.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по судебно-медицинской экспертизе отравлений / под ред. Я.С. Смусина. М.: Медицина, 1980. 424 с.
2. Методические указания: о судебно-медицинской диагностике смертельных отравлений этиловым алкоголем и допускаемых при этом ошибках / под ред. В.И. Прозоровского. – 1974.
3. Пособие для врачей судебно-медицинских экспертов: судебно-медицинская диагностика острых смертельных отравлений алкоголем / под ред. А.В. Капустина. М., 2005.
4. Панченко А.К., Сухов Д.В., Панченко К.И. Идентификация этанольной интоксикации по трансформации нервных клеток и нейроглии // Информатика и системы управления. 2010. № 2 (24). С.146-149.
5. Материалы V международной научной конференции «Системный анализ в медицине» / Д.В. Сухов, А.К. Панченко, К.И. Панченко, Т.Н. Плотникова // Тканевые предикторы острой этанольной интоксикации головного мозга человека. Благовещенск. 2011. С. 97-99.
6. Hamner M.A., Möller T., Ransom B.R. Anaerobic function of CNS white matter declines with age // J. Cereb. Blood Flow Metab. 2011. V.31, № 4. P. 996-1002.

*E-mail: [K-I-Panchenko@yandex.ru](mailto:K-I-Panchenko@yandex.ru)*

© 2012 **В.М. Катола**, канд. мед. наук.

(ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск)

### **ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ МИКОАЛЛЕРГЕНОВ**

Визуализировано формирование комплексных золотосодержащих микоаллергенов. у гриба *Penicillium canescens* Sopp.

*Ключевые слова:* микромицеты, золото, электронная микроскопия.

**V.M. Katola**, PhD. med. of Sciences

(Federal official body of science Institute of Geology and  
Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk)

### **EDUCATION COMPLEX GOLD MYCOALLERGENS**

Visualized the formation of complex gold-mycoallergens from the fungus *Penicillium canescens* Sopp.

*Keywords:* fungi, gold, and electron microscopy.

**Введение.** Микроскопические грибы (микромицеты) представляют собою филогенетически разнородную группу одно- и многоклеточных организмов. Они широко распространены в почве, воздухе, в морских и пресных водоемах, на по-

верхности и внутри растений, в организмах человека и животных. Совместно с другими членами микробного сообщества микромицеты участвуют в процессах биологического выветривания горных пород и минералов, регенерации биофильных элементов путем деструкции растительных и животных остатков и пр. Каждая их клетка способна дать начало целому организму, развитие которого происходит в определенном порядке – споры, ростовые трубки, мицелий.

Имея широкий спектр группо- и видоспецифических антигенов, представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Candida*, *Microsporium*, *Trichophyton* и многих других являются сенсбилизаторами и возбудителями микозов, микотоксикозов и микоаллергозов [1, 3, 5]. По данным [5] частота сенсбилизации у больных аллергической патологией составляет 25,1%. При поллинозе на нее приходится 15%, круглосуточном аллергическом рините – 26%, бронхиальной астме – 28,8%, причем, грибы *Penicillium* вызывают ее в 41,1% случаев, *Aspergillus* – в 32,6%, *Cladosporium* – в 62,5%, *Alternaria* – в 50%. В качестве аллергенов признаны фрагменты мицелия и конидии (споры). Однако микромицеты являются частью любой экосистемы, где биотическая и косная компоненты неразрывно взаимосвязаны. Поэтому аллергические реакции могут индуцироваться микоаллергенами в комплексе с бактериями, вирусами, пылью, тяжелыми металлами Hg, Ni, Cr, Au, Pt, их сплавами и пр. [3].

Было показано [2], что в техногенных отходах золотодобычи, промышленной пыли и пыли, осевшей на различное оборудование и предметы, обнаруживаются грибы *Penicillium*, заранее обогащенные Au, Ag, Cu, Ni, Co, Cr, Zn, Pb, Cd. Попадая в макроорганизм, тяжелые металлы присоединяются к сывороточным или тканевым белкам и приобретают аллергенные свойства [1]. Особенно опасны аллергические реакции на золото [3, 7]. Помимо горных породах, оно содержится в атмосфере, почве, воде, во всех живых организмах и перемещается в коллоидном и атомарном состояниях или в виде золото- органических соединений, взвесей и пр. Ранее препараты золота широко использовались с лечебной целью. Считается, что аллергические реакции могут возникать от ношение золотых украшений и изделий. В настоящей работе рассмотрен механизм образования комплексных золотосодержащих аллергенов у микроскопических грибов.

**Методика.** Из 0,01%-го раствора золотохлористоводородной кислоты ( $\text{HAuCl}_4$ ) готовили коллоидное золото с диаметром частичек ~ 10 нм. После охлаждения его разливали в стерильные пробирки и в каждую пробирку вносили по 500 млн. конидий *Penicillium canescens* Sopp. В такой же дозе их вносили в колбу с жидкой средой Чапека (источник углерода – глюкоза, азота –  $\text{NaNO}_3$ , исходная рН 7,0), в которую помещали попеременно отмытое кислотами, щелочью и дистиллированной водой, а затем проавтоклавированное металлическое золото высшей пробы (999, 9) в виде пластинки 2x2 см. Посевы инкубировали в диапазоне температур +24...+29°C. В первом случае выросший мицелий просматривали в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JEOL jsm- 35 С (Япония), во втором случае – из мицелия традиционным способом готовили

ультратонкие срезы и просматривали в просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) TESLA BS 500 (Чехословакия).

**Обсуждение результатов.** В естественных условиях стабильность коллоидного золота нарушается от попадания даже небольших количеств солей, например NaCl, которые вызывают его осаждение в атомарной форме и быстрое рассеивание, не образующее сколь-нибудь значительных скоплений. Каждая его частица, находясь вблизи межфазной поверхности, взаимодействует с такими же частицами и поверхностью другой фазы [7].

В нашем исследовании другой фазой служил мицелий *P. canescens*, то есть, объем биомассы. В процессе развития мицелия и накопления в среде продуктов метаболизма избыточная энергия на поверхности раздела фаз уменьшается, гранулы золота приобретают катионные свойства и равномерно оседают на поверхность гифов, их боковые ответвления, апексы и споры (рис. 1 а). Тем самым на клеточной стенке, основу которой составляют полисахариды и полисахарид-белковые комплексы, детектируются множественные отрицательно заряженные золотосодержащие участки (рецепторы) [6].

Во время роста в жидкой среде Чапека *P. canescens* контактирует с погруженной в нее золотой пластинкой, вследствие чего стимулируется выделение биомассой органических кислот, в том числе такой агрессивной как лимонная. Эти кислоты выщелачивают из пластинки элементное золото и оно фиксируется золотозахватывающими рецепторами на поверхности гифов (рис 1 б). Более четко это визуализируется на поперечных срезах гиф. При этом необходимо подчеркнуть, что означенные центры адаптированы не только к захвату золота, но и остальных тяжелых металлов, а также сложной по составу бытовой и производственной органо-минеральной пыли.

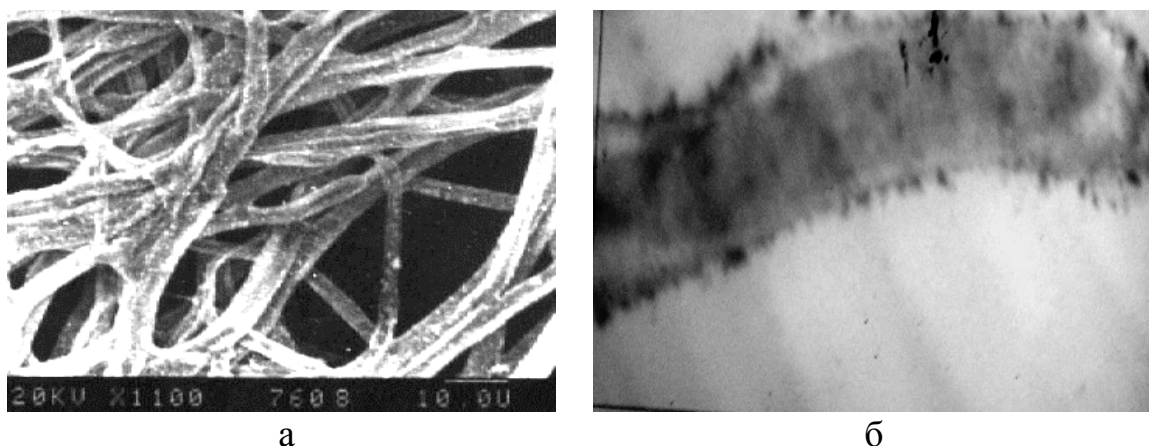


Рис. 1. а – инкрустация мицелия *P. canescens* гранулами коллоидного золота (x 1100, СЭМ); б – продольный срез гифы *P. canescens*, клеточная стенка которого импрегнирована частицами выщелоченного элементного золота (x 17000, СЭМ).

Таким образом, микромицеты обладают как группо- и видоспецифическими антигенами, так и формируют комплексные аллергены, повышающие их агрессивность. Дифференцировать структурные компоненты таких комплексных аллергенов с помощью аллергических проб сложно.

**Выводы:** 1. На электронномикроскопическом уровне визуализировано осаждение коллоидного и выщелоченного золота на гифальную поверхность *P. Canescens* и распределение гранул по золотосодержащим центрам. 2. *P. Canescens* обладает не только группо- и видоспецифическими антигенами, но и способен формировать с золотом (и другими металлами) комплексные аллергены.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Адо А.Д. Общая аллергия. М.: Медицина, 1978.
2. Катола В.М. Содержание микроэлементов у грибов рода *PENICILLIUM*, выделенных из различных источников // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2004. Вып. 19. С. 79-83.
3. Клиническая иммунология и аллергология / под ред. Л. Йегера. М.: Медицина, 1990.
4. Царев С.В. Роль микромицетов в аллергопатологии. Современные подходы к диагностике и терапии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2010.
5. Пыцкий В.И., Адрианова Н.В., Артамасова А.В. Аллергические заболевания. М.: Медицина, 1991.
6. Хомутовский О.А., Луцки М.Д., Передерей О.Ф. Электронная гистохимия рецепторов клеточных мембран. Киев: Наукова думка, 1986.
7. Шелудко А. Коллоидная химия. М.: Мир, 1984.
8. Gold-induzierte fibrosierende Alveolitis / U.Costal [et al.] // Dtsch. Med. Wsch. 1985. Vol. 110, № 30. 1162-1166.

E-mail: [katola-amur@list.ru](mailto:katola-amur@list.ru)

© 2012 В.М. Катола, канд. мед. наук.

(ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск)

**МОРФОЛОГИЯ БАКТЕРИЙ И МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ  
В ЗИМНЕМ АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ**

Определены захваченные снежинками бактерии и микроскопические грибы, циркулирующие в атмосфере зимой, и с помощью просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии в талой воде визуализирована их морфология.

Ключевые слова: снежинки, микроорганизмы, электронная микроскопия.

**V.M. Katola, PhD. med. of Sciences**

(Federal official body of science Institute of Geology and Nature  
Management FEB RAS, Blagoveshchensk)

**MORPHOLOGY OF BACTERIA AND MICROSCOPIC FUNGI  
WINTER IN AIR**

Defined snowflakes captured bacteria and microscopic fungi circulating in the atmosphere in the winter, and by transmission and scanning electron microscopy in the melt water to visualize their morphology.

Keywords: snowflakes, bacteria, and electron microscopy.

**Введение.** Прокариоты представляют собою своеобразную форму организации живой материи, которая появилась на Земле, когда еще не было других органических форм жизни. Взаимодействуя с геохимической средой обитания, изменяя ее и осваивая новые трофические ниши, они быстро эволюционировали и создавали первичные экосистемы, а в последующем атмосферу современного типа и систему биогеохимических циклов [2]. Сообщества бактерий колонизируют биотопы, где имеются условия для их существования: гидросферу, атмосферу, земную кору (почва, аридные зоны, горные породы), растительный покров и организмы животных, включая человека. Несмотря на неоднородность, все местообитания взаимосвязаны между собою посредством круговорота веществ.

