

УДК 004.942:51-76

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЗАБОЛЕВАНИЯ И ОЦЕНКИ РИСКОВ И УЩЕРБА В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Ловпаче З.Н., Кодзоков А.Х., Нагоров А.Л., Гучаева З.Х.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик,
e-mail: lovpache.zarema@mail.ru*

При моделировании экологических систем важно учесть интегральный характер воздействий, индикаторы риска в системе и возможный ущерб. Для экосистем это важно на уровне популяционной ниши или отдельного индивида, а также самой среды. Такое исследование необходимо для адаптивного управления с учетом рисков окружения. Риски здоровью можно оценивать вероятностью потенциальной угрозы. Различных подходов, механизмов к идентификации экологических рисков много: от социальных до технологических, от факторных до синергетических. Целью работы является моделирование рисков и ущерба здоровью человека. Проведен предмодельный системный анализ проблемы, разработана гибридная математическая и экспертно-эвристическая модель заболевания, рисков и ущерба здоровью человека или среде. Предложенная гибридная интегральная модель состоит из моделей динамики взаимодействий в среде, оценки рисков и ущерба здоровью (среде). Важно было обойтись без дорогостоящего и длительного направленного мониторинга, поэтому используются гибкие и идентифицируемые подмодели. Указано, какими процедурами можно их идентифицировать и интегрировать. Оценки риска экологии и здоровью человека предложено осуществлять алгоритмом адаптивной идентификации и мониторинга, что повышает адаптационные возможности системы. Рассмотрены сценарии оценки рисков. Обсуждены перспективы использования DataMining, BigData, ElasticData и др. Предложена процедура оценивания заболеваемости, вызываемой рисками нарушений функций органов или организма как системы. Работа поможет в разработке системы прогноза (оценки) геологических и экологических риск-ситуаций с учетом медико-социальных условий и последствий без сложного мониторинга.

Ключевые слова: здоровье, моделирование, заболевание, риски, ущерб, экологическая среда, человек

HYBRID MODEL OF DISEASE DYNAMICS AND ENVIRONMENTAL RISK AND DAMAGE ASSESSMENT

Lovpache Z.N., Kodzokov A.Kh., Nagorov A.L., Guchaeva Z.Kh.

*Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik,
e-mail: lovpache.zarema@mail.ru*

When modeling environmental systems, it's important to take into account the integral nature of impacts, risk indicators in the system and possible damage. For ecosystems, this is important at the level of a population niche or individual, as well as the environment itself. Such a study is necessary for adaptive management taking into account environmental risks. Health risks can be assessed by the likelihood of a potential threat. There are many different approaches, mechanisms for identifying environmental risks: from social to technological, from factor to synergistic. The purpose of the work is to model risks and damage to human health. A pre-model system analysis of the problem was carried out, a hybrid mathematical and expert heuristic model of disease, risks and damage to human health or the environment was developed. Proposed hybrid integral model consists of models of dynamics of interactions in environment, assessment of risks and damage to health (environment). It was important to avoid expensive and long-term directional monitoring, so flexible and identifiable submodels are used. It's indicated what procedures can identify and integrate them. It's proposed to carry out environmental and health risk assessments using an adaptive identification and monitoring algorithm, which increases the adaptive capabilities of the system. Risk assessment scenarios are considered. Prospects of using DataMining, BigData, ElasticData, etc. were discussed. Presented is a procedure for assessing the incidence caused by the risks of impairment of the functions of organs or organism as a system. The work will help in the development of a system for forecasting (assessing) geological and environmental risk situations taking into account medical and social conditions and consequences without complex monitoring.

Keywords: health, modeling, disease, risks, damage, environmental environment, person

Риски для здоровья людей характеризуются различными признаками, бывают различных категорий по источникам, продолжительности, характеру действий и реализации – непрерывного или дискретного действия, от стационарных или движущихся источников, промышленные или природные и т.д. Экологические риски для здоровья часто следует рассматривать отдельно от рисков состояния среды [1].

