



УДК 504.05, 519.1

Н. И. Куракина, И. А. Ивличев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Методы оценки экологических рисков на основе разнородных данных

Разработаны методы оценки экологических рисков, основанные на анализе результатов измерений загрязняющих веществ в различных средах, экспертных оценках, ситуационных моделях. Объединение разнородных данных осуществляется в единой нормированной шкале с учетом характеристик достоверности и степени участия каждого фактора. Комплексная оценка экологического риска осуществляется с использованием метода анализа иерархий. Реализация комплексной оценки в технологии ГИС позволяет объединить разнородные данные в многослойном проекте, подключить модули обработки данных с целью наглядного картографирования критических нагрузок и выявления территорий, наиболее чувствительных к поступлению загрязняющих веществ.

Экологический риск, чрезвычайная ситуация, комплексная оценка, метод анализа иерархий, ГИС

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция роста числа и тяжести последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, масштабы которых таковы, что часто приводят к необратимым изменениям окружающей природной среды, сказываются на экономике и безопасности государства. В этих условиях необходимо не только правильно рассчитать или спрогнозировать ущерб от аварий и катастроф, но гораздо важнее построить систему прогнозирования и предупреждения возникновения необратимых процессов и ЧС [1].

Прогнозирование ЧС подразумевает идентификацию источников опасности, оценку состояния сложных технических и природных систем, мониторинг и моделирование развития ситуации, включая оценку достоверности результатов [2].

Целью данной работы является разработка методов оценки риска возникновения ЧС на основе разнородных данных, алгоритмах анализа опасных технических и природных процессов с обеспечением принципа единства измерений и использованием геоинформационных систем.

Оценка риска возникновения ЧС. При создании системы прогнозирования ЧС необходимо

установить критерии, позволяющие оценить и измерить степень опасности неблагоприятных событий и вероятность их возникновения. Для количественного анализа степени опасности для людей, технических объектов и окружающей среды в качестве базовых принимаются критерии рисков [1]. Критерии рисков определяются вероятностью (или частотой) реализации неблагоприятных, опасных или катастрофических явлений и размером ущерба от этой реализации этих явлений.

Каждый тип ЧС (землетрясения, оползни, бури, наводнения, аварии, взрывы, пожары и т. д.) описывается степенью риска R через функционал F_R , связывающий вероятность P возникновения неблагоприятного события и тяжесть ущерба U от этого неблагоприятного события [3]:

$$R = F_R \{U, P\} = \text{SUM}_i [G_i F_{Ri}(U_i, P_i)],$$

где i – виды неблагоприятных событий; G_i – весовые функции, учитывающие степень важности неблагоприятных событий.

Общий ущерб U определяется как сумма социального ущерба L , экономического ущерба E и экологического ущерба Y :