Взгляд на циркулирующих в атмосфере постоянных и временных микроорганизмов несколько отличается. Во-первых, они вторичны, в основном формируются видами, поступающими из почвы, растений, поверхностных водоемов и пр. Во-вторых, их видовой состав довольно малочислен и вариабелен из-за отсутствия в атмосферном воздухе капель влаги и питательных веществ, а также губительного действия солнечной радиации. В-третьих, в атмосфере, по общему мнению, клетки бактерий не размножаются. Однако недавно появились сообщения, что через атмосферу между континентами ежегодно переносится около  $10^{18}$  живых бактерий [7]. Несомненно, они находятся на разных стадиях жизненного цикла, поэтому должны представлять собою мелкодисперсную фазу аэрозолей. Именно такая фаза диаметром 0,05 мкм и скоростью оседания в среднем 0,013 см/с может переноситься на большие расстояния. Следовательно, над территориями с неодинаковыми географической зональностью, рельефом поверхности, климатом и ветровым переносом количественно-качественные особенности микробиоты в атмосфере не только различны, но и являются разнообразной смесью из «местных» и привносимых видов. В связи с этим их морфологические параметры могут представлять определенный научно-практический интерес

**Цель исследований** – визуализировать морфологию бактерий и микроскопических грибов, циркулирующих зимой в сухом и холодном атмосферном воздухе города Благовещенска. Известно, что примерно 15% охлажденного водяного пара атмосферы в присутствии инородных частиц (пыль, бактерии, некоторые соли) превращается в многоструктурные кристаллики льда, которые выпадают на земную поверхность в виде снега, снежной крупы и пр. [1, 6].

**Методика.** При первом снегопаде под падающие снежинки выставляли открытые чашки Петри с мясо-пептонным агаром (МПА), контролируя, чтобы в каждую чашку попало 5-7 снежинок. Чашки закрывали крышками и после таяния снежинок помещали в термостат при температуре  $+37^{\circ}\text{C}$ . Другие стерильные чашки, не содержащие МПА, целиком заполняли снежинками и при комнатной температуре переводили в талую воду. Затем одну ее каплю (0,1 мл) наносили на липкую поверхность ленты, закрепленной на торце дубликатов объектного столика электронного микроскопа, препараты подсушивали, напыляли углеродом в вакуумной установке ВУП-4 и просматривали в сканирующем электронном

микроскопе JEOL ism- 35 С (Япония). Параллельно к талой воде прикладывали сеточки с формваровой подложкой, просушивали и просматривали уже в просвечивающем электронном микроскопе TESLA BS 500 (Чехословакия). Появившиеся на чашках с МПА колонии бактерий и микроскопических грибов верифицировали обычными микробиологическими методами.

**Обсуждение результатов.** При инкубации в термостате лишь в отдельных чашках с МПА выросло 2-3 изолированных колонии бактерий, дрожжевидных или плесневых грибов. Чаще регистрировался сливающийся рост, поэтому приходилось производить рассевы по методу Дрыгальского. В результате идентифицированы бактерии родов *Sarcina*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, представители родов *Candida*, *Penicillium* и темно- окрашенных грибов. Как видно, изолянты относятся к различным систематическим группам, а некоторые из них могут стать причиной ухудшения состояния здоровья человека. Всех их объединяет сохранение жизнеспособности во время пребывания в атмосферном воздухе при низких температурах и формирование колоний в экспериментальных условиях при температуре +37<sup>0</sup> С. Правда, отмеченный биологический состав снежинок далеко не полон, поскольку нами использована всего лишь одна, к тому же самая простая питательная среда.

При исследовании талой воды в просвечивающем электронном микроскопе визуализированы палочковидные бактерии, скопления круглых и овальных клеток сахаромицетов и мицелий плесенных грибов. Однако сканирующей электронной микроскопией дополнительно выявлены (рис. 1 а, б) свободно лежащие, сферические элементарные тельца (ЭТ) L-форм бактерий диаметром до 0,35 мкм, а также фрагменты бактериальной биопленки. Но так как ЭТ образуются независимо от исходной формы бактерий и обладают устойчивостью к высыханию и УФ-лучам, они могут постоянно и длительно существовать в атмосфере. Обнаруженные в талой воде гифы микромицетов истончены и деформированы, что указывает, скорее всего, на их нежизнеспособность. Сходное разнообразие морфологии микроорганизмов обнаружено нами в воздухе закрытых помещений, речной и водопроводной воде, почве и организме человека [3- 5].

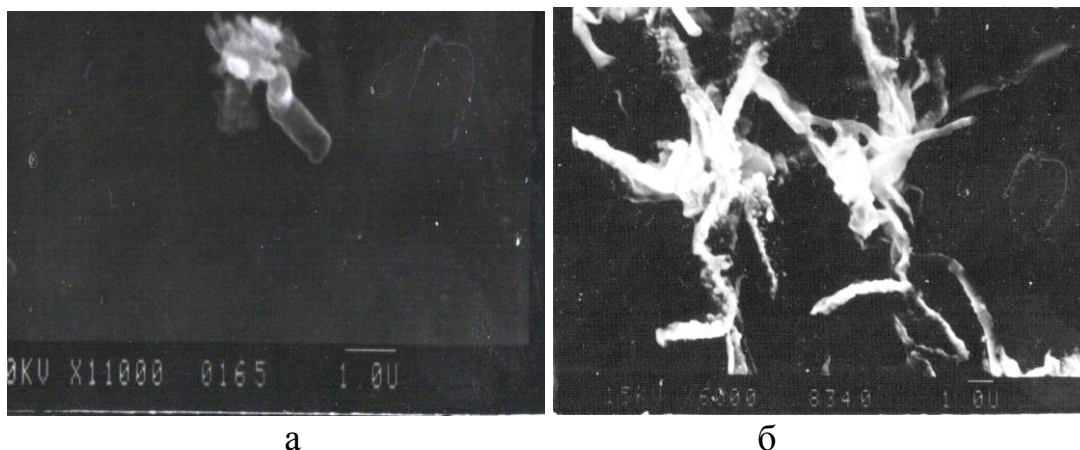


Рис. 1. Сканирующая электронная микроскопия талой воды из оседающих снежинок: а – конгломерат из палочковидных бактерий и элементарные тельца L-форм (x 11000); б – деформированный мицелий микромицетов (x 6000).



Таким образом, результаты проведенных исследований подтверждают, что в различных биотопах независимо от места и времени отбора проб бактерии и микроскопические грибы сохраняют морфологические формы, выработанные ими в процессе эволюции.

**Выводы:** 1. Зимой в атмосфере циркулируют уже известные морфотипы бактерий и микроскопических грибов; 2. Наиболее вероятно, постоянным обитателем атмосферы являются устойчивые к неблагоприятным факторам элементарные тельца L- форм бактерий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Войтковский К.Ф. Основы гляциологии. М.: Наука, 1999.
2. Заварзин Г.А. Становление системы биогеохимических циклов // Палеонтологический журнал. 2003. № 6. С. 16- 24.
3. Об эффективности питательных сред, модифицированных экстрактом *VISCUM COLORATUM* (Kom.) Nakai / В.М. Катола, Л.М. Павлова, Н.Ю. Лесова, Л.П. Носкова // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2011. Вып. 42. С. 84-88.
4. Катола В.М. Атипичные бактериальные формы в речной и питьевой воде Благовещенска // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. №12. С. 64-67.
5. Катола В.М. Бактериальные формы в плазме крови здоровых людей // Дальневосточный журнал инфекционной патологии. 2011. № 19. С. 41-44.
6. Хименков А.Н. Брушков А.В. Введение в структурную криологию. М., 2005.
7. Fenchel T. Biogeography for bacteria // Science. 2003. Vol. 301, № 5635. P. 925-926.

*E-mal: [katola-amur@list.ru](mailto:katola-amur@list.ru)*

© 2012 г. **А.К. Мартусевич**, канд. мед. наук, **Л.К. Ковалева**,  
**О.Б. Жданова**, д-р биол. наук  
(Кировский НИИ гематологии и переливания крови,  
Нижегородский НИИ травматологии и ортопедии, Нижний Новгород;  
Кировская государственная медицинская академия)

### **КРИСТАЛЛОГЕННАЯ АКТИВНОСТЬ СЫВОРОТКИ КРОВИ МЫШЕЙ В НОРМЕ И ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛИМФОЛЕЙКОЗА**

Проанализированы особенности собственного и инициированного кристаллогенеза сыворотки крови здоровых мышей и мышей линии АКР, генетически предрасположенных к формированию лимфолейкоза. Установлено, что при лимфолейкозе кристаллогенная активность биосреды существенно выше, чем у здоровых животных, что проявляется как в увеличении плотности элементов, так и в их усложнении.

*Ключевые слова:* мыши линии АКР, кровь, структуризация, биокристалломика

**A.K. Martusevich, L.K. Kovaleva, O.B. Zhdanova**  
**CRYSTALLOGENIC ACTIVITY OF MICE BLOOD SERUM**  
**AT PHYSIOLOGICAL STATE ANE LYMPHOLEUCOSIS**

We analyzed specialties of own and initiated crystallization of blood serum of healthy mice and AKR line mice. It was stated, that crystallogenic activity of investigated biological substrate is clearly higher at lympholeucosis, than at healthy mice.

*Key words:* AKR line mice, blood, structurization, biocrystallogenics

Инбредная линия мышей AKR, созданная еще в 20-х годах прошлого столетия в Пенсильванском университете, представляет собой известную модель лимфопролиферативных заболеваний. Известно, что в возрасте 7-9 месяцев у 85% самцов и 95% самок мышей данной линии развивается спонтанный лимфобластный лейкоз [3]. Несмотря на многочисленность работ, выполненных на указанной модели, преобразования физико-химического гомеостаза жидких сред изучены недостаточно полно.

В связи с этим, **целью работы** явилось уточнение особенностей кристаллогенных свойств крови мышей линии AKR на стадии лимфолейкоза.

**Материал и методы исследования.** Объектом данного экспериментального исследования служила сыворотка крови 20 здоровых мышей и 20 мышей имеющих лейкоз. В целом было получено 80 микропрепаратов сыворотки крови, взятых от контрольной группы (здоровые мыши) и от мышей линии AKR, генетически предрасположенных к формированию лимфолейкоза (опытная группа). Исследование кристаллообразования биологической жидкости производили по методике тезиокристаллоскопии [2]. Базисным веществом при выполнении тезиграфического теста служил 10% раствор хлорида натрия. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью Microsoft Excel 2003 и SPSS 11.0.

**Результаты.** Выполнялось сопоставление кристаллоскопии сыворотки крови, полученных от здоровых и больных животных (табл. 1).

По результатам визуальной морфометрии установлено, что имеют место особенности кристаллоскопической картины сыворотки крови имеющих лейкоз мышей в сравнении со здоровыми животными:

1. перестройка характера одиночного кристаллогенеза, включающая увеличение концентрации фигур типа «пирамида» и «прямоугольник», сопровождающаяся исчезновением мелких призматических кристаллов;
2. увеличение количества дендритов, кроме отсутствия линейчатых поликристаллических структур, что является подтверждением изменений, зарегистрированных по одиночно-кристаллическому компоненту;
3. концентрирование аморфных образований, заключающееся в их укрупнении и снижении количества, их подчеркнутая отграниченность от крупных кристаллических фигур;
4. увеличение степени деструкции фации;
5. уменьшение выраженности краевой зоны, указывающей на долю белкового компонента слюны;

б. снижение равномерности распределения кристаллических и аморфных образований, сопровождаемое дезагрегацией элементов фации, проявляющейся в достоверном увеличении степени ячеистости ( $p < 0,05$ ).

