

УДК 51-76, 613

© М.Р. Камалтдинов, Д.А. Кирьянов

*Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
г. Пермь, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается применение математической модели, позволяющей выполнять оценку эволюции накопления риска кумулятивного действия факторов среды обитания. Предложенные соотношения учитывают химические, физические, социальные факторы среды обитания на фоне естественных процессов снижения функций организма. Реализация уравнений выполнена в программном модуле, который позволяет проследивать эволюцию функциональных нарушений отдельных систем организма в зависимости от интенсивности действующих факторов. В расчете под воздействием учитывались реальные концентрации веществ в атмосферном воздухе, уровень шума установлен в соответствии с результатами анализа хронологии и длительности шумовых событий на изучаемой территории, распределение факторов образа жизни разработано с учетом возрастных особенностей. Данный подход будет полезен для органов и учреждений, осуществляющих государственный надзор в сфере охраны окружающей среды и обеспечения здоровья населения.

Ключевые слова: математическое моделирование, рекуррентные соотношения, интегральный риск.

© M.R. Kamaltdinov, D.A. Kiryanov

*Federal Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies»
Perm, Russia*

THE APPLICATION OF RECURRENT RELATIONS FOR INTEGRATED HEALTH RISK ASSESSMENT

Abstract. In this paper, we consider the application of a mathematical model which enables assessing the development of risk for cumulative impacts of environmental factors. The suggested technique takes into account chemical, physical and social environmental factors in individuals with the natural deterioration of the body functions. We have developed a software module which allows us to trace the evolution of functional disorders in different body systems depending on the levels of the environmental impacts. We have measured actual air concentrations of substances. Noise levels have been identified by analysing the timeline and duration of noise impacts in a studied area and the distribution of lifestyle

factors have been developed taking into consideration age-specific features. The suggested approach can be used by institutions dealing with environmental and human health management.

Keywords: mathematical modelling, recurrent relations, integrated risk.

Введение. Человеческий организм постоянно находится под воздействием множества факторов окружающей среды, которые могут негативно влиять на здоровье, увеличивая риск возникновения заболеваний. Современные методы лабораторной и функциональной диагностики позволяют выявить нарушения в работе органов и систем человека, в этом случае часто невозможно определить причину заболевания и выделить вклад отдельных факторов в эволюцию патологического состояния. Более того, существующие методы [1,2,5] не ориентированы на прогнозирование развития функциональных нарушений, а эта задача является одной из приоритетных при решении вопросов, связанных со здоровьем населения, поэтому необходимо создание математической модели, позволяющей выполнять оценку эволюции накопления риска кумулятивного действия факторов среды обитания. В статье рассматривается применение уравнений, основанных на эволюционной математической модели. Предложенные соотношения учитывают химические, физические, социальные факторы среды обитания.

Методы исследования. Уравнения, используемые для расчета интегрального риска должны отражать процессы последовательного накопления нарушений функций органов и систем, связанных с воздействием факторов среды обитания на фоне естественных процессов старения. При этом должна существовать возможность оценки вклада различных факторов в интегральный риск. В качестве таких уравнений представляется целесообразным использовать рекуррентные соотношения для отдельных органов и систем человеческого организма, в которые включены слагаемые, отражающие влияние каждого фактора. В общем виде указанные соотношения можно записать формулой:

$$R_i^{t+1} = R_i^t + [\alpha_i R_i^t + \sum_k \gamma_{ki} f(F_k, t)] C, \quad (1)$$

где R_i^t – кумулятивный риск развития нарушений i -той критической системы в заданный момент времени t ;

R_i^{t+1} – кумулятивный риск развития нарушений i -той критической системы для следующего временного шага $t+1$;

α_i – эмпирический коэффициент, отражающий скорость нарастания риска развития функциональных нарушений в i -ой критической системе за счет естественных причин;

γ_{ki} – эмпирический коэффициент, отражающий силу влияния k -го фактора на риск развития функциональных нарушений в i -ой критической системе органов за единицу времени;

C – временной эмпирический коэффициент, соответствующий периоду осреднения (для среднегодовых экспозиций $C=1$, для среднемесячных $C=0,083$, для среднесуточных $C=0,0027$),

$f(F_k, t)$ – функция, отражающая подмодель влияния действующего F_k фактора.

