

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

Бельская Е.Н., Бразговка О.В., Сугак Е.В.

Сибирский государственный аэрокосмический университет, Красноярск, e-mail: sugak@mail.ru

В статье рассмотрена методика расчета экологических рисков, которая учитывает не только вероятность негативного события, но и все его возможные последствия. Проанализирована информационная основа оценки экологических рисков и необходимость классификации факторов экологической опасности. Приведена структура полного экологического ущерба. Рассмотрены методы оценки ущерба, как для окружающей природной среды, так и для здоровья человека. Показана связь экологического ущерба с социальным. Приведены основные принципы природоохранной политики. Показана зависимость выбора метода количественной оценки ущерба для здоровья человека от продолжительности и уровня интенсивности воздействия. Рассмотрены экономические оценки экологических воздействий. Приведены основные элементы процесса управления рисками.

Ключевые слова: экологический риск, вероятность события, ущерб, опасность, экономическая оценка.

METHOD OF CALCULATION THE ENVIRONMENTAL RISKS

Belskaya E.N., Brazgovka O.V., Sugak E.V.

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk, e-mail: sugak@mail.ru

In this article the method of calculation of environmental risks which considers not only probability of a negative event, but also all its possible consequences is considered. Information basis of an assessment the environmental risks and need of classification the factors of ecological danger is analysed. The structure of full ecological damage is given. Damage assessment methods, both for surrounding environment, and for health of the person are considered. Communication of ecological damage with social is shown. The basic principles of nature protection policy are given. Dependence of a choice the method of a quantitative assessment of damage to health of the person on duration and level of intensity of influence is shown. Economic estimates of ecological influences are considered. Basic elements of process the management of risks are given.

Keywords: environmental risk, probability of the event, damage, danger, economic evaluation.

Анализ и прогноз негативных изменений качества окружающей среды в результате природных и антропогенных воздействий становится все более актуальной проблемой. В последнее время все большее распространение получает подход к определению риска неблагоприятного события, который учитывает не только вероятность этого события, но и его возможные последствия [8, 9]. Такое «двумерное» определение риска используется при его количественном оценивании – риск может быть определен как произведение вероятности события на магнитуду (меру) ожидаемых последствий [1, 4, 8, 9]. Если в течение периода (чаще всего года) может произойти несколько опасных событий, то показателем риска служит сумма ущербов от всех возможных событий [8, 9, 10]:

$$R = \sum_{i=1}^n p_i U_i, \quad (1)$$

где R – количественная мера риска (средний риск), выражаемая в тех же показателях, что и ущерб; n – число возможных вариантов ущербов при наступлении неблагоприятного события, включая нулевой ущерб; P_i – вероятность наступления неблагоприятного события (группы событий); U_i – величи-

на ущерб в стоимостном выражении [9, 10]:

$$U = \sum_{i=1}^n W_i C_i, \quad (2)$$

где W_i – обобщенная составляющая прогнозируемого вреда по различным компонентам окружающей среды; C_i – цена i -ой составляющей вреда на единицу измерения с учётом его социально-экономического значения.

Таким образом, для определения величины риска по выражению (1) необходимо иметь информацию, выражающую соответствие значений P_i и U_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Такая информация в простейшем случае определяет закон распределения вероятностей в пространстве ущербов. В предположении непрерывной зависимости вероятности P_i от значений ущерба u получим $P_i = P(u)$ и выражение (1) может быть представлено в интегральном виде [10]:

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} u P(u) du. \quad (3)$$

В более общем случае, когда ущерб может наступать вследствие различных неблагоприятных и не зависящих друг от друга событий, средний риск может быть определен согласно следующей формуле:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} U_i, \quad (4)$$

где P_{ij} – вероятность получения ущерба U_i при наступлении события j -го типа.

Вероятность получения ущерба из формулы (4) определяется как условная вероятность согласно следующему произведению:

$$P_{ij} = P_j P_i(j), \quad (5)$$

где P_j – вероятность наступления неблагоприятного события j -го типа; $P_i(j)$ – вероятность получения ущерба U_i при наступлении события j -го типа.

При условии, что ущербы от различных событий измеряются по одной шкале (например в стоимостном выражении) и с учётом формулы (5) для определения величины среднего риска вместо выражения (1) можно использовать следующую формулу [10]:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_j P_i(j) U_i \quad (6)$$

В формуле (6) P_j выражает закон распределения вероятностей наступления неблагоприятных событий, а $P_i(j)$ – законы распределения ущербов при наступлении каждого из таких событий.