Таблица 1

Кристаллоскопия сыворотки крови здоровых и больных лейкозом мышей

<i>Структуры</i>	<i>Здоровая мышь</i>	<i>Мышь, имеющая лейкоз</i>
Одиночные кристаллы		
Прямоугольник	0	2
Призма	1	0-1
Пирамида	1	2-3
Октаэдр	0	0
Дендритные структуры		
Линейчатые дендриты	0	0
Прямоугольник	1	3
Фигура «Крест»	0	0
Фигура «Хвощ»	2	4
Фигура «Папоротник»	1	3
Аморфные тела		
размер	мелкий	крупные
количество	среднее	мало
Тип взаимодействия с крупными кристаллами	Налипание	Оттеснение
Дополнительные критерии		
R	0,9±0,25	1,30±0,20*
I	1,70±0,20	4,0±0,15*
СДФ	0,5±0,23*	2,50±0,28
K <sub>3</sub>	0,67±0,25	0,48±0,26

Примечание: «\*» – достоверность различий  $p < 0,05$

По результатам оценки кристаллообразующей способности сыворотки крови мышей был сформирован «паттерн», характерный для здоровых мышей и мышей, имеющих лейкоз (табл. 1). Исследования показали, что кристаллоскопической картине сыворотки крови мышей в норме свойственен преимущественно кристаллогенез в форме одиночно-кристаллических элементов (фигуры типа «призма» и «пирамида»). В то же время дендритная составляющая микропрепаратов сыворотки крови представлена исключительно линейчатыми поликристаллическими структурами в незначительном количестве.

Аморфная картина сыворотки крови здоровых мышей представлена мелкими образованиями, четко отграниченными от крупных кристаллов. При исследовании рассматриваемых параметров у здоровых и зараженных лейкозом мышей установлено, что для микропрепаратов высушенной сыворотки крови у обеих групп животных характерна низкая и недостоверно различающаяся равномерность распределения структур, что свидетельствует о значительной хаотичности процесса кристаллообразования биосреды в норме и при изучаемой

патологии. Наиболее существенные различия ( $p < 0,05$ ) обнаружены в отношении выраженности ячеистости картины и степени ее деструкции.

В соответствии с данными таблицы 2, дифференцирующими критериями тезиграмм сыворотки крови мышей контрольной и опытной групп являются:

1. характер инициации биосредой базисного вещества (у здоровых особей – выраженная активация кристаллогенеза базисного вещества, у больных мышей, имеющих лейкоз – умеренное ингибирование);
2. преобладание минеральных компонентов – у здоровых мышей и превалирование органических соединений – у мышей с лимфолейкозом;
3. степень деструкции фации, которая незначительно выше у представителей опытной группы;
4. расширение краевой зоны в фациях больных лейкозом мышей при значительной ее выраженности у практически здоровых лиц.

Таблица 2

Сравнительная тезиграфия сыворотки крови здоровых мышей и мышей, имеющих лейкоз (базисное вещество 10% раствор хлорида натрия)

Параметр	Здоровые мыши	Лейкозные мыши
Q	2,49±0,21	0,98±0,29*
P	1,59±0,04	2,26±0,09*
СДФ	2,01±0,21	2,08±0,19*
Кз	2,19±0,20	0,40±0,21*
I	1,70±0,18	3,28±0,30*
R	2,91±0,15*	1,38±0,22

Примечание: «\*» – достоверность различий  $p < 0,05$ .

**Вывод.** Итак, исследование характеристик свободного и иницированного кристаллогенеза сыворотки крови мышей в норме и при лимфолейкозе позволило определить адаптивные механизмы гомеостазирования состава данной биосреды, проявляющиеся в качественно-количественной модуляции морфологии ее высушенных образцов. Исследование характера структуризации биосреды мышей при лимфолейкозе имеет диагностическое и патогенетическое значение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Громова И.П. Кристаллоскопический способ изучения сыворотки крови в токсиколого-гигиеническом эксперименте методом «открытая капля» // Гигиена и санитария. 2005. №2. С. 66-69.
2. Мартусевич А.К. Биокристалломик в молекулярной медицине. СПб.г: Изд-во СПбГМУ; Тверь: Изд-во «Триада», 2011. 112 с.
3. Особенности патогенеза лейкозного процесса у инбредной линии мышей AKR/J / Н.М. Поздеев [и др.] // Актуальные вопросы трансфузиологии и клинической медицины (Епифановские чтения): Мат. науч.-практ. конф. Киров. 2008. С. 192-193.

*E-mail: [cryst-mart@yandex.ru](mailto:cryst-mart@yandex.ru)*

© 2012 г. **А.К. Мартусевич**, канд. мед. наук, **С.П. Перетягин**, д-р мед. наук,  
**П.В. Перетягин**

(Нижегородский НИИ травматологии и ортопедии, Нижний Новгород;  
Ассоциация российских озонотерапевтов, Нижний Новгород)

## **ХАРАКТЕР СИСТЕМНОГО ГЕМОДИНАМИЧЕСКОГО ОТВЕТА НА ИНГАЛЯЦИОННОЕ ВВЕДЕНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА**

Проведена оценка реакции системной гемодинамики крыс на применение различных вариантов ингаляционной озонотерапии (озон в газовой фазе, увлажненный озон, ингаляции озонидов) по параметрам variability сердечного ритма. Установлено, что курсовая ингаляционная озонотерапия оказывает существенное влияние на variability сердечного ритма, причем характер ответа зависит от варианта введения озона.

*Ключевые слова:* variability сердечного ритма, ингаляционная озонотерапия, гемодинамика.

### **A.K. Martusevich, S.P. Peretyagin, P.V. Peretyagin** **CHARACTER OF SYSTEMIC HAEMODYNAMIC REACTION ON INHALATIONS OF OXYGEN REACTIVE SPECIES**

The aim of this work is investigation of specialties of heart rate variability at experimental inhalation ozone therapy. It was stated, that inhalation ozone therapy causes clear effect on heart rate variability of healthy rats. Most physiological action of this parameter was characterized for wetted ozone inhalations. Simple ozone and ozonide inhalations lead to preemptive activation of sympathetic nervous system.

*Key words:* heart rate variability, inhalation, ozone therapy, haemodynamics.

Известно, что ингаляционное введение большинства лекарственных препаратов оказывает как местное, так и системное воздействие, причем их выраженность существенно варьирует в зависимости от действующего агента [3, 5, 8]. С учетом того, что одним из потенциальных путей введения медицинского озона является ингаляционный [4, 5], изучение степени реализации системного эффекта на различные функциональные системы организма, в том числе и кардиоваскулярную, при ингаляционной озонотерапии позволит учесть системные эффекты данного воздействия.

Вариability сердечного ритма (ВСР) является чутким индикатором состояния организма человека и животных [1, 2, 6]. При этом на ее особенности оказывают влияние не только исходное состояние функциональных систем, но и различные экзогенные воздействия, носящие как системный, так и локальный характер [2, 6]. Кроме того, оценка ВСР в настоящее время рассматривается как один из методов тестирования эффективности и индивидуализации проводимого лечения [1, 2, 6].

В связи с этим, **целью работы** служило уточнение динамики variability сердечного ритма крыс в условиях экспериментальной ингаляционной озонотерапии.

### Материалы и методы

Эксперимент выполнен на 25 белых крысах-самцах линии Wistar массой 200-220 г. Содержание животных, экспериментальные вмешательства осуществляли согласно приказу Минздрава СССР №775 от 12.08.1977 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» [7].

Сформировано 4 группы животных: интактная (10 крыс) и 3 экспериментальных (5 крыс, которым проводили ингаляции озоном; 5 крыс, получавших ингаляции увлажненным озоном при пропускании его через воду и 5 крыс, ингаляции которых проводили при помощи озонидов, образующихся при пропускании озона через водно-масляную эмульсию). Концентрация озона во всех случаях была 60 мкг/л. Ингаляции проводили в течение 10 дней. На 11-й день животных выводили из эксперимента путем декапитации с предварительной перерезкой сонной артерии под эфирным наркозом.

Исследование variability сердечного ритма производили с помощью модифицированного программно-аппаратного комплекса «Нейрософт» (Иваново, Россия). Выполняли исследование как стандартных статистических, так и спектральных (мощность в диапазонах высоких, низких и очень низких частот) параметров оценки ВСР.

Полученные данные были обработаны с помощью программ *Statistica 6.0* и *Microsoft Excel*. Достоверность различий средних определяли по t-критерию Стьюдента. Различия считали достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

Установлено, что проведение курсовых ингаляций озono-кислородной смеси приводило к урежению частоты сердечного ритма по сравнению с интактными животными ( $p < 0,05$ ). Так, что стимуляция симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) [по уровню индекса напряжения (ИН)] преобладала над увеличением тонуса ее парасимпатического отдела (по уровню амплитуды моды), причем прирост обеих показателей статистически значим ( $p < 0,05$ ).

Уровень интегрального параметра, характеризующего вегетативный баланс на основании спектрального анализа сердечного ритма (коэффициент LF/HF), был значимо ниже контрольных цифр (по отношению к интактной группе -  $p < 0,05$ ). Также у животных этой группы выявлена тенденция, выражающаяся в «зажатии» ритма сердца (по уровню  $rNN5$ ;  $p < 0,05$ ). В целом, применение озона в газовой фазе приводит к преимущественной симпатической стимуляции гемодинамики.

Ингаляции увлажненного озона (при его пропускании через воду) демонстрировали динамику по направленности аналогичную представленной по применению озона в газовой фазе, но в некоторых компонентах существенно отличались от указанного варианта. Так, при сопоставимом снижении ЧСС у животных данной группы наблюдали менее выраженную и более сбалансирован-

ную стимуляцию обоих отделов ВНС (по уровню амплитуды моды и индекса напряжения).

Большую физиологичность сдвигов вегетативного тонуса демонстрирует уровень коэффициента LF/HF, который снижается относительно крыс контрольной группы ( $p < 0,05$ ). Общая мощность спектра сердечного ритма у представителей этой группы хотя и снижена относительно интактных животных ( $p < 0,05$ ), но выше, чем у крыс, получавших ингаляции чистого озона ( $p < 0,1$ ). Следовательно, данный режим ингаляций является наиболее физиологичным с позиций стимуляции гемодинамики.

Животные, получавшие ингаляцию озонидами (при пропускании озона через водно-масляную эмульсию), имели минимальную среди остальных опытных групп выраженность урежения ритма, при этом ЧСС, оставаясь ниже уровня интактных крыс ( $p < 0,05$ ). Следует подчеркнуть, что при использовании данного варианта экспериментального воздействия наблюдается выраженная стимуляция только симпатического отдела ВНС (по параметру ИН -  $p < 0,05$  относительно как интактных животных), тогда как тонус парасимпатического отдела ВНС сохраняется в пределах контрольных цифр (по амплитуде моды -  $p > 0,05$ ). Соответственно сдвиг интегрального показателя спектрального анализа (индекса LF/HF) наиболее выражен по сравнению со всеми остальными группами ( $p < 0,05$ ). Таким образом, при ингаляции озонидами, образовавшимися в результате пропускания озono-кислородной смеси через водно-масляную эмульсию, наблюдаются выраженные регуляторные сдвиги гемодинамику по симпатическому типу.

### Заключение

В целом установлено, что курсовая ингаляционная озонотерапия оказывает существенное влияние на ВСР, осуществляемое в том числе вследствие формирования сдвига состояния ВНС. При этом применение различных вариантов введения озона способствует разнонаправленной динамике.

