**Введение**

|  |  |
| --- | --- |
|

|  |
| --- |
|   |

  |

Наука о риске сформировалась в последней четверти XX в., и она безусловно будет одной из ведущих в новом столетии. Причина этого — в том месте, которое заняли связанные с риском проблемы. Важнейшая особенность науки о риске — ее междисциплинарный характер с теснейшим взаимодействием естественных и гуманитарных наук.

В индустриально развитых странах постоянно растет финансирование научных исследований в области анализа и оценки риска. Например, в химической промышленности США на решение проблем риска ассигнуется сейчас 25–30% средств на научные разработки, а в фармакологии — более 50%. За рубежом сформировался круг специалистов нового типа — экспертов риска, которые, по мнению социологов, будут составлять новую элитную прослойку постиндустриального общества.

К сожалению, нельзя сказать, что в России наука о риске получила необходимое развитие. В бывшем Советском Союзе этой науки практически не существовало. Такие категории, как допустимый или приемлемый риск, или такие процессы, как регулирование риска, не рассматривались. Термина “риск” нет ни в последних изданиях Большой советской энциклопедии и Советского энциклопедического словаря, ни в Философской энциклопедии, ни в изданном в 1987 г. словаре «Научно-технический прогресс».

Развитие новых технологий, увеличение объемов промышленного и сельскохозяйственного производства, расширение сети транспортных систем и систем передачи энергии и энергоносителей сопровождаются ростом техногенной нагрузки на биосферу. Следствием этого являются все чаще возникающие чрезвычайные ситуации, аварии и катастрофы, характеризующиеся значительными материальными, социальными и экологическими последствиями. При этом, как показали события последних десятилетий, реализуются считавшиеся ранее весьма маловероятными крупные аварии и катастрофы на таких объектах высокой технологии, как атомные электростанции, химические комбинаты, нефте- и газопроводы и т.д. Стала очевидной необходимость в разработке новых подходов к обеспечению безопасности людей и природной среды. Именно поэтому в странах с развитой экономикой сформировалась новая отрасль знания  анализ экологических рисков и управление ими. Естественно, что актуальной стала подготовка специалистов, которые могут квалифицированно заниматься исследованием рисков. Основная задача таких специалистов (иногда их называют риск-менеджерами) — вырабатывать для лиц, ответственных за принятие решений, рекомендации по эффективным мерам управления рисками.

**РИСК И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК**

**Определения риска**

Прежде чем оценивать риск, надо определить сам термин “риск”, однако на этом пути встречаются трудности. Дело в том, что в литературе используются противоречащие друг другу определения. Нередко термин “риск” употребляется как тождественный термину “опасность”, можно привести целый ряд примеров определений типа “риск — опасность будущего ущерба или “риск — это опасность возникновения неблагоприятных последствий рассматриваемого события”. Другая тенденция в определении риска состоит в том, что под риском подразумевают возможность или вероятность неблагоприятного события или процесса. Например, в словаре «Webster» риск определяется как “опасность, возможность убытка или ущерба»; французский энциклопедический словарь «Grand Larousse» определяет риск как “возможность или вероятность факта или события, рассматриваемого как некое зло или некий ущерб”. Даже в выпущенной в 1994 г. «Энциклопедии окружающей среды» можно прочесть: “риск представляет собой шанс того, что может случиться нечто нежелательное”. По-видимому, эта тенденция в определении риска унаследована из гражданского права, точнее — из практики страхования, где под риском понимают вероятность (шанс) наступления нежелательных последствий. В опубликованной в 1993 г. монографии У. Хэлленбека, посвященной проблемам количественного оценивания экологического риска и риска профессиональных заболеваний, термин “риск” рассматривается как синоним терминов “вероятность” и “частота”.

Еще не сложились представления о риске, связанном с проявлением конкретных природных процессов. Так, до настоящего времени отсутствует единая методология оценки риска геологических процессов. При оценивании риска от воздействия землетрясений рассматриваются различные виды ущерба на конкретных объектах, а значения суммарного ущерба считаются случайными величинами. При этом сейсмический риск определяется вероятностными функциями распределения этих величин, заключенными в определенных интервалах времени. В то же время геологический и геохимический риски определяются как “вероятности активизации и проявления природных или техногенных геологических процессов на определенной территории”. Так называемый эколого-геоморфологический риск определяется как “степень вероятности совокупного проявления опасных и катастрофических процессов рельефообразования за опре-деленный интервал времени, влекущих за собой экологические последствия”. В терминах вероятности определяет геологический риск Е.С. Дзекцер, предлагая использовать в качестве общего выражения для оценки риска формулу полной вероятности.

Обзор научных публикаций показывает, что все большее распространение получает такой подход к определению риска неблагоприятного события, который учитывает не только вероятность этого события, но также все его возможные последствия. Вероятность события или процесса здесь выступает одним из компонентов риска, а мера последствий (ущерба) — другим. Такое двумерное определение риска используется при *количественном* оценивании риска.

Однако существует и иной подход к определению риска — многомерный. Он основан на многочисленных факторах, ответственных за восприятие риска и влияющих на принятие связанных с риском решений. Эти факторы, выявленные психологами, имеют качественный характер. Чтобы сравнивать степени проявления этих факторов, им приписывают условные единицы (например, по пятибалльной системе: если данный фактор считается очень сильным, то его “вес” принимают за 5, а если очень слабым, то за 1). После этого все “веса” суммируются, в этом заключается сущность так называемого психометрического подхода к риску, использующего его многомерное определение. Многомерное определение носит *качественный* характер, оно полезно при выявлении приоритетов людей в их отношении к совокупности опасных событий или процессов.

**Опасность и риск**

Рассмотрим простой пример, иллюстрирующий различие между опасностью и риском. Вождение автомобиля — это опасность, ее можно выразить с помощью той доли, которую составляет гибель людей в автомобильных авариях в общем количестве смертей, фиксируемых ежегодно в определенной стране. Так, в США шанс среднего американца погибнуть за рулем составляет примерно 3% от числа всевозможных случающихся там смертей. Следовательно, американец, садясь за руль своей машины, подвергается опасности, а риск здесь — не только в том, что он может попасть в те самые три процента, которые статистическое ведомство США подсчитает к концу текущего года. Надо еще учесть ущерб, связанный с аварийным состоянием автомобиля, потери страховой компании, расходы на похороны, моральный ущерб родственников и т. д. Риск выступает здесь количественной мерой, учитывающей не только вероятность опасности, но и конкретизированные последствия ее проявления.

Опасность — это угроза людям и всему тому, что представляет для них ценность. Опасность является вероятностной категорией, которая может меняться в пространстве и во времени. Под характеристикой опасности, связанной с конкретным событием или процессом, следует понимать вероятность проявления этого события или процесса в данном месте и в заданное время. Опасности различных событий или процессов сопоставляют путем усреднения вероятностей их проявления по пространственным и временным параметрам.

В ряде случаев пространственную и временную зависимости вероятности проявления опасности можно рассматривать отдельно друг от друга. Тогда, в соответствии с теоремой умножения вероятностей, вероятность опасности *P* можно представить в виде произведения:

 *P* = *PS*×*PT*, (1.1)

где *PS* и *PT* — соответственно вероятности опасности, зависящие от пространственных и временных характеристик.