Таким образом, для количественной оценки экологических рисков необходимо знать, прежде всего, сами риски (факторы экологической опасности), а также методы оценки ущерба от их проявления.

Информационной основой для оценки экологических рисков являются информация о различных процессах и явлениях, результаты мониторинга экологической обстановки, данные оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), экологической экспертизы и аудита, экологической и санитарно-гигиенической паспортизации, государственного учета и регистрации [3].

В рамках экологических рисков рассматриваются опасности, возникающие при взаимодействии экономических объектов и сосуществующих с ними экосистем [5]. Крупные экономические объекты, пересекающие значительные территории, требующие изменения ландшафтов при строительстве и влияющие на него в процессе эксплуатации, существенно нарушают сложившиеся экосистемы. Обычным следствием появления таких объектов оказываются явления, которые иногда называют «ранами Земли» (залитые нефтью безжизненные земли вдоль нефтепроводов, отравленные поверхностные воды в местах горной добычи, загрязнение воздуха на больших территориях и др.).

Явления негативных изменений природной среды имеют глобальный характер, обусловленный наличием многих регионов экологического неблагополучия.

Таким образом, очевидна необходимость разработки классификации факторов экологической опасности, позволяющей выявлять при комплексной экологической оценке территорий всю совокупность причин, которые обуславливают или могут вызвать негативные изменения в параметрах качества компонентов окружающей среды [10]. Классификация факторов экологической опасности позволяет перейти к оценке экологических рисков, как вероятности их проявления [8].

Оценка экологического риска является основой для управления им и на макроуровне ее проводят обычно в следующих целях [3]:

- поддержка принятия решений по экологической безопасности предприятий и промышленных комплексов;
- поддержка принятия решений по выбору направлений экономического развития на основе сравнения воздействия альтернативных технологий на здоровье населения и окружающую среду;
- коммуникации риска.

При оценке риска вероятность выступает как мера (показатель) риска, удобная для сравнения рисков для одного объекта или субъекта от различных событий или для различных объектов (субъектов) в типовых условиях функционирования (деятельности).

Оценка ущерба от проявления факторов экологической опасности является одним из важнейших инструментов управления природоохранной деятельностью.

В промышленных странах оценка экологических ущербов напрямую связана с наруше-

нием функционирования экономической системы при нанесении вреда окружающей среде. Экологический ущерб $U_{экол}$ рекомендуется определять как сумму ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты окружающей природной среды [10]:

$$U_{экол} = Э_a + Э_в + Э_n + Э_б + Э_о \quad (7)$$

где $Э_a$ – ущерб от загрязнения атмосферы; $Э_в$ – ущерб от загрязнения водных ресурсов; $Э_n$ – ущерб от загрязнения почвы; $Э_б$ – ущерб, связанный с уничтожением биологических (в т.ч. лесных) ресурсов; $Э_о$ – ущерб от засорения (повреждения) территории обломками зданий, сооружений и оборудования.

При рассмотрении экологических сторон последствий тяжелых аварий или катастроф целесообразно оперировать понятиями полного, косвенного и прямого ущербов [1, 2].

Прямой экологический ущерб обусловлен негативным воздействием на почву, растительный и животный мир, водоемы, атмосферу, а его оценки связаны с негативным влиянием на нынешнее поколение людей.

Косвенный экологический ущерб имеет глобальный масштаб, например, нарушение климатического баланса, ухудшение качества природных ресурсов, гибель и уменьшение численности зверей и птиц. Он следует из негативного влияния на жизнедеятельность будущих поколений людей.

Экологический ущерб тесно связан с социальным. Именно человек в процессе хозяйственной деятельности определяет, какие экосистемы и на какой территории он должен сохранить как для себя, так и для потомков. Общество определяет природоохранную политику исходя из общественной значимости территорий при подчиненном значении степени их загрязненности. В настоящее время внедряются в основном лишь следующие принципы:

- принцип равномерности – уменьшение антропогенных нагрузок выравниванием по территории страны;
- принцип эффективности – проведение первоочередных мероприятий там, где легче и быстрее выйти на приемлемый уровень качества среды;
- принцип учета уникальности нарушаемых при хозяйственной деятельности природных объектов.

Применяемые в настоящее время методики оценки последствий загрязнения окружающей среды, в основном ориентированы на экологическое воздействие нормально (т.е. с небольшими отклонениями) функционирующих промышленных и других объектов на природу и население. Методы и модели влияния аварий и связанных с ними выбросов значительных количеств вредных веществ и более интенсивными воздействиями других факторов менее разработаны [7]. Вместе с тем есть основания полагать, что последствия крупных аварий могут значительно отличаться от последствий не столь интенсивных, пусть даже постоянных, воздействий, что не позволяет обоснованно использовать накопленную медицинскую

статистику и результаты экологического мониторинга.