Наиболее физиологичным оказался эффект ингаляций увлажненного озона, приводящий к сбалансированной стимуляции ВНС и спектральных параметров ВСР. Озонотерапия в варианте непосредственного использования озono-кислородной смеси и при ее пропускания через водно-масляную эмульсию вызывает преимущественную стимуляцию симпатического отдела ВНС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Горьковой А.В. Сердечно-дыхательный синхронизм у больных дуоденальной язвой с наличием болевого синдрома до и после противоязвенного лечения // Кубанский научный медицинский вестник. 2002. №3. С. 101-102.
2. Дворников А.В., Мухина И.В., Крылов В.Н. Изменение вариабельности сердечного ритма в условиях эмоционального стресса у крыс на фоне блокатора адренорецепторов // Нижегородский медицинский журнал. 2003. № 1. С. 17-22.

3. Кокосов А.Н. Хронический бронхит и обструктивная болезнь легких: аналитический очерк // Терапевтический архив. 2000. №3. С. 75-77.

4. Мартусевич А.К., Гришина А.А., Квицинская Н.А., Перетягин С.П. Возможности кристаллосаливамониторинга при проведении ингаляционной озонотерапии // Revista de Ozonoterapia. 2009. Vol. 3, №1. Suppl. P. 134-138.

5. Кристаллогенные и инициаторные свойства биологических субстратов при использовании различных путей введения озона / А.К.Мартусевич, А.С.Лузан, Н.А.Квицинская [и др.] // Вестник физиотерапии и курортологии. 2008. Т. 13, №5. С. 32-33.

6. Михайлов В.М. Вариабельность сердечного ритма. Опыт практического применения метода. Иваново, 2000. 200 с.

7. Лабораторные животные в экспериментальной медицине / С.П.Перетягин, А.К.Мартусевич, А.А.Гришина [и др.]. Нижний Новгород: ФГУ «ННИИТО» МЗСР РФ, 2011. 300 с.

8. Старателева Ю.А. Исследование системы крови крыс при ингаляционном введении препарата пчелиного маточного молочка и прополиса в условиях моделирования отека легких: втореф. дисс. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2010. 18 с.

*E-mail: [cryst-mart@yandex.ru](mailto:cryst-mart@yandex.ru)*



© 2012 г. **Е.И. Буданова**<sup>1</sup>, канд. мед. наук, **Т.В. Зуева**<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
**Л.К. Тушнова**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, **Н.В. Еркин**<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Национальный институт им. Екатерины Великой, Серпуховской филиал,  
<sup>2</sup>НИИИ (военной медицины) Военно-медицинской академии  
им. С.М.Кирова, Москва)

### **ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИХ ЖИЗНИ**

Рассматривается постановка задачи для разработки диагностической модели оценки уровня здоровья студентов высших учебных заведений, возможности её применения для проведения соответствующих медико-психологических мероприятий на основе полученных данных с учетом показателей качества жизни.

*Ключевые слова:* интегральный показатель качества жизни, диагностическая модель, нормирование показателей качества жизни, жизненные ценности студентов.

**E.I. Budanova**<sup>1</sup>, cand. med. sci., **T.V. Zueva**<sup>2</sup>, cand. tech. sci.,  
**L.K. Tushnova**<sup>2</sup> cand. tech. sci., **N.V. Erkin**<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>National institute of a name of Catherine the Great, Serpukhov branch, <sup>2</sup>Research test institute (military medicine) Army medical college of a name of Kirov, Moscow,)

### **DIAGNOSTIC MODEL OF THE ASSESSMENT OF LEVEL OF HEALTH OF STUDENTS TAKING INTO ACCOUNT INDICATORS OF QUALITY OF THEIR LIFE**

Task statement for development of diagnostic model of an assessment of level of health of students of higher educational institutions, possibilities of its application for carrying out the relevant medico-psychological activities on the basis of the received data with the accounting of indicators of quality of life is considered.

*Keywords:* integrated indicator of quality of life, diagnostic model, rationing of indicators of quality of life, vital values of students.

**Введение.** Сегодня в России студенты являются наиболее социально активной частью молодежи. А вместе с тем высокая умственная и психоэмоциональная нагрузка, вынужденные нарушения режима труда, отдыха и питания, кризис нравственных ценностей, неуверенность в своем будущем и многие другие факторы требуют мобилизации сил для адаптации к новым условиям обучения, формирования межличностных отношений и преодоления сложных жизненных ситуаций [1]. В связи с этим особый интерес представляет изучение качества жизни (КЖ) учащейся молодежи, которая будет определять состояние интеллектуального уровня нашей страны, её экономический и оборонный потенциал.

Однако при разработке системы комплексной оценки КЖ возникают некоторые сложности, проявляющиеся не только в создании базы данных для оценки результатов, но и градации значимости показателей и их удельного веса в каждой выделенной группе. Так как не все используемые для этой цели критерии равнозначны с точки зрения их влияния на интегральный показатель КЖ.

Следующая проблемная ситуация связана с необходимостью интерпретации результатов медико-психологическими службами и организации использования комплексной оценки для прогнозирования риска снижения здоровья и принятия соответствующих решений [2, 3].

**Нормирование показателей интегральной оценки КЖ студентов**

Для количественной оценки КЖ учащихся решались три основные задачи: поиск и описание компонентного состава КЖ студентов, определение меры сравнения для каждого показателя и расчет интегральной оценки ( $I_{КЖ}$ ).

Оценка качества и уровня жизни определялась с помощью специально разработанного опросника в 7-балльной системе оценок. Алгебраическое суммирование всех ответов респондентов представляло собой обобщенную оценку КЖ. Для определения показателей психического состояния первичные оценки психологических тестов переводились в нормативные показатели в соответствии с методикой, которая имеется в каждом использованном опроснике. Числовые показатели определялись путем непосредственных наблюдений и измерений (рост, масса тела, величина артериального давления крови и т.п.). Полученные показатели были переведены в оценки. Это осуществлено в формализованных баллах с помощью специально подобранной шкалы.

На основании изученных результатов исследования и учета мнения сформированной группы экспертов были выделены четыре ведущих фактора, необходимых для построения интегрального показателя КЖ - образ жизни, состояние здоровья, окружающая среда, удовлетворенность жизнью студентов, социально-экономические данные. В процессе дальнейшей экспертной обработки информации, обобщенные показатели были упорядочены по приоритетности их влияния на КЖ этой категории учащихся и обоснованы 19 компонентов КЖ (рис.1).



Рис. 1 Структурные показатели качества жизни студентов

Так как компонентный состав КЖ студентов образует сложную структуру взаимосвязей составляющих его элементов: качества образования, качества здоровья, качества природной среды, духовности и др., при расчете интегральной оценки в исследовании определялись, степень взаимного влияния каждого компонента на его отдельные составные части. Показатели подвергались анализу и на основе экспертных оценок были рассчитаны коэффициенты их значимо-

сти и определен вклад каждого из них в общую оценку. Для возможности последующей сверстки интегрального значения в ходе работы проведено ранжирование всех показателей, характеризующих его компоненты относительно максимального значения. Такой подход представляется наиболее оправданным, поскольку позволяет выявить не только степень важности самого показателя, как такового, но и уровня достигнутых по этому показателю результатов: важность показателя автоматически возрастает, если он начинает отставать от нормативного значения. Такая трактовка более оптимальна, чем распространенная практика присваивания коэффициента важности самим показателям независимо от реального вклада данного показателя в оценку конкурирующих объектов.

### Разработка диагностической модели оценки уровня здоровья

Для индивидуальной диагностики нарушения состояния здоровья студентов и проведения медико-психологических мероприятий в исследовании была построена диагностическая модель. Она состоит из пяти блоков, которые включают наиболее информативные и значимые показатели: психологический статус молодых людей, уровень физиологических резервов их организма, субъективную оценку состояния здоровья самими респондентами, интегральный показатель КЖ. Для формирования итогового заключения вначале определяется состояние психического здоровья с использованием психологических и психофизиологических методик и тестов, затем проводится обследование студентов с помощью физиологических методик на предмет оценки уровня соматического здоровья, далее проводится самооценка состояния здоровья, и определяется интегральный показатель КЖ.

Полученные результаты сопоставляются с оценочной шкалой, и делается вывод о КЖ учащихся, который может иметь следующие уровни: до 0,4 – низкое КЖ; до 0,8 – среднее; до 1 – высокое. В соответствии с этим диапазон значений до 0,8 соответствует высокому риску снижения состояния и принимается решение о проведении соответствующих мероприятий (рис. 2).

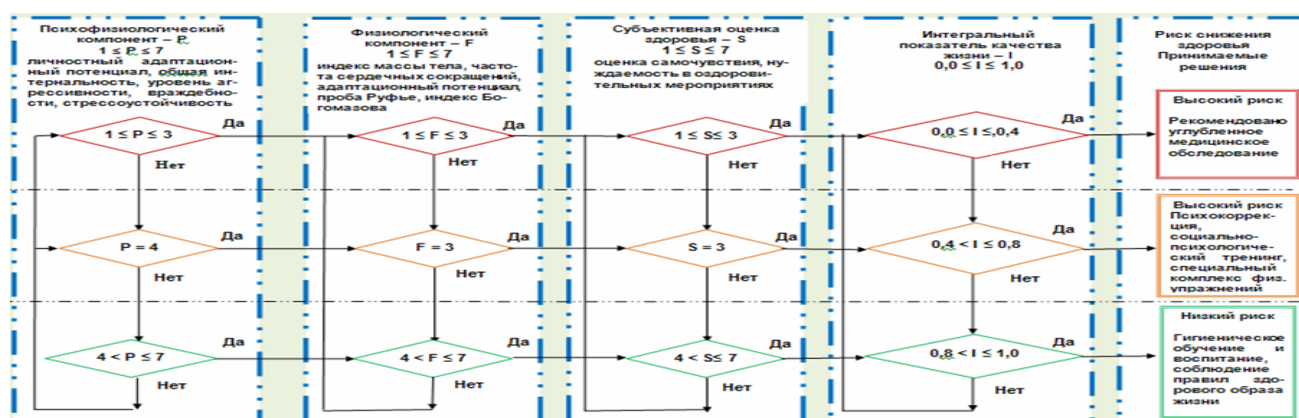


Рис. 2 Диагностическая модель определения уровня здоровья студентов и проводимых медико-психологических мероприятий.

### Заключение

Апробация разработанной модели с использованием показателей КЖ при обследовании студентов Национального института имени Екатерины Великой

(Серпуховский филиал), подтвердила ее высокую информативность. Ее применение позволяет проводить диагностику риска снижения здоровья на более раннем этапе, когда объективные результаты еще не снижены, и, используя полученные результаты, более обосновано принимать индивидуальные решения с учётом показателей КЖ. Наряду с традиционным медицинским заключением, сделанным врачом, данные на основе оценки КЖ позволили составить более полную картину о состоянии здоровья студентов; изменения КЖ, в частности оценки самочувствия, оказались более чувствительными к изменениям состояния здоровья, чем традиционные клиничко-лабораторные и инструментальные показатели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов В.И., Есауленко И.Э., Губина О.И. Качество жизни: оценка и системный анализ. Воронеж: Истоки, 2007. 240 с.
2. Качество жизни и социально-психологическое состояние населения: тр. ВНИИ техн. эстетики / Г.М. Зараковский, В.А. Хащенко, Н.Н. Хащенко, А.В. Баранова. М., 2003. 40 с.
3. Субетто А.И. Квалиметрия жизни. – СПб.: Астерион, 2002. 287 с.  
*E-mail: [erkina\\_elen@mail.ru](mailto:erkina_elen@mail.ru)*

**С.И. Карась**, д-р мед. наук, **О.В. Баталова**

(ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет, Томск,  
ОГУЗ Томская областная клиническая больница)

### **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Изложены результаты системного анализа деятельности высокотехнологичного лечебно-профилактического учреждения, полученные в двух стандартах методологии структурного моделирования SADT.

*Ключевые слова:* системный анализ, моделирование, бизнес-процессы.

