

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПУБЛИКАЦИЙ¹

ON THE CONCEPT OF ENVIRONMENTAL RISK. ANALYTICAL REVIEW OF PUBLICATIONS



© **Дмитриев** Виктор Георгиевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь Государственного научного центра РФ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» Росгидромета, Заслуженный деятель науки Российской Федерации.
E-mail: V_Dmitriev@aari.ru

© **Dmitriev** Viktor Georgievich, Ph.D., Senior Researcher, Scientific Secretary of the State Scientific Center of the Russian Federation "Arctic and Antarctic Research Institute" Hydrometeorology, Honored Scientist of the Russian Federation. E-mail: V_Dmitriev@aari.ru

Аннотация. На основе обзора современных публикаций в статье анализируется роль моделирования в оценке риска, рассматриваются понятия экологического риска, риска здоровью человека, раскрываются проблемы и методология оценки экологического риска². Все эти вопросы имеют прямое отношение к ситуации в Арктике.

Ключевые слова: обзор, риск, экологический риск, Арктика, вероятностный анализ риска, охрана окружающей среды, экология

Abstract. Based on a review of contemporary publications in the article examines the role of modeling in risk assessment examines the concepts of environmental risk, the risk to human health, reveals problems and ecological risk assessment methodology.

All of these issues are directly related to the situation in the Arctic.

Keywords: review, risk, ecological risks, Arctic, probabilistic risk analysis, environment protection, ecology

Введение

Исследование проблем понятия и оценки рисков имеет прямое отношение к ситуации, складывающейся в настоящее время в Арктике в связи с проведением здесь разведки, бурения и добычи углеводородов, их транспортировкой в экстремальных условиях окружающей арктической среды. Чтобы оценить на практике масштаб угроз, возникающих в арктическом макрорегионе при освоении континентального шельфа, необходимо иметь четкое концептуальное представление о природе экологических рисков и существующей методоло-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки по государственному контракту от 14.03.2013 № 14.515.11.0001 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.».

² Анализ этих проблем продолжает тематику статьи «К вопросу о понятии экологического риска. Аналитический обзор публикаций», опубликованной ранее в журнале «Арктика и Север». 2013. № 13. URL: http://narfu.ru/aan/article_index_years.php?ELEMENT_ID=94755 (дата обращения: 9.01.2014).

гии их оценки. В какой-то степени решить эту задачу позволяет выполненный обзор имеющихся научных публикаций.

Роль моделирования в оценке риска

Следует отметить, что методы решения частных задач оценки рисков могут отличаться для рисков различной природы. Так, авторы работы [1] полагают, что при оценке рисков технологического происхождения статистический анализ предыдущего опыта не вполне приемлем. Это особенно ясно, когда речь идет о новых технологиях. Авторы предлагают использовать аппарат вероятностного анализа безопасности (probabilistic safety assessment, PSA), основанный на моделировании опасностей и сценарном подходе. Методология PSA начала интенсивно развиваться с середины первого десятилетия XXI века, благодаря, в том числе, и усилиям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). На сайте МАГАТЭ размещены основные международные стандарты в области анализа рисков и обеспечения безопасности техногенного (в первую очередь, связанной с использованием ядерной энергии) характера (<http://wwwns.iaea.org/standards/feedback.htm>).

В публикациях [2; 3; 4] приводится описание детерминированных и стохастических математических моделей, применяемых в экологических исследованиях (см. также [5; 6]).

В работе [7] техногенный риск рассматривается как математическое ожидание последствий (ущерб) от свершения исходных событий, при этом вероятность события и значение ущерба принимаются как случайные величины (независимые или зависимые). Как указывает автор, для определения значений вероятностей исходных событий отказов, аварий и катастроф «к настоящему времени в теории безопасности разработаны и широко применяются на практике... разнообразные логико-вероятностные модели на основе методов типа «дерево отказов» — «дерево событий», схем функциональной целостности, общего логико-вероятностного, топологических, логико-графических и других методов. Многие из этих моделей теоретически описаны в отечественной и зарубежной литературе».

Стохастический подход к экологическим исследованиям представлен в монографии [8]. Среди вероятностных методов учета неопределенности в оценивании рисков применяются такие подходы как моделирование методом Монте-Карло 1-го и 2-го порядка (first- and second-order Monte Carlo simulation), анализ чувствительности (sensitivity analysis), интервальный анализ (interval analysis), качественное моделирование (Qualitative Modelling), Байесовские сети доверия (Bayesian Belief Networks), информационный критерий Акаике (Aikake Information Criteria), вероятностный анализ границ (Probability Bounds Analysis), теория информационного дефицита (Information Gap Theory) и иерархические Байесовские методы

(hierarchical Bayesian techniques) и др. [9]. Другие, не вероятностные подходы, описаны, в частности, в статье [10].

В работе [11] предпринята попытка учета индивидуального восприятия риска для пересчета «объективной» оценки в индивидуальную. При этом под риском понимается ожидаемый ущерб, а учет индивидуального восприятия осуществляется введением корректирующего множителя. Детальный и весьма представительный обзор вероятностных распределений, применяемых при анализе рисков, адаптированный к теоретическим положениям работы [12], приведен в пособии [13]. Описание основных экологических моделей, которые применяются при оценках рисков, приводятся в [14].

При оценке рисков широко распространено применение моделей поведения рассматриваемых систем, однако следует всегда иметь в виду, что модели не всегда корректно описывают системы, что может повлечь ошибки в определении рисков. В частности, автор работы [15] обращает внимание на необходимость соблюдения требования робастности моделей, особенно в случае соблюдения предупредительного принципа (Precautionary Principle).

Экологический риск

Исчерпывающий очерк исторического развития оценивания экологического риска в США приводится в статье [16]. Согласно [17], экологический риск определяется как шанс (в вероятностном смысле) в течение оговоренного промежутка времени возникновения события со специфическими (обычно негативными) последствиями. Авторы акцентируют внимание на различной природе используемого в оценке экологического риска понятия вероятности: как математической меры неопределенности и как субъективной меры степени доверия. В крупнейшей Энциклопедии систем жизнеобеспечения (Encyclopedia of Life Support Systems) ЮНЕСКО различают три основных типа экологического риска в контексте управления рисками: маловероятные события с серьезными последствиями, часто встречающиеся события с незначительными последствиями и средневероятные события со средними последствиями [18].