Цель исследования: моделирование рисков здоровью человека, взаимодействия потенциально заболевающих при проведении здравоохранительных мероприятий и построение алгоритма идентификации

модели. Такая проблема актуальна для наблюдаемой пандемии COVID-19. Сложные математические модели требуют сложного мониторинга, который часто невозможен, например, из-за дороговизны и длительности проведения и анализа. Необходим гибкий, адаптивный, саморегулируемый инструментарий, комплекс подмоделей в рамках единой интегрированной и гибридной модели.

В работе проведен эколого-экономический модельный анализ проблемы и прогнозирования рисков здоровью при наличии в среде опасностей. Использованы методы анализа и синтеза, математи-

ческого и компьютерного моделирования и экспертно-эвристические.

Основной новый результат работы – новая комплексная интегрированная модель оценки воздействия загрязнения среды на популяцию (индивида), которая представлена тремя моделями (подмоделями): 1) динамики взаимодействия в популяции; 2) оценивания рисков; 3) оценивания ущерба.

Учитываются риски индивидуальные (слабость, утомляемость, ослабление памяти, астенические и др.), которые часто учитываются полужэкспериментальными

моделями (например, нормального распределения или регрессионного типа), но больше нас интересуют риски популяционные, так как лишь они дают полную картину напряженности в рассматриваемой системе.

Описание гибридной модели заболевания и оценивания рисков и ущерба

1. Модель взаимодействий (заболевания – выздоровления). Рассмотрим модель динамики взаимодействия популяции, в которой имеются потенциально заболевающие (для случая флоры – патогенные) в количестве $x(t)$ в момент t и заболевшие $y(t)$:

$$\begin{cases} x'(t) = -(\alpha(t) + \beta(t))x(t) - \gamma(t)x(t)y(t) - \varepsilon(t)x(t)(x(t) + \delta(t)y(t)), \\ y'(t) = \beta(t)x(t) + \gamma(t)x(t)y(t) - \delta(t)y(t), \\ x(0) = x_0, y(0) = y_0 \end{cases}$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \delta$ – идентифицируемые параметры взаимодействия больных и здоровых, например, α – естественное изменение количества здоровых, β – изменение из-за влияния прироста больных (восприимчивость, инфицирование), γ – параметр контактов больных и здоровых, ε – коэффициент сопротивляемости заболеванию (иммунной защищенности), δ – параметр естественной убыли больных (выздоровливания).

При проведении мероприятий здравоохранительными организациями коэффициент δ может быть расщеплен на $\delta = \delta_1 + \delta_2$, где δ_2 – параметр снижения заболеваемости с помощью этих мероприятий (например, карантин).

Нас вначале интересуют стационарные состояния (точки) приведенной системы:

$$\begin{cases} x'(t) = 0 \\ y'(t) = 0 \end{cases}$$

Из системы получаем

$$\begin{cases} -(\alpha + \beta)x - \gamma xy - \varepsilon x(x + \delta y) = 0, \\ \beta x + \gamma xy - \delta y = 0. \end{cases}$$

Отсюда находим значение

$$y = \frac{\beta x}{\delta - \gamma x}.$$

Подставляя в первое уравнение, получим

$$-(\alpha + \beta)\delta x + \gamma(\alpha + \beta)x^2 - \gamma\beta x^2 - \varepsilon\delta x^2 + \varepsilon\gamma x^3 - \varepsilon\delta\beta x^2 = 0.$$

Существует тривиальное равновесное состояние $x = 0, y = 0$ ($\delta \neq 0$). Вторая точка устойчивости определяется либо из условия

$$D = (\varepsilon\beta\delta + \varepsilon\delta - \alpha\gamma)^2 + 4\varepsilon\gamma\delta(\alpha + \beta) > 0,$$

или $D < 0$.