$$U = F_U \{U_L, U_E, U_Y\} = \text{SUM}_i [F_{Ui}(U_{Li}, U_{Ei}, U_{Yi})].$$

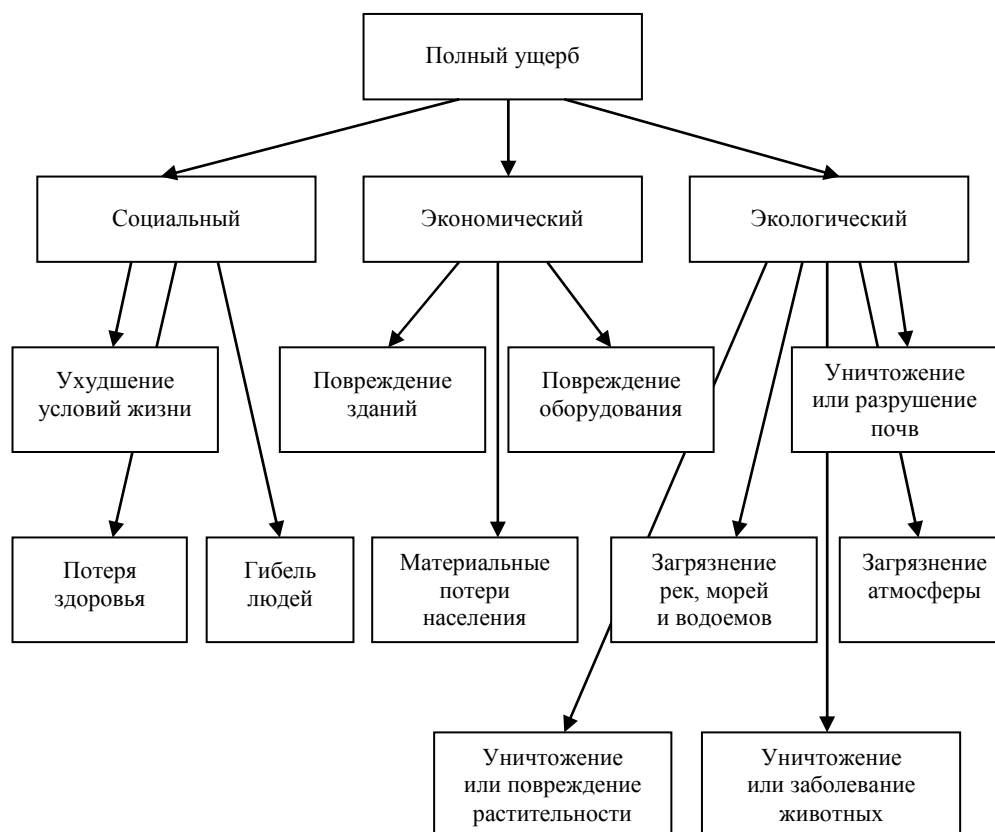


Рис. 1

Социальный ущерб связан с гибелью людей, потерей здоровья и ухудшением условий жизни. Экономический ущерб связан непосредственно с повреждением или утратой основных и оборотных фондов, материальными потерями населения и также включает затраты на ограничение развития ЧС. Экологический ущерб связан с ущербом, наносимым природной среде.

Пример структуры дерева ущербов показан на рис. 1.

Остановимся на анализе экологического ущерба и, соответственно, на оценке экологического риска. Исходным этапом в процессе оценки экологического риска является определение границ изучаемого региона и идентификация источников опасности, приводящей к ущербу. Источниками опасности могут быть выбросы предприятий, сбросы неочищенных стоков, захоронение высокотоксичных отходов или наводнения, сели, пожары, оказывающие постоянное или временное воздействие на окружающую среду. Таким образом, к потенциальным опасностям относятся такие факторы, которые могут при определенных условиях нанести ущерб окружающей среде. Фактор превращается в опасность при определенном уровне или длительности воздействия. Под

ущербом в этом случае понимаются разрушение, деградация, загрязнение почв, водной среды, атмосферы, растительного и животного мира.

Опасности делятся на параметрические, которые можно измерить приборами (концентрации загрязняющих веществ, вибрации, ЭИМ и др.), и стохастические, оцениваемые экспертами [3]. В зависимости от вида факторов существуют различные способы оценки ущерба: измерение и сравнение результатов с нормативами; расчеты на основе статистических данных с применением методов теории вероятностей; моделирование распространения загрязнений, экспертные оценки.

Количественные оценки. Оценка качества объектов окружающей среды заключается в установлении пределов допустимых изменений их свойств [4]. В качестве меры загрязнения используются нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве. Таким образом, для количественного анализа опасности загрязнения необходимо провести соответствующие измерения и вычислить оценку по заданному перечню параметров:

$$O = \sum_i [C_i, Date, District, PDK_i], i \in N, (1)$$

Таблица 1

Экологическое состояние	Показатель	Критерии оценки
Удовлетворительное	1	$C_i \leq \text{ПДК}_i$
Напряженное	2	$1 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 10 \text{ ПДК}_i$
Критическое	3	$10 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 30 \text{ ПДК}_i$
Кризисное	4	$30 \text{ ПДК}_i < C_i \leq 50 \text{ ПДК}_i$
Катастрофическое	5	$C_i > 50 \text{ ПДК}_i$