**S.Karas, D.Sci., O.Batalova**

(Siberian State Medical University Tomsk, Tomsk Regional Clinical Hospital)

### **SYSTEM ANALYSIS OF HOSPITAL ACTIVITIES ON STRUCTURAL MODELING METHODOLOGY**

Results of system analysis of high-technology hospital activities are shown in two standards of structural modeling methodology SADT.

*Key words:* system analysis, modeling, business processes.

**Введение.** Разработка медицинских информационных систем (МИС) в лечебно-профилактических учреждениях – трудоемкий процесс, влияющий на эффективность использования материальных ресурсов и управление качеством

лечебно-диагностического процесса. До создания информационной системы необходимо разработать модель, отражающую основные процессы, происходящие в организации.

**Целью данной работы** являлось проведение системного анализа деятельности высокотехнологичного лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ) на примере НИИ кардиологии СО РАМН (г.Томск). Был проведен анализ информационных потоков внутри и между подразделениями НИИ кардиологии с учетом их лечебно-диагностического и административно-хозяйственного профиля как необходимый этап подготовки технического задания на разработку МИС.

### Дизайн исследования

Организационная структура НИИ кардиологии исследована как сложная кибернетическая система, т.е. совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих определенную задачу. Описание процессов НИИ кардиологии было проведено на основе методологии структурного моделирования SADT, включающей декомпозицию структуры до требуемого уровня детализации. В нашей работе было принято решение использовать два стандарта SADT: IDEF0 и IDEF3 [1].

IDEF0 – методология структурно-функционального моделирования, позволяющая описывать процессы в виде иерархической системы взаимосвязанных функций. IDEF0-модель является иерархически связанным структурным представлением действия объекта, а также вещественных и информационных объектов (данных), необходимых для функционирования или являющихся результатом этого функционирования.

IDEF3 – методология описания процессов, рассматривающая последовательность выполнения и причинно-следственные связи между ситуациями и событиями для структурного представления знаний о системе. IDEF3-модели отражают последовательность выполнения работ и причинно-следственные связи между ситуациями и событиями, а также то, как организована работа и кто ее выполняет.

Решение использовать стандарты IDEF0 и IDEF3, было принято в силу ряда их преимуществ:

- полнота описания процессов (управление, информационные и материальные потоки, обратные связи);
- комплексность при декомпозиции, возможность агрегирования и детализации потоков данных и информации,
- обеспечение моделей процессов стандартного вида;
- простота графического представления.

### Результаты

Была создана контекстная диаграмма НИИ кардиологии, обобщающая основные процессы рассматриваемого учреждения и проведена ее декомпози-

ция в стандарте IDEF0 (Приложение 1). Рассматривая НИИ кардиологии как систему, можно выделить два основных (лечебно-диагностический и научно-исследовательский) процесса, один вспомогательный (работа финансовых и хозяйственных подразделений) процесс и один процесс управления (работа администрации).

При реализации лечебно-диагностических мероприятий можно выделить следующие подпроцессы, которые описаны в стандартах IDEF0 и IDEF3: регистрация пациента, его лечение, выписка и подготовка отчетов по проведенной работе. В качестве примеров, процесс регистрации пациентов представлен в Приложении 2, формирование отчетности в Приложении 3, поле деятельности НИИ кардиологии в области высокотехнологичной помощи в Приложении 4. В общем виде сценарий научно-исследовательского процесса представлен в соответствии со стандартом IDEF3 в Приложении 5.

Очевидно, что аналогичные диаграммы были созданы для всех процессов и подразделений НИИ кардиологии. Результатом работы является проект информационной системы, состоящий из двух частей:

- *проекта функциональной структуры* системы, содержащий иерархически связанные страницы с IDEF0-диаграммами и описывающий все модули (вплоть до элементарных функций) системы, их взаимосвязи, входные и выходные параметры;

- *проекта информационной структуры* системы, содержащего все структуры и взаимосвязи данных, описанных в IDEF3-диаграммах.

### Заключение

Большинство работ, проводимых по информатизации ЛПУ, на первом этапе используют позадачный подход. Для того чтобы спроектировать информационную систему, разработчик путем наблюдения, опроса сотрудников, взаимодействия с руководством, изучения документов выясняет, как учреждение работает и какие функции необходимо автоматизировать. В данном подходе не используется модель, описывающая учреждение как целостную систему. В результате теряется существенная информация, проект получается неполным и не отражает присущую объекту целостность.

В данной работе была предпринята попытка комплексно подойти к созданию информационной системы НИИ кардиологии и разработать модель основных бизнес-процессов. Проведенный системный анализ послужил основой разработки технического задания и последующей реализации медицинской информационной системы этого учреждения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Козлов А.С.* Проектирование и исследование бизнес-процессов. М.: Флинта, 2006.

*E-mail: [karas@ssmu.ru](mailto:karas@ssmu.ru)*

**П.Ф.Кикю**, д-р мед наук, канд. техн. наук,  
**Л.В.Веремчук**, д-р биол. наук, канд. техн. наук

(Владивостокский филиал ФГБУ «ДНЦ ФПД» СО РАМН –  
НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения)

**МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ  
МОЧЕПОЛОВОЙ СИСТЕМЫ**

Представлена информационная модель влияния параметров водоснабжения на распространение болезней мочеполовой системы. Выявлены основные характеристики качества воды, определяющие уровень заболеваемости.

*Ключевые слова:* модель, заболеваемость мочеполовой системы, факторы.

**P.F. Kiku, Dr. med. sc., L.V.Veremchuk, Dr. biol. sc.**  
(Vladivostok branch FGBU « DNC FPD » from RAMS – scientific research  
institute medical climatology and regenerative treatment)

**MODEL OF THE ESTIMATION OF INFLUENCE OF QUALITY  
WATERS ON DISTRIBUTION OF DESEASE OF  
URINOGENITAL SYSTEM**

The information model of influence of parameters of water supply on distribution of illnesses of urinogenital system is submitted. The basic characteristics of quality the waters determining a level of disease are revealed.

*Key words:* model, disease of urinogenital system, factors.

Одним из разделов системного анализа является информационно-аналитическое моделирование. В этой связи было проведено определение структуры воздействия сложной системы водоснабжения на формирование болезней мочеполовой системы (МПС).

Базовая матрица содержала следующие блоки: санитарное состояние водохранилищ и водозаборов, санитарно-химический и микробиологический состав питьевых вод. Проведенная редукция образовала блоки с относительно равным количеством предикторов: санитарное состояние водохранилищ и водозаборов – 18, качество подземных питьевых вод – 20, санитарно-химическое и микробиологическое качество потребляемой воды – 18). Используя канонические веса каждого входящего в блок фактора, была проведена сортировка оставшихся после редукции факторов по величине индивидуального веса. Наибольшие веса получили 15 показателей с уровнем значимости  $P < 0,05$ .

Выделение наиболее сильных воздействий блоков факторов среды на заболеваемость проводилось в программе *STATISTICA-6* каноническим анализом зависимостей между списками переменных (блоки факторов). Согласно величине  $R$  были установлены ранги воздействия, где первый ранг означал сильную связь, а третий – слабую (табл. 1).

Таблица 1.

Каноническая зависимость заболеваемости болезнями мочеполовой системы от факторов окружающей среды в Приморском крае

Заболеваемость болезнями мочевыделительной системы (все группы населения)				
Блоки факторов	Ранг воздействия	R	$\chi_2$	P
Санитарное состояние водохранилищ и водозаборов	1	0,56	183,5	<0,01
Санитарно-химический и микробиологический состав потребляемой воды	3	0,2	22,7	0,03
Качество подземных питьевых вод	2	0,45	116,7	<0,01

В результате, по силе воздействия на первое место вышел блок факторов, связанный с санитарное состояние водохранилищ и водозаборов, а санитарно-химический и микробиологический состав потребляемой воды оказался менее коррелирован с заболеваемостью. Далее был проведен корреляционный анализ с использованием плеяд Терентьева.

Расчеты сочетания заболеваемости МПС с качеством воды выделили три плеяды (рис.). Первая плеяда (санитарное состояние водохранилищ и водозаборов) имеет следующие характеристики:  $G=8$ ;  $G/k= 0,5$ ;  $D=0,75$ ;  $\Pi=9,1\%$ ;  $P<0.05$ ; вторая плеяда (качество подземных вод) –  $G=5$ ;  $G/k= 0,31$ ;  $D=0,61$ ;  $\Pi=20,2\%$ ;  $P<0.05$ ; и третья плеяда (питьевое водоснабжение) –  $G=3$ ;  $G/k= 0,2$ ;  $D=0,4$ ;  $31,3\%$ ,  $P<0.05$ .

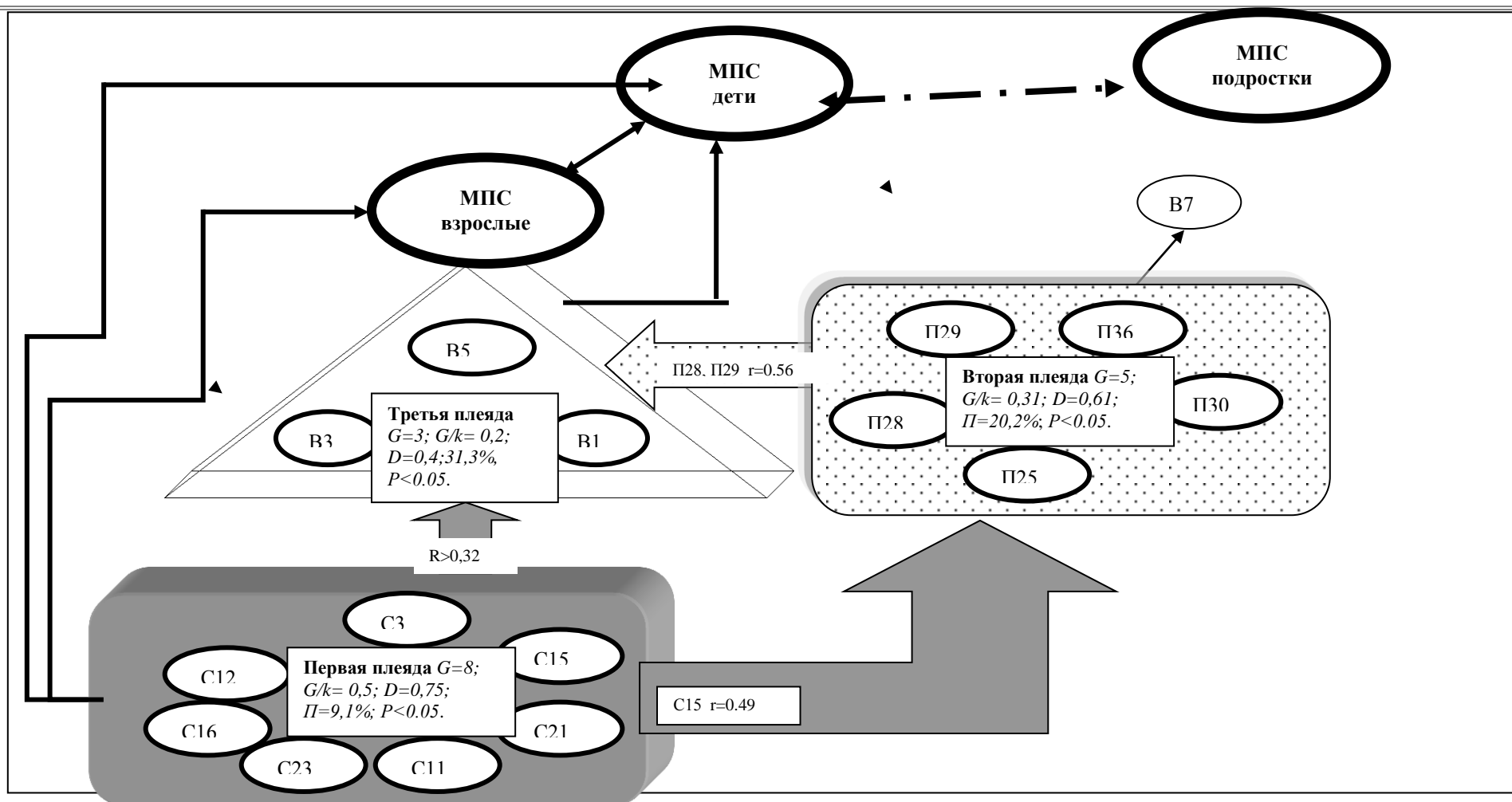
Анализ мощности плеяд подтвердил каноническую зависимость: наиболее сильная плеяда – санитарное состояние водохранилищ и водозаборов, затем – качество подземных вод и далее – показатели питьевого водоснабжения. Но согласно межсистемной зависимости, именно в такой очередности и происходит воздействие блочных структур друг на друга. Нужно заметить (по «головным связям»), что плеяда санитарное состояние водохранилищ и водозаборов сильно влияет на всю структуру поочередной зависимости., что любые колебания в санитарном состоянии водохранилищ и водозаборов отражаются на уровне заболеваемости у взрослых и детей.