Оценка экологического риска, согласно [19], определяет вероятность (likelihood) того, что неблагоприятные экологические эффекты могут иметь место как результат воздействия одного или нескольких источников (стресс-факторов, stressors). В упрощенном варианте оценки экологического риска (screening level ecological risk assessment) мерой риска считается отношение уровня концентрации (химического вещества, exposure) к токсичности (предельно допустимой концентрации, toxicity) в детерминированной трактовке [20; 21].

В рекомендованном Министерством образования Российской Федерации пособии [22] риск определяется как «событие или группа родственных случайных событий, наносящих ущерб объекту, обладающему данным риском». Тем же автором под экологическим риском понимается «вероятность наступления гражданской ответственности за нанесение ущерба окружающей среде, а также жизни и здоровью третьих лиц». А ущерб окружающей среде, согласно пособию, «выражается в виде загрязнения или уничтожения лесных, водных, воздушных и земельных ресурсов (например, в результате пожара или строительных работ), нанесения вреда биосфере и сельскохозяйственным угодьям. Под словосочетанием «нанесение ущерба жизни и здоровью третьих лиц» понимается результат «вредного воздействия факторов производственной деятельности на окружающее промышленный объект население, выражающийся в виде увеличения заболеваемости и смертности».

В качестве количественных оценок уровня экологического риска применяются статистические характеристики (математическое ожидание, медиана, квантиль и др.) вероятностных распределений соответствующих случайных величин.

В работе [23] риск — это ответственность за решения, принятые в условиях неопределенности. В той же работе в разделе «Количественные методы оценки риска» мерой риска считается произведение вероятности реализации аварии и вероятного относительного ущерба, которое трактуется как математическое ожидание ущерба. Вероятность аварии «определяется на основе анализа эксплуатации объекта или технической системы и обработки статистических данных об авариях». Вероятный относительный ущерб определяется «на основе моделирования аварийной ситуации». При этом оценка ущерба при гибели людей выполняется с привлечением «так называемой стоимости жизни», выраженной в денежных единицах. Заметим, что проблема оценки стоимости жизни подробно рассматривается и в работе [24], причем и с моральной точки зрения.

Согласно [25], «риск — количественная мера опасности с учетом ее последствий. Последствия проявления опасности всегда приносят ущерб, который может быть экономическим, социальным, экологическим. Следовательно, оценка риска должна быть связана с оценкой ущерба: чем больше ожидаемый ущерб, тем значительнее риск. Кроме того, риск будет тем больше, чем больше вероятность проявления соответствующей опасности. Поэтому риск может быть определен как произведение вероятности опасности рассматриваемого события или процесса P на магнитуду ожидаемых последствий (ущерба)». Таким образом, понятие «риск» в представлении авторов объединяет два понятия — «вероятность опасности» и «ущерб», а «оценка риска, следовательно, должна быть двумерной».

Последнее утверждение вызывает сомнения, поскольку произведение двух скалярных величин также является скаляром, т.е. одномерной величиной. Дополнительные трудности возникают с мнением авторов, что «важно, чтобы мера ожидаемого ущерба включала в себя все возможные последствия данного события или процесса. Полная мера последствий должна включать в себя различные виды ущерба — социального, экологического, экономического, морального и т. д.», поскольку различные меры ущерба имеют различную размерность, о чем, собственно, авторы и пишут сами: «социальный ущерб обусловлен заболеваниями и гибелью людей, психическими травмами и стрессами, а также различными неудобствами, снижающими качество жизни. Экологический ущерб определяется отрицательными последствиями опасных событий и процессов, вызывающими ухудшение состояния среды обитания. Экономический ущерб характеризуется денежным выражением негативных последствий опасных событий, явлений и процессов». Утверждение о том, что «социальный, экологический и моральный ущербы также могут иметь денежное выражение» весьма полемично.

В недавно вышедшей монографии [26] справедливо отмечено, что «обзор научных работ, посвященных экологическим рискам, показывает, что основным акцентом в них является критический анализ сложившихся подходов и выработка рекомендаций по их совершенствованию, что, конечно же, необходимо». Вместе с тем, главная проблема заключается в том, что отсутствует общепринятая классификация экологических рисков, а также структурирование понятийной базы и системный подход в их анализе. Неоднозначность и логические противоречия присутствуют в таких базовых понятиях как окружающая среда, факторы экологической опасности (причины возникновения экологических рисков), экологические риски, вред и ущерб окружающей среде. В полной мере сказанное относится к аналогичным концептам применительно к Арктике. Без систематизации понятийной базы, включая нормативные документы, вряд ли возможно успешное внедрение методологии экологических рисков в практику природоохранной деятельности.

Поскольку, как пишет автор [26], «в общем виде риск в работах по теории рисков определяется как вероятность проявления конкретного процесса или явления в течение определенного времени или при определенных обстоятельствах», «логично дать следующее определение экологического риска — вероятность получения определенного ущерба в результате проявления фактора экологической опасности или их совокупности по отношению к конкретному объекту оценки». Тем не менее, далее автор под риском понимает средний ущерб как «стоимостное выражение вреда, наносимого окружающей среде или отдельным

ее компонентам, проявлением природных и/или антропогенных факторов экологической опасности за определённый промежуток времени по отношению к конкретному объекту оценки». Вред окружающей среде формулируется автором как «негативное изменение качества окружающей среды или отдельных ее компонентов, вызванное проявлением природных и/или антропогенных факторов экологической опасности, выраженное натуральными показателями», что не вполне согласуется с понятием ущерба (в юридическом смысле). В ряде случаев вред окружающей среды не может быть оценен в стоимостных единицах, особенно, если это касается потери устойчивости биоценозов или, если последствия неблагоприятных воздействий могут сказаться в далеком будущем.

В отчете [27] экологический риск представлен как произведение последствий на меру возможности их возникновения (*likelihood*), причем эта мера может принимать значения больше единицы, в результате чего размерность риска становится не вполне понятной. В работе [28] дается обоснование необходимости вероятностной оценки экологического риска взамен детерминированных оценок, основанных на сравнении спрогнозированной или измеренной концентрации воздействия химических веществ (*exposure concentration, EC*) и безвредной концентрации, поскольку *EC* не учитывает изменчивость концентраций во времени и пространстве, равно как и чувствительность объектов воздействия (*specie sensitivity, SS*). Авторы считают более реалистичной вероятностную оценку экологического риска (*Probabilistic Ecological Risk Assessment, PERA*), полагая *EC* и *SS* случайными величинами, и акцентируют различие между изменчивостью (*variability*), обусловленной случайным характером переменных, и неопределенностью, причиной которой являются ошибки, вызванные неточностью измерений, приближенностью выбранного распределения случайных величин, погрешностями применения лабораторных результатов к реальным условиям и т.п. Под риском понимается вероятность неравенства $EC > SS$.