Таблица 2

Оценка загрязнения воздуха (ОЗВ)	Индекс загрязнения			
	2-4	5-9	10-20	> 20
Число загрязнителей	2-4	5-9	10-20	> 20
Допустимая	≤ 2	≤ 3	≤ 4	≤ 5
Слабая	> 2-4	> 3-6	> 4-8	> 5-10
Умеренная	> 4-8	> 6-12	> 8-16	> 10-20
Сильная	> 8-16	> 12-24	> 16-32	> 20-40
Очень сильная	> 16	> 24	> 32	> 40

где C_i – значение концентрации; $Date$ – дата измерения; $District$ – анализируемый объект; ПДК_i – значение ПДК; N – количество измеряемых параметров. В соответствии с полученными значениями экологическое состояние (ЭС) природных объектов классифицируют согласно табл. 1 [3].

ПДК устанавливаются для отдельных компонентов и порой не отражают комплексную нагрузку на экосистему. Для характеристики уровня загрязнения экосистемы за продолжительный период времени и оценки комбинированного воздействия примесей будем использовать интегральные показатели, рассчитываемые по существующим стандартным методикам [4]:

$$S = \sum_i [O_i, Date, District, \text{ПДК}_i], \quad i \in I_s, \quad (2)$$

где O_i – простая оценка, входящая в множество важных характеристик I_s , определяемых стандартными методиками (например, индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), индекс загрязнения почв (ИЗП), удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) и т. д.). Получаемый показатель определяет класс загрязнения, который приводится к шкале оценок экологического состояния [5]. Например, для атмосферного воздуха показатель может быть определен в соответствии с табл. 2.

Индекс загрязнения представляет собой кратность превышения ПДК условного вещества, приведенного к биологическому эквиваленту третьего класса опасности, токсический эффект которого равен сумме всех веществ, входящих в смесь. В соответствии с индексом устанавливается класс загрязнения воздуха, который может быть приведен к шкале оценок экологического состояния (табл. 1) следующим образом: удовлетвори-

тельное ЭС – допустимая, слабая ОЗВ; напряженное ЭС – умеренная ОЗВ; критическое ЭС – сильная ОЗВ; кризисное ЭС – очень сильная ОЗВ.

Оценка экологического риска от техногенных воздействий основана на применении предельно допустимых нормативов отведения отходов в природную среду. Нормирование техногенных воздействий при помощи предельно допустимых воздействий (ПДВ) в атмосферу и предельно допустимых сбросов (ПДС) в водоемы основывается также на обеспечении нормативов ПДК на границе санитарно-защитной зоны предприятия или в расчетном створе водного объекта.

Статистические оценки. Статистические методы оценки основаны на обработке статистических данных традиционными методами математической статистики и используются преимущественно для анализа природных опасностей (землетрясений, бурь, наводнений) в случае, когда имеются данные за продолжительный временной период.

Прогнозные оценки. Прогнозные оценки экологического риска строятся с использованием математических моделей. Моделирование позволяет просчитать различные варианты протекания процессов и дать прогноз экологической ситуации в случае возникновения опасных событий.

Результатом работы моделей является поле концентраций загрязняющего вещества. С использованием методов нормирования или расчета комбинированных воздействий можно провести анализ опасности загрязнения в случае аварийных выбросов и сбросов [6], [7].

Экспертные оценки. Экспертные оценки могут быть использованы в условиях неполноты информации или при выявлении рисков, не име-

ющих аналогов. В основе лежат субъективные оценки экспертов, и достоверность результата оценки во многом зависит от профессионального и квалификационного уровня лиц, принимающих участие в экспертизе.

Для обеспечения достоверности оценок мнения каждого эксперта обрабатываются в соответствии с методом анализа иерархий [8], [9]. Коэффициенты значимости факторов риска определяются с учетом уровня квалификации экспертов и категории важности показателей.

Оценка экологического риска. Оценка экологического риска носит комплексный характер, часто основанный на разнородных данных. Для расчета оценки необходимо определить структуру ущерба, вызывающих их факторов и привести все показатели к единой нормированной шкале оценок. Структура экологического риска представляет собой иерархическую модель, начальная вершина которой соответствует комплексной оценке риска, висячие вершины – различным ожидаемым ущербам по видам факторов, их вызывающих. Каждой дуге в соответствие ставится вероятность

возникновения данного типа ущерба (рис. 2). Рассмотрим структуру иерархической модели оценки экологического риска, возникающего при загрязнении основных компонентов окружающей среды: атмосферного воздуха (ЗА), воды (ЗВ), почвы (ЗП).

Методика определения результирующей оценки экологического риска основана на методологии формирования комплексных оценок [10]. Для получения комплексной оценки риска необходимо привести значения показателей ущерба к единой дискретной шкале оценок. Разработанная пятиуровневая шкала включает следующие показатели ущерба:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\},$$

где u_1 – незначительный; u_2 – малый; u_3 – средний; u_4 – большой; u_5 – катастрофический.

Определение показателей ущерба основывается на анализе факторов, их вызывающих. В случае количественной оценки производится измерение концентраций загрязняющих веществ, нормирование оценок в соответствии с функционалом нор-

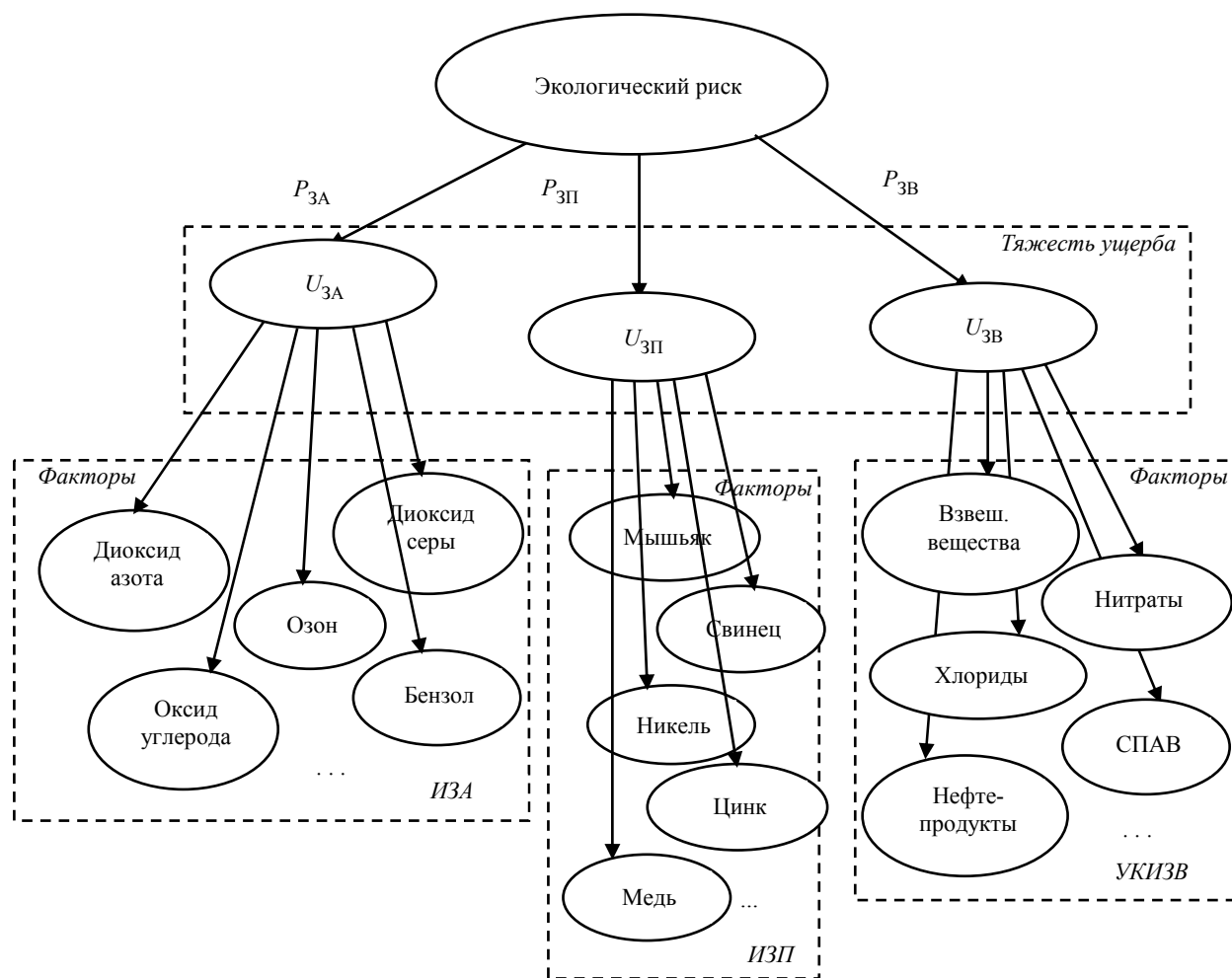


Рис. 2

Таблица 3

Категория риска	Оценка	Мероприятия
Незначительный	1–3	Мероприятия не требуются
Малый	4–6	Мероприятия не обязательны. За ситуацией надо следить, чтобы риск был управляемым
Средний	7–9	Необходимо осуществить мероприятия по снижению риска. Если риск имеет серьезные последствия, необходимо более точно вычислить вероятность опасного события
Высокий	10–16	Обязательные срочные мероприятия по снижению риска
Катастрофический	17–25	Обязательные мероприятия по ликвидации риска. Работа в условиях риска должна быть немедленно прекращена и возобновлена только после ликвидации риска

мирования величин (1) или определение интегральных показателей (2). Наряду с результатами контрольных измерений могут использоваться результаты обследований, опросов, экспертные оценки. Объединение разнородных данных осуществляется в единой нормированной шкале с учетом характеристик достоверности и степени участия каждого фактора [4]. В результате формируется комплексная оценка:

$$K^* = \text{SUM}_i \left[C_i^*, O_i^*, E_i^*, r_{\partial i}, g_{yi} \right], i \in I_s, \quad (3)$$

где E_i^* – экспертные оценки; $r_{\partial i}$ – уровень квалификации эксперта; g_{yi} – вес (степень участия) каждого фактора. Оценка экологического состояния приводится к шкале показателей ущерба.

Вероятность наступления опасного события и возникновения ущерба определяется на основе статистических данных или анализируется экспертом. Пятиуровневая шкала уровня вероятности возникновения ущерба включает следующие показатели:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\},$$

где p_1 – практически исключено; p_2 – маловероятно; p_3 – вероятно; p_4 – возможно; p_5 – неизбежно.

Оценка экологического риска осуществляется по видам ущерба в соответствии с матрицей риска. Матрица риска показывает зависимость уровня (категории) риска от соотношения вероятности события и тяжести ущерба (рис. 3). В зависимости от полученного значения оценки введены следующие категории рисков:

$$R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5\},$$

где r_1 – незначительный риск; r_2 – малый риск; r_3 – средний риск; r_4 – высокий риск; r_5 – катастрофический риск.

В зависимости от рассчитанного значения риска определяется необходимость проведения мероприятий по предотвращению ЧС или ликвидации последствий в соответствии с табл. 3.