Например, при $D > 0$ получаем

$$x_{1,2} = \frac{\varepsilon\delta(1 + \beta) - \alpha\gamma \pm \sqrt{(\varepsilon\delta(1 + \beta) - \alpha\gamma)^2 + 4\varepsilon\gamma\delta(\alpha + \beta)}}{2\varepsilon\gamma}$$

и, соответственно,

$$y_{1,2} = \frac{\beta x_{1,2}}{\delta - \gamma x_{1,2}}.$$

Модель в общем случае численно хорошо исследуема известными методами, например Рунге – Кутты (4 порядка) [2]. Важно идентифицировать параметры, поэтому разработана программа (C++) идентификации параметров модели.

Например, по этой программе были проведены различные имитационные эксперименты, в частности рассмотрен был следующий тестовый сценарий развития ситуации, который дал значения параметров:

$$\alpha = 0,6, \beta = 0,04, \gamma = 0,01, \varepsilon = 0,7, \delta = 0,3.$$

Накапливаемая статистика и данные экспериментов позволят разбить риск-стратегии и реакции на изменения экосистемы на классы эквивалентности, с учетом региональных, демографических и иных особенностей.

Адаптивный риск-прогноз невозможен без учета ключевых потенциальных рисков – рисков неблагоприятных для человека эффектов, с учетом вероятностей их возникновения в рассматриваемой системе.

2. *Модель и процедура оценивания рисков.* Эволюционное моделирование дает возможность прогнозирования рисков и ущерба, как индивиду, так и популяции, оценивать длительность экспозиций факторов [3] и др. Есть трудности такого модельного подхода, в частности, связанные с нечеткостью, недостаточной детерминированностью и многокритериальностью. Приходится учитывать и комбинации рисков, связанные с этим усиление рисков и длительность экспозиции факторов [4].

Риски оценим переменной $R \in [0; 1]$, где $R = 0$ соответствует отсутствию функциональных нарушений, $R = 1$ – максимальной тяжести заболевания или летальности. В качестве подмодели риск-оценки рассматривается балансовая модель вида

$$R'_i(t) = C \left(a_i(t) R_i(t) + k_i \sum_{j=1}^m (R_{ij}(t) - r_{ij}(t)) \right),$$

где $R_i(t)$ – риски в i -й подсистеме организма, t – время (или возраст), $a_i(t)$ – коэффициент учета (важности) рисков текущей величины $R_{ij}(t)$ для естественного фактора номер j (например, старения), C – эмпирически определяемый коэффициент глубины прогноза (осреднения), $r_{ij}(t)$ – риски в i -й подсистеме, когда нет учета факторов, k_i – масштабирующий (нормирующий) коэффициент.

Начальное распределение рисков задается

$$R_i(t_0) = R_{i0}.$$

В качестве показателей вклада фактора в риск-ситуацию можно использовать

дополнительный риск воздействия среды, например, как размах рисков без наличия и с наличием такого дополнительного риска.

Экспертно-эвристическим подходом определяются следующие параметры и воздействия:

1) промежуток оценивания, индикатор тяжести по заболеваниям ($[0; 1]$);

2) среднепопуляционные риски (из статистики, кривых заболеваемости, например их много для COVID-19);

3) среднепопуляционная тяжесть болезни (например [3], ОРВИ – 0,10, колит – 0,28, стенокардия – 0,71, рак мозга – 0,96);

4) профилактика и латентность заболеваемости (оцениваемость потенциала органов здравоохранения) и др.

Оценки – в баллах (например, 0–10) с учетом значимости, экспертных суждений по каждому фактору, с учетом превентивных производственно-технических риск-мероприятий, например, предупреждающих. Это актуально и с точки зрения эпидемиологических мероприятий, связанных с COVID-19.

На содержательном уровне предлагается следующая процедура оценки заболеваемости, вызываемой рисками нарушений функций органов, организма как системы.

1. Расчет риска нарушений функций и подсистем организма в рассматриваемом промежутке.