В других случаях опасность проявляется в определенных обстоятельствах, при осуществлении совокупности некоторых событий *S*1, *S*2, ... , *Sn*. Тогда ее вероятность может быть выражена с помощью формулы полной вероятности:

 *P* = (*G*/*Si*)×*P*(*Si*), (1.2)

где *P*(*G*/*Si*) — условная вероятность опасности *G*, т. е. вероятность, проявляющаяся при условии совершения некоторого события *Si*; *P*(*Si*) — вероятность этого события.

Итак, риск, в отличие от опасности, нельзя рассматривать в отрыве от возможных последствий проявления данной опасности. *Риск — количественная мера опасности с учетом ее последствий.* Последствия проявления опасности всегда приносят ущерб, который может быть экономическим, социальным, экологическим и т. д. 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 *R* может быть определен как произведение вероятности опасности рассматриваемого события или процесса *P* на магнитуду ожидаемых последствий (ущерба) *Q*:

 *R* = *P* · *Q* . (1.3)

Таким образом, понятие “риск” объединяет два понятия — “вероятность опасности” и “ущерб”.

**Разновидности риска**

В современной научной литературерассматривается несколькоразновидностей риска, каждая из которых имеет свои особенности. По мнению Рао Коллуру, имеются пять таких разновидностей [24]:

риски, угрожающие безопасности (safety risks);

риски, угрожающие здоровью (health risks);

риски, угрожающие состоянию среды обитания (environmental risks);

риски, угрожающие общественному благосостоянию (public welfare/goodwill risks);

финансовые риски (financial risks).

Риски, угрожающие безопасности, обычно характеризуются малыми вероятностями, но тяжелыми последствиями; они проявляются быстро, к ним, в частности, могут быть отнесены несчастные случаи на производстве. Риски, угрожающие здоровью, напротив, обладают довольно высокой вероятностью и часто не имеют тяжелых последствий, многие из них проявляются с определенной задержкой. Под рисками угрозы состоянию среды обитания Рао Коллуру понимает бесчисленное количество эффектов, мириады взаимодействий между популяциями, сообществами, экосистемами на микро- и макроуровнях, при наличии весьма существенных неопределенностей как в самих эффектах, так и в их причинах. Риски, угрожающие общественному благосостоянию, обусловлены тем, как общество воспринимает и оценивает деятельность данного объекта (промышленного, сельскохозяйственного, военного и т.д.), в какой степени эта деятельность связана с рациональным использованием природных ресурсов, как она отражается на состоянии окружающей среды; негативное восприятие деятельности рассматриваемого объекта проявляется быстро и оказывается устойчивым. Финансовые риски связаны с возможными потерями собственности или доходов, неполучением страховой премии или прибыли от инвестиций (включая инвестиции в природоохранные мероприятия).

По-видимому, распределение рисков по перечисленным разновидностям является условным. Очень часто риски, сопряженные с угрозой состоянию среды обитания, одновременно являются рисками для жизни и здоровью людей.

Власта Молак полагает, что к настоящему времени сформировались шесть типов анализа риска [29], они обладают следующими особенностями.

*Анализ химического риска* охватывает риски, вызываемые неканцерогенными химическими веществами. Характерная черта химических рисков состоит в том, что они проявляются лишь в тех случаях, когда доза токсиканта превзойдет определенную величину, называемой пороговой. Цель этого анализа — найти значения предельно допустимых концентраций токсических веществ в воде, воздухе и почвах, для чего служат эксперименты, проводимые на животных.

*Анализ канцерогенного риска* рассматривается отдельно от других типов в силу важности и необходимости частого использования. Развитие злокачественных образований (раковых опухолей) может быть вызвано химическими веществами (канцерогенами) или ионизирующими излучениями. Канцерогенное действие ионизирующих излучений считается беспороговым. Анализ канцерогенных рисков основан на использовании вероятностно-статистических представлений.

*Эпидемиологический анализ риска* призван установить корреляции (статистические зависимости) и причинные связи между свойствами источников риска и количеством индуцированных заболеваний. Этот тип анализа выполняется, как правило, при исследовании профзаболеваний людей, но из-за нехватки данных допускает экстраполяцию результатов, получаемых в процессе опытов с животными.

*Вероятностный анализ риска* предназначен для того, чтобы обеспечить безопасность сложных и потенциально опасных технологических процессов, прежде исторически первым типом анализа риска, после проведенных в США сложных расчетов вероятностей всевозможных аварий на реакторах атомных электростанций. Важная особенность этого типа анализа заключается в использовании так называемого метода деревьев, учитывающего все возможные отказы оборудования, технологических узлов и крупных блоков, причем каждый отказ характеризуется собственной вероятностью. Это позволяет не только рассчитать вероятности сложных событий, но и оценить их конкретные последствия (например, выброс в атмосферу определенного токсиканта или радионуклида).

*Апостериорный анализ риска*, в сферу которого входят как природные катастрофы (землетрясения, наводнения, оползни и т.д.), так и сопряженная с опасностью деятельность людей (аварии на транспорте, острые отравления пестицидами, заболевания раком в результате курения и т.п.). Термин “апостериор-ный” означает, что данный тип анализа использует результаты статистической обработки проявлений опасных событий и процессов в прошлом.

*Качественный анализ риска* приходится использовать в тех случаях, когда количественное рассмотрение опасного события или процесса оказывается практически невозможным. Например, очень трудно оценить количественным образом риски, обусловленные кислотными дождями или глобальным изменением климата.

Все перечисленные виды анализа риска имеют непосредственное отношение к *экологическим* рискам, под которыми следует понимать совокупность рисков, угрожающих здоровью и жизни людей, и рисков угрозы состоянию среды обитания

**Особенности экологического риска**

Агентство по защите окружающей среды США рассматривает экологические риски (ecological risks) отдельно от рисков, угрожающих здоровью людей (health risks). По мнению экспертов Агентства, в начале 1990-х годов самыми серьезными экологическими рисками были следующие:

глобальное изменение климата;

обеднение озонового слоя в стратосфере;

изменение компонентов среды обитания;

гибель популяций и потери в биологическом разнообразии.

Те же эксперты указали в качестве наиболее серьезных перечисленные ниже риски угрозы здоровью людей:

загрязнение атмосферного воздуха (газами, аэрозолями);

накопление радиоактивного газа радона в помещениях;

загрязнение воздуха в помещениях;

загрязнение питьевой воды;

присутствие химических загрязнителей (токсикантов) на рабочих местах;

загрязнение почв и вод пестицидами;

обеднение озонового слоя в стратосфере.

Сопоставление этих перечней показывает, что разделение рисков на экологические и риски угрозы здоровью является условным и неоднозначным. Видно, что при этом обеднение озонового слоя приходится включать в оба списка. Распространение пестицидов приняло такие масштабы (их следы обнаружены даже в тканях обитающих в Антарктиде пингвинов), что вызываемый пестицидами риск следует считать не только риском угрозы здоровью, но и экологическим. То же можно сказать и о загрязнении воздуха и воды, которое наблюдается повсеместно.

При проведении социологических опросов, направленных на выявление приоритетов в обеспокоенности людей состоянием среды обитания, экологические риски не отделяют от рисков, угрожающих здоровью. Ниже в виде ранжированного по значимости позиций списка приводятся результаты такого опроса, выполненного в 1990 г. в США (перечислены первые 20 рисков из длинного перечня; в скобках указан процент опрошенных, классифицировавших соответствующий экологический риск как “очень серьезный”).

1. Действующие полигоны захоронения опасных отходов (67%).

2. Недействующие (старые) полигоны захоронения опасных отходов (65%).

3. Загрязнение воды стоками промышленных предприятий (63%).

4. Химические токсиканты на рабочих местах (63%).

5. Разливы нефти и нефтепродуктов (60%).

6. Разрушение озонового слоя (60%).

7. Аварии на атомных электростанциях (60%).

8. Аварии в промышленности, приводящие к выбросам загрязнителей (58%).

9. Излучение от радиоактивных отходов (58%).

10. Загрязнение воздуха промышленными предприятиями (56%).

11. Утечки из подземных хранилищ нефтепродуктов (55%).

12. Загрязнение прибрежных вод (54%).

13. Твердые отходы и мусор (53%).

14. Риск от пестицидов для фермеров (52%).

15. Загрязнение воды стоками сельскохозяйственных предприятий (51%).

16. Загрязнение воды очистными сооружениями (50%).

17. Загрязнение воздуха транспортными средствами (50%).

18. Остаточные пестициды в пищевых продуктах (49%).

19. Парниковый эффект (48%).

20. Загрязнение питьевой воды (46%).

Сравнение этого перечня с приведенными выше мнениями экспертов показывает, что простые люди и специалисты по-разному оценивают важность того или иного экологического риска. Так, опрос общественного мнения не выявил повышенной обеспокоенности ни глобальным изменением климата, ни воздействием радиоактивного газа (радона), ни сокращением биологического разнообразия. Эксперты и неспециалисты расходятся в оценках серьезности риска, вызываемого постоянно возрастающим количеством полигонов захоронения опасных отходов. Подобные различия отчасти обусловлены различием в информированности экспертов и обывателей, однако специальные исследования выявили и ряд иных причин. Оказалось, что весьма существенными являются факторы и механизмы восприятия риска, которые рассматриваются в главе 3 настоящего учебного пособия.

В 1994 г. несколько международных организаций — Программа ООН по окружающей среде (UNEP), Организация объединенных наций по промышленному развитию (UNIDO), Международное агентство по атомной энергии (IAEA) и Всемирная организация здравоохранения (WHO) — разработали рекомендации по оценке и управлению рисками, связанными с угрозами здоровью людей и состоянию среды обитания в результате действия энергетических и промышленных комплексов. В состав этих рекомендаций входят основные признаки экологических рисков, связанных с угрозами здоровью и жизни людей и состоянию среды обитания, они перечислены в табл. 1.1.

Таблица 1. Основные признаки экологических рисков, связанных с угрозой здоровью людей и состоянию среды обитания

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Категории** | **Для людей** | **Для среды обитания** |
| Характер действия источника риска | НепрерывныйРазовый (аварийный) | НепрерывныйРазовый (аварийный) |
| Контингент (группы) риска | Население данной местностиПерсонал предприятия |  |
| Продолжительность действия | КратковременноеСредней длительностиДлительное | КратковременноеСредней длительностиДлительное |
| Последствия | По степени тяжести:фатальные (риск смерти),нефатальные (риск травмы болезни и т.п.)По времени проявления:немедленныеотдаленные | По распространению:ЛокальныеРегиональныеГлобальныеПо продолжительности:Кратковременныесредней длительностидлительные |

Таблица показывает, что экологические риски, связанные с угрозой здоровью и жизни людей, с одной стороны, и с угрозой состоянию среды обитания, с другой, характеризуются как одинаковыми, так и различными признаками. И те и другие риски могут происходить от источников непрерывного или разового действия. К источникам непрерывного действия относятся вредные выбросы от стационарных установок, а также от транспортных систем. К ним же следует отнести результаты использования в сельском хозяйстве удобрений, инсектицидов и гербицидов. Непрерывными поставщиками загрязнителей в среду обитания являются места сосредоточения промышленных и бытовых отходов (отвалы пород вблизи угольных шахт, хвостохранилища горно-металлургических предприятий, городские свалки и т.п.). Разовыми источниками являются аварийные выбросы вредных веществ в результате взрывов или других аварийных ситуаций на промышленных объектах, а также серьезные дорожно-транспортные происшествия при перевозке ядовитых веществ. Причинами разовых выбросов могут быть, разумеется, и природные катастрофы (землетрясения и оползни, бури и ураганы, наводнения и вулканические извержения).

Независимо от характера действия источника опасности, результатом ее проявления последней выступает ущерб, который наносится и людям и окружающей среде. Это требует одновременного рассмотрения обоих видов экологического риска. Вместе с тем, во многих случаях экологические риски, связанные с угрозой здоровью и жизни людей необходимо рассматривать отдельно от рисков, обусловленные угрозой состоянию среды обитания.

**УПРАВЛЕНИЕ  ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ  РИСКАМИ**

Люди управляют риском уже около четырех тысячелетий. Известно, что примерно 3900 лет назад в древней Месопотамии уже проводилось страхование имущества. В своде законов царя Хамураппи, датируемым 1950 г. до нашей эры, были записаны правила  выдачи  ссуд  под  залог  корабля, которые  предусматривали страховой риск и выплату соответствующей суммы в случае гибели судна и потери его груза. Этот вид страхования был развит позже в Древней Греции. Первый страховой полис, страховавший человеческую жизнь, появился много позже — в 1583 г. в Англии.

Первым законодательным актом, нацеленным на снижение экологического риска, можно считать указ английского короля Эдуарда I, подписанный им более семисот лет назад, в 1285 г. Этот указ запрещал сжигать в печах, служивших для обжига и сушки кирпича, так называемый “мягкий” уголь, в котором много загрязняющих воздух примесей.

Для процессов управления экологическим риском важное значение имеют результаты исследования его восприятия. Выявленные приоритеты в обеспокоенности общества состоянием окружающей среды должны быть учтены при подготовке необходимых экологических мероприятий. Предотвращение риска или его снижение должны принимать во внимание не только количественные, но и качественные характеристики риска, которые обусловлены различными факторами и механизмами восприятия риска. Данные по исследованию восприятия риска существенны для адекватной коммуникации риска, поэтому вовлеченные в процесс управления риском менеджеры должны быть заинтересованы в расширении использования таких данных.

С целью предотвращения или уменьшения риска разрабатываются многочисленные и разнообразные документы, сферы действия которых могут ограничиваться каким-нибудь одним предприятием, а могут распространяться и на всю страну. К таким документам относятся законодательные акты и нормативы, направленные на охрану здоровья, улучшение условий труда, снижение загрязнения среды обитания, обеспечение безопасности на дорогах, стандартизацию качества продаваемых товаров и т.д. Всем известная надпись на сигаретных пачках «Минздрав предупреждает: курение опасно для вашего здоровья» представляет собой пример простейшей меры по снижению риска.

В последние годы определилась тенденция регулировать экологический риск законодательным путем, причем на самых высоких уровнях. Так, в 1995 г. Конгресс США постановил, чтобы все будущие законодательные акты в области здравоохранения и экологической безопасности основывались на таких научных данных, которые, во-первых, содержат оценки соответствующих рисков, и в которых, во-вторых, сочетаются эффективные меры снижения рисков с лежащими в разумных пределах затратами [25].

**Допустимые и пренебрежимые риски угрозы здоровью**

Использование в законодательстве параметров риска требует точного количественного определения двух важнейших понятий — *максимально допустимого риска и пренебрежимо малого* (безусловно приемлемого) *риска*. Риск признается пренебрежимым, если его уровень в силу своей малости не может быть надежно выявлен на фоне уже имеющихся рисков. В большинстве стран Западной Европы индивидуальный риск, которому подвергается население (а не работающий на производстве персонал), считается пренебрежимым, если его уровень не превышает величину 10-6 за год. Исключение составляют Нидерланды, где значение 10-6 в год считается максимально допустимым риском, а пренебрежимый риск зафиксирован на уровне 10-8 год-1. В США индивидуальный допустимый риск, составляющий 10-6, установлен не для одного года, а для всей жизни человека, средняя продолжительность которой принимается равной 70 годам. Следовательно, ежегодный индивидуальный допустимый риск составляет в США величину, равную 10-6/70 = 1,43×10-8 год-1.

Следует отметить, что приведенные значения индивидуального риска являются теоретическими. Практические значения допустимых индивидуальных рисков могут быть гораздо выше. Например, Верховный Суд США установил нижний предел *значимого* индивидуального риска, обусловленного присутствием в окружающей среде канцерогенов, равным величине 1·10–3. Следовательно, в данном случае незначимым надлежит считать любой индивидуальный риск меньше 1·10–3. Согласно нормативам Агентства США по окружающей среде, допустимый (приемлемый) риск от веществ с канцерогенными свойствами лежит в интервале от 10–4 до 10–6 [24].

Верхняя граница допустимого риска (максимально допустимый риск) различна у населения и персонала, работающего во вредных условиях. В России максимально допустимый индивидуальный риск для техногенного облучения лиц из персонала принят равным 1,0×10-3 за год, а для населения — 5,0×10-5 за год (последняя величина в 50 раз превышает уровень пренебрежимого риска, который в Российской Федерации принят равным 10-6  за год).

Рис. 1. Индивидуальный риск смерти, отнесенный к одному году

(по статистическим данным Англии).

Сплошная кривая — для мужчин, штриховая — для женщин. Горизонтальные линии указывают средний риск смерти в результате: *1* — загрязнения воздуха; *2* — транспортной аварии; *3* — удара молнии. Заштрихована область между уровнями приемлемого (*А*) и недопустимого (*Б*) рисков.

На рис. 1 представлены уровни недопустимого (10–3) и допустимого (10–6) рисков вместе с возрастной зависимостью индивидуального риска смерти, отнесенного к одному году жизни.

Эта зависимость отражает статистические данные по населению Англии, значения недопустимого и допустимого рисков усреднены по возрастам и считаются и одинаковыми для мужчин и женщин. На этом же рисунке показаны уровни аналогичным образом усредненные значения индивидуальных рисков смерти в результате загрязнения воздуха, транспортной аварии и удара молнии.

На рис. 2 показано, как зависят установленные правительством Нидерландов предельные значения социального риска от числа возможных жертв в результате техногенных аварий. Напомним, что социальный риск выражается величиной *f* — отнесенной к одному году частотой таких аварий на одном объекте, количество жертв которых не превышает значение *N*.



Рис. 2. Уровни предельно допустимого и пренебрежимого рисков, принятые в Нидерландах.

График относится к социальному риску, а левая вертикальная ось — к индивидуальному; все значения отнесены к одному году.

Значения допустимого риска используются в качестве критериев в процессе управления экологическими рисками. Цель этого процесса — снизить уровень риска до приемлемого. На рис.3 представлены стадии процесса управления риском.

Рис. 3. Схема процесса управления риском



Процесс управления риском базируется на результатах количественного оценивания риска, которое позволяет

·      сопоставлять альтернативные проекты потенциально опасных объектов и технологий

·      выявлять наиболее опасные факторы риска, действующие на данном объекте

·      создавать базы данных и базы знаний для экспертных систем поддержки принятия технических решений и разработки нормативных документов

·      определять приоритетные направления инвестиций, направленных на снижение риска и уменьшение опасности.

Как следует из рис. 3, сначала осуществляется сравнение результатов  оценки  риска  для  рассматриваемой  ситуации  и соответствующих критериев. После этого сравнения находятся варианты снижения риска, каждый из которых оценивается с учетом затрат на его реализацию. Оценка вариантов является итеративной  операцией, она  повторяется  до  тех  пор,  пока  не будет выбрано оптимальное решение.

**Прогнозирование и моделирование чрезвычайных ситуаций с целью управления рисками**

Существенным этапом процесса поиска вариантов снижения  риска  (см. рис. 3)  является  прогнозирование  изменения параметров имеющейся ситуации и моделирование поведения рассматриваемого объекта. Под *научным прогнозом* понимают высказывание в виде вероятностного утверждения о зависящем от неопределенных или неизвестных факторов поведении некоторой системы в будущем, сделанное на основании изучения и обобщения опыта прошлого с использованием интуитивных представлений о развитии данной системы в будущем. Научные прогнозы делаются *экспертами* — специалистами в рассматриваемой области. В основе прогнозных экспертиз лежит особая научная  дисциплина  —  прогностика.  Часто  вместо  термина “научный прогноз” употребляют термин “экспертные оценки”.

Сущность метода экспертных оценок заключается в том, что специалистам предлагают ответить на вопросы о будущем поведении объектов или систем, характеризующихся неопределенными параметрами или неизученными свойствами. Экспертные оценки оформляются в виде качественных характеристик или количественных значений вероятностей рассматриваемых событий или процессов, отнесенных к определенному отрезку времени. Важное значение при этом придается формированию оценочной шкалы, используемой экспертами. Установлено, что оптимальная оценочная шкала должна иметь сравнительно небольшое число градаций (от 3 до 8), каждой градации приписывается определенный вероятностный интервал или некоторое значение  вероятности.  Кроме  того,  каждая  градация  должна сопровождаться краткой качественной характеристикой (вербальным или лингвистическим пояснением).

Методы экспертных оценок с использованием вероятностей составляют часть вероятностного анализа безопасности технологических объектов с труднопредсказуемым поведением, обусловленным неизвестными значениями определяющих это поведение факторов. Вероятностный анализ безопасности может охватывать десятки и сотни различных сценариев (например, при использовании метода деревьев), но может и быть ограничен рассмотрением единичных событий или процессов.

В настоящее время известно несколько десятков методов экспертных оценок, наиболее известный из них — коллективное обсуждение и согласование по *методу Дельфи.* Можно сказать, что создателями метода экспертных оценок были дельфийские оракулы,  то  есть  жрецы  храма  Аполлона  у  подножия  горы Парнас в Греции. Их предсказание о том или ином событии в античной Греции сообщалось народу только после того, как все члены совета мудрецов ознакомились со всеми обстоятельствами дела и обсудили их со всех сторон.

Принятие экспертных решений по методу Дельфи проводится в следующем порядке:

1. Формирование группы экспертов — крупных специалистов в той области, в которой находится данная проблема.
2. Первичное заполнение экспертами подготовленных опросных листов, сопровождаемое предоставлением им всей име-ющейся информации по проблеме (первый тур);
3. Обработка опросных листов и письменное изложение ее основных результатов.
4. ознакомление экспертов с результатами обработки опросных листов и вторичное заполнение ими аналогичных листов (второй тур) с указанием о том, что на те же вопросы должны быть даны новые ответы с учетом результатов первого тура. Таких туров может быть два или больше, в зависимости от степени согласованности ответов.

Метод Дельфи применялся, в частности, при анализе возможных нарушений целостности емкостей в хранилище радиоактивных отходов в ядерном центре Хэнфорд США. Каждый из многочисленных сценариев возникновения аварийной ситуации в течение заданного интервала времени эксперты характеризовали одной из трех градаций оценочной шкалы с соответствующими интервальными значениями вероятности осуществления данной ситуации:

1. “Представляется возможным, может считаться предвидимым в разумных пределах” (reasonably foreseeable): вероятность *P* > 10–2.

2. “Очень неправдоподобен” (very unlikely): 10–4 < *P <* 10–2.

3. “В высшей степени неправдоподобен” (extremely unlikely): *P* < 10–4.

Более детализированной является оценочная шкала, предложенная Хантером и представленная в табл.1.

Таблица  1.   Связь  между  количественными  характеристиками

возможности события и значениями соответствующей вероятности (шкала Хантера)

|  |  |
| --- | --- |
| Качественная характеристика возможности события | Вероятность |
| Событие является достоверным или гипотезу о нем можно считать весьма правдоподобной Событие не может считаться достоверным, но гипотеза о нем представляется правдоподобной Гипотеза о событии представляется неправдоподобной, однако ее нельзя исключить Событие, вероятно, не произойдет — судя по имеющимся данным, его надо считать невероятным, однако эти данные вызывают сомнение Данные о событии являются надежными, но гипотеза о том, что оно произойдет, весьма неправдоподобна Гипотеза о событии в высшей степени неправдоподобна Событие физически возможно, но оно почти наверняка не произойдет C учетом всех имеющихся данных, событие надо считать физически невозможным  | 110–110–210–310–410–510–60 |

Таким образом, метод экспертных оценок применяется для решения задач, связанных с управлением риском (например, по планированию систем обеспечения технологической, экологической и социальной безопасности некоторого объекта) в тех случаях, когда строгий расчет невозможен из-за наличия принципиальных неопределенностей. Ниже рассматриваются  примеры  его  конкретного  использования  в сочетании с другим методом, называемым методом деревьев. Этот метод широко используется при принятии связанных с риском решений. К числу его достоинств относятся удобство и наглядность графического представления, а также существенное облегчение расчетов на компьютерах. Метод деревьев особенно эффективен в тех случаях, когда сложная проблема может быть расчленена на то или иное  количество  сравнительно  простых  задач,  каждая  из которых решается отдельно, после чего производится своеобразный синтез сложного решения. В процессе прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их моделирования использование метода деревьев позволяет рассчитать вероятность реализации определенного сценария, включающего несколько событий. Структура дерева основывается на основных теоремах теории вероятности - теоремы сложения и теоремы умножения.

Первый  пример  связан  с  моделированием  аварии  на магистральном газопроводе (МГП), которая может привести к  конкретной  чрезвычайной  ситуации (ЧС) - выбросу  газа в атмосферу и его последствиям. Сотрудниками Института ВНИИГАЗ была разработана вероятностная модель такой аварии, которая представляет собой дерево сценариев развития ЧС с учетом ее возможных последствий (см. рис. 4.). Группа экспертов оценивала вероятность отдельных событий, формирующих рассматриваемое дерево. Вероятность возникновения моделируемой ЧС условно принята равной единице. Экспертное оценивание вероятностей последствий производилось путем попарного рассмотрения каждого разветвления на дереве. Для каждой пары совокупностей событий (процессов) определялась условная вероятность, причем каждая такая пара рассматривалась как полная группа событий, поэтому сумма соответствующих условных вероятностей равнялась единице. Так, разветвление на “одностороннее истечение” и “двустороннее истечение” было охарактеризовано условными вероятностями, равными соответственно 0,78 и 0,22. Вероятность осуществления цепи событий определяется путем перемножения  вероятностей событий, составляющих эту цепь. Так, вероятность того, что выброс газа будет характеризоваться односторонним истечением, и при этом произойдут возгорание и взрыв, определяется произведением 0,78×0,40×0,66 и равна 0,21.

Рис. 4. Дерево сценариев развития чрезвычайной ситуации (ЧС) — разрыва магистрального газопровода  (МГП) с выбросом газа и вызываемыми последствиями (вероятностная модель)

**Роль человеческого фактора в оценках риска**  **и в управлении им**

В процессе количественного оценивания риска и управления им значительные трудности вызываются наличием неопределенностей в характеристиках надежности персонала, занятого на потенциально опасных объектах. Такие техногенные катастрофы, как взрыв ядерного реактора на Чернобыльской АЭС или утечка токсичных газов на заводе по производству пестицидов в Бхопале (Индия), показали, что с помощью чисто инженерных, технологических или организационных методов решить проблему снижения риска не удается. В значительной степени это связано с тем, что в подобных чрезвычайных ситуациях возникают не предусмотренные сценарии развития событий, в которых реакция персонала является неадекватной, вследствие чего выполняются ошибочные действия. Проведенный в США анализ около 30 тысяч инцидентов на объектах ядерной энергетики показал, что примерно в половине из них складывалась уникальная комбинация технологических отказов и человеческих ошибок. Расширение сферы применения автоматизированных средств приводит к новым проблемам, поскольку при этом появляются новые типы отказов и ошибок. Компьютеризация приводит к опасным ошибкам, связанным с программным обеспечением. Кроме того, в этих условиях непредсказуемым образом меняется весь комплекс отношений между человеком, с одной стороны, и машиной или компьютером, с другой. Исследования, выполненные в экономически развитых странах, свидетельствуют о необходимости всестороннего изучения роли *человеческого фактора* в сопряженных с риском технологиях и на потенциально опасных объектах.

В течение последних двух десятилетий методы количественной оценки человеческой надежности существенно изменились, сейчас они резко отличаются от подходов, традиционно используемых в расчетах показателей надежности оборудования. Для изучения человеческого фактора создаются специальные технические средства - моделирующие взаимодействие человека с машиной комплексы, имитационные установки и исследовательские тренажеры. Они используются для всестороннего изучения действий персонала, анализа стратегии поведения операторов, выявления основных ошибок. Одним из направлений изучения роли человеческого фактора является выявление причин ошибочных действий людей, обслуживающих сложные технологические установки. Чтобы определить характеристики различных по природе ошибок, психологи разрабатывают их классификацию. Одна из таких классификаций была предложена в 1990 г. Ризоном в его книге «Человеческие ошибки», она представлена на рис. 6.

Рис.6. Классификация причин опасных действий персонала, могущих привести к техногенным чрезвычайным ситуациям (по Ризону)

Приведенная классификация используется в моделировании взаимодействия человека с машиной. Схема на рис. 6. показывает, что все опасные действия, которые могут вызвать техногенную чрезвычайную ситуацию или катастрофу, можно разделить на ненамеренные и намеренные. Первые из них, в свою очередь, подразделяются на промахи и упущения, а вторые — на оплошности и нарушения. Причинами промахов выступают недостатки внимания (например, перепутан порядок выполнения двух последовательных операций), в то время как причинами упущений являются недостатки памяти (например, оператор забыл об одном звене в цепи необходимых операций). Причинами оплошностей могут быть неправильное выполнение действующих правил (например, неверное выполнение правила, необходимого в данной ситуации, или действие по такому правилу, которое вообще неприменимо в сложившейся обстановке) или же недостаточные знания о действиях как в штатных, так и в нештатных ситуациях. Нарушения представляют собой сознательные действия, ведущие к отклонениям от нормального функционирования объекта.

Моделирование человеческого фактора стало неотъемлемой частью вероятностного анализа безопасности (ВАБ) потенциально опасных объектов. Эта часть ВАБ является наиболее сложной, она позволяет учитывать лишь сравнительно простые ошибки персонала. Серьезную проблему представляет собой учет действий персонала в стрессовых условиях аварии при неизбежном дефиците времени. Сложные ошибки, число которых может быть весьма велико, очень трудно промоделировать, а множественные ошибки (подобные совершенным на Чернобыльской АЭС) практически вообще не поддаются анализу.

Несмотря на создание современных моделей, позволяющих в определенных рамках описывать взаимодействие оператора с машиной, проблемы, обусловленные ролью человеческого фактора, еще далеки от решения. Актуальность этих проблем привела к возникновению новой отрасли знания — *культуры безопасности*. Термин “культура безопасности” был введен в 1986 г. экспертами Международной консультативной группы по ядерной безопасности (МКГЯБ) Международного Агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в итоговом документе по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле. В последующем документе МКГЯБ МАГАТЭ «Основные принципы безопасности атомных электростанций», опубликованном в 1990 г, культура безопасности была охарактеризована в качестве “фундаментального управленческого принципа”. Согласно принятому МАГАТЭ определению, культура безопасности - это такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности ядерного объекта как обладающим высшим приоритетом уделяется внимание, определяемое их значимостью. Впоследствии определение культуры безопасности было распространено на любые потенциально опасные объекты и связанные с высоким риском технологии. Так, по определению Меррита-Хельмрейха (1996), культура безопасности — это больше, чем просто группа индивидуумов, соблюдающих набор правил по безопасному ведению работ; это группа таких людей, которые в своем поведении руководствуются общей уверенностью в важности обеспечения безопасности и понимают необходимость того, чтобы каждый член коллектива сам с готовностью поддерживал нормы коллективной безопасности и помогал другим членам коллектива стремиться к этой общей цели.

**Цена риска и принцип оптимизации вариантов**  **его снижения**

Считается, что социально-экономический ущерб *Y*, обусловленный воздействием на людей присутствующих в среде обитания опасных веществ, прямо пропорционален риску угрозы здоровью *R*:

*Y* = a*R*,                                        (1)

где a — коэффициент пропорциональности, называемый *ценой риска*. Риск *R* измеряется числом случаев смерти на 1 млн человек, проживающих в течение всей жизни (70 лет) в условиях данного риска, или же — количеством лет сокращения продолжительности жизни.

Цена риска a определяется количеством денег, приходящимся на одну дополнительную смерть или — на один человеко-год сокращения продолжительности жизни. Использование цены риска позволяет перейти к монетарным показателям, то есть выражать социально-экономический ущерб, определяющий потери общества вследствие нанесенного ущерба здоровью, в денежных единицах.

Средний суммарный риск смерти для населения развитых стран считается равным приблизительно 10-2 год-1. Значительную долю (около 10%) от этой величины составляют вклады техногенных факторов (загрязнение среды обитания). В зарубежных публикациях цену риска часто нормируют на единицу социального риска, равную 1, и называют ценой жизни (точнее, одной среднестатистической жизни). К настоящему времени сформировались следующие концепции измерения цены человеческой жизни [4]:

·      оценивание с позиций теории человеческого капитала (“human capital” approach);

·      косвенное оценивание, с учетом немонетарных общественных затрат;

·      оценивание по готовности физических лиц платить за устранение риска смерти;

·      оценивание на основе определения страховых премий и компенсаций по суду;

·      оценивание по инвестициям общества, направленным на снижение риска преждевременной смерти отдельного индивидуума.

Ни одна из этих концепций не может считаться совершенной и не может служить в качестве рабочего инструмента. Рассмотрим вкратце сущность концепция использования теории человеческого капитала. Эта концепция базируется на предположении о том, что степень полезности  индивидуума для общества зависит главным образом от его продуктивности, поскольку в этой теории каждое физическое лицо рассматривается с точки зрения его способности участвовать в процессе общественного производства и зарабатывать при этом деньги. Потеря жизни, по этой теории, приводит к снижению производительного потенциала общества, которое должно проявиться уже в ближайшем будущем. В качестве меры стоимости жизни предлагается использовать суммарную заработную плату лица, неполученную им по причине преждевременного ухода из жизни. Поэтому рассматриваемый подход называют еще концепцией способности индивидуума заработать предназначенные ему на всю жизнь деньги (“lifetime earning power of the individual” concept) или просто концепцией предстоящей зарплаты (“foregone ear-nings” approach). Теория человеческого капитала обещала простые количественные оценки жизни, поэтому на первых порах она получила сравнительно широкое распространение. Однако вскоре выяснилось, что на пути ее применения возникают существенные трудности.

Во-первых, оказалось необходимым уточнять, кому в первую очередь причиняется ущерб от преждевременной смерти данного лица — либо самому этому лицу, либо членам его семьи, либо тому обществу, членами которого являются это лицо и его семья. Иными словами, речь идет о приоритете результатов труда индивидуума, о соотношении микроуровня (повышение благосостояния семьи) и макроуровня (развитие общества), на которых фиксируются эти результаты. Для прояснения ситуации были введены “нетто” и “брутто” оценки жизни — первая из них учитывает только ущерб, наносимый обществу, а вторая принимает во внимание полный ущерб. Оба вида ущерба, разумеется, зависят от размера оплаты труда уходящего из жизни работника.

Во-вторых, использование как “нетто”, так и “брутто” оценок жизни вызвало дополнительные трудности, обусловленные неполной занятостью населения, характерной для ряда индустриально развитых стран, и действием в этих странах системы социальной защиты. Потеря жизни работника создает вакансию на рынке труда, заполнение которой приводит к сокращению на единицу количества лиц, получающих пособие по безработице. Последнее означает сокращение расходов общества на выплату пособий и, следовательно должно считаться положительным эффектом потери работника, сопутствующим явно негативному непосредственному эффекту от этой потери. Чтобы скорректировать проводимые оценки, необходимо использовать алгебраические величины.

В-третьих, критики концепции оценивания с позиций теории человеческого капитала указывают на ее дискриминационный характер в отношении возраста работника. Действительно, эта концепция придает больший вес несчастному случаю на производстве, вызвавшему смерть молодого рабочего, нежели неизлечимому профзаболеванию пожилого рабочего, трудившегося в сходных условиях. Отсюда следует, что жизнь молодого работника должна оцениваться выше.

В-четвертых, рассматриваемый подход ставит в неравные условия лиц, получающих разную оплату за свой труд — это приводит к занижению оценки жизни бедных слоев общества. Напротив, жизнь людей, относящихся к сверхвысокооплачиваемым, получает чрезмерную оценку.

Несмотря на недостатки существующих теорий, оценки одной среднестатистической жизни в условиях действия рыночной экономики оказываются необходимыми. В зависимости от различных методов оценок, получаемые и публикуемые значения попадают  в  широкий  диапазон  значений.  Для  США  и  стран Европейского сообщества этот диапазон составляет от 0,5 до 7 млн долларов. В качестве среднего (медианного) значения часто используется величина 3,2 млн долларов за статистическую жизнь (70 лет) или приблизительно 45 тыс. долларов за один человеко-год.

Монетарная оценка одной среднестатистической жизни используется при оценках затрат на мероприятия по снижению экологического риска, ориентированных как раз на сохранение определенного количества человеческих жизней. Такого рода оценки выполнены в США на основе анализа достаточно большого объема исходных данных [34]. В табл. 2 приведены оценки ежегодных затрат на сохранение *одной среднестатистической  жизни*  в  результате  проведения  экологических мероприятий, ориентированных на улучшение качества среды обитания (рассматриваются меры по снижению содержания в биосфере токсикантов и источников излучений).

Таблица 2. Оценки затрат на некоторые экологические мероприятия с целью сохранения одной человеческой жизни в год (по Т.Тенгсу и др.)

|  |  |
| --- | --- |
| **Мероприятия** | **Затраты** **(в долларах США)** |
| Хлорирование питьевой водыКонтроль за загрязнением воздуха тепловыми электростанциями, работающими на каменном углеСнижение концентрации радона в жилых помещенияхЗапрещение использования формальдегида для теплоизоляции зданийКонтроль за выбросами бензола в фармацевтической промышленностиКонтроль за ионизирующим излучением в урановых шахтахЗапрещение использования асбеста в строительстве зданийСнижение выбросов мышьяка на стекольных заводахСнижение выбросов диоксина на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленностиСнижение выбросов мышьяка на медеплавильных заводах | 310037 тыс.от 6,1 до 140 тыс.от 11 до 220 тыс.460 тыс.от 79 тыс. до 3,9 млнот 550 тыс. до 5,2 млнот 2,3 до 51 млнот 4,5 до 7,5 млнот 36 тыс. до 890 млн |

Данные таблицы обнаруживают значительный разброс величин с проявлением как внутригрупповой, так и межгрупповой дисперсии. При этом четко выражена обратная корреляция между величиной риска и затратами на его снижение. Например, расходы на снижение выбросов мышьяка при выплавке меди малы на предприятиях с относительно высоким уровнем загрязнения окружающей среды этим элементом и напротив, возрастают более чем в десять тысяч раз, если этот уровень сравнительно низок. Применение медиан дает следующую усредненную оценку отнесенной к одному году стоимости сохранения одной жизни в США в результате осуществления различных экологических мероприятий: 4,2 млн долларов. Это примерно в 200 раз больше, чем усредненные затраты, связанные с реализацией медицинских мер по спасению одной среднестатистической жизни в США. Привлечение медианных значений позволяет сделать усредненные оценки затрат для спасения одной жизни в год по мероприятиям, направленным на снижение бытового травматизма (36 тыс. долларов), повышение безопасности использования транспортных средств (56 тыс. долларов) и снижение уровня профзаболеваний (350 тыс. долларов) [34]. Рассмотренные  данные  свидетельствуют  о  том,  что  снижение экологического  риска  обходится  дорого.  Это  подчеркивает необходимость принятия заблаговременных мер по сохранению состояния среды обитания и предотвращению экологического риска, связанного с планируемым вводом в эксплуатацию потенциально опасных объектов.

В процессе управления риском важно провести оптимизацию безопасности и риска, которая сводится к поиску экстремума некоторой функции. Эту функцию называют целевой, она характеризует экономический эффект, получаемый, с одной стороны, при определенных ограничениях, налагаемых требованиями по обеспечению безопасности, а с другой стороны, путем использования дополнительных приемов управления риском.

Одним из основных экономических методов, применяемых в процессе управления риском угрозы здоровью со стороны техногенных факторов, является анализ затрат и получаемых в результате выгод (*анализ* “*затраты-выгоды*”). Суть этого метода состоит в следующем. Сначала рассматриваются все варианты (сценарии) возможных действий и мер по снижению риска. Для каждого *i*-го сценария (*i* = 1, 2, …, *n*) вычисляются затраты *Wi* на его реализацию и планируемая при этом выгода *Vi*. Кроме того, для каждого сценария оцениваются значения так называемого остаточного риска *Ri*, к которому приведет осуществление *i*-го сценария. Чистый экономический эффект *Еi* для каждого сценария определяется разностью выгод и затрат:

                                    *Еi* = *Vi* - *Wi*.                                    (2)

Затраты *Wi* на реализацию мероприятий по *i*-му сценарию рассчитываются как приведенная стоимость осуществления этих мероприятий (проекта), усредненная по времени экономической жизни проекта:

                     (3)

где *t* - время жизни  проекта, *Сj* и *Dj* - капитальные и текущие затраты соответственно, *rj* - среднегодовая процентная ставка *j*-го года.

При осуществлении затрат в конце года суммирование в этой формуле следует проводить от *j* = 1 до *j* = *t*.

Выгоду от реализации *i*-го сценария можно определять различными способами, унифицированного метода оценки выгод не существует. Наиболее употребительным является способ оценки выгоды через предотвращенный социально-экономичес-кий ущерб [3]. Для этого нужно сначала рассчитать остаточный социально-экономический ущерб после реализации *i*-го сценария.

Остаточный экономический ущерб *Yi* определяется произведением цены риска и остаточного риска (напомним, что риск в рассматриваемом случае измеряется числом случаев смерти на 1 млн человек, проживающих в течение всей жизни в условиях данного риска, или же — количеством лет сокращения продолжительности жизни). Остаточный среднегодовой приведенный социально-экономический ущерб вычисляется по формуле:

                            (4)

где  a*j* — цена риска для *j-*го года,  *Rii* — остаточный риск *j-*го года для *i*-го сценария.