Выбор метода оценки экологического ущерба зависит от вида воздействий и степени их изученности. При наличии необходимых исходных данных используется метод прямого учета затрат на восстановление контрольного объекта до исходного состояния. При наличии большого числа реализаций (длительные наблюдения, частые события) применяют методы статистического анализа информации о размерах воздействий и их последствиях.

К экономическим оценкам экологических последствий следует подходить критически. Так, в местах, давно обитаемых, с интенсивной хозяйственной деятельностью нет оснований полагать, что предшествующая аварии деятельность не изменяла природную среду, поэтому не всегда целесообразно восстанавливать существовавшее до аварии состояние. Нормативы платы за выбросы, используемые при оценке экологического ущерба, представляют в большей степени ставки некоего специфического налога на некоторые аспекты хозяйственной деятельности предприятий и далеко не обеспечивают компенсацию действительного ущерба. Более того, плата за размещение вредных веществ в природной среде и не преследует цели возмещения ущерба, а используется для природоохранных мероприятий.

Экономические оценки экологических воздействий предполагают некую проекцию действительного экологического ущерба на хозяйственные и социальные условия и отношения. Полный экологический ущерб, определяемый как изменение всей совокупности элементов природной среды в зоне воздействия, как в момент аварии, так и с учетом отдаленных последствий не рассматривается.

Ущерб от загрязнений основных компонент окружающей природной среды (воздух, вода, почва, растительный и животный мир) может быть оценен, исходя из затрат на частичное или полное восстановление (не всегда целесообразно). Что касается воздушной среды, то для нее затраты на восстановление не рассматриваются, поскольку сам процесс восстановления (диффузия газа в атмосфере) происходит естественным образом.

Степень ущерба для здоровья человека и методы его оценки различаются в зависимости от длительности и уровней негативных воздействий. При постоянно или продолжительно действующих слабоинтенсивных негативных факторах (повышенные концентрации вредных веществ в воздухе, малые дозы радиации и др.) в организме человека наблюдаются неблагоприятные эффекты, влияющие на его здоровье. Для количественной оценки ущерба от слабоинтенсивных факторов используются модели зависимости «доза – эффект» [8]. При кратковременно действующих поражающих факторах значительной интенсивности, обычно происходящих в случайные моменты времени в форме опасных событий, ущерб для человека наступает в случае превышения уровней воздействий некоторых предельных (пороговых) значений. Для количественных оценок используется факторная модель «действующая

нагрузка – критическая нагрузка» (или «несущая способность»).

Последствия для человека от негативных воздействий любого вида выражаются бинарной переменной w :

$$w = w_0 = 0 \text{ если } u \leq u_{кр}, \quad (8)$$

$$w = w_1 = 1 \text{ если } u > u_{кр}, \quad (9)$$

где u – действующая на человека нагрузка; $u_{кр}$ – несущая способность конкретного человека.

Несущая способность зависит от дифференциальных характеристик негативных воздействий, в частности, длительности действия (экспозиции). По совокупности индивидов она имеет существенный разброс (т.е. является случайной величиной), который в задачах прогноза обычно не учитывается.

Риск здоровью человека можно определить с использованием модели «нагрузка – несущая способность» через частоту смертей:

$$\lambda = \lambda_0 P(u > u_{кр}); \quad (10)$$

где λ_0 и λ – частоты негативных и поражающих воздействий, соответственно; u – случайная величина уровней негативных воздействий, $P(u > u_{кр})$ – условная вероятность смерти, т.е. поражающего воздействия, условием которого является превышение действующей нагрузки критической для человека.

Тогда математические ожидания числа поражающих воздействий в год

$$a(\Delta t) = \lambda \cdot \Delta t = \lambda_0 \cdot \Delta t \cdot P(u > u_{кр}). \quad (11)$$

Для редких событий индивидуальная вероятность смерти вычисляется как вероятность хотя бы одного поражающего воздействия в год:

$$Q(\Delta t) \approx a(\Delta t) = \lambda \cdot \Delta t, \quad (12)$$

т.е. риск выражается через частоту поражающих воздействий.

Прямой экологический ущерб связан с ущербом природной среде. Укажем на особенности оценки ущерба, обусловленного непрерывными выбросами загрязняющих веществ в природную среду. В соответствии с требованиями существующих методических рекомендаций по администрированию платы за негативное воздействие на окружающую среду выбросов, для производственных предприятий в расчетном периоде устанавливаются различные нормативы выплат за данные вредные выбросы – в пределах, установленных для них лимитов и сверх них.