2. Экспертно-эвристическая и модельная оценка среднепопуляционного индикатора тяжести заболеваний (тяжести функциональных нарушений).

3. Оценка среднепопуляционного риска нарушения функций организма с привлечением статистики заболеваемости и тяжести болезни.

4. Идентификация системы относительных показателей заболеваемости и смертности населения, соответствующих эволюционным возможностям (потенциалу) по накоплению рисков здоровью без воздействия факторов среды.

5. Поиск системы информативных показателей, индикаторов по заболеваемости и смертности с учетом воздействия всех факторов (среды, ЗОЖ).

6. Нахождение дополнительных, риск-накоплений нарушений функций систем организма, заболеваемости и смертности.

Следует также определить (задать экспертно-эвристической процедурой) матрицу R степеней риска

$$R = \| r_{ij} \|, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n,$$

отождествляя, например, строки с категорией, классом риска, а столбцы – с точками, факторами риска.

При заполнении такой матрицы помогут полуэмпирические зависимости. Например [5], индикаторы тяжести рассматриваемых заболеваний:

$$g_i = 1 - e^{-\frac{\ln(1-g_m)T_i}{T_m}},$$

где g_m, T_m – усредненные коэффициенты соответственно тяжести и длительности заболевания, g_i, T_i – расчетные значения по i -му заболеванию.

Но экспертно-эвристический подход требует наличия группы компетентных экспертов, что на практике плохо реализуемо. Поэтому мы предлагаем использовать идентификацию многофакторной мультипликативно-аддитивной формулы

$$g(x) = \prod_{i=1}^n \left(\sum_{m=1}^{k_i} g_m T_m^{b_i} \right),$$

где i – номер учитываемого фактора, a_i, b_i, c_i – идентифицируемые аналогично [6] параметры.

Формула данного типа при надлежащей идентификации позволит оценить и ущерб здоровью. Но мы предлагаем соответствующую подмодель интегрального оценивания среднего ущерба.

3. Модель оценивания ущерба. Средний ущерб при недостаточно интенсивных экологических мероприятиях можно оценить интегрально по задаваемой функции плотности вероятностей воздействия рисков (загрязнения по все факторам):

$$A = \sum_{i=1}^n (a_i - b_i) \int_0^{x_i} (u_i - s_i) p(s_i) ds_i,$$

где

$$u_i = u_i(t), 0t < T, 0x_i < X$$

представляет собой «интенсивность» экологических проверок, мероприятий типа i с коэффициентами затрат $a_i > 0$ и эффективностью проведения проверок

$$b_i > 0, b_i > a_i, i = 1, 2, \dots, n.$$

Задается также $p(s) = p(s_1, s_2, \dots, s_n)$ – функция плотности вероятностей по всем аргументам:

$$p_i(s_i) = \int_0^x \dots \int_0^x p(s) ds_1 ds_2 \dots ds_{i-1} ds_{i+1} \dots ds_n.$$

Адаптивное моделирование позволит сгруппировать ниши (популяции, предприятия) по рискам загрязнения и группам загрязненности, которые могут пересекаться.

Важно исследовать различные сценарии и оптимизации мероприятий риск-менеджмента. В частности, наиболее простой задачи – минимизации линейной формы A при линейных ограничениях при задаваемых (возможных) совокупных затратах на защитные мероприятия (меры по поддержанию системы в состоянии равновесия):

$$\sum_{i=1}^n a_i u_i \leq c, u_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n,$$

где c – потенциальные совокупные затраты на экологические, защитные мероприятия для поддержания экосистемы в равновесии.

Задача относится к задачам распределения ресурсов и решается соответствующим алгоритмом [7].

Для идентификации моделей необходимы большие и гибкие возможности структурирования и анализа данных, применение технологии DataMining, BigData, ElasticData [8] и др.