Рекуррентные соотношения (1) позволяют проводить расчет интегрального риска в любой заданный момент времени через значение на предыдущем временном шаге. По результатам расчетов строится эволюционная кривая интегрального риска. Начальные значения риска задаются, ориентируясь на показатели смертности и заболеваемости населения соответствующих возрастных групп. Кроме того, существует возможность расчета начальных уровней по специально разработанным диагностическим моделям, базирующиеся на лабораторные данные выборочных исследований.

Коэффициенты, учитывающие эволюцию риска за счет естественных причин, определяются исходя из фоновых показателей заболеваемости и смертности для классов болезней, отражающих функциональные нарушения

критических органов и систем. В качестве фоновых уровней выбираются показатели здоровья, характерные для наиболее благополучных регионов с точки зрения загрязнения объектов окружающей среды.

Следует отметить, что в большинстве случаев вид функции $f(F_k, t)$ зависит от природы действующего фактора (химический, социальный, физический) и механизма воздействия [2-5]. Например, для большинства химических веществ вид функциональной зависимости определяется исходя из принципа порогового действия и, содержит значение недействующего уровня. При превышении недействующего уровня соответствующее слагаемое в соотношении (1) может принимать нетривиальные значения. В общем виде недействующий уровень может изменяться в зависимости от возраста, пола, других индивидуальных показателей.

Конкретный вид рекуррентных соотношений, применяемых для оценки риска, зависит от набора действующих факторов, учитываемых органов-мишеней и парных функциональных зависимостей. К примеру, для моделирования эволюции интегрального риска, возникающего от действия химических веществ (оксид углерода, диоксид азота, озон, взвешенные вещества $PM_{2.5}$, PM_{10} , свинец, кадмий), поступающих из атмосферного воздуха, физических факторов (шум) и социальных факторов (режим питания, курение, употребление алкоголя, двигательная активность) была разработана система восьми рекуррентных соотношений. Громоздкость математических выражений не позволяет привести эту систему уравнений полностью. На рисунке 1 приведен общий вид системы рекуррентных соотношений.

