

Е.Я. Лещенко<sup>2</sup>, С.В. Матусенко<sup>3</sup>, Я.А. Лещенко<sup>1</sup>, А.В. Боева<sup>1</sup>, О.Г. Батура<sup>1</sup>

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОТЕНЦИАЛА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА \*

<sup>1</sup> АФ – НИИ медицины труда и экологии человека ГУ НЦ МЭ ВСНЦ СО РАМН (Ангарск)

<sup>2</sup> Байкальский государственный университет экономики и права (Иркутск)

<sup>3</sup> ООО «Кроссроудс Трейд» (Ангарск)

*В статье представлены результаты исследования особенностей формирования разработанной авторами интегральной характеристики общественного здоровья – потенциала жизнеспособности населения города. Исследование проведено не традиционными статистическими методами, а на модельной основе с применением метода анализа иерархий (МАИ). Данный подход ориентирован на определение значимости («веса») отдельных компонентов, входящих в интегральную характеристику, с использованием метода экспертных оценок. МАИ позволяет добиться высокой строгости математического анализа, базирующегося на методе собственных значений и принципе иерархической композиции. На основе данного подхода определены модельные характеристики потенциала жизнеспособности населения города за 15-летний период наблюдения.*

**Ключевые слова:** потенциал жизнеспособности населения, метод анализа иерархий

## USING THE METHOD OF HIERARCHY ANALYSIS IN STUDYING THE URBAN POPULATION VIABILITY POTENTIAL

E.Ya. Leshchenko<sup>2</sup>, S.V. Matusenko<sup>3</sup>, Ya.A. Leshchenko<sup>1</sup>, A.V. Boyeva<sup>1</sup>, O.G. Batura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Industrial Medicine and Human Ecology SC ME ESSC SB RAMS, Angarsk

<sup>2</sup> Baikal State University of Economy and Law, Irkutsk

<sup>3</sup> Joint-Stock Company, Ltd, «CROSSROADS' TRADE», Angarsk

*The feature study results of forming the integral characteristic of public health – viability potential of the urban population, which has been developed by the authors, are represented in this paper. For the studies the traditional statistical methods have not been used, but they were performed based on a model with the use of the hierarchy analysis method (HAM). This approach is orientated for determining the significance («authority») of some integral characteristics components using the expert assessment methods. HAM allows to get a high stringency degree in the mathematical analysis based on the own value methods as well as the hierarchical composition principle. The model characteristics of the urban population viability potential have been determined based on this approach for the 15 year period of observation.*

**Key words:** population viability potential, hierarchy analysis method

В Концепции охраны здоровья населения Российской Федерации отмечается, что одним из основных направлений в области научных исследований должна стать разработка новых методов определения состояния общественного здоровья, нацеленных на минимизацию факторов, отрицательно влияющих на медико-демографический статус. В данном контексте важнейшей задачей является совершенствование информационно-аналитического и организационного обеспечения управления системой охраны здоровья населения. При этом решение стратегических задач в сфере здравоохранения должно исходить из точных и достоверных оценок фактического состояния основных медико-демографических характеристик населения. Такие оценки могут быть получены лишь на основе анализа объективной информации, что достигается постоянным развитием и совершенствованием научно-методического инструментария системы мониторинга общественного здоровья (медико-демографического мониторинга).

При осуществлении медико-демографического мониторинга важно обозначить и оценивать основные свойства и признаки человеческой популяции, состояние которых может служить критерием оптимальности или неоптимальности ее развития. Человеческая популяция как социально-биологическая система открытого типа лишь тогда может обеспечить свою стабильность и саморегуляцию в процессе развития, когда она обладает способностями к воспроизводству, адаптации и регулированию потока энергии [3, 8]. При этом, общественное здоровье нами рассматривается как сложный медико-социальный (медико-демографический) феномен, являющийся отражением и совокупной характеристикой важнейших взаимосвязанных признаков популяции: структуры, функции и жизнеспособности [2, 3]. По нашему мнению, об указанных свойствах популяции можно судить по потенциалу жизнеспособности, репродуктивному потенциалу, уровню естественной биологической резистентности [5].

