

08.00.00 Экономические науки

Economic science

**МЕТОДЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ В РАНЖИРОВАНИИ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РИСКОВ**

**METHODS OF MULTICRITERIA RANKING
MODELING IN SOCIO-ECONOMIC RISKS**

Попова Елена Витальевна
д.э.н., к.ф.-м.н., профессор
SPIN-код: 1067-5338

Popova Elena Vitalievna
Dr.Sci.Econ, Cand.Phys.-Math.Sci., professor
RSCI SPIN-code: 1067-5338

Яценко Александр Юрьевич
магистрант

Yatsenko Aleksandr Yurevich
Master of Science

Скрыль Максим Юрьевич
магистрант

Skryl Maxim Yuryevich
Master of Science

Сидоров Никита Андреевич
магистрант
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный
аграрный университет», г. Краснодар, Россия*

Sidorov Nikita Andreevich
Master of Science
*Federal state budget institution of higher professional
education "Kuban state agrarian University",
Krasnodar, Russia*

Задачей социально-гигиенического мониторинга является изучение влияния вредных факторов окружающей среды на здоровье населения, выявление причинно-следственных зависимостей, прогнозирование ситуации и принятие адекватных решений для управления сложившейся ситуацией. Одной из задач прогнозирования ситуации является оценка меры риска, а также роста показателей того или иного заболевания. Авторами рассчитывают риск распространенности болезней на территории в связи с факторами окружающей среды (ФОС). Тем самым, представляется возможность принятия адекватных решений для выявления и устранения вредных ФОС. Следовательно, для принятия решений по управлению качеством среды проживания человека необходимо обратить внимание на наиболее высокий риск возникновения и распространения болезней, стоящих в начале ранжированного ряда, с целью выявления причинно-следственных зависимостей среды обитания и здоровья населения популяции. Математическая модель оценки такого системного показателя как «степень озабоченности» заболеваемости населения дает возможность выявить наиболее «рискованные» группы болезней для различных групп населения с последующим определением причинно-следственных зависимостей в связи с влиянием факторов окружающей среды

The aim of public health monitoring is to study the influence of environmental factors on health, identifying causal relationships, forecast the situation and the adoption of adequate solutions for management of the situation. One of the tasks of forecasting is the evaluation of risk, as well as indicators' of a disease growth. The authors calculated the risk of spreading disease in the territory due to environmental factors (EF). Thus, it will be possible to make adequate solutions to detect and eliminate harmful EF. Consequently, decision-making for managing human habitations needs paying attention to the highest risk of the emergence and spreading of diseases, standing at the beginning of the ranked series, in order to identify causal relationships of environment and public health of the population. Mathematical model of evaluation index system such as "degree of concern" of the disease of population makes it possible to identify the most "risky" classes of diseases for different groups of the population, followed by determination of causal relationships due to the influence of environmental factors

Ключевые слова: ВРЕМЕННОЙ РЯД, ОЦЕНКА РИСКА, ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ, МОДЕЛЬ МАРКОВИЦА, РАНЖИРОВАНИЕ, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Keywords: TIME SERIES, RISK ASSESSMENT, DISEASE, MARKOWITZ MODEL, RANKING, MULTICRITERIA OPTIMIZATION

Изучение спроса на медицинские услуги в регионе и оптимизация расходования бюджетных средств – является одной из актуальных задач современных исследований. Настоящая работа посвящена изучению спроса населения на медицинские услуги, обращению за медицинской помощью и его прогнозированию. Предлагаемые методы и модели анализа медицинских временных рядов должны обеспечить возможность формирования программы оказания медицинской помощи учреждениями здравоохранения и муниципального (государственного) заказа по структуре и объёму необходимых ресурсов.

Постановка рассматриваемой в настоящей работе задачи, основывается на базе экономико-математических моделях экономических рисков для оценки социально-экологических рисков в системе здравоохранения. На базе методологии теории рисков [11] проведен сравнительный анализ статистических данных основных групп болезней, $m = 11$ (данные собраны из форм МКБ-IX-X) за период 13 лет.