В современных учебных пособиях (см., например, [29]) преимущество отдается вероятностной трактовке понятия риска: «Риск (*Risk*): 1) статистическое понятие, определяемое как ожидаемая частота или вероятность нежелательных эффектов, возникающих от воздействия данной опасности; 2) вероятность повреждения (травмы), заболевания или смерти при определенных обстоятельствах (условиях). В количественном отношении риск выражается в величинах, колеблющихся от нуля (вред не будет иметь места) до единицы (вред будет иметь место); 3) вероятность того, что неблагоприятный эффект будет иметь место у индивидуума, группы или в экологической системе при воздействии определенной дозы или концентрации опасного агента, то есть он зависит как от степени токсичности опасного аген-

та, так и от уровней воздействия». При этом экологический риск (Ecological risk) понимается как «вероятность развития у растений и животных (кроме человека) неблагоприятных эффектов, обусловленных воздействием факторов окружающей среды». Здесь важно отметить разграничение объектов неблагоприятного воздействия: экологический риск, согласно позиции авторов пособия, относится только к животному миру.

Риск здоровью человека

В пособии «Экологическая безопасность. Экологический риск» Воронежского государственного университета [30] под экологическим риском понимается «вероятность наступления для здоровья человека неблагоприятных последствий». Согласно пособию, с точки зрения количественной оценки понятие «экологический риск» может быть сформулировано как отношение величины возможного ущерба от воздействия вредного экологического фактора за определенный интервал времени к нормированной величине интенсивности этого фактора. Под возможным ущербом, прежде всего, имеется в виду здоровье человека.

В современной трактовке [31] риск (применительно к здоровью) — это вероятность того, что в некоторое время индивид или группа людей или растения, животные или экосистема определенного места получат неблагоприятные последствия в результате воздействия некоторой порции или концентрации опасного реагента. Риск зависит от степени токсичности реагента и от степени воздействия.

Под риском здоровью человека в результате катастрофы в работе [32] понимается символическая формула: опасность, умноженная на разность между уязвимостью и ресурсами, направленными на возмещение урона. Для конкретных оценок авторами предлагается система ранжирования приведенных величин.

Примеры оценки экологического риска

Примером оценки экологического риска для развития ветровой энергетики в штате Монтана (США) может служить работа [33]. В работе подробно рассматриваются проблемы влияния ветровых установок на биоразнообразие (в первую очередь — на эндемические птичьи семейства, семейства перелетных птиц, обитателей болот, животный мир) с учетом интересов энергетических компаний, населения и законодательных ограничений. Кроме того, внимание уделено ландшафтному разнообразию, культурным традициям и вопросам эстетики.

Примером качественного подхода к оценке регионального экологического риска может служить публикация [34]. Схема оценки включала четыре основных этапа: выявление

источника риска (обыкновенная гамбузия, *Gambusia affinis*), выявление объектов риска (endpoints), к которым были отнесены местный пескарь и некоторые другие виды, оценка воздействия на среду обитания объектов риска со стороны гамбузии и, наконец, собственно оценка риска на основе результатов второго и третьего этапов. Для количественного выражения рисков применялись ранговые оценки согласно официальным директивам государственных органов (в первую очередь — директивам USOSTP (United States Office of Science Technology and Policy)). Картографическое отображение распределения рисков выполнялось с помощью ArcGIS 9.2.

Руководства

Как уже отмечалось, методология анализа и управления рисками в процедурном плане достаточно хорошо разработана. Эта методология отражена в официальных руководствах агентств по охране окружающей среды различных стран. Примером оценки экологического риска на основе детерминированного подхода служит руководство Агентства по охране окружающей среды США [35]. Если имеется достаточное количество данных, может быть применен вероятностный подход с использованием распределений воздействия и произведенного эффекта. В простейшей форме оценка риска в вероятностной трактовке представляет собой вероятность превышения RQ единицы. Однако вероятностный анализ может использовать и совместные распределения чувствительности вида и концентрации экологически опасного агента.

По тому же принципу построены руководство Европейского агентства по охране окружающей среды (The European Environment Agency, EEA) [36] и отечественный стандарт [37] (в последнем под риском понимается сочетание вероятности события и его последствий согласно [38]). Руководство по проведению оценки экологического риска в штате Огайо (США) с детальным описанием всех шагов и подготовленными формами для заполнения данными наблюдений, расчетов и анализов, приводится в [39]. Методологической основой оценки экологического риска служат директивы EPA 540-R-97-006 и EPA 630-R-95-002F Агентства по охране окружающей среды США (<http://www.epa.gov>).

В окончательной версии руководства Канады по оценке экологического риска [40] отмечено, что вероятностный подход обеспечивает точность и реалистичность оценок, которые недостижимы для детерминированных методов и, кроме того, позволяет учесть кумулятивный эффект множественных источников неопределенности. В то же время, применение вероятностного подхода следует выполнять в тех случаях, когда это нужно и возможно, по-

скольку цель оценивания рисков состоит в транслировании сложной научной информации в доступном формате лицам, принимающим решения.

Согласно руководству национального государственного органа Ирландии, ответственного за обеспечение безопасности и здоровья населения (The Health and Safety Authority) [41], мера риска базируется на оценках возможности (вероятности, правдоподобности) возникновения ущерба (вреда), уровня опасности (степени воздействия на здоровье) и числа людей, которые могут пострадать в результате воздействия фактора риска. Оценка риска потенциальных угроз входит обязательным требованием к работодателям.

Авторы руководства [42] используют понятие риска как сочетание вероятности (частоты) возникновения некоторой определенной угрозы и величины последствий реализации этой угрозы. В количественном выражении риск — это произведение вероятности на величину последствий (средний ущерб), при этом для вероятности применяется целочисленная шкала от нуля до 5 (через единицу), а величина последствий градуируется (также в целых числах) от нуля до 25 (через 5 единиц). Кроме того, авторы рассматривают возможность уменьшения риска путем применения превентивных мер, при этом уменьшенный риск вычисляется как частное от фактора риска на степень снижения риска (которая также принимает целочисленные значения от 1 до 5 через 1).