\* Статья подготовлена в рамках проекта № 06-06-80151, выполняемого при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Системный структурный анализ основных элементов общественного здоровья (точнее — наблюдаемых медико-демографических эффектов и явлений) позволяет исследовать и оценивать состояние демоэкологической системы в целом [4].

Медико-демографический статус популяции является, с одной стороны, суммой структурных и функциональных свойств последней, а с другой — их более сложным синтетическим признаком, образующим новое качественное состояние. Именно это качество в здравоохранении пытаются выразить посредством различных позитивных или негативных показателей для того, чтобы охарактеризовать общественное здоровье и каким-то образом продемонстрировать его уровень или степень изменения. К таким показателям относятся статистические данные о рождаемости, смертности, заболеваемости, инвалидности, физическом развитии, средней ожидаемой продолжительности жизни и т.д.

В нашей работе [5] в качестве интегрального измерителя уровня общественного здоровья городской человеческой популяции было предложено использовать комплексную характеристику — медико-социо-демографический потенциал (МСДП).

Согласно нашей концепции (концептуальной модели) медико-социо-демографический потенциал города включает шесть крупных составляющих (компонентов): структурно-возрастной демографический потенциал; потенциал воспроизводства населения и медико-демографического развития; потенциал жизнеспособности; потенциал естественной биологической резистентности взрослого населения; уровень социально-экономического благополучия; уровень экологического благополучия [5]. Каждая из составляющих, в свою очередь, характеризуется набором натуральных статистических показателей, используемых в деятельности соответствующих ведомств, а также рассчитываемых дополнительно.

При наличии экспериментальных данных по МСДП и влияющих на него факторов, можно построить регрессионную зависимость вида

$$q_t = c_0 + \sum_{j=1}^J c_j y_{tj}, \quad t = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

где  $c_0, c_j$  — коэффициенты уравнения регрессии;  $y_{tj}$  — значение  $j$ -го фактора в момент времени  $t$ ;  $q_t$  — расчетное значение СДП;  $J$  — число факторов с учетом взаимодействий и нелинейных преобразований основных факторов.

При отсутствии экспериментальных данных по СДП, а мы имеем именно такую ситуацию, можно постулировать модель

$$q_t = \sum_{j=1}^J x_j y_{tj}, \quad \sum_{j=1}^J x_j = 1 \quad (2)$$

где  $x_j$  — весовой коэффициент для фактора  $j$  (коэффициент относительной важности фактора);  $J$  — число основных факторов.

Для модели (2) значения факторов должны быть пронормированы и иметь одинаковые единицы измерения.

В вышеупомянутой работе [5] мы проводили исследование уровней (величин) отдельных компонентов МСДП традиционными методами математико-статистического анализа. С этой целью была сформирована (рассчитана) совокупность (шкала) критериев оценки для каждого статистического показателя.

Однако исследование различных объектов, в т.ч. медико-демографических характеристик, может производиться не только с помощью статистических расчетов, но и на модельной основе. Именно такой подход мы применили в данной работе для исследования важнейшего интегрального показателя общественного здоровья — потенциала жизнеспособности населения. В качестве объекта исследования взято население Ангарска — крупного промышленного города Иркутской области.

В число структурных элементов потенциала жизнеспособности включили следующие статистические (частные) показатели: стандартизованный (по евростандарту) показатель общей смертности (СПОС); показатель младенческой смертности (ПМС); показатель средней ожидаемой продолжительности жизни (СОПЖ); индекс демографического развития (ИДР); показатель жизненного потенциала (ПЖП) (рассчитывается по методике Э. Фильрозе [7]). Ежегодные значения этих частных показателей, рассчитанные за период с 1991 по 2004 гг., приведены в таблице 1.

На основе этих пяти частных показателей было решено построить математическую модель (2) потенциала жизнеспособности населения города.

Так как значения частных показателей имеют различные единицы измерения и различный диапазон значений, мы предлагаем их выразить в процентах, когда

$$z_j = 100(y_j - a_j) / (b_j - a_j), \quad 0 < z_j < 100 \%, \quad (3)$$

где  $a_j, b_j$  — диапазон изменения частного показателя  $y_j$ .

Значения нормированных частных показателей, исчисленные с учетом подхода (3), приведены в таблице 2.