Например, они позволяют искать скрытые, «не поверхностные» связи, закономерности в риск-факторах и ситуациях, классифицировать и категоризировать их, поддерживать ситуационное моделирование, распознавание опасных ситуаций, визуализировать их в реальном режиме, с использованием современных мониторинговых систем, например, дистанционного зондирования [9].

Есть и другие подходы к формированию процедуры оценивания ущерба (марковские процессы, таксономия, шкалирование и др.). В рассмотренной выше интегральной модели в перспективе эффективно подключение базы знаний по оптимальному выбору соответствующей процедуры.

Перспективно использование математических моделей «с насыщением» (например

Заключение

Оценивание рисков экологии и здоровья человека позволит анализировать условия среды и жизни факторным образом и интегрально. Подмодели риск-оценки – необходимая часть моделей, стратегий эволюции системы, среды, а эффективные алгоритмы адаптивной идентификации и мониторинга – необходимое условие роста адапционных, эволюционных возможностей, самоорганизации системы. Поэтому рассмотренная нами гибридная интегральная модель позволит реализовать ситуационные сценарии воздействия и оценки рисков.

Работа поможет при разработке гибкой системы прогноза риск-ситуаций (эколого-экономико-социальных), она также мо-

жет быть многосторонне модифицирована, например интегрирована с нелинейной моделью и более сложными подмоделями (механизмами) оценки и мониторинга. В перспективе возможно решение весьма сложной и большой задачи – разработки универсальной имитационной прогнозной системы, которая позволит проводить ситуационное моделирование.

Предложенная процедура – универсальная, адаптируемая к широкому диапазону рисков деятельности и жизни человека. Дает возможность идентифицировать риски, учитывая их структуру и деятельность компании (предприятия), а также анализировать причины их возникновения, подходы к устранению причин.

Список литературы

1. Степанова Н.В., Валеева Э.Р., Фомина С.Ф. Методические подходы к оценке индивидуального риска для здоровья населения Татарстана на основе эволюционных моделей // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23660> (дата обращения: 09.08.2020).
2. Зенков А.В. Введение в численные методы. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 124 с.
3. Хорпякова Т.В., Пасечная О.М. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска для здоровья населения // *Вестник Тамбов. гос. ун-та (сер. «Естеств. науки»)*. 2013. № 3. С. 914–918.
4. Зайцева Н.В., Шур П.З., Кирьянов Д.А., Алексеев Д.А., Сбоев В.Б., Волк-Леонович О.П. Количественная оценка неканцерогенного риска для здоровья населения // *Гигиена и санитария*. 2008. № 6. С. 64–67.
5. Трусов П.В., Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Камалдинов М.Р., Цинкер М.Ю., Чигвинцев В.М., Ланин Д.В. Математическая модель эволюций функциональных нарушений в организме человека с учетом внешнесредовых факторов // *Математическая биология и биоинформатика*. 2012. № 2. С. 589–610.
6. Казиев В.М., Водахова В.А., Кайгермазов А.А., Кудалева Ф.Х. Моделирование формирования биомассы в условиях орошения и внесения удобрений // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета, серия «Естественные и точные науки»*. 2018. Т. 12. № 3. С. 10–13.
7. Бестужев-Лада И. Рабочая книга по прогнозированию. М.: Мысль, 1982. 426 с.
8. Big Data in Computational Social Sciences and Humanities. In book: *Big Data in Computational Social Science and Humanities*. 2018. P. 1–25. DOI: 10.1007/978-3-319-95465-3_1.
9. Абрамов Н.С., Макаров Д.А., Талалаев А.А., Фраленко В.П. Современные методы интеллектуальной обработки данных ДЗЗ // *Программные системы: теория и приложения*. 2018. Т. 9. № 4 (39). С. 417–442.
10. Казиев В.М., Казиев К.В. Эволюционные модели с насыщением // *Математическое моделирование и краевые задачи* (под ред. В.П. Радченко). Труды XIII межвуз. конф. Самара, 2003. С. 75–77.