Проблемы оценки экологического риска

К недостаткам традиционного подхода Ecological Risk Assessment (ERA) авторы работы [43] относят преимущественную адресацию оценки риска к одному или небольшому числу воздействующих (химических) агентов на ограниченное число объектов воздействия. Предложенный авторами подход оценки экологического риска регионального масштаба (Regional-Scale Risk Assessment) ориентирован на большие территории со значительным числом источников воздействия и множественными объектами воздействия. Подход опирается на модель относительного риска (Relative Risk Model, RRM). Основное отличие предложенного подхода состоит в построении обобщенной карты региона с учетом характеристик (в т.ч. мест обитания животных уязвимостей экосистем) биоресурсов и интересов освоения региона различными техногенными/политическими системами с последующим выделением однородных зон и построением концептуальной модели (conceptual model) региона. Концептуальная модель строится каждый раз исходя из особенностей ситуации в регионе. Относительные риски вычисляются в детерминированной трактовке на основе определенных систем выставления ранговых оценок.

Разработка методологии оценки экологического риска встречается с рядом трудностей, имеющих зачастую, фундаментальный характер. Так, работа [44] посвящена проблемам определения понятия популяции, измеримых характеристик популяции, выявлению влияния воздействий на популяции, масштабирования воздействий и др. в аспекте оценки экологического риска. К перспективным направлениям исследований авторы работы [44] относят развитие прогностических популяционных моделей, методов переноса тестовых результатов для отдельных особей на популяцию, исследования межвидовых эффектов, оценку воздействия множественных источников (в целом и для частных рисков), развитие подходов учета пространственной и временной изменчивости привнесенных факторов воздействия для уточнения масштабов оценки риска и развитие подходов к определению экологической значимости воздействий как на популяции, так и на экоиндикаторы (и соответствующих взаимоотношений).

Авторы работ, посвященных анализу риска распространения инвазивных и патогенных видов [45], обращают внимание на необходимость глубокого изучения, по мере возможности, всей совокупности взаимосвязей многочисленных особенностей, определяющих условия ареалов биоценозов, как основного фактора формирования вероятностей негативного воздействия агрессивных биологических видов. При этом надо еще и уделять внимание состоянию и изменениям гидрометеорологических условий. Авторы также призывают, насколько это возможно, не использовать ранжирование рисков, поскольку ранжирование ведет к определенной потере информации (в частности, на границах градаций рангов).

Ключевой проблемой оценки экологического риска остается определение понятия «негативного последствия», особенно актуальные для условий Арктики. По мнению авторов работы [46], отнесение последствий к негативным в экологическом плане предполагает отношение человека к экологическим изменениям, вовлечение таких понятий как значимость, приоритетность для общества (индивида). Социологический аспект негативности экологических последствий сразу, как правило, выводит понятие экологического риска из строго научной сферы, придавая этому понятию качественный (иными словами, неизмеримый) характер. В частных случаях экологический риск может быть численно определен: так, в работе [46] при решении конкретной задачи под экологическим риском понимается вероятность привнесения экзотических болезней при импорте животных или продуктов животноводства. В общем случае учет гуманитарной составляющей может быть выполнен либо директивным (законодательным) путем, либо на основе достижения договоренностей.

К другой проблеме оценки экологического риска относится конкретизация объекта риска. В работе [46] отмечено, что обычно под объектами экологического риска понимают ту или иную биологическую компоненту окружающей среды (вне сферы деятельности человека), однако остается труднопреодолимым выбор экологической системы для характеристики изменений состояния биосферы.

Третья серьезная проблема определения экологического риска состоит в целевой аудитории, на которую ориентирована оценка риска. Классические антагонисты – «защитники природы» и «потребители природных ресурсов».

В 2007 г. Агентство по охране окружающей среды США опубликовало отчет, в котором был представлен анализ деятельности по оценке экологических рисков и определены пути развития методологической базы [47]. В отчете было отмечено, что развитие практики оценивания экологических рисков возможно путем совершенствования методов и инструментария в направлении более полного охвата физических, биологических и социально-экономических аспектов рассматриваемых проблем для принятия более обоснованных решений. В частности, речь идет о пространственной и временной детализации, учете сложности биологических систем и реакции окружающей среды на воздействия единичных или множественных источников.

Развитие управления экологическими рисками предполагает вовлечение широких слоев общественности, бизнеса, ведение диалога между специалистами по оценке риска, риск-менеджерами и заинтересованными сторонами (в том числе как экологами, так и широкой публики). Принятие управленческих решений на локальном или региональном уровнях должно проводиться с учетом согласования общественных интересов, экономических потребностей и экологических рисков. Следует стремиться к большей специализации при формулировании запросов на оценку экологических рисков, что влечет за собой дополнительные требования к источникам информации, данным, применяемым моделям. Для больших комплексных оценок риска необходима предварительная научная экспертиза уже на стадии постановки задачи. Особое внимание необходимо уделять учету неопределенностей, присущих экологической и другой информации при оценке рисков. Агентство рекомендует итерационные подходы как средство минимизации неопределенности. В отчете [47] сформулировано требование проведения анализа принятых решений для контроля адекватности выданных рекомендаций и выделено особой проблемой проведение мониторинговых наблюдений и исследований как основы для будущих оценок экологического риска.

В отношении вероятностного подхода к оценке экологических рисков Агентство отмечает, что применение аппарата теории вероятностей позволяет успешно решать проблемы учета неопределенностей, (при этом, правда, желательно иметь достаточно репрезентативные выборки). В некоторых случаях, когда данных мало, весьма полезным бывает применение метода Монте-Карло или обоснованно выбранных теоретических распределений (например, распределения Пуассона, Гаусса и др.). Для апостериорных аудитов принятых решений существенную помощь оказывает байесовский подход. Однако, вероятностная терминология и статистические понятия часто бывают плохо воспринимаемы неспециалистами, что накладывает дополнительные требования к интерпретации результатов. О необходимости развития статистически обоснованных методов оценки экологических рисков также говорится в работе [48].