В случае не превышения предельно допустимых выбросов, величина выплат S_I (руб) за них в атмосферу и водные объекты определяется следующим образом:

$$S_1 = \frac{\sum_{t=1}^T S_t}{\sum_{t=1}^T S_{tL}}, \quad (13)$$

где t и T – год планового периода и его общая продолжительность; S_t , S_{tL} – затраты на снижение токсодозы вредных выбросов в текущем году и приведенный лимит таких выбросов, установленный с

учетом вида загрязняющих веществ, их допустимого объема и предельно допустимых концентраций в атмосферном воздухе или воде, соответственно.

При превышении объема предельно допустимых выбросов, соответствующие издержки предприятий S_2 рассчитываются по формуле:

$$S_2 = S_{jt} / dM_{jt}, \quad (14)$$

где S_{jt} – затраты предприятия, необходимые для достижения установленного лимита выбросов; dM_{jt} – плановый приведенный объем вредных выбросов, установленный предприятию в текущем году.

Косвенный ущерб включает убытки, понесенные вне зоны прямого воздействия [2]. К косвенному ущербу можно отнести и плохо поддающиеся стоимостной оценке отрицательные социальные эффекты.

В качестве оценки косвенного ущерба могут использоваться экспертные оценки в долях от прямого ущерба без его детализации и анализа для отдельных составляющих. При детальном анализе целесообразно анализировать ущерб применительно к отдельным группам объектов, косвенный ущерб от повреждения которых имеет ряд общих черт.

Логическим продолжением оценки риска является управление его уровнем, которое направлено на обоснование наилучших (оптимальных) в данной ситуации решений по его минимизации, а также динамическому контролю (мониторингу) экспозиций и рисков, оценке эффективности и корректировке оздоровительных мероприятий. Управление риском базируется на совокупности политических, социальных и экономических оценок величин риска, сравнительной характеристике возможных ущербов для окружающей природной среды и здоровья общества, возможных затрат на реализацию различных вариантов управленческих решений по снижению риска и выгод, которые будут получены в результате реализации мероприятий (например, предотвращенные случаи заболеваний и др.).

Процесс управления риском состоит из четырех элементов [6]: сравнительная оценка и ранжирование рисков, определение уровней приемлемости риска, выбор стратегии снижения и контроля риска, принятие управленческих (регулирующих) решений.

В самом общем виде в основе управления риском лежит метод оптимизации соотношений выгоды и ущерба. Алгоритм стратегии управления риском основан на логических операциях выбора направления действий в зависимости от выполнения критериев приемлемости параметров экологического риска [10].

Предложенная методика позволит проводить количественную оценку экологических рисков, что в свою очередь будет способствовать выработке вариантов и выбору оптимальных управленческих решений, минимизирующих не только вероятность проявления факторов экологической опасности, но и ущерб в случае их реализации.

Список литературы

1. Алымов В.Т., Крапчатов В.П., Тарасова Н.П. Анализ техногенного риска. – М.: Круглый год, 2000. – 160 с.
2. Бурков В.Н. Модели и механизмы управления безопасностью / В.Н. Бурков, Е.В. Грацианский, С.И. Дзюбко, А.В. Щепкин. – М.: СИНТЭГ, 2001. – 160 с.
3. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. – М.: Академия, 2008. – 368 с.
4. Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов. // Безопасность труда в промышленности. – 2001. - № 5. – С. 33-41.
5. Карлин Л.Н., Абрамов В.М. Управление энвиронментальными и экологическими рисками. – СПб.: РГГМУ, 2006. – 332 с.
6. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр гос-санэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
7. Стратегические риски чрезвычайных ситуаций: оценка и прогноз. – М.: ЦСИ ГЗ МЧС, 2003. – 400 с.
8. Сугак Е.В. Современные методы оценки экологических рисков. // European Social Science Journal (Европейский журнал социальных наук). – 2014. - № 5 (44). – Т. 2. – С. 427-433.
9. Сугак Е.В., Окладникова Е.Н., Ермолаева Л.В. Информационные технологии управления социально-экологическим риском. // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического ун-та. – 2008, вып. 4 (21). – С. 87-91.
10. Шмаль А.Г. Факторы экологической опасности & экологические риски. – Бронницы: МП «ИКЦ БНТВ», 2010. – 191 с.

Рецензенты:

Мучкина Е.Я., д.б.н., профессор, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.

Хижняк С.В., д.б.н., профессор, Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск.