

УДК 504.05, 519.1

Н. И. Куракина

ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

КУРАКИНА Наталия Игоревна – доцент, канд. тех. наук. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. 197376, ул. проф. Попова, д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: NKurakina@gmail.com.

В статье исследуются вопросы прогнозирования и предупреждения возникновения необратимых процессов и чрезвычайных ситуаций в Арктическом регионе. 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.

АРКТИКА; 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 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.

Особенно актуально эти вопросы стоят для Арктической зоны, обладающей особой спецификой. С одной стороны регион характеризуется экстремальными природно-климатическими условиями, а с другой – уникальным по составу и свойствам животным и растительным миром, являющимся частью биологического разнообразия планеты, утрата которого нанесет существенный урон потенциалу устойчивости экосистем.

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 величиной ущерба от этой реализации этих явлений.

Каждый тип ЧС описывается степенью риска R через функционал F_R , связывающий вероятность P возникновения неблагоприятного события и тяжесть ущерба U от этого неблагоприятного события:

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

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 O :

$$U = F_U \{U_L, U_E, U_O\} = \sum_i [F_{Ui}(U_{Li}, U_{Ei}, U_{Oi})].$$

Остановимся на анализе экологического ущерба и соответственно на оценке экологического риска. Исходным этапом в процессе оценки экологического риска является определение идентификация источников опасности. К потенциальным опасностям относятся такие факторы, которые могут при определенных условиях нанести ущерб окружающей среде. Фактор превращается в опасность при определенной величине 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 экспертно [2]. В зависимости от вида факторов существуют различные способы оценки опасностей: 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 [3, 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.

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

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

Таблица 1

Экологическое состояние	Показатель	Критерии оценки
Удовлетворительное	1	$C_i \leq ПДК_i$
Напряженное	2	$1 ПДК_i < C_i \leq 10 ПДК_i$
Критическая	3	$10 ПДК_i < C_i \leq 30 ПДК_i$
Кризисное	4	$30 ПДК_i < C_i \leq 50 ПДК_i$
Катастрофическое	5	$C_i > 50 ПДК_i$

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]:

$$S = \sum_i [O_i, Date, District, PDK_i], i \in I_s, \quad (2)$$

где O_i – простая оценка, входящая в множество важных характеристик I_s , определяемых стандартными методиками (например, индекс загрязнения атмосферы, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды и т.д.). Получаемый показатель определяет класс загрязнения, который приводится к шкале оценок экологического состояния [3]. Например, для атмосферного воздуха показатель может быть определен в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Оценка загрязнения воздуха (ОЗВ)	Индекс загрязнения			
	Число загрязнителей	2-4	5-9	10-20
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

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: удовлетворительное 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].

Экспертные оценки. Экспертные оценки могут быть использованы в условиях неполноты информации или при выявлении рисков, не имеющих 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 соответствие с методом анализа иерархий [7]. Коэффициенты значимости факторов риска определяются с учетом уровня квалификации экспертов и категории важности показателей.

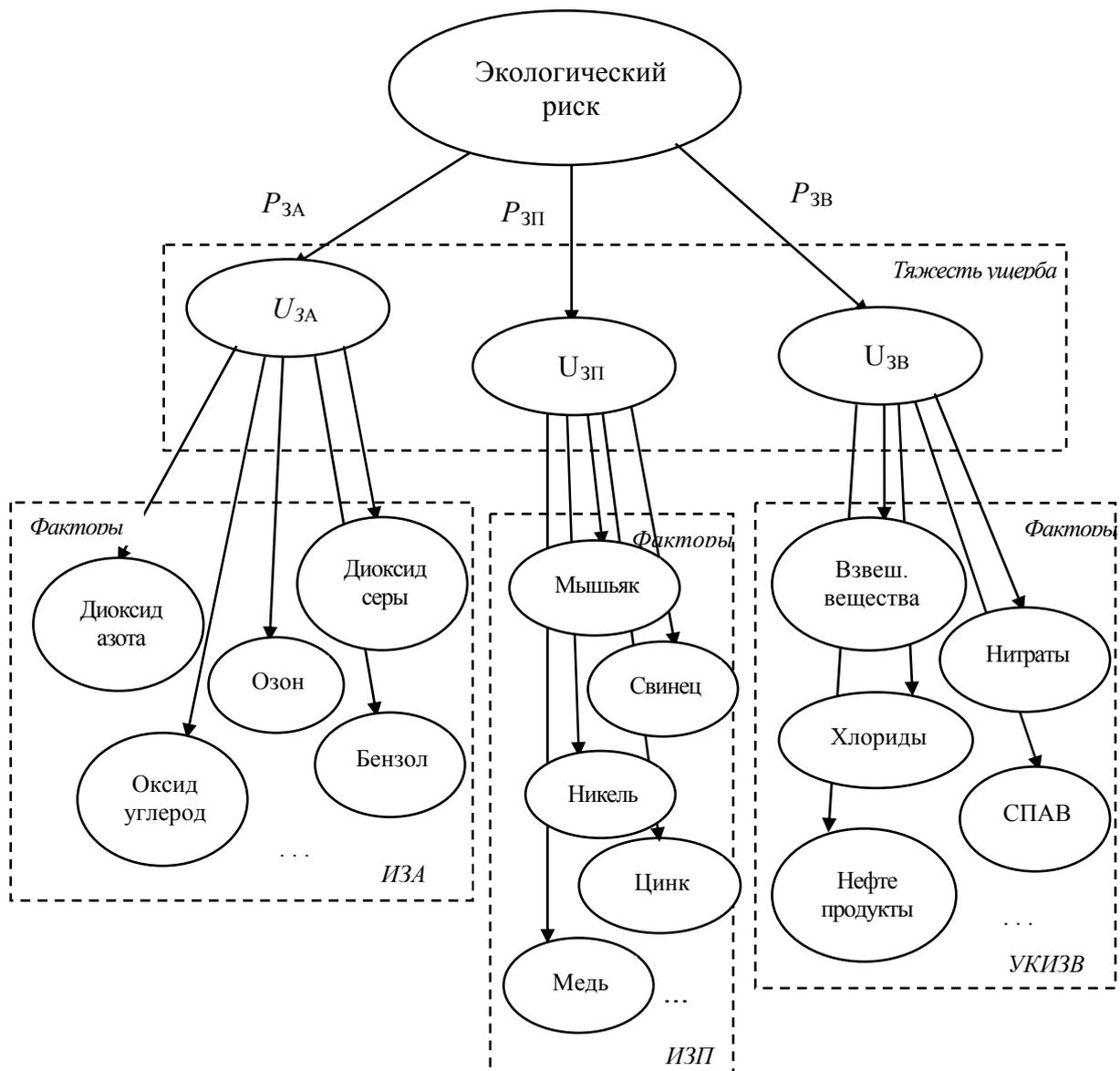


Рис. 1 Иерархическая модель оценки экологического риска

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 которого соответствует комплексной оценке риска, висячие вершины различным ожидаемым ущербам по видам факторов их вызывающих. Каждой дуге в соответствие ставится вероятность возникновения данного типа ущерба. Рассмотрим структуру иерархической модели оценки экологического риска (рис. 1),

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 [3]. 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 нормирования 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:

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

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 [5] 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.

p_5	r_3	r_4	r_4	r_5	r_5
p_4	r_2	r_3	r_4	r_4	r_5
p_3	r_1	r_2	r_3	r_4	r_4
p_2	r_1	r_1	r_2	r_3	r_4
p_1	r_1	r_1	r_1	r_2	r_3
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5

Рис. 2 Матрица риска

Оценка экологического риска осуществляется по видам ущерба в соответствии с диаграммой «Вероятность события/Последствия события». Матрица риска показывает зависимость уровня (категории) риска от соотношения вероятности события и тяжести ущерба (рис. 2). В зависимости от полученного значения оценки введены следующие категории рисков:

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

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

Реализация оценки экологических рисков осуществляется в технологии ГИС.

Территориальная система Арктического региона 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 загрязнителей. Величины концентраций являются либо данными мониторинга, либо результатами моделирования. По каждому фактору воздействия или комплексу показателей определяется величина ущерба, и вероятность его возникновения. В соответствии с матрицей риска оценивается величина экологического риска и определяется перечень мероприятий для ликвидации возможных последствий.

Комплексная оценка экологического риска и картографирование критических нагрузок в ГИС позволяет определить зоны, наиболее чувствительные к поступлению загрязняющих веществ, оценить опасность любой намечаемой или осуществляемой хозяйственной деятельности,

спланировать мероприятия по устойчивому развитию Арктической зоны России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Бурков В.Н., Щепкин А.В. Экологическая безопасность. М.:ИПУ РАН, 2003. 92 с.
2. Музгалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. – СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2011. 448 с.
3. Алексеев В.В., Куракина Н.И. Измерительные системы и ГИС технологии. Санкт-Петербург, Издательство «Элмор», 2007, 142 с.
4. Алексеев В.В. Куракина Н.И. Желтов Е.В. ГИС комплексной оценки состояния окружающей природной среды // ArcReview, № 1(40), 2007, С. 16-17.
5. Куракина Н.И., Нассер С.С.С. Автоматизированная система оценки и управления рисками // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 2013. Т.6. С 78-84.
6. Куракина Н.И., Желтов Е.Г., Лукин А.А. Моделирование распространения примеси в водотоках с использованием ГИС // Информация и космос, №1, 2010, С.76-82
7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 314 с.

KURAKINA, Natalia I. – Saint-Petersburg Electrotechnical University. 197376, ul. Professora Popova 5, Saint-Petersburg, Russia. E-mail: NKurakina@gmail.com.

QUESTIONS OF THE ENVIRONMENTAL RISKS ASSESSMENT IN THE ARCTIC REGION.

In article questions of forecasting and the prevention of emergence of irreversible processes and emergency situations in the Arctic region are investigated. 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.

ARCTIC; ENVIRONMENTAL RISK; EMERGENCY SITUATION; COMPREHENSIVE EVALUATION; METHOD OF HIERARCHIES ANALYSIS; GIS.