По возрастным группам влияние качества воды на заболеваемость различается. Так, у подростков оно или отсутствует, или очень слабое ( $r<0,2$ ).

Имеется зависимость между детской заболеваемостью и подростковой, которая указывает, что заболевшие дети продолжают болеть и в подростковом возрасте. Подробно корреляционные связи отражены в таблице 2.



## ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМОГО АНАЛИЗА В ЗДРАВООХРАНЕНИИ



Примечание: Заболеваемость МПС у детей, подростков и взрослых; сан. состояние водохранилищ и водозаборов (С11–БПК-5; С3– взвешенные в-ва; С15– хлориды; С16 – азот; С21 – фосфор; С23 – железо); подземные питьевые воды (П25 – рН; П28 – сухой остаток; П29 – минерализация; П30 –  $CO_2$ ; П36 – запах); качество потребляемой питьевой воды (В1 – санитарно-химический состав скважин и колодцев; В3 – санитарно-химический состав централизованного водоснабжения; В5 – санитарно-химический состав разводной водопроводной сети; В7– санитарно-химический состав водоемов 1 категории)

**Рис. 1** Модель влияния качества воды на заболевания мочеполовой системы у населения Приморского края

Таблица 2.

Корреляционные сочетания и коэффициенты корреляции (R) в структуре воздействия качества воды на заболеваемость мочеполовой системы

Корреляционные сочетания		Коэф. корреляции R	Корреляционные сочетания		Коэф. корреляции R	Корреляционные сочетания		Коэф. корреляции R
МПС подростки	МПС дети	0,16	c11	c12	0,84	c21	c23	0,95
МПС подростки	МПС взрослые	0,14	c11	c15	0,76	c21	в5	0,32
МПС дети	c12	0,26	c11	c16	0,94	c23	в5	0,36
МПС дети	c15	0,27	c11	c21	0,95	в1	в3	0,47
МПС дети	c21	0,23	c11	c23	0,90	в1	в5	0,36
МПС дети	c23	0,26	c11	в5	0,35	в3	в5	0,36
МПС дети	в1	0,44	c12	c15	0,69	в5	п28	0,56
МПС дети	в3	0,26	c12	c16	0,82	в5	п29	0,55
МПС дети	п30	-0,25	c12	c21	0,84	п25	п28	0,77
МПС взрослые	c11	0,24	c12	c23	0,92	п25	п29	0,44
МПС взрослые	c16	0,24	c12	в5	0,33	п25	п30	0,58
МПС взрослые	c21	0,24	c15	c16	0,84	п25	п36	0,70
МПС взрослые	в3	0,32	c15	c21	0,79	п25	п36	-0,23
МПС взрослые	в5	0,22	c15	c23	0,75	п28	пв29	0,79
МПС взрослые	МПС дети	0,36	c15	в5	0,35	п28	п30	0,56
c3	c11	0,90	c15	п28	0,49	п28	п36	0,60
c3	c12	1,00	c16	c21	0,97	п29	п30	0,37
c3	c15	0,87	c16	c23	0,91	п29	п36	0,74
c3	c16	0,86	c16	в5	0,36	п30	п36	0,57
c3	c21	0,93	c16	c12	0,82	п36	в7	0,74
c3	c23	0,99						

В результате анализа с помощью плеяд Терентьева по группам населения и с учетом внутри- и межсистемных связей показал: влияние окружающей среды на *заболевания мочеполовой системы* происходит по цепочке зависимости от санитарного состояния водохранилищ и водозаборов, через качество подземных вод и в конце концов все это состояние отражается на качестве водоснабжения.

Таки образом, разработанная «Модель влияния факторов среды обитания на уровень заболеваний мочеполовой системы» позволила установить, что заболеваемость МПС у населения Приморского края от качества потребляемой питьевой воды (первый уровень) и подземных вод (второй уровень).

E-mail: [lme@list.ru](mailto:lme@list.ru)

УДК 303.732/61:007

© 2012 г. **С.Н. Русак**, канд. биол. наук, **Д.И. Молягов**  
(Сургутский государственный университет, Сургут)

**БИОИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ХРОНИЧЕСКОГО  
ИНГАЛЯЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ  
г. СУРГУТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

В настоящей работе рассмотрен аспект влияния уровня загрязнения атмосферного воздуха на показатели заболеваний детского населения г. Сургута методом оценки риска.

*Ключевые слова:* оценка риска; загрязняющие вещества; органы-мишени; детский организм.

© 2012 **S.N. Rusak**, cand. biological. sc., **D.I. Molyagov**  
(Surgut state university, Surgut)

**BIOINFORMATION ASPECTS of the ESTIMATION CHRONIC RISK  
FOR HEALTH of the POPULATION SURGUTA FROM INFLUENCE  
POLLUTING MATERIAL**

In the present work was considered aspect of the influence level soiling the atmospheric air on factors of the diseases of the baby population of Surgut by method of risk assessment.

*Keywords:* risk assessment; the polluting material; the organs-dartboard; the baby organism.

**Введение.** Выявление роли определенных воздействий факторов окружающей среды в нарушении состояния здоровья населения затруднено огромным многообразием потенциально вредных компонентов, с которыми контактирует человек в условиях населенных мест и в производственных условиях. Риск, как вероятность возникновения нежелательного события с предсказуемыми последствиями за определенный промежуток времени, является неотъемлемым атрибутом жизни человека и любой экономической формации. Оценка риска для здоровья населения от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды является относительно новым научным направлением.

Оценка значимости загрязнения среды по биологическим ответам организма человека – показателями здоровья более объективна, чем сопоставление концентраций отдельных загрязнителей с гигиеническими нормами, т.к. интегрально учитывает влияние всех, в том числе неидентифицированных загрязнителей, их комплексное и комбинированное действие на организм человека [1,2].

**Методы исследования.** Информационной основой послужили материалы многолетних наблюдений загрязнения атмосферного воздуха в рамках экологического мониторинга жилых микрорайонов города и данные статистической отчетности Комитета по здравоохранению г. Сургута о заболеваемости населения (за период 2010 гг.). На основании данных мониторинга была проведена оценка риска от воздействия загрязняющих веществ для здоровья населения го-

рода, которая предусматривала расчет коэффициентов опасности (*HI*), учитывающих влияние отдельных факторов на здоровье человека, основанных на оценках доза – ответных реакциях, полученных в опытах или в эпидемиологических исследованиях.

### Результаты исследования

Рассчитано суточное, годовое и пожизненное поступление загрязняющих веществ ингаляционного действия (при продолжительности жизни в 70 лет). Суточное поступление загрязняющих веществ – 10,5 мг, годовое – на уровне 3,8 г и пожизненное – 116,6 г. Суммация коэффициентов опасности для веществ однонаправленного действия показала, что индекс опасности составил 16,08, при этом ведущее место представлено веществами, воздействующими на органы дыхания (*HI* 5,51); на иммунную систему (сенсбилизация) (*HI* 2,39); заболевания глаз (*HI* 2,33); ведущие к смертности (1,54) и воздействующие на кровь (образование MetHb) (1,09). Для остальных органов, систем (эффектов) *HI* составил менее 1 (табл. 1).

Таблица 1

Ранжирование хронических неканцерогенных рисков здоровью по системам (эффектам)

Критические органы/системы	Суммарный индекс неканцерогенной опасности, <i>HI</i>	Ранг
органы дыхания	5,51	1
иммунная система (сенсбилизация)	2,39	2
глаза	2,33	3
смертность	1,54	4
кровь (образование MetHb)	1,09	5

Основными веществами, вклад которых свыше 95% в суммарный неканцерогенный риск, являются: формальдегид – *HI* 2,33 (31,61%); взвешенные вещества – *HI* 1,5 (20,19%); 3,4 бенз(б)пирен – *HI* 1,31 (17,74%); диоксид азота – *HI* 0,65 (8,75%); оксид азота – *HI* 0,45 (6,05%); фенол – *HI* 0,33 (4,52%); марганец – *HI* 0,26 (3,52%); оксид углерода – *HI* 0,25 (3,39%). Согласно полученным данным, суммарный неканцерогенный риск составил 7,38 (*HQ*).

В списке наблюдаемых веществ канцерогенами являются 4 вещества – хром, формальдегид, 3,4 бенз(б)пирен, никель. Суммарный популяционный риск от воздействия аэрогенных поллютантов в городе составил  $2,4 \cdot 10^{-4}$ . Основной вклад (более 99%) в популяционный канцерогенный риск вносят только два вещества – хром (62,36%) –  $ICRi 1,5 \cdot 10^{-4}$  и формальдегид (36,77%) –  $ICRi 8,82 \cdot 10^{-5}$ .

Общеизвестно, что заболеваемость – наиболее характерная, официально регистрируемая реакция на вредное воздействие окружающей среды, которая отражает как длительное, так и хроническое действие загрязнителя. Считается, что оценка негативного воздействия этого загрязнения на заболеваемость дет-

ского контингента является наиболее информативной, т.к. интегрально учитывает влияние всех, в том числе неидентифицированных загрязнителей, их комплексное и комбинированное действие на организм человека, к тому же, влияние таких факторов, как образ жизни, стрессы или вредные привычки практически исключены.

Для оценки негативного влияния атмосферных загрязнений в качестве индикативного показателя была рассмотрена первичная заболеваемость детского населения ( $N$  на 1000) в возрасте до 14 лет; установлена высокая корреляционная связь заболеваемости с популяционным риском ( $HQ$ ) от воздействия аэрогенных поллютантов ( $r = 0,84$ ), что характеризуется как сильная положительная связь (рис.1).

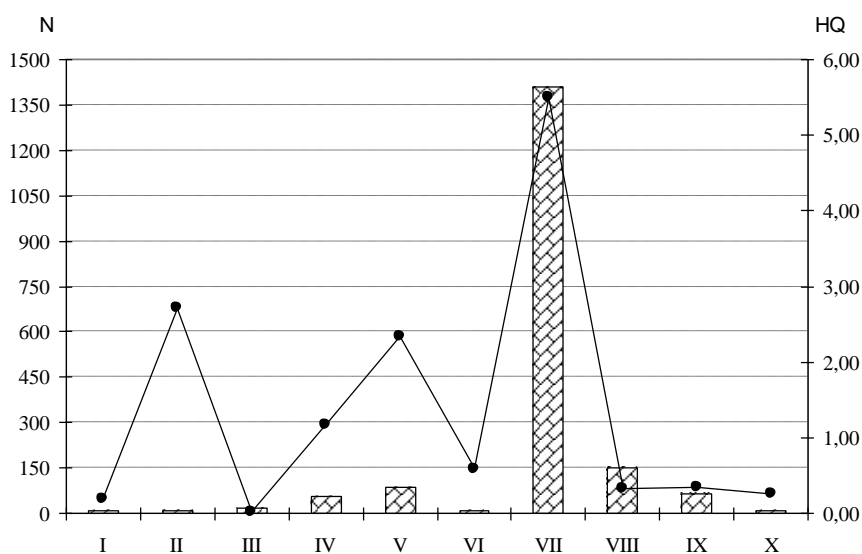


Рис.1. Структура заболеваемости детского населения (2010 г.) г. Сургута в возрасте до 14 лет по некоторым классам заболеваний в сравнении с коэффициентами опасности при суммации веществ одностороннего действия. Цифрами обозначены: I – злокачественные новообразования; II – иммунная система (сенсibilизация); III – гормональная система; IV – центральная нервная система; V – болезни глаз; VI – сердечно - сосудистая система; VII – органы дыхания; VIII – заболевания печени; IX – заболевания почек; X – пороки развития.