Пути развития

Авторы статьи [49] отметили важную тенденцию в развитии методологии оценки экологического риска, а именно, тенденцию к интеграции методов и подходов к оценке риска. В сферу интеграции попадают расширение анализа взаимосвязей воздействий и производного эффекта, совместное рассмотрение вреда здоровью человека и негативных последствий для экосистем, вовлечение инженерных рисков, которые, хотя и плохо поддаются прогнозу, в ряде случаев могут иметь доминирующую роль для возникновения экологических рисков, совместное рассмотрение множественных видов загрязнения (эффект воздействия которых может быть аддитивным или синергетическим), рассмотрение во взаимодействии загрязнений и других факторов (например, геоморфологических, гидрологических и т.п.), совокупный анализ путей распространения поллютантов, мультипликативный подход к выбору параметров окружающей среды, которые значимы для оценки риска и защиты (endpoints в смысле [50]), мультипликативность реципиентов, совокупная множественность временных и пространственных масштабов с учетом жизненных циклов (например, химической продукции), альтернативность управленческих решений и, наконец, совокупность социальных и экономических потребностей.

В отчете ряда научных комитетов Европейской комиссии, предназначенном для предварительного общественного обсуждения [51], сформулированы основные проблемы и пути развития процедур оценивания рисков. Главный недостаток существующих подходов состоит в невысокой степени реалистичности методов и моделей оценок риска, что влечет значительную неопределенность в оценке последствий различного рода воздействий.

В области экологического риска считаются необходимыми верификация и совместное рассмотрение физических и химических данных, развитие моделей метаболических путей для поляризованных и ионизированных химикатов и металлов, разработку методов оценки воздействий наноматериалов, разработку критериев и протоколов для сравнения данных мониторинга, особенно для продуктов метаболизма и распада, при этом необходима разработка подходов к прогнозированию состояний веществ с кратковременными масштабами существования (часы), разработку более реалистичных прогностических моделей (во времени и по пространству), а также моделей биоаккумуляции химических веществ наземными и водными системами, более подробное описание трофических цепочек. В частности, важное направление — оценка рисков применения генно-модифицированных продуктов [52].

В части анализа последствий воздействий к приоритетными направлениям развития оценивания экологических рисков относятся развитие оценок переменных эффектов в зависимости от разнообразия пространственной и временной концентрации загрязнителей, разработку моделей для изучения уязвимостей водных и наземных экосистем в отношении различных стрессоров, более глубокое изучение взаимодействий экотоксикантов и природных факторов окружающей среды, расширение целостного (trait-based) подхода к оценке экологического риска, разработку моделей оценки неявных последствий воздействия стресс-факторов и, наконец, развитие стохастических методов и моделей как следствие увеличения сложности процедур оценивания.

Учет гидрометеорологических факторов

В методическом руководстве при описании опасностей объектов технического регулирования [53] указано, что «при действии биологических источников риска необходимо учитывать климатические и географические факторы». В руководстве отмечено, что «регламентированию подлежат характеристики, влияющие... на безопасность защищаемых объектов от излучений, биологических воздействий, взрывов, механических воздействий, пожаров, промышленных опасностей, термических воздействий, химических воздействий, поражений электрическим током и электромагнитными полями, ядерного и радиационного влияния».

Представляется очевидным, что гидрометеорологические (в т. ч. и климатические) и географические факторы чрезвычайно важны для перечисленных видов воздействий, поскольку эти факторы могут усиливать/ослаблять эффект антропогенного воздействия (см., например, относительно благополучный исход инцидента в британском секторе Северного моря на нефте- и газодобывающей платформе компании «Тоталь», который привел к утечке

природного газа в 2012 г.), а в ряде случаев могут быть источником возникновения экологических опасностей (ярчайшим примером может служить катастрофа на атомной станции Фукусима как следствие цунами).

В качестве меры риска RAND Corporation в специальном исследовании, связанном с оценкой оборонного потенциала США, использует две величины: вероятность будущей угрозы и степень влияния на состояние обороны США [54]. Примечательно, что, хотя в работе приводятся лишь иллюстративные значения характеристик рисков, для такой опасности как природные катастрофы авторы вне зависимости от выбранной стратегии действий (policy package) приводят одинаковые значения. Другими словами, при любой стратегии действий риск подвергнуться природной катастрофе как вероятное событие с фиксированными последствиями одинаков.

Климат как фактор экологического риска

В статье [55] показано, что климатическое состояние влажности влияет на степень риска развития эпидемий, причем засушливость и переувлажненность по-разному сказывается в различных районах Китая (что, по-видимому, объясняется многочисленными дополнительными факторами). Климат как экологический фактор риска рассматривается в статье [56]. Авторами предложен подход к оценке риска влияния потепления климата на сохранность структур экологических сообществ и отдельных видов для более глубокого понимания экологических проблем, связанных с изменениями климата.

Как отмечено в [57], за прошедший век температура воздуха в Нидерландах увеличилась в соответствии с общемировым ростом температуры, исключая последние десятилетия, в течение которых рост температуры в полтора раза превысил рост среднемировой температуры. Этот эффект обусловлен изменениями доминирующих направлений ветра. Число холодных дней уменьшилось, а число дней с высокой температурой возросло, в частности, в период с 1975 г. Наметился тренд увеличения среднегодового количества осадков (особенно в период с октября по март, в то время как с апреля по сентябрь изменений не наблюдалось), причем увеличилось число случаев интенсивных осадков. Число штормов за 1962–2002 гг. уменьшилось (хотя авторы считают, что период наблюдений недостаточен для строгих выводов), уровень моря вдоль датского побережья вырос в среднем на 20 см.

Эти климатические изменения приводят к наблюдаемым последствиям для природных систем и общества: за последние десятилетия расход воды в Рейне увеличился зимой и уменьшился в летний сезон, повысилась температура речной воды. Эти изменения сказались на состоянии окружающей природной среды Нидерландов: увеличилась миграция рас-

тений и животных в северном направлении, возникли нарушения трофических цепочек. Снижение расхода рейнской воды привела к засолению территории за счет поступления морской воды, что негативно сказалось на плантациях деревьев в центральной части страны, не приспособленных к повышенной солености. Климатические изменения коснулись и системы водного транспорта внутри страны, а также деятельности энергетических компаний. В целом очевидно, что климатические изменения суть факторы экологического риска, что требует тщательного анализа для принятия адаптационных мер.

Изменения климата происходят и в Арктике, которую не случайно называют «кухней мировой погоды».

Сложные природно-климатические условия морской Арктики являются фактором, существенно влияющим на безопасное и экономически выгодное освоение ресурсов шельфа и мореплавания в Арктике

Экстремальные погодно-климатические условия Арктики



Особенностями региона являются:

- экстремальные природно-климатические условия, включая постоянный ледяной покров и дрейфующие льды в арктических морях;
- быстрые климатические изменения;
- низкая устойчивость экологических систем по отношению к антропогенным воздействиям.