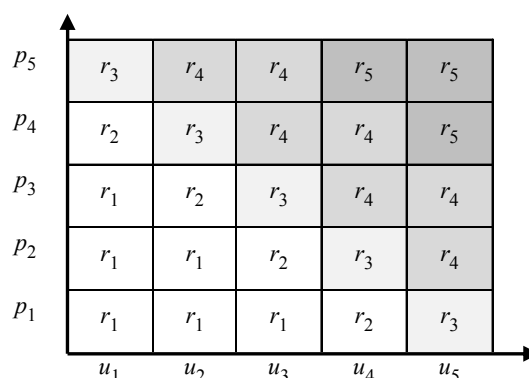


Рис. 3

Оценка экологических рисков осуществляется в технологии ГИС. Территориальная система представляется в виде множества взаимодействующих слоев – носителей загрязнений. В качестве их количественной характеристики используются данные о концентрации, сравниваемые с нормируемыми показателями, или интегральные характеристики по комплексу загрязни-загрязнителей. Значения концентраций являются либо данными мониторинга, либо результатами моделирования. Наряду с результатами измерений используются экспертные оценки. По каждому фактору воздействия или комплексу показателей определяется ущерб и вероятность его возникновения. В соответствии с матрицей риска оценивается значение экологического риска и определяется перечень мероприятий для ликвидации возможных последствий.

Комплексная оценка экологического риска и картографирование критических нагрузок в ГИС позволяет определить экосистемы, наиболее чувствительные к поступлению загрязняющих веществ, оценить опасность любой намечаемой или осуществляемой хозяйственной деятельности, спланировать мероприятия по эколого-экономическому управлению территорией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурков В. Н., Щепкин А. В. Экологическая безопасность. М.: ИПУ РАН, 2003. 92 с.
2. Яковлев В. В. Экологическая безопасность, оценка риска. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2007. 476 с.
3. Музгалеvский А. А., Карлин Л. Н. Экологические риски: теория и практика. СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2011. 448 с.
4. Алексеев В. В., Куракина Н. И., Желтов Е. В. ГИС комплексной оценки состояния окружающей природной среды // ArcReview. 2007. № 1(40). С. 16–17.
5. Алексеев В. В., Куракина Н. И. Измерительные системы и ГИС технологии. СПб.: Элмор, 2007. 142 с.
6. Алексеев В. В., Куракина Н. И., Желтов Е. В. Система моделирования распространения загрязняющих веществ и оценки экологической ситуации на базе ГИС // Информационные технологии моделирования и управления. 2005. № 5(23). С. 765–769.
7. Куракина Н. И., Желтов Е. Г., Лукин А. А. Моделирование распространения примеси в водотоках с использованием ГИС // Информация и космос. 2010. № 1. С. 76–82.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 314 с.
9. Падерно П. И. Метод комплексирования мнений экспертов внутри группы при использовании метода анализа иерархий // Изв. СПбЛГА. 2009. № 189. С. 238–245.
10. Алексеев В. В., Гридина Е. Г., Куракина Н. И. Вопросы обеспечения единства измерений при формировании комплексных оценок // Сб. тр. Междунар. симпозиума «Надежность и качество 2005». Пенза, 2004. С. 461–464.

N. I. Kurakina, I. A. Ivlichev
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT METHODS BASED ON HETEROGENEOUS DATA

The methods of environmental risk assessment, based on the analysis of pollutants measurement results in various media, expert assessments and situational models were developed. Heterogeneous data is merged in a unified normalized scale, taking into account reliability characteristics and each factor participation degree. Method of hierarchies analysis is applied for complex environmental risk assessment. Implementation of comprehensive evaluation in GIS technology allows to combine disparate data in a multi-layered project, to connect data processing modules for the purpose of critical loads' visual mapping and identifying areas, that are most sensitive to pollutants occurrence.

Environmental risk, emergency situation, comprehensive evaluation, method of hierarchies analysis, GIS

УДК 621.753

Е. С. Сулоева
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Возможности бинарного сличения при наличии сведений о систематических погрешностях

Вводится в рассмотрение алгоритм, на основе которого при помощи выводимых вероятностных соотношений принимаются решения о соответствии сличаемых эталонов требованиям при условии наличия сведений о систематической погрешности.

Сличение, эталоны, неисключенная систематическая погрешность, метрологический анализ

Процедура сличения направлена на установление соответствия или эквивалентности таких объектов, как эталоны. Эталоны могут быть как национального (ключевые сличения), так и более низкого уровня (дополнительные сличения). Главная проблематика сличений заключается в некоем эвристическом основании принятия решения, которое в свою очередь берет начало от не-