### Заключение

Уровни хронического ингаляционного риска от воздействия техногенных поллютантов в городе Сургуте, (как канцерогенного, так и неканцерогенного) сопоставимы с уровнями риска промышленных городов [1]. Расчетные уровни хронического канцерогенного ингаляционного риска находятся в зоне третьего (среднего) диапазона ( $1 \cdot 10^{-3} > 1 \cdot 10^{-4}$ ), что приемлемо для профессиональных групп или производственных условий и неприемлемо для населения в целом; уровни хронического неканцерогенного ингаляционного риска превышают рекомендуемые значения. Полученные расчетные данные свидетельствуют о необходимости проведения углубленных исследований влияния атмосферных загрязняющих веществ на показатели здоровья населения города, особенно детского организма, в том числе оценку их сочетанного воздействия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко [и др.] – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.
2. Руководство Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

© 2012 г. **А.Н. Сапегин**, канд. психол. наук  
(Филиал №3 ФБУ «ЗЦВКГ им. А.А.Вишневого МО РФ, Москва)

## ОПЫТ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОГО ЦЕНТРА

Излагается опыт разработки и эксплуатации системы управления реабилитационно-диагностическим процессом в Центре медицинской реабилитации.

*Ключевые слова:* электронные медицинские карты, учётно-отчётная документация.

**A.N. Sapegin**, The candidate Psych. Sciences  
(Branch №3 Federal budgetary establishment «ЗЦВКГ of A.A. Vishinski the Ministry of Defense the Russian Federation, Moscow)

## EXPERIENCE OF AUTOMATION OF THE MEDICAL CENTRE

Experience of working out and control system operation by rehabilitation-diagnostic process in the Center of medical rehabilitation is stated.

*Keywords:* electronic medical cards, the registration-accounting documentation

## Введение

«Электронная форма ведения истории болезни, электронная процедура регистрации – это точно завтрашний день. Те, кто сегодня к этому готов, должны уже приступать», – эти слова президента страны Дмитрия Анатольевича Медведева, сказанные им в г. Тверь 8 июля 2010 года стали для нас руководством к действию, не дожидаясь внедрения автоматизации в сфере здравоохранения сверху.

Электронные медицинские карты (ЭМК) входят в число самых популярных и востребованных медицинских информационных технологий; так, почти три четверти (73,3%) участников онлайн-опроса, проведенного компанией АКСИМЕД в мае – июне 2011 г., заявили, что технологиям ЭМК следует уделять первоочередное внимание. Эти технологии важны для всех ключевых участников процессов медицинского обслуживания: врачей, пациентов, органов управления здравоохранением, страховых компаний.

В состав ЭМК входят: персональные данные пациента, данные осмотров и диагностических обследований, данные госпитализаций и амбулаторных посещений, сведения о назначенных лекарственных средствах, наличии аллергий, выполненных вакцинациях и пр. Данные могут быть представлены в разных форматах (текстовом, графическом и др.).

Электронный паспорт здоровья и персонификация медицинских услуг обязательная и первоочередная задача информатизации здравоохранения за рубежом. Страны-лидеры медицинской информатизации предусматривают перевод в электронный формат всех медицинских карт населения своих стран.

### **Постановка задачи**

Исходя из вышеизложенного, к 2011 году в нашем Центре медицинской реабилитации (ЦМР) разработана и запущена в эксплуатацию автоматизированная система регистрации и сопровождения пациентов, позволяющая отказаться от рукописного ведения разнообразных книг учета и многочисленных журналов.

Основой этой системы является адаптированный к особенностям лечебно-диагностического процесса вариант электронной амбулаторной медицинской карты пациента «Индивидуальная реабилитационно-диагностическая карта» пациента ЦМР.

Такая карта формируется программой автоматически в виде файла Excel, сохраняется как документ Excel в базе данных Центра, распечатывается и выдается на руки пациенту при его нахождении в Центре, а по окончании курса реабилитации передается в отделение для вклейки в историю болезни, и, по желанию, выдается пациенту на руки, а первый экземпляр хранится в архиве Центра.

Для себя задачу программирования мы формулировали так: "собрать необходимое и достаточное количество медицинской информации о пациентах и обеспечить врачу и руководству удобный доступ к этой информации".

Основная информация вводится в базу данных в формализованном виде из параметрических справочников, что позволяет формализовать и ускорить регистрацию пациентов, а также назначение и контроль диагностических и лечебных процедур, не говоря уже о возросших возможностях анализа данных и генерирования различного вида отчетов.

Основное окно базы данных представляет собой комбинированную форму ввода данных в главную таблицу сведений о пациентах и в две подчиненные таблицы о госпитализациях и обращениях (визитах) в ЦМР. Сервисные функции программы позволяют автоматически генерировать необходимые отчеты за любой период времени по различным запросам к базе данных. Использование перекрестных запросов к базе данных позволяет оперативно в виде наглядных сводных диаграмм и таблиц отображать данные индивидуального и группового мониторинга экспертно-реабилитационного процесса.

Отчет о проведенных диагностических и реабилитационных мероприятиях представляется в нескольких вариантах (по выбору): о каждом конкретном обращении конкретного пациента в ЦМР; обо всех визитах конкретного пациента в ЦМР за конкретную госпитализацию; обо всех визитах конкретного пациента в ЦМР за все госпитализации и др.

### **Полученные результаты**

В результате внедрения электронной процедуры регистрации и электронной формы ведения амбулаторной карты пациента в Центре создана система автоматизированного управления реабилитационно-диагностическим процессом. И специалисты Центра, и лечащие врачи коечных отделений госпиталя, и пациент – все располагают необходимой и достаточной информацией о состоянии здоровья пациента и произведённых медицинских вмешательствах. Эта информация хранится в единой базе данных Центра в электронном виде на сервере и в виде «твёрдых» копий на бумажном носителе (плановая таблица приёма пациентов, статталоны, листы назначения диагностических исследований и лечебных процедур, «Индивидуальная лечебно-диагностическая карта» пациента, выписки в историю болезни, эпикризы). Помимо этого унаследованная из застойного периода и значительно усилившаяся в последние годы бюрократическая система управления здравоохранением вынуждает нас разрабатывать различные формы учётно-отчётной документации. Автоматизация, конечно, значительно облегчает удовлетворение постоянно растущих запросов менеджеров здравоохранения и демонстрирует абсурдность бумажного дублирования многих документов, ненужных врачам, а нужных только чиновникам для демонстрации своей необходимости. Но и среди части лечащих врачей и их непосредственных и вышестоящих руководителей сохраняется эта тенденция к сохранению дублирования электронной учётно-отчётной документации в бумажном виде.

Разработанная и введенная в эксплуатацию система автоматизированного управления реабилитационно-диагностическим процессом позволяет оперативно формировать отчетность о посещаемости Центра за любой отрезок времени с любой дискретностью: поквартально, ежемесячно и т.п.

Теперь книги учета пациентов в Центре ведутся программой автоматически в электронном виде, сберегая не только время медперсонала, но и затраты на приобретение большого количества журналов. Такая практика обеспечивает также и конфиденциальность информации о состоянии здоровья пациентов. Но по требованию вышестоящих руководителей и контролирующих органов журнал Центра в целом или любого кабинета в отдельности за любой промежуток времени может быть напечатан в течение нескольких минут.

Хотя книга учета пациентов Центра за любой промежуток времени может быть в считанные секунды выдана на экран монитора любого автоматизированного рабочего места (начальника, врача, регистратора), распечатка ежене-



дельного журнала загрузки Центра диагностическими и реабилитационными процедурами используется во время еженедельной медицинской конференции Центра. Руководитель, опираясь на факты, может подвести итоги прошедшей недели и поставить задачи на новую неделю. В этих целях используется, в основном, перекрестный запрос, в котором отчетливо прослеживается динамика загрузки кабинетов Центра. Но, несмотря на это, руководство Центра должно быть всегда готово продемонстрировать журнал учета своих пациентов различного рода проверяющим, не привыкшим к электронному документообороту, поэтому, большей частью, по этим причинам мы еженедельно печатаем очередной раздел журнала с понедельника по пятницу включительно. Недавно один проверяющий возмутился отсутствием прошитых журналов в психотерапевтическом кабинете Центра. Демонстрация журнала учета пациентов психотерапевтического кабинета в электронном и распечатанном виде, содержащем все графы прежних рукописных журналов учета, и аргументы из области конфиденциальности психотерапевтической и сексологической информации о пациентах не возымели на медицинского чиновника ожидаемого эффекта. Теперь сотрудники кабинетов вынуждены весь день работать с компьютером, а в конце дня распечатывать необходимые документы, а затем еще и с экрана или бумажной копии переписывать их в журнал. Бюрократы от медицины продолжают править бал по своим чиновничьим правилам, не обращая внимания даже на призывы Президента страны к автоматизации и электронному документообороту в медицине.

### **Заключение**

Самый важный эффект при работе с электронной медицинской картой проявляется не при её заполнении, а при чтении информации. Бумажная медицинская карта, неразборчиво заполненная от руки, используется другими специалистами, как правило, только для просмотра цифровых данных анализов и описания инструментальных исследований. Когда врачи начинают работать с электронной картой, повышается и качество медицинского обслуживания. Если есть амбулаторная медицинская карта, значит любые отчеты, реестры, регистры учетные формы и т.п. могут быть получены автоматически. Персонал медучреждений освобождается от «непрофильных» функций, а занимается непосредственно лечебно-диагностическим процессом, ведет медицинскую карту и использует возможности информатизации в своих интересах, не отвлекаясь на нужды сторонних и вышестоящих организаций. Вышестоящие организации получают возможность, подключившись к той же системе, получать любые отчеты в реальном времени, исключая манипулирование данными на уровне медучреждения.

*E-mail: [ansapegin@yandex.ru](mailto:ansapegin@yandex.ru)*

УДК 51-77

**В.А. Батури́н<sup>1</sup>**, д-р физ.-мат. наук, **Н.С. Малту́гуева<sup>1</sup>**, **А.Б. Столбо́в<sup>1</sup>**,  
**Н.В. Ефи́мова<sup>2</sup>**, д-р мед. наук, **С. Будня́м<sup>3</sup>**, д-р физ.-мат. наук

(Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Иркутск, Ангарский филиал НИИ медицины труда и экологии человека ГУ НЦ МЭ ВСНЦ СО РАМН, Институт Национального Развития Монголии, Улан-Батор)

### **СИСТЕМА МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГОРОДА УЛАН-БАТОР<sup>5</sup>**

Система математических медико-экологических моделей состоит из двух составляющих: камерной модели распространения примесей в атмосфере и модели динамики заболеваемости населения. Результаты расчетов по первой модели агрегируются по районам и используются как входные данные для второй. Система моделей рассматривается для города Улан-Батор.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, здоровье населения, экология, камерная модель.