Согласно источнику [14], начиная с портфельной теории Марковица, в математических моделях оценки финансово-экономического риска в качестве основных показателей рассматриваются два: максимизируемый ожидаемый эффект и минимизируемый риск. Отметим, что мерой первого показателя является математическое ожидание M , а, мера второго показателя определяется дисперсией D , либо среднеквадратическим отклонением (СКО) $\sigma = \sqrt{D}$. Авторами предлагается использование не классической дисперсии D , а её разделение на левую и правую части D^- и D^+ . Отметим, что D^- и D^+ состоят из слагаемых, просуммированных соответственно для значений случайной величины (СВ) меньших и больших математического ожидания M [10]. В данной работе использовался в качестве меры риска среднеквадратичное отклонение от средней σ .

Отметим, что дисперсия является аддитивной функцией от данного распределения вероятностей. Тогда представляется абсолютно логичным вместо показателей D^- и D^+ рассматривать показатели $\sigma^- = \sqrt{D^-}$ и $\sigma^+ = \sqrt{D^+}$.

В настоящей работе авторы имеют дело с «короткими» временными рядами. Отметим, что в случае малых выборок не представляется

возможным говорить о каком-либо распределении вероятностей для рассматриваемой СВ. В таких случаях, аналитик, вынужден оперировать следующими эмпирическими значениями статистических показателей: M , D , D^- , D^+ , σ , σ^- , σ^+ [10,11]. Это утверждение распространяется и на такие дополнительные критерии риска, как коэффициент асимметрии $A = \sigma^{-3} \sum_{s=1}^n (W_s - M)^3 P_s$ коэффициент эксцесса $E = \sigma^{-4} \sum_{s=1}^n (W_s - M)^4 P_s$ [11].

К настоящему времени относительно определения понятия финансово-экономического риска можно считать установившимся утверждение о том, что мера риска должна отражать степень опасности денежных потерь в связи с возрастанием заболеваемости населения. Другими словами, риск означает вероятность того, что фактический доход производителя окажется меньше предполагаемого [10,14]. При этом авторами подразумевается, что указанная вероятность оценивается дисперсией D или СКО σ , а при многокритериальном подходе [6] векторную оценку этой вероятности представляет векторная целевая функция (ВЦФ), состоящая, например, из критериев σ^- , σ^+ , A , E^- , E^+ , где $E^- = \sigma^{-4} \sum_{W_s < M} (W_s - M)^4 P_s$, $E^+ = \sigma^{-4} \sum_{W_s > M} (W_s - M)^4 P_s$.

В данной задаче показатели D^+ , σ^+ , A , E^+ представляют собой минимизируемые критерии, т.е. уменьшение их значений можно трактовать как «уменьшение риска распространения изучаемых групп болезней». В данной ситуации рассматривается социально-экологический аспект оценки того, как происходит распространение различных групп болезней на территориях трех выделенных регионов (равнинного, предгорного, горного) Карачаево-Черкесской республики.

Предметом настоящего исследования является математическое моделирование социально-медицинского риска в системе здравоохранения. При построении соответствующей математической модели представляется целесообразным применить двухуровневое представление множества критериев, характеризующих состояние рассматриваемой системы. При этом на верхнем уровне, авторами предлагается рассматривать данные основных групп заболеваний,

пронумерованных индексом $k = 1, 2, \dots, m$. Каждый индекс $k \in \{1, 2, \dots, m\}$ характеризуется на нижнем уровне соответственно своей ВЦФ, состоящей только из минимизируемых критериев:

$$M_k \rightarrow \min, \sigma_k^+ \rightarrow \min, A_k \rightarrow \min, E_k^+ \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $M_k, \sigma_k^+, A_k, E_k^+$ - выборочные значения соответственно показателей матожидания M , правостороннего СКО σ^+ , асимметрии A и правостороннего эксцесса E^+ , вычисленных как эмпирические значения [14] для k -го вида заболевания, $1 \leq k \leq m$.

Ряд указанных критериев (1) рассматривается в качестве векторного показателя:

$$F_k = (M_k, \sigma_k^+, A_k, E_k^+), \quad (2)$$

который представляет векторную, т.е. многокритериальную оценку такого системного показателя как «степень озабоченности» (СО). Окончательной целью первичного анализа всей совокупности статистических данных по группам болезней состоит в том, чтобы провести ранжирование рассматриваемых групп болезней в порядке не возрастания их СО. Данный порядок представляется в виде последовательности:

$$k_1, k_2, \dots, k_m. \quad (3)$$

В таблице 1 представленные значения дают критерии, которые составляют векторную, т.е. многокритериальную оценку такого системного показателя как «степень озабоченности» (СО).

Термин «нормирование» критериев данной ВЦФ означает соответствующие преобразования их к виду, удовлетворяющему приведенным ниже условиям 1⁰-3⁰. В случае невыполнения следующих условий возникают вопросы нормирования всех или отдельных критериев $F_V(x)$ указанной векторно-целевой функции:

- 1⁰. Однородность по виду экстремума: все критерии указанной векторно-целевой функции являются минимизируемыми;
- 2⁰. Соизмеримость: все критерии указанной ВЦФ имеют одну и ту же единицу измерения;

3⁰. Сопоставимость численных значений критериев: за счет подбора соответствующих значений коэффициентов λ_ν относительной важности и критериев $F_\nu(x)$ обеспечивается то, что единицы величин $(\lambda_\nu \cdot F_\nu(x))$, $\nu = \overline{1, N}$ отражают одинаковый вклад локальных полезностей этих величин в интегральную полезность [10] указанной ВЦФ.

Таблица 1 – Значения критериев ВЦФ для оценки «степени озабоченности» для рассматриваемых групп болезней за период 2003-2015 гг. на территории КЧР

k	M_k	σ_k^+	E_k^+	A_k
1.	685,27	33,72	4,13	1,05
2.	45,28	42,83	12,94	3,53
3.	33,35	7,15	5,15	1,51
4.	43,86	4,85	3,95	0,71
5.	101,53	10,43	4,54	-0,21
6.	79,57	5,19	4,33	-0,50
7.	151,83	25,94	5,79	1,92
8.	47,01	5,41	4,38	1,39
9.	41,06	7,57	4,98	0,82
10.	43,46	6,35	5,83	-5,15
11.	0,48	0,12	4,87	1,08
12.	39,68	2,01	4,91	-0,57

Из таблицы 1 видно, что критерии M_k и σ_k^+ определяют собой показатель распространенности заболеваний, а A_k и E_k^+ - это коэффициенты, так что нарушается условие 3⁰ о несоизмеримом представлении конкурирующих критериев. Для устранения вышеуказанного противоречия, т.е. с целью выполнения требований условия 3⁰ необходимо пронормировать значения M_k и σ_k^+ , $k = 1, 2, \dots, m$ путем умножения их значений на соответствующий нормирующий коэффициент $\alpha_k : \tilde{F}_k = \alpha_k F_k$, $F_k \in \{M_k, \sigma_k^+\}$. При определении значений α_k вначале для каждого индекса k выбирается “эталон”. Для матожидания M_k это будет величина $\alpha_k^M = \frac{1}{M_k^{\max} - M_k^{\min}} = \frac{1}{685,2708 - 0,4809} = 0,00146$, а для

правостороннего СКО σ_k^+ это будет:

$$\alpha_k^\sigma = \frac{1}{\sigma_k^{\max} - \sigma_k^{\min}} = \frac{1}{42,8338 - 0,1192} = 0,0234 .$$

В таблице 2 представлены результаты применения операции нормирования к данным таблицы 1.

Таблица 2 – Нормированные значения критериев ВЦФ для оценки СО для рассматриваемых групп болезней за период 2003-2015 гг. на территории КЧР

k	\tilde{M}_k	$\tilde{\sigma}_k^+$	E_k^+	A_k
1.	1,01	0,789	9,021	2,696
2.	0,067	1,002	19,941	4,436
3.	0,049	0,167	7,846	2,120
4.	0,064	0,113	9,088	1,88
5.	0,148	0,244	4,972	-3,554
6.	0,116	0,122	4,012	0,999
7.	0,221	0,607	6,226	1,773
8.	0,069	0,127	9,33	1,65
9.	0,059	0,177	6,504	1,704
10.	0,063	0,149	7,368	-2,942
11.	0,001	0,003	8,119	1,968
12.	0,058	0,047	5,456	0,666

Для полученных значений критериев ВЦФ

$F_k = (\tilde{M}_k, \tilde{\sigma}_k^+, E_k^+, A_k)$, $k = \overline{1,12}$ авторами применены следующие решающие правила (РП) [6]: f_k^1 -**MINSUM**, f_k^2 -**MINMAX**, f_k^3 - «расстояние до идеальной точки», которые определяются следующими формулами:

$$f_k^1 = \tilde{M}_k + \sigma_k^+ + E_k^+ + A_k \rightarrow \min, \quad f_k^2 = \max(\tilde{M}_k, \tilde{\sigma}_k^+, E_k^+, A_k) \rightarrow \min,$$

$$f_k^3 = \sqrt{(\tilde{M}_k - M^0)^2 + (\tilde{\sigma}_k^+ - \sigma^0)^2 + (E_k^+ - E^0)^2 + (A_k - A^0)^2} \rightarrow \min,$$

где «идеальные значения» $M^0 = \min_{1 \leq k \leq m} \tilde{M}_k$, $\sigma^0 = \min_{1 \leq k \leq m} \tilde{\sigma}_k^+$,

$$E^0 = \min_{1 \leq k \leq m} E_k^+, \quad A^0 = \min_{1 \leq k \leq m} A_k.$$

Авторами уделено особое внимание так называемому «принципу Парето», которому придаётся особое внимание в теории выбора и

принятия решений [1]. Согласно «принципу Парето» распространенность заболеваний с наименьшей СО может принадлежать только Паретовскому множеству \tilde{X} . Однако, учитывая сформулированное в [10], можно утверждать, что в контексте исследуемой задачи механическое использование принципа Парето является неправомерным. Можно привести реальные числовые примеры, в которых доминируемые объекты из множества $X \setminus \tilde{X}$ могут обладать безусловно наименьшей СО по сравнению с некоторыми недоминируемыми. В силу сказанного предлагается осуществить ранжирование распространенности групп болезней по степени их озабоченности. Поэтому в завершение всякой конкретной реализации многокритериального подхода в настоящей работе предлагается ранжирование (упорядочение) всех элементов в порядке убывания их степени озабоченности по совокупности значений критериев. Это ранжирование реализуется на базе так называемых прямых методов теории выбора и принятия решений [10]. В качестве конкретной численной реализации этого метода используется обобщенное решающее правило (ОРП) [1].

В результате применения ОРП к имеющимся статистическим данным осуществлено ранжирование распространенности заболеваний по СО среди взрослого населения Карачаево-Черкесской Республики, которое представим в виде следующего результата: $x_1, x_6, x_2, x_8, x_{10}, x_7, x_3, x_{11}, x_4, x_5, x_9$.

С точки зрения степени риска распространения заболеваний, наиболее важными оказались следующие:

- паразитарные и инфекционные заболевания;
- заболевания органов дыхания;
- заболевания эндокринной системы;
- заболевания мочеполовой системы;
- врожденные аномалии;
- заболевания органов пищеварения.

Вышеуказанный перечень подтверждается показателями распространенности и заболеваемости среди взрослого населения на

территории Карачаево-Черкесской республики. Менее значимыми по степени риска распространения оказались следующие болезни:

- болезни костно-мышечной системы
- болезни системы кровообращения
- болезни НС и органов чувств

Отметим, что параметрические показатели распространенности данных групп болезней высокие.

Также аналогичные исследования проведены по распространенности болезней среди детского населения. Полученный ранжированный ряд заболеваний по СО характеризуется следующим. Наиболее высокий риск распространения болезней оказался присущ следующим группам болезней:

- заболевания НС и органов чувств
- инфекционные и паразитарные заболевания;
- заболевания костно-мышечной системы
- заболевания органов пищеварения;
- заболевания эндокринной системы.

Наименьшие оценки величины риска имеют травмы и отравления, психические расстройства, заболевания органов дыхания, врожденные аномалии.

Параметрические величины распространенности и заболеваемости населения не всегда показывают истинную картину приоритетных для данной территории групп болезней и причин их устранения. В представленной работе авторы показали, что, не смотря на высокие показатели распространенности некоторых групп болезней, они не являются «рисковыми» в сложившейся санитарно-гигиенической и экологической ситуации. Следовательно, для принятия решений по управлению качеством среды проживания человека необходимо обратить внимание на наиболее высокий риск возникновения и распространения болезней, стоящих в начале ранжированного ряда, с целью выявления причинно-следственных зависимостей среды обитания и здоровья населения популяции. Математическая модель оценки «степени озабоченности» заболеваемости населения дает возможность выявить наиболее «рискованные» болезни для различных групп населения с

последующим определением причинно-следственных зависимостей в связи с влиянием факторов окружающей среды.

Литература

1. Иванов А.В. Многокритериальная модель ранжирования заболеваемости населения с оценкой риска их распространения / А. В. Иванов, В.А. Перепелица, Е. В. Попова, Н. И. Соломашенко, А. М. Янгишиева // Человек и Вселенная. 2002. – № 8. – С. 79-89.
2. Калинин В. И. Управление медицинской помощью с использованием интегрированных систем: монография / В. И. Калинин. – Краснодар: КубГУ, 2001. – 376 с.
3. Кумратова А. М. Выявление свойств прогнозируемости методами классической статистики / А. М. Кумратова // В сборнике: Актуальные проблемы социально-экономических исследований сборник материалов 6-й Международной научно-практической конференции. НИЦ «Апробация». 2014. С. 99-101.
4. Кумратова А. М. Исследование тренд-сезонных процессов методами классической статистики / А.М. Кумратова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 103. – С. 312-323.
5. Кумратова А. М. Методы искусственного интеллекта для принятия решений и прогнозирования поведения динамических систем / А. М. Кумратова // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 103. – С. 324-341.
6. Кумратова А. М. Методы многокритериальной оптимизации и классической статистики для оценки риск-экстремальных значений / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Н. В. Третьякова // Известия КубГУ. Естественные науки. 2014. № 1. С. 55-60.
7. Кумратова А. М. Методы нелинейной динамики как основа построения двухуровневой модели прогноза / А. М. Кумратова // В сборнике: Экономическое прогнозирование: модели и методы материалы X международной научно-практической конференции. Воронеж, 2014. С. 169-174.
8. Кумратова А. М. Прогноз динамики экономических систем: клеточный автомат / А. М. Кумратова. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 241 с.
9. Кумратова А. М. Сопоставительный анализ прогноза урожайности для зон рискованного земледелия / А. М. Кумратова // В сборнике: Экономическое прогнозирование: модели и методы материалы X международной научно-практической конференции. Воронеж, 2014. С. 174-179.
10. Кумратова А. М. Экономико-математическое моделирование риска в задачах управления ресурсами здравоохранения / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, А. З. Биджиев. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 168 с.
11. Лукасевич И. Я. Анализ финансовых операций. Методы, модели, техника вычислений. – М.: Финансы, ЮНИТИ, 1998. – 400 с.
12. Попова Е. В. Методы моделирования поведения экономических систем на основе анализа временных рядов / Е. В. Попова, А. М. Кумратова, М. И. Попова // В сборнике: Экономическое прогнозирование: модели и методы. Материалы X международной научно-практической конференции. - Воронеж, - 2014. - С. 200-206.
13. Попова Е. В. Управление рисками в вопросах безопасности инвестиций в АПК / Е. В. Попова, А. М. Кумратова // В сборнике: Экономическое прогнозирование: модели и методы. Материалы X международной научно-практической конференции. - Воронеж, - 2014. - С. 194-200.
14. Трояновский В.М. Математическое моделирование в менеджменте. – М.: Русская

Деловая Литература, 1999. - 240 с.

References

1. 1. Ivanov A.V. Mnogokriterial'naja model' ranzhirovanija zaboлеваemosti naselenija s ocenкой riska ih rasprostranenija / A. V. Ivanov, V.A. Perepelica, E. V. Popova, N. I. Solomashhenko, A. M. Jangishieva // Chelovek i Vselennaja. 2002. – № 8. – S. 79-89.
2. 2. Kalinichenko V. I. Upravlenie medicinskoj pomoshh'ju s ispol'zovaniem integrirovannyh sistem: monografija / V. I. Kalinichenko. – Krasnodar: KubGU, 2001.– 376 s.
3. 3. Kumratova A. M. Vyjavlenie svojstv prognoziruemosti metodami klassicheskoj statistiki / A. M. Kumratova // V sbornike: Aktual'nye problemy social'no-jekonomicheskikh issledovanij sbornik materialov 6-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. NIC «Aprobacija». 2014. S. 99-101.
4. 4. Kumratova A. M. Issledovanie trend-sezonnyh processov metodami klassicheskoj statistiki / A.M. Kumratova // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. – 2014. – № 103. – S. 312-323.
5. 5. Kumratova A. M. Metody iskusstvennogo intellekta dlja prinjatija reshenij i prognozirovanija povedenija dinamicheskikh sistem / A. M. Kumratova // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. – 2014. – № 103. – S. 324-341.
6. 6. Kumratova A. M. Metody mnogokriterial'noj optimizacii i klassicheskoj statistiki dlja ocenki risk-jektremal'nyh znachenij / A. M. Kumratova, E. V. Popova, N. V. Tret'jakova // Izvestija KubGU. Estestvennyje nauki. 2014. № 1. S. 55-60.
7. 7. Kumratova A. M. Metody nelinejnoj dinamiki kak osnova postroenija dvuhurovnevoj modeli prognoza / A. M. Kumratova // V sbornike: Jekonomicheskoe prognozirovanie: modeli i metody materialy X mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Voronezh, 2014. S. 169-174.
8. 8. Kumratova A. M. Prognoz dinamiki jekonomicheskikh sistem: kletochnyj avtomat / A. M. Kumratova. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – 241 s.
9. 9. Kumratova A. M. Sopostavitel'nyj analiz prognoza urozhajnosti dlja zon riskovogo zemledelija / A. M. Kumratova // V sbornike: Jekonomicheskoe prognozirovanie: modeli i metody materialy X mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Voronezh, 2014. S. 174-179.
10. 10. Kumratova A. M. Jekonomiko-matematicheskoe modelirovanie riska v zadachah upravlenija resursami zdravoohranenija / A. M. Kumratova, E. V. Popova, A. Z. Bidzhiev. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 168 s.
11. 11. Lukasevich I. Ja. Analiz finansovyh operacij. Metody, modeli, tehnika vychislenij. – M.: Finansy, JuNITI, 1998. – 400 s.
12. 12. Popova E. V. Metody modelirovanija povedenija jekonomicheskikh sistem na osnove analiza vremennyh rjadov / E. V. Popova, A. M. Kumratova, M. I. Popova // V sbornike: Jekonomicheskoe prognozirovanie: modeli i metody. Materialy X mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. - Voronezh, - 2014. - S. 200-206.
13. 13. Popova E. V. Upravlenie riskami v voprosah bezopasnosti investicij v APK / E. V. Popova, A. M. Kumratova // V sbornike: Jekonomicheskoe prognozirovanie: modeli i metody. Materialy X mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. - Voronezh, - 2014. - S. 194-200.
14. 14. Trojanovskij V.M. Matematicheskoe modelirovanie v menedzhmente. – M.: Russkaja Delovaja Literatura, 1999. - 240 s.