Экстремальные погодно-климатические условия арктической зоны создают значительные риски для морского и речного транспорта, для морских добычных платформ и отгрузочных терминалов, портовой инфраструктуры

Рис. 1. Дмитриев В.Г. Гидрометеорологическая безопасность в Арктике. СПб, 2013.

В период глобальных климатических изменений, как никогда становится актуальным функционирование системы климатического мониторинга в арктическом макрорегионе и научно обоснованная оценка экологических рисков при развитии здесь транспортных коммуникаций и других видов социально-экономической активности. Особую сложность представляют собой оценка и анализ неопределенности климатических сценариев и, в частности, верификации таких оценок. По всей видимости, в случае оценки риска с учетом климатиче-

ских изменений предпочтение следует отдать качественным методам оценки с учетом оценки глобального, национального и регионального уровней гидрометеорологической безопасности путём использования самых современных технологий, в т.ч. многоцелевой космической системы «Арктика».

Система наблюдений: многоцелевая космическая система «Арктика»



Важным мероприятием является создание до 2015 г. первой в мире высокоэллиптической гидрометеорологической многоцелевой космической системы (МКС) «Арктика» для мониторинга обстановки в северных полярных районах в интересах обеспечения безопасности трансарктических перелетов, навигации на СМП, хозяйственной деятельности на арктическом шельфе, а также для изучения климата.

Рис. 2. Дмитриев В.Г. Гидрометеорологическая безопасность в Арктике. СПб, 2013.

Социализация оценивания рисков

Социализация процедур оценивания экологических рисков, провозглашенная ООН как базовый принцип [58], инициировала появление новых методов, предназначенных для вовлечения широких слоев населения в процессы экологических оценок. Так, авторы работы [59] предлагают оценивать экологические риски с применением теории Демпстера-Шафера, основанной на использовании функции доверия (belief functions) и функции правдоподобия (plausiblereasoning) [60].

В отчете ряда научных комитетов Европейской комиссии, предназначенном для предварительного общественного обсуждения [61], внимание уделено проблеме использования результатов оценок риска при принятии решений в процессах управления бизнесом и территориями. К важнейшим выводам отчета относятся необходимость повышения реле-

вантности оценок риска (в т. ч. и экологического) в отношении политиков и менеджеров различного уровня, что может быть достигнуто путем расширения диалога между заинтересованными сторонами. Поскольку управленческие решения зачастую приводят к противоречию между пользой здоровью и окружающей среде и финансовыми ограничениями на экономическую деятельность, «релевантность» предполагает включение анализа пользы/стоимости в оценку риска.

Аналогичная проблема возникает в случае сравнения воздействий на различные объекты риска, например, на человека и на экосистемы, которые зачастую бывают несоизмеримы. Для устранения противоречий предлагается в качестве дополнительного критерия включение понятия предпочтения, что также означает необходимость интеграции оценки риска с экономическим (и социальным) анализом. Одним из следствий необходимости учета социальных факторов выступает рекомендация к формированию понятийного аппарата оценивания рисков в доступной для широкой публике форме.

Примерами такого подхода могут служить работы [62; 63]. В последнем документе применяется ранжирование степени тяжести последствий, а также вероятностей возникновения угрозы по трем градациям: высокий, средний и незначительный уровень.

При формировании отчетов по оценке рисков рекомендуется увеличение числа возможных сценарных вариантов, концентрация внимания на популяции и экосистемы в целом, с выделением при необходимости особо чувствительных подгрупп/видов, четкое описание всех неопределенностей и разъяснение неочевидных гипотез.

Дополнительные трудности возникают с распространенными мнениями о том, что «чем больше ожидаемый ущерб, тем значительнее риск» и «риск будет тем больше, чем больше вероятность проявления соответствующей опасности».

На первый взгляд утверждения представляются очевидными, но ожидаемый ущерб может быть оценен только после анализа всех возможных опасностей с учетом вероятностей (частот) их появления и возникновения ущербов вследствие этих опасностей. Например, ожидаемый ущерб может быть одинаков для редких событий (вероятность мала) с большими потерями (ущерб большой) и для частых событий (вероятность велика) с относительно небольшими потерями (ущерб мал). Кроме того, в приведенных выше утверждениях не учитываются адаптивные меры защиты и влияние окружающей среды (в т. ч. и гидрометеорологические факторы).

Персональное отношение к рискам является предметом специальных теоретических исследований (The Value-Belief-Norm Theory) в рамках новой экологической парадигмы (New Ecological Paradigm) [64; 65].

Выводы

Анализ даже небольшого числа публикаций в области оценивания риска позволяет сделать следующие выводы. В настоящее время парадигма «рискового мышления» становится общепринятой нормой. Оценками рисков в различных областях деятельности занимаются крупные коллективы специалистов в государственных и научных организациях. Не вызывает сомнений использование указанных в статье теоретических концепций и методов при оценке экологических рисков в Арктике.

Понятие риска в широком смысле отражает неопределенность относительно принимаемых решений и, следовательно, инвариантно к виду деятельности и процессам. Риск всегда носит априорный, прогностический характер, вследствие чего оценка риска не может быть точной.

Методы решения частных задач оценки рисков могут отличаться для рисков различной природы. К настоящему времени не существует единой теории риска и общепринятой терминологии.

Принципиальная разница в подходах к оценке риска состоит в трактовке риска либо как детерминированной величины (чаще всего, ожидаемого ущерба), либо как случайной величины (вероятностного распределения степени вреда/ущерба).

Дополнительные трудности при определении экологического риска обусловлены теми обстоятельствами, что неоднозначность и логические противоречия присутствуют в таких базовых понятиях как окружающая среда, факторы экологической опасности (причины возникновения экологических рисков), экологические риски, вред и ущерб окружающей среде.

Вероятностный подход к оценке риска наилучшим образом обеспечивает реалистичность оценок, которые недостижимы для детерминированных методов и, кроме того, позволяет учесть кумулятивный эффект множественных источников неопределенности. Однако применение вероятностного подхода требует дополнительных знаний и данных.