При использовании интегральных показателей для изучения объектов и явлений, имеющих сложную структуру, трудную методологическую проблему представляет определение ранговой значимости («веса») отдельных элементов, из которых складывается такой интегральный показатель. Это условие или требование является очень важным, поскольку структурные элементы с разным «весом» и влияют на состояние объекта в разной степени. Данное обстоятельство приобретает особое значение, когда отдельные элементы имеют разные векторы развития, вплоть до векторов противоположной направленности. Если таким элементам придан априори одинаковый «вес», а на самом деле их значимость в структуре явления сильно различается, то эффект сложения этих элементов, а, следовательно, и величина интегрального показателя будет существенно отклоняться от истинного состояния.

Нечто подобное мы можем увидеть на примере исследуемой нами характеристики — потенци-

Таблица 1

Значения частных показателей потенциала жизнеспособности населения города за 1991–2004 гг.

Год	Стандартизованный показатель общей смертности (на 1 000 населения)	Показатель младенческой смертности (на 1 000 родившихся)	Средняя ожидаемая продолжительность жизни (лет)	Индекс демографического развития	Жизненный потенциал населения (человеко-лет жизни)
1991	12,48	17,4	68,7	0,728	10606524
1992	12,65	17,0	68,2	0,720	10483855
1993	15,29	20,8	66,2	0,687	10013571
1994	15,54	10,9	64,4	0,657	9566630
1995	16,39	13,2	64,3	0,655	9407110
1996	15,46	16,4	64,5	0,658	9452657
1997	14,33	11,9	65,6	0,677	9577237
1998	13,37	13,0	66,6	0,693	9666180
1999	14,67	11,0	66,4	0,690	9518289
2000	15,74	10,8	65,4	0,673	9147478
2001	15,94	9,9	64,7	0,662	8976254
2002	15,59	9,0	64,6	0,660	8634131
2003	15,99	10,7	64,1	0,652	8303128
2004	14,82	11,0	64,0	0,650	8259873

Таблица 2

Значения нормированных частных показателей потенциала жизнеспособности

Год	Стандартизованный показатель общей смертности	Показатель младенческой смертности	Средняя ожидаемая продолжительность жизни	Индекс демографического развития	Жизненный потенциал населения
1991	42,115385	63,80952	43,5	41,29032	60,0767529
1992	43,453846	61,90476	41	38,70968	58,6335882
1993	63,776923	80	31	28,06452	53,1008353
1994	65,676923	32,85714	22	18,3871	47,8427059
1995	72,253846	43,80952	21,5	17,74194	45,966
1996	65,092308	59,04762	22,5	18,70968	46,5018471
1997	56,4	37,61905	28	24,83871	47,9674941
1998	49,030769	42,85714	33	30	49,0138824
1999	58,969231	33,33333	32	29,03226	47,2739882
2000	67,2	32,38095	27	23,54839	42,9115059
2001	68,738462	28,09524	23,5	20	40,8971059
2002	66,138462	23,80952	23	19,35484	36,8721294
2003	69,138462	31,90476	20,5	16,77419	32,9779765
2004	60,184615	33,33333	20	16,12903	32,4690941

ала жизнеспособности населения. Такие элементы последнего как показатель общей смертности и показатель младенческой смертности в период 1990-х — начала 2000-х гг. имели противоположно направленные векторы развития: динамика первого показателя характеризовалась выраженным ростом, а в динамике второго проявилась четкая тенденция к снижению. Однако использовавшиеся нами ранее традиционные статистические методы не предусматривали строгого установления «весов» отдельных составляющих интеграль-

ного показателя, что, конечно, не могло не внести некоторых неточностей в получаемые результаты.

При определении весовых коэффициентов используют несколько методов, например: ранжирование, алгоритм агрегирования факторов, метод анализа иерархий. Метод ранжирования обладает простотой и позволяет проверить однородность экспертов. Преимуществом метода агрегирования является возможность его использования при значительном числе факторов. Мы для нахождения весовых коэффициентов выбрали метод анализа

иерархий (МАИ) [6]. Особенностью МАИ является то, что он ориентируется на информацию высококвалифицированных экспертов с возможностью проверки на непротиворечивость посредством отношения согласованности, при высокой строгости дальнейшей математической обработки, базирующейся на методе собственного значения и принципе иерархической композиции.

Важной компонентой метода анализа иерархий является матрица суждений, в которой значения элементов основаны не на точных измерениях, а на субъективных суждениях (эти матрицы подготавливаются экспертами). Матрица суждений имеет вид:

$$A = (a_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, h, \quad (4)$$

где  $a_{ij}$  – число, соответствующее значимости объекта  $O_i$  по сравнению с  $O_j$  (в нашем случае объектами являются частные показатели). Эти числа будем называть суждениями, а их значения определим в соответствии со шкалой (табл. 3).

Если объект  $I$  находится в противоположном отношении к объекту  $J$  (например, объект  $J$  явно важнее объекта  $I$ ), то суждение  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ .

Для матрицы суждений (4) требуется найти максимальное собственное значение  $\lambda_{max}$  и вектор собственных значений  $Z$ , т.е. необходимо решить уравнение

$$A \times Z = Z \cdot \lambda_{max} \cdot (5)$$

Вектор собственных значений, который и является вектором весовых коэффициентов, находится численными методами.

Согласованность матрицы суждений  $A$  проверяется через индекс согласованности

$$IS = \frac{\lambda_{max} - h}{h - 1}, \quad (6)$$

или отношение согласованности

$$OS = \frac{IS}{SI(h)}, \quad (7)$$

где случайный индекс  $SI(h)$  определяется из таблицы 4, а  $h$  – размерность матрицы суждений  $A$ .

Значения  $OS \leq 0,1$  считаются приемлемыми.

Для определения весовых коэффициентов по МАИ были приглашены три эксперта из Научного центра медицинской экологии ВСНЦ СО РАМН, которые подготовили независимо друг от друга три матрицы суждений для частных показателей. Для каждой матрицы было решено уравнение (5) и найдено отношение согласованности (7). Для всех матриц значение (7) оказалось меньше 0,1 и, тем самым, была подтверждена их согласованность.

Дополнительно, используя критерий Краскелла-Валлиса [1], была проверена гипотеза об однородности экспертов. Гипотеза об однородности также подтвердилась. Это позволило нам усреднить суждения по трем экспертам ( $L=3$ ):

$$a_{ij} = \sqrt[L]{a_{ij1} \cdot \dots \cdot a_{ijL}}.$$

Полученная матрица суждений приведена в таблице 5.

Для данной матрицы решено уравнение (5); полученный вектор собственных значений и является вектором искомых весовых коэффициентов.

Таблица 3

Шкала оценок для определения значимости объекта

№	Отношение объектов	$a_{ij}$
1	объект $I$ и объект $J$ одинаково важны	1–2
2	объект $I$ незначительно важнее (лучше) объекта $J$	2–4
3	объект $I$ значительно важнее (лучше) объекта $J$	4–6
4	объект $I$ явно важнее (лучше) объекта $J$	6–8
5	объект $I$ абсолютно превосходит объект $J$	8–9

Таблица 4

Значения индекса согласованности

$h$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$SI$	0,58	0,90	1,21	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56

Таблица 5

Матрица суждений экспертов

	СПОС	ПМС	СОПЖ	ИДР	ПЖП
СПОС	1	2,154435	0,39685	0,235133	0,241158
ПМС	0,464159	1	0,212066	0,161662	0,191293
СОПЖ	2,519842	4,762203	1	0,5	0,791046
ИДР	4,308869	6,349604	2	1	1,587401
ПЖП	4,160168	5,192494	1,259921	0,629961	1

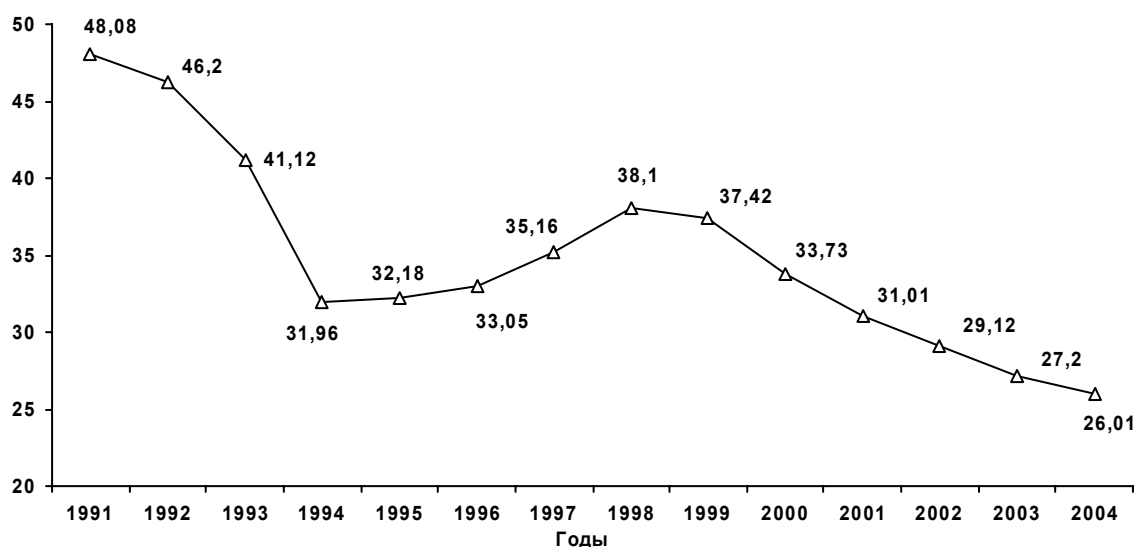


Рис. 1. Модельные значения потенциала жизнеспособности населения города.

Построенная с учетом последних математическая модель (2) имеет вид:

$$q_t^r = 0.0849 * z_{t1}^r + 0.0488 * z_{t1}^r + 0.2123 * z_{t1}^r + 0.3796 * z_{t1}^r + 0.2744 * z_{t1}^r$$

Данная модель потенциала жизнеспособности населения города построена по фактическим значениям частных показателей (элементов) для каждого года периода наблюдения. Динамика модельных значений потенциала жизнеспособности представлена на графике (рис. 1).

Из полученных материалов следует, что в течение 15-летнего периода наблюдения произошло очень сильное снижение потенциала жизнеспособности населения изучаемого города. При этом в динамике интегрального показателя можно выделить 3 этапа. На первом этапе (1991 – 1994 гг.) наблюдалось наиболее выраженное и стремительное снижение потенциала жизнеспособности, величина которого в 1994 г. составила 66,7 % от уровня базового года (1991 г.). Второй этап (1995 – 1999 гг.) характеризовался стабилизацией и некоторым умеренным подъемом значений интегрального показателя. На третьем этапе – с 2000-го года потенциал жизнеспособности вновь стал снижаться и составил в 2004 г. 54,2 % от уровня базового года. Все это указывает на высокую степень неблагополучия в состоянии общественного здоровья, а, следовательно, и в качестве жизни населения.

Мы считаем, что вышеописанный подход является весьма продуктивным. Он может с успехом использоваться при исследовании структурно-ко-

личественных изменений, происходящих в медико-социо-демографическом потенциале населения в процессе эволюции антропоэкологических систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Закс Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
2. Казначеев В.П. Проблемы человековедения. Под научной редакцией А.И. Субетто / В.П. Казначеев. – М. – Новосибирск, 1997. – 352 с.
3. Лещенко Я.А. Мониторинг здоровья населения: Теоретико-методологические аспекты / Я.А. Лещенко. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 207 с.
4. Лещенко Я.А. Значение медико-демографических характеристик для теории социально-экологических процессов / Я.А. Лещенко // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. – 1998. – № 2 (8). – С. 27–30.
5. Общественное здоровье как важнейшая составляющая человеческого капитала / Под ред. доктора мед. наук Я.А. Лещенко / Я.А. Лещенко, Е.В. Данилина, О.Г. Батура, А.В. Боева и др. – Иркутск: «Репроцентр А1», 2005. – 206 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 632 с.
7. Фильрозе Э. Очерк потенциальной демографии. – М.: Статистика, 1975. – 216 с.
8. Щедрина А.Г. Онтогенез и теория здоровья: Методологические аспекты / А.Г. Щедрина. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 136 с.