**V.A. Baturin<sup>1</sup>**, Dr. of Math., **N.S. Maltugueva<sup>1</sup>**, **A.B. Stolbov<sup>1</sup>**,  
**N.V. Efimova<sup>2</sup>**, Dr. of Med., **Sanja Budnyam<sup>3</sup>**, Dr. of Math.

(<sup>1</sup>Institute for system dynamics and control theory SB RAS, Irkutsk,

<sup>2</sup>AD RI occupational health and human ecology PI SC ME ESSC SB RAMS, Angarsk, <sup>3</sup>Mongolian Development Institute, Ulaanbaatar)

### **SYSTEM OF MEDICAL ECOLOGICAL MODELS OF ULAANBAATAR**

System of mathematical medical ecological models consists of compartment model of pollutants distribution and model of population health dynamics. Aggregated results from the first model are used as input to the second model. System of models is considered for Ulaanbaatar.

*Keywords:* mathematical modeling, cell model, population health, economics, ecology.

**Введение.** Загрязнение атмосферного воздуха – одна из наиболее важных проблем города Улан-Батор. Предприятия теплоэнергетики, автотранспорт и большое количество низких источников выбросов приводят к поступлению в воздушный бассейн города большого количества загрязняющих веществ. Неблагоприятная экологическая обстановка также оказывает негативное воздействие на уровень заболеваемости населения.

Для описания влияния загрязнений атмосферного воздуха на заболеваемость населения используется двухуровневая система моделей. Для прогнозирования и оценки загрязнения воздушной среды города Улан-Батор использу-

---

<sup>5</sup> Работа выполнена при поддержке СО РАН, проект №5 «Моделирование загрязнения атмосферы г. Улан-Батор в зависимости от выбросов промышленных предприятий и автотранспорта, создание программного комплекса на основе ГИС-технологий»

ется камерная модель распространения примесей в атмосфере. Динамика показателей заболеваемости населения определяется дифференциальной системой уравнений, в которой уровень загрязнений задается экзогенно на основе результатов расчетов концентраций примесей в камерной модели.

**Камерная модель загрязнения атмосферного воздуха.** Камерная модель распространения примесей в атмосфере для города Улан-Батор разработана по аналогии с моделью локального климата [1, 2]. В модели рассматриваемая область разбивается на слои, а каждый слой в свою очередь разбивается на ячейки (камеры). В модели учитываются такие параметры как скорость и направление ветра, горизонтальная и вертикальная диффузии. Для каждой ячейки динамика атмосферных примесей описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dq_{ij}^k}{dt} = -\alpha_j q_{ij}^k + \sum_{r \in I^k} Q_{irj}, k \in \{1, \dots, K\}, i \in \{1, \dots, N_k\}, k \in \{1, \dots, M\}$$

где  $N_k$  - количество ячеек,  $K$  - количество слоев (вертикальное дробление) в ячейке,  $M$  - количество учитываемых примесей,  $q_{ij}^k$  - средняя концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества в  $i$ -ой ячейке  $k$ -го слоя в момент времени  $t$ ,  $\alpha_j$  - величина, обратная интервалу времени, за который концентрация  $j$ -го загрязнителя уменьшается в  $e$  раз;  $I^k$  - множество всех ячеек, соседних с  $i$ -й ячейкой  $k$ -го слоя, т.е. имеющих с ней общую граничную поверхность;  $Q_{irj}$  - поток  $j$ -го загрязняющего вещества, связывающий  $i$ -ю ячейку  $k$ -го слоя с  $r$ -й соседней. Более подробно модель представлена в [2].

Для идентификации параметров модели для города Улан-Батор необходима информация по расположению источников выбросов и их интенсивности (ТЭЦ, юрты и автотранспорт). В модели рассматривается два слоя: выбросы от ТЭЦ учитываются в верхнем слое, а остальные выбросы в нижнем.

**Модель динамики заболеваемости населения.** В качестве характеристики состояния здоровья населения используется показатель заболеваемости. Учёт заболеваемости осуществляется по обращаемости за медицинской помощью в учреждения здравоохранения. Динамика показателя заболеваемости населения задается следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dz}{dt} = Q^II z + C^II R^{ch} + A^II R^{ac} + B^II R^{int} + D^II G + D^{inf} g(G)$$

где  $z = x - x^*(t)$  - отклонение от естественного состояния показателей модели;  $x(t)$  - векторный показатель, характеризующий состояния здоровья населения;  $R^{ch}(t)$  - вектор, характеризующий уровень хронического загрязнения в некоторый период (в этот вектор включаются те загрязняющие вещества, для которых существует дополнительная экспертная информация для идентификации);  $R^{ac}(t)$  -

вектор краткосрочного сильного загрязнения;  $R^{int}(t)$  - скалярный интегральный показатель загрязнения атмосферного воздуха, рассчитанный по Пинигину [3] для веществ, не вошедших в вектор  $R^{ch}(t)$ ;  $G(t)$  - вектор, характеризующий состояние здравоохранения;  $g(G)$  - характеристическая функция;  $Q^{II}$  - матрица, отражающая процесс самовосстановления и взаимовлияния показателей модели;  $C^{II}$ ,  $A^{II}$ ,  $B^{II}$  - матрицы, отражающие влияние  $R^{ch}(t)$ ,  $R^{ac}(t)$ ,  $R^{int}(t)$ ;  $D^{II}$  - матрица, отражающая процесс восстановления здоровья населения за счёт текущей деятельности учреждений здравоохранения;  $D^{inf}$  - матрица, отражающая увеличение приборной базы или расширения основных фондов учреждений здравоохранения. Подход к построению подобных моделей подробно представлен в монографии [4].

**Взаимосвязь моделей.** Камерная модель позволяет получить данные о концентрации примесей загрязняющих веществ, которые могут быть использованы как входные данные в модели динамики заболеваемости населения. Однако уровень детализации в камерной модели не соответствует требованиям модели динамики заболеваемости, поэтому данные первой модели должны быть агрегированы по районам города. Одной камерной модели будет соответствовать набор моделей динамики заболеваемости населения.

Формирование районов осуществляется на основе двухшаговой процедуры анализа многовариантных расчетов по камерной модели. На первом шаге ячейки рассматриваются без учета их географического положения и группируются зависимости от уровня концентрации загрязнений, количества проживающего и работающего на территории ячейки населения. Для проведения процедуры группировки используются методы кластерного анализа.

На втором шаге в зависимости от координат ячейки происходит их распределение по районам. При этом территориально близкие группы ячеек с небольшой площадью присоединяются к более крупным районам.

В результате применения двухшаговой процедуры к расчетам по камерной модели каждому району будет соответствовать некоторая характерная ячейка и группа близких к ней ячеек. Уровень концентрации загрязнений в характерной ячейки далее используется в соответствующей району  $r$  модели динамики заболеваемости населения для формирования сценариев по показателям  $R^{ch}(t)$ ,  $R^{ac}(t)$ :

$$R_i^{ch}(t) = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} R_i^r(t) dt, \quad R_i^{ac}(t) = R_i^r(t),$$

где  $R_i^r(t)$  - уровень  $i$ -го загрязнения, рассчитанный для  $r$ -го района города по камерной модели распространения примесей.

**Выводы.** Предложенная система моделей позволяет проводить системный анализ медико-экологической ситуации региона. Камерная модель распространения примесей в атмосфере идентифицирована для города Улан-Батор, прове-

дены сценарные расчеты. Результаты расчетов по камерной модели являются входными данными для моделей динамики заболеваемости населения, которые идентифицируются по районам города.

#### ЛИТЕРАТУРА

5. Боховко Г.В., Константинов Г.Н. Моделирование влияния топливно-энергетического комплекса на локальный климат // Географические исследования восточных районов СССР. Иркутск, 1981. С. 148-149.

6. Колокольникова Г.А. Модель распространения загрязнений, выбрасываемых предприятием в атмосферу // Модели и методы оценки антропогенных изменений геосистем / Е.В. Даилина [и др.]. Новосибирск: Наука, 1986. С. 90-96.

7. Пинигин М.А. Гигиенические основы оценки степени загрязнения атмосферного воздуха // Гигиена и санитария. 1993. № 7. С. 4-8.

8. Моделирование и оценка состояния медико-эколого-экономических систем / под ред. В.А. Батурина. Новосибирск: Наука, 2005.

*E-mail [stolboff@icc.ru](mailto:stolboff@icc.ru)*

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агапова Т.М., 45  
 Алёхин М.Д., 25, 62  
 Ананина О.А., 36  
 Балтикова А.А., 99  
 Баталова О.В., 140  
 Батурин В.А., 154  
 Безруков Н.С., 39  
 Берестнева О.Г., 22  
 Богомоллов А.В., 6, 29  
 Бондаренко О.А., 79  
 Брагинский М.Я., 92  
 Буданова Е.И., 137  
 Будням С., 154  
 Буров И.В., 96  
 Бурькин Ю.Г., 92  
 Бушманов А.В., 71, 72  
 Вакуленко О.Н., 71  
 Веремчук Л.В., 143  
 Вечканов И.Н., 111  
 Воронцов А.В., 72  
 Гавриленко Т.В., 96, 99  
 Гроссу Н.Ф., 79  
 Дворников М.В., 29  
 Деревич В.Е., 106  
 Добрынин Ю.В., 113  
 Еркин Н.В., 137  
 Еськов В.В., 79, 111, 113  
 Еськов В.М., 99  
 Ефимова Н.В., 154  
 Жданова О.Б., 129  
 Зуева Т.В., 137  
 Ильин А.В., 33  
 Карась С.И., 140  
 Катола В.М., 123, 126  
 Кику П.Ф., 143  
 Ковалева Л.К., 129  
 Колотова Е.В., 102  
 Коноплева Н.А., 82  
 Кощеев В.П., 111  
 Кривоногова П.Л., 82  
 Кукушкин Ю.А., 6, 29  
 Лебедев Ю.А., 45  
 Леншин А.В., 33  
 Логинов С.И., 92  
 Малтугуева Н.С., 154  
 Мартусевич А.К., 82, 129, 133  
 Меркулова Г.А., 48, 51  
 Минаев С.С., 89  
 Молягов Д.И., 111, 147  
 Москаленко Ф.М., 68  
 Нагребецкая Ю.В., 9  
 Нахамчен Д.Л., 102  
 Нахамчен Л.Г., 102  
 Нахамчена Е.В., 102  
 Немеров Е.В., 22  
 Огилькин Д.С., 54  
 Одинцова И.Н., 36  
 Осадчая И.А., 22  
 Панов В.Г., 12, 18  
 Панченко А.К., 120  
 Панченко К.И., 120  
 Пашнин А.С., 99  
 Пегова Е.В., 48, 51  
 Перельман Ю.М., 33  
 Перетягин П.В., 133  
 Перетягин С.П., 133  
 Писарева Л.Ф., 36  
 Пожарицкая М.М., 89  
 Попов Ю.М., 113  
 Потемкина Н.С., 42, 108  
 Приходько А.Г., 102  
 Радомская В.И., 86  
 Радомский С.М., 86  
 Русак С.Н., 147  
 Рыбченко А.А., 45  
 Сапегин А.Н., 150  
 Симакова Т.Г., 89  
 Симонова Ж.Г., 82  
 Степанова Д.И., 79  
 Столбов А.Б., 15, 154  
 Сухов Д.В., 120  
 Тушнова Л.К., 137  
 Ульянычев Н.В., 54, 65  
 Ульянычева В.Ф., 54, 65  
 Филатов М.А., 96  
 Филатова О.Е., 113  
 Харитонов В.В., 117  
 Химикова О.И., 96  
 Чекалина Т.Л., 89  
 Черняховская М.Ю., 68  
 Шабанов Г.А., 45  
 Шешегов П.М., 117  
 Шмакова Л.В., 29  
 Шубина О.И., 82  
 Ященко А.А., 65