В области экологии оценка рисков существенно ограничена недостатком знаний относительно влияния воздействий на объекты риска в части оценки последствий. Требуется системный подход к сбору данных (экологический мониторинг) и разработка более качественных моделей функционирования экологических систем. Такой подход необходимо

осуществлять и при осуществлении контроля рыболовства, сохранения биологического разнообразия арктической среды.

Наиболее развит математический аппарат (актуарная математика) оценки рисков в сфере финансовой деятельности (в первую очередь, в страховом деле). Распространение методов актуарной математики на оценку экологических рисков представляется весьма перспективным.

Гидрометеорологические (в т. ч. и климатические) и географические факторы чрезвычайно важны для различных видов воздействий на окружающую среду, поскольку эти факторы могут быть причиной экологического риска и/или усиливать/ослаблять эффект антропогенного воздействия. Особенно актуален мониторинг изменений климата в Арктике.

Поскольку цель оценивания рисков состоит в транслировании сложной научной информации лицам, принимающим решения, существует необходимость формирования понятного аппарата оценивания рисков, в том числе применительно к Арктике, в доступной для широкой общественности форме.

Литература

1. Sornette D., Maillart T., Kroger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems / Risk Center, Zurich, 2013. <http://arxiv.org/pdf/1207.5674.pdf>.
2. May R. and McLean A. Theoretical Ecology. Principles and Applications / Oxford University Press Inc., New York. 2007. 268 pp.
3. Legendre P., Legendre L. Numerical Ecology. Second English edition / Elsevier Science B.V., Amsterdam, 1998. 853 pp.
4. Gillman, M. An introduction to mathematical models in ecology and evolution: time and space / A John Wiley & Sons, Ltd., 2nd ed. 2009. 167 pp.
5. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 320 с.
6. Авдин В. В. Математическое моделирование экосистем: Учебное пособие / Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. 2004. 80 с.
7. Острейковский В. А. Математическое моделирование техногенного риска от эксплуатации нефтегазового оборудования // Вестник кибернетики. 2012. № 11. С. 71–75.
8. Bieda B. Stochastic Analysis in Production Process and Ecology Under Uncertainty / Berlin, New York: Springer, 2012. 189 pp.
9. Hayes K. R. Uncertainty and Uncertainty Analysis Methods. Final report for the Australian Centre of Excellence for Risk Analysis (ACERA) / CSIRO Division of Mathematics, Informatics and Statistics, Hobart, Australia. 2011. 130 pp.
10. Dutt L. S., Kurian M. Handling of Uncertainty A Survey // International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 1, 2013. Pp. 1–4.
11. Plattner Th., Plapp T. and Hebel B. Integrating public risk perception into formal natural hazard risk assessment // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 471–483, 2006.
12. Vose D. Risk analysis: a quantitative guide / John Wiley & Sons, Ltd. 3rd ed. Chichester, 2008. 729 pp.

13. Van Hauwermeiren M., Vose D. and Vanden B Bossche S. A Compendium of Distributions (second edition). 2012. [ebook].
14. Pastorok R. et al. Role of Ecological Modeling in Risk Assessment // Human and Ecological Risk Assessment: Vol. 9, No. 4, 2003. Pp. 939–972.
15. Sprenger J. Environmental Risk Analysis: Robustness is Essential for Precaution // Philosophy of Science, 79 (5). 2012. Pp. 881–892.
16. Suter II G.W. Ecological Risk Assessment in the United States Environmental Protection Agency: A Historical Overview // Integrated Environmental Assessment and Management. - 2008. Volume 4, Number 3. Pp. 285–289.
17. Fox D. R. and Burgman M. Ecological risk assessment / In Melnick, E. and Everitt, B. (eds), Encyclopedia of Quantitative Risk Assessment and Analysis. Pp 1600–1603. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK. 2008.
18. Pollard S. J. T. Ecological and public health risks: analysis and management / UNESCO Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). 2002. Pp. 219–235.
19. Guidelines for Ecological Risk Assessment. United States Environmental Protection Agency. EPA/630/R-95/002F. 1998. <http://www.epa.gov/raf/publications/pdfs/ECOTXTBX.PDF>.
20. Rak A. et al. A guide to screening level ecological risk assessment / TSERAWG TG-090801. 2008. 26 pp.
21. Guidance for Assessing Ecological Risks Posed by Chemicals: Screening Level Ecological Risk Assessment. HWB Guidance Document. Revision 2.0 / New Mexico Environment Department Hazardous Waste Bureau. 2008. 116 pp.
22. Хохлов Н. В. Управление риском / М.: 2001. 239 с.
23. Яковлев В. В. Экологическая безопасность, оценка риска / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, СПб.: 2007. 399 с.
24. Bowen C. Taming the Leviathan A New Approach to Risk for the Military Leader. 2012. <http://ssrn.com/abstract=2182321>.
25. Ваганов П. А., Ман-Сунг Им. Экологические риски: учеб. пособие. Изд-е 2-е. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. 152 с.
26. Шмаль А. Г. Факторы экологической опасности и экологические риски / Издательство: МП «ИКЦ БНТВ», 2010 г., г. Бронницы, 192 с.
27. Nel D. C., et al. Ecological Risk Assessment: A Tool for Implementing an Ecosystem Approach for Southern African Fisheries / WWF South Africa Report Series. 2007. 225 pp.
28. Verdonck F. A. M. et al. Probabilistic ecological risk assessment framework for chemical substances / Proceedings International Conference on Integrated Assessment and Decision Support (iEMSS2002, Lugano, Italy, June 24–27, Vol. 1, 2002. P. 144–149.
29. Ширкин Л. А., Трифонова Т. А. Техногенные системы и экологический риск : учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. 79 с.
30. Экологическая безопасность. Экологический риск / Пособие по специальности 011600 «Биология», 511100 «Экология и природопользование». Воронеж, 2003. 32 с.
31. Environmental Health Risk Assessment – Guidelines for assessing human health risks from environmental hazards / Environmental Health Committee (enHealth), Canberra. 2012. 131 pp. URL: [http://www.health.gov.au/internet/main/Publishing.nsf/Content/804F8795BABFB1C7CA256F1900045479/\\$File/DoHA-EHRA-120910.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/Publishing.nsf/Content/804F8795BABFB1C7CA256F1900045479/$File/DoHA-EHRA-120910.pdf).
32. Shoaf I. K. et al. Hazard Risk Assessment Instrument / UCLA Center for Public Health and Disasters. 2006. 89 pp.
33. Martin B., Pearson A., Bauer B. An Ecological Risk Assessment of Wind Energy Development in Montana / The Nature Conservancy Helena, Montana. 2009. 57 pp.