$$\begin{aligned}
R_{t+1}^p &= R_t^p + \left(0,0515 \cdot R_t^p + 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{F^p}{1,5} - 1 \right) \cdot (1 + e^{-0,4Ct}) + 3,3 \cdot 10^{-5} \cdot F^K + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{F^A}{30 \cdot (1 - e^{-0,3Ct})} - 1 \right) \right) C \\
R_{t+1}^v &= R_t^v + \left(0,053 \cdot R_t^v + 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{F^p}{1,5} - 1 \right) \cdot (1 + e^{-0,4Ct}) + 4,4 \cdot 10^{-5} \cdot F^K + 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{F^A}{30 \cdot (1 - e^{-0,3Ct})} - 1 \right) + 0,0008 \cdot \left(\frac{L_{den} \cdot (1 - R_t^{sz})^2}{43} - 1 \right) \right) C \\
R_{t+1}^E &= R_t^E + \left(0,053 \cdot R_t^E + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{F^p}{1,5} - 1 \right) \cdot (1 + e^{-0,4Ct}) + 2,1 \cdot 10^{-5} \cdot F^K + 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{F^A}{30 \cdot (1 - e^{-0,3Ct})} - 1 \right) + 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{F^D}{150 + 400 \cdot e^{-0,3Ct}} \right) \right) C \\
R_{t+1}^k &= R_t^k + \left(0,0535 \cdot R_t^k + 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{F^p}{1,5} - 1 \right) \cdot (1 + e^{-0,4Ct}) + 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot F^K + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{F^A}{30 \cdot (1 - e^{-0,3Ct})} - 1 \right) \right) C \\
R_{t+1}^{CC} &= R_t^{CC} + \left(0,05 \cdot R_t^{CC} + 2 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{F^p}{1,5} - 1 \right) \cdot (1 + e^{-0,4Ct}) + 3,4 \cdot 10^{-5} \cdot F^K + 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{F^A}{30 \cdot (1 - e^{-0,3Ct})} - 1 \right) + 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{F^D}{150 + 400 \cdot e^{-0,3Ct}} \right) \right. \\
&\quad \left. + 0,0015 \cdot \left(\frac{L_{den} \cdot (1 - R_t^{sz})^2}{58,5} - 1 \right) + 0,00065 \cdot (e^{-0,102} - e^{-0,034t^{0,7}}) + 0,44 \cdot (e^{-0,000106} - e^{-0,00264t^{0,5}}) + 0,32 \cdot (e^{-0,000159} - e^{-0,00531t^{0,5}}) \right. \\
&\quad \left. + 0,105 \cdot (e^{-0,000528} - e^{-0,00704t^{0,96} - 2,5}) \right) C \\
R_{t+1}^D &= R_t^D + \left(0,0515 \cdot R_t^D + 4,1 \cdot 10^{-5} \cdot F^K + 0,00065 \cdot (e^{-0,0996} - e^{-0,0332t^{0,7}}) + 0,36 \cdot (e^{-0,000151} - e^{-0,00378t^{0,5}}) + 0,36 \cdot (e^{-0,000149} - e^{-0,00498t^{0,5}}) \right. \\
&\quad \left. + 0,26 \cdot (e^{-0,000233} - e^{-0,00466t^{0,9}}) + 0,33 \cdot (e^{-0,00011} - e^{-0,00147t^{0,96} - 2,5}) \right) C \\
R_{t+1}^{MP} &= R_t^{MP} + \left(0,0505 \cdot R_t^{MP} + 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot F^K + 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{F^A}{30 \cdot (1 - e^{-0,3Ct})} - 1 \right) + 6,5 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{X^{Ct}}{0,00002} - 1 \right) \right) C \\
R_{t+1}^{sz} &= R_t^{sz} + \left(0,048 \cdot R_t^{sz} + 0,0005 \cdot \left(\frac{L_{den} \cdot (1 - R_t^{sz})^2}{50} - 1 \right) \right) C
\end{aligned}$$

Рис. 1 Общий вид системы рекуррентных уравнений

Результаты. Реализация уравнений (1) и системы, представленной на рисунке 1, выполнена в программном модуле MS Excel, который позволяет проследить эволюцию функциональных нарушений отдельных систем организма в зависимости от интенсивности действующих факторов. Характер эволюционных кривых рассмотрим на конкретном примере.

На рисунке 2 приведены результаты расчета риска вредных эффектов сердечно-сосудистой системы при воздействии факторов среды обитания. В данной системе наиболее четко выражена многофакторность воздействия. Риск нормирован от 0 до 1.

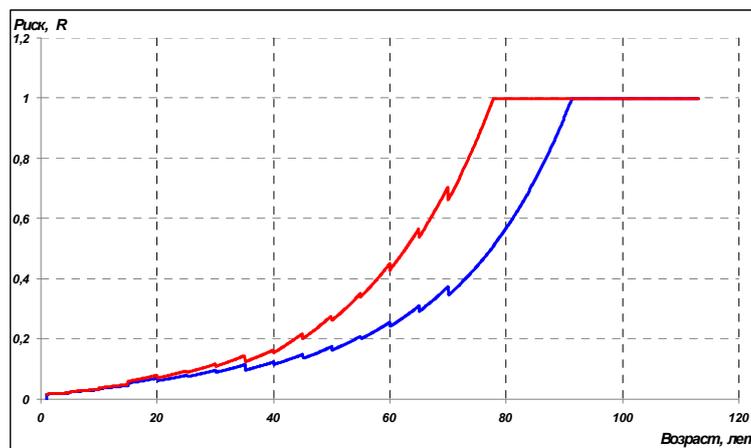


Рис. 2. Эволюция риска вредных эффектов сердечно-сосудистой системы при воздействии факторов (серый цвет на рисунке) и без воздействия (черный цвет)

Кривая без воздействия отражает нарастание риска развития функциональных нарушений сердечно-сосудистой системы за счет естественных причин (действие факторов среды обитания исключено). В расчете под воздействием учитывались реальные концентрации веществ в атмосферном воздухе, полученные на основе систематических наблюдений в рамках социально-гигиенического мониторинга за 3 года. Для экстраполяции данных мониторинговых наблюдений на весь период жизни установлены динамические закономерности изменения среднемесячных концентраций, определены параметры гармонической модели и выполнен расчет прогнозных оценок. Уровень шума установлен в соответствии с результатами анализа хронологии и длительности шумовых событий на территории промышленного района. Распределение факторов образа жизни разработано с учетом возрастных особенностей.

Результаты моделирования показывают, что при интенсивном воздействии всех рассматриваемых факторов максимальный риск достигается на 15 лет раньше. В возрасте 60 лет можно наблюдать двукратное превышение риска под воздействием (0,5) над риском без воздействия (0,25). Наибольший вклад в эволюцию интегрального риска вносят курение и употребление алкоголя. Кривые, отражающие эволюцию риска негативных эффектов других систем, обладают аналогичным поведением, но могут отличаться по действующим факторам и их вкладам.

Серия расчетов риска для реальных ситуаций на основе рекуррентных соотношений позволила выявить широкий диапазон использования предложенного метода для решения практических задач, возникающих при оценке риска. Так, предложенные рекуррентные соотношения учитывают комплексное влияние химических, социальных, физических факторов на эволюцию риска негативных эффектов со стороны здоровья населения, позволяют проводить оценку структуры риска, как с точки зрения действующих факторов, так и с точки зрения органов-мишеней. Кроме того,

оценка возраста, соответствующего критическим уровням риска позволяет проводить расчеты экономических потерь, связанных с преждевременной смертностью, инвалидностью, заболеваемостью населения.

Заключение. Таким образом, методика оценки риска, основанная на рекуррентных уравнениях, может быть полезна для органов и учреждений, осуществляющих государственный надзор в сфере охраны окружающей среды и обеспечения здоровья населения при проведении санитарно-эпидемиологических экспертиз, гигиенических оценок, исследований, расследований, оценке опасности санитарно-эпидемиологической ситуации, оценке потенциального вреда, причиненного здоровью человека, планировании санитарно-гигиенических мероприятий, в том числе мер по управлению риском здоровью, обеспечению объективной информацией об уровнях интегрального риска для лиц, участвующих в принятии управленческих решений, населения, общественных организаций.

Список литературы:

1. *Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А.* Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Под. ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
2. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
3. Влияние шума на здоровье населения // Большой информационный архив. – URL: http://big-archive.ru/med/higjena_dhe_ekologji_njeriut/21.php (дата обращения: 20.08.2011).
4. *Зуева Л.П., Яфаев Р.Х.* Эпидемиология: учебник. – СПб: ООО «Издательство ФОЛИАНТ», 2005. – 752 с.
5. *Гусев А.Л., Пенский О.Г., Зайцева Н.В., Шур П.З.* Сравнительная оценка математических моделей управления рисками здоровью населения // Аналитические и числовые методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем: сборник статей IV Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2009. – С. 193–194.

Камалтдинов Марат Решидович – младший научный сотрудник, Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045 Российская Федерация, Пермский край, г. Пермь, ул. Орджоникидзе д. 82, телефон (342) 237 18 04.