34. Schleier III J., Sharlene E. Sing S. and Peterson R. Regional ecological risk assessment for the introduction of *Gambusia affinis* (western mosquitofish) into Montana watersheds // *Biol Invasions*. 2008. 10. Pp. 1277–1287.
35. Guidance for Ecological Risk Assessment: Levels I, II, III, IV. Final / Oregon Department of Environmental Quality. 1998. 88 pp.
36. Fairman R. et al. Environmental Risk Assessment – Approaches, Experiences and Information Sources: Environmental issues report No 4. / Prepared at Monitoring and Assessment Research Centre, King's College, London. EEA (European Environment Agency) Copenhagen, Denmark. 1999–2011. URL: <http://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C2/riskindex.html>
37. ГОСТ Р 14.09–2005 Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента / М.: Стандартинформ, 2010. 41 с.
38. ГОСТ Р 51897–2002 Менеджмент риска. Термины и определения / М.: Госстандарт России. 2002. 12 с.
39. Guidance for Conducting Ecological Risk Assessments / State of Ohio Environmental Protection Agency Division of Environmental Response and Revitalization. Lazarus Government Center. - Columbus, 2008. 130 pp.
40. Ecological Risk Assessment Guidance. Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP) / Azimuth Consulting Group Inc., Vancouver. 2012 215 pp.
41. Guidelines on Risk Assessments and Safety Statements / The Health and Safety Authority. 2006, Dublin. 38 pp.
42. Pollard S., Purchase D. and Herbert S. A Practical Guide to Environmental Risk Assessment for Waste Management Facilities. Guidance Note 25. Version: 2 / National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, Environment Agency. London. 2000. 80 pp.
43. O'Brien G. and Wepener V. Regional-scale risk assessment methodology using the Relative Risk Model (RRM) for surface freshwater aquatic ecosystems in South Africa // *Water SA*. Vol. 38, No. 2. 2012. Pp. 153–165.
44. Munns W.R. and Jr. Mitro M.G. Assessing risks to populations at Superfund and RCRA sites characterizing effects on populations / EPA/600/R-06/038. ERASC-006. 2006. 88 pp.
45. Woodbury P. and Weinstein D. Review of Methods for Developing Regional Probabilistic Risk Assessments, Part 2: Modeling Invasive Plant, Insect, and Pathogen Species. In: Pye J.M., Rauscher H.M, Sands Y., Lee D.C., Beatty J.S. Advances in threat assessment and their application to forest and rangeland management. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-802. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest and Southern Research Stations. 708 p. 2 vol. 2010. - Pp. 521–538.
46. Molak V. (ed.). Fundamentals of risk analysis and risk management / CRC Press, Inc. Boca Raton, New York, London, Tokyo. 1997. 451 pp.
47. Dale V., Meyer J. Advice to EPA on Advancing the Science and Application of Ecological Risk Assessment in Environmental Decision Making: A Report of the U.S. EPA Science Advisory Board / U.S. Environmental Protection Agency, Office of the Administrator, Science Advisory Board, 2007. 163 pp.
48. Janssen C. Putting ecological realism in environmental risk assessment // Report on 14th Annual CEFIC-LRI Workshop «Evolution or Revolution – Research priorities for future risk assessment». Brussels, 14–15 November 2012.
49. Suter II, Glenn W., Munns, Wayne R. and Sekizawa. Types of Integration in Risk Assessment and Management, And Why They Are Needed // *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9:1. Pp. 273–279.

50. Checkai R.T. et al. Selection of Assessment and Measurement Endpoints for Ecological Risk Assessment // U.S. Army biological technical assistance group. Report # SFIM-AEC-ER-TR-2002018. 2002. 9 pp.
51. Addressing the New Challenges for Risk Assessment / SCENIHR, SCCS, SCHER. European Commission: Directorate D: Public Health Systems and Products. 2012. 154 pp.
52. Review of current practices of environmental risk assessment within EFSA. Technicalreport/ European Food Safety Authority. 2011. 39 pp.
53. Методические рекомендации по разработке и подготовке к принятию проектов технических регламентов / М.: Минэнерго РФ, 2006. 204 с.
54. Frank C., et al. Managing risk in USAF force planning / RAND Corporation, United States Air Force under Contract FA7014-06-C-0001. 2009. 15 pp. <http://www.rand.org>.
55. Xu L. et al. Nonlinear effect of climate on plague during the third pandemic in China // PNAS. 2011. 6 pp. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1019486108.
56. Zhou Y. et al. A New Approach to Ecological Risk Assessment: Simulating Effects of Global Warming on Complex Ecological Networks // Unifying Themes in Complex Systems. 2011. Pp. 342–350.
57. Dessai S. and Sluijs J. van der. Uncertainty and Climate Change Adaptation - a Scoping Study / Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Department of Science Technology and Society. Report NWS-E-2007-198. Utrecht. 2007. 97 pp.
58. Abaza H., Bisset R., Sadler B. Environmental impact assessment and strategic environmental assessment: towards an integrated approach / United Nations Environment Programme, Geneva. - 2004. 263 pp.
59. Aramă M. et al. Advantages of new ecological impact and risk assessment models // U. P. B. Sci. Bull. Series D, Vol. 72, Iss.3, 2010. Pp. 213–222.
60. Yager R., Kacprzyk J. and Fedrizzi M. Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evidence / Wiley, 1994. 608 pp.
61. Improvement of Risk Assessment in View of the Needs of Risk Managers and Policy Makers / SCENIHR, SCCS, SCHER. European Commission: Directorate D: Public Health Systems and Products. 2012. 75 pp.
62. Benson S. Mainstreaming Disaster Risk Reduction into Development: Challenges and Experience in the Philippines / Geneva, Provention Consortium. 2009. 60 pp.
63. A Risk Management Standard / AIRMIC, ALARM, IRM: 2002. 14 p.
64. Slimak M. W., Dietz T. Personal Values, Beliefs, and Ecological Risk Perception // Risk Analysis, Vol. 26, No. 6, 2006. Pp. 1689–1705.
65. Dunlap R. E. The New Environmental Paradigm Scale: From Marginality to Worldwide Use // The Journal of Environmental Education. Volume 40, Issue 1, 2008. Pp. 3–18.

*Рецензент — Шрага Моисей Хаймович,
доктор медицинских наук, профессор*