Выгода как предотвращенный ущерб оценивается следующим образом. Если *Y*o — социально-экономический ущерб, имевшийся до принятия каких-либо действий по возможным сценариям, а *Yi* - остаточный социально-экономический ущерб после реализации *i*-го сценария, то предотвращенный ущерб D*Yi* определяется разностью:

D*Yi* = *Y*o - *Yi*.                                 (5)

Эта разность и используется  в качестве меры выгоды от реализации *i*-го сценария:

*Vi* = D*Yi* .                                  (6)

Чистый экономический эффект *Еi* определяется выражением:

*Еi* *=* D*Yi* - *Wi* = *Y*o - (*Yi* + *Wi*).               (7)

Сумму (*Yi* + *Wi*) называют обобщенными приведенными затра-тами. Формула (7) показывает, что чистый экономический эффект будет максимален при минимуме обобщенных приведенных затрат:

*max Еi*  ®  *min* (*Yi* + *Wi*).                   (8)

Полученное соотношение отражает сущность *принципа оптимизации* вариантов (сценариев) снижения риска.

Общие принципы критериев, устанавливающих приемлемость риска, наиболее полно разработаны для защиты людей от воздействия ионизирующего излучения (радиационного риска).  Концепция о преобладании пользы над издержками выступает первым общим принципом радиационной защиты и выработки критериев приемлемого радиационного риска. Для краткости его называют принципом обоснованности, он требует проведения расчетов затрат и ожидаемой прибыли в каждом конкретном случае. Применение принципа обоснованности призвано оценивать предварительные условия, необходимые для внедрения в практику рассматриваемого вида деятельности.

Тот способ, с помощью которого будет реализован получивший свое обоснование и спланированный вид деятельности, составляет предмет второго общего принципа радиационной защиты и определения критериев приемлемого риска. Он называется принципом оптимизации и заключается в нахождении минимума затрат, на которые может пойти общество с целью реализации данного вида деятельности. В случае радиационного риска минимальные расходы получают путем суммирования двух слагаемых: стоимости вреда для здоровья людей, который может быть причинен облучением при данном уровне радиационной защиты, и расходов на эту защиту. Очевидно, что таким вредом являются злокачественные новообразования и генетические заболевания. Можно допустить, как это делает Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ), что между полученной дозой и вероятностью возникновения злокачественных опухолей и наследственных нарушений существует прямая зависимость (линейная связь). Тогда стоимость компенсации ожидаемого вреда для здоровья (эту стоимость можно назвать “ценой здоровья”) выразится в виде некоторой функции коллективной дозы, складывающейся из тех индивидуальных доз, которые будут получать отдельные лица в результате реализации рассматриваемого вида деятельности.

Принцип оптимизации позволяет обрести уверенность в том, что данная деятельность будет внедрена в практику при достаточно низком и оптимальном уровне облучения. При этом уровне любое дополнительное снижение дозы (выраженное в виде коллективной дозы) не будет оправданным с точки зрения новых затрат, нужных для такого снижения. В научной литературе вместо термина “принцип оптимизации” иногда используют другой — так называемый принцип АЛАРА. Его происхождение связано с формулировкой “as low as reasonably achievable”, первые буквы этих слов образуют сокращение ALARA. Сама формулировка входит в разработанный МКРЗ критерий, который гласит: при любой ситуации дозы облучения должны поддерживаться на таких низких уровнях, каких только можно разумно достичь с учетом экономических и социальных факторов.

На рис. 7 представлены три зависимости от коллективной дозы, отмеченные индексами *А*, *В* и *А*+*В*. Прямая *А* показывает зависимость от коллективной дозы цены здоровья, как было сказано выше, эта зависимость линейна. Кривая *В* характеризует зависимость затрат на радиационную защиту (т.е. на снижение риска) от величины коллективной дозы. Затраты на радиационную защиту весьма велики при обеспечении малых коллективных доз и становятся меньше, если допускаются большие приемлемые дозы.



Рис. 7. Зависимость цены здоровья (прямая *А*), затрат на радиационную

защиту  (кривая *В*)  и  суммы  общих  издержек  (*А* + *В*)  от  величины коллективной дозы

Как показывает рис. 7, суммарная кривая *А*+*В* имеет единственный минимум,  который и соответствует оптимальным величинам цены здоровья и затрат на радиационную защиту (снижение риска). В установлении этого минимума заключается алгоритм практического применения принципа АЛАРА. Нетрудно видеть, что показанный на рис. 7 минимум соответствует рассмотренным выше результатам анализа “затраты-выго-ды”, согласно которым чисто экономический эффект достигает максимума при минимизации обобщенных приведенных затрат.

Конечно, расчеты по оптимизации не могут считаться универсальными. Они должны быть проведены для каждого конкретного случая и для определенных условий, характерных для данной страны. Наклон прямой *А* и форма кривой *В* не будут одинаковыми в разных ситуациях и сферах работы с излучениями. Самым трудным этапом расчетов по оптимизации является определение наклона прямой *А*. Трудности здесь вызваны необходимостью установления денежного эквивалента единицы коллективной дозы облучения, которой соответствует определенная вероятность возникновения злокачественных новообразований и наследственных заболеваний.

При изложенном подходе к процедуре оптимизации принимается во внимание состояние здоровья всего общества в целом, т.е. ставится задача обеспечить коллективную защиту от риска, но не защиту отдельных индивидуумов. Могут сложиться условия, в которых оптимальная коллективная доза включает в себя в качестве отдельных слагаемых достаточно большие индивидуальные дозы. В подобных случаях требуется обеспечить защиту отдельных лиц, подвергаемых риску наибольшего облучения. Предотвращение облучения индивидуумов чрезмерно высокими дозами является содержанием третьего принципа радиационной защиты и критериев приемлемого риска, его называют принципом ограничения индивидуальных доз.

Рекомендации МКРЗ по соблюдению сформулированного принципа заключаются в следующем. Безопасными и приемлемыми могут считаться такие дозы облучения, при которых вероятность образования злокачественных новообразований и генетических дефектов близка к аналогичной вероятности, связанной с воздействием естественного фона радиации. Для профессиональных работников рекомендованы более высокие пределы допустимых доз, чем для населения в целом, так как допустимый уровень производственного риска выше приемлемого риска в обычной жизни. На практике принцип ограничения индивидуальных доз осуществляется в следующей форме. Комиссия по ядерному регулированию США установила предельную индивидуальную дозу облучения, которая может быть получена любым человеком в результате нормальной работы АЭС. Эта доза не должна превышать 0,05 мЗв в год, причем термин “любой” означает, что указанная величина не должна зависеть от того, где живет человек — близко от станции или далеко. Доза 0,05 мЗв/год составляет менее 2% от чисто естественного радиационного фона. В России в 1996 г. были введены индивидуальные дозовые пределы, согласно которым эффективная эквивалентная доза, установленная для населения и обусловленная всеми источниками излучения, не должна превышать 1 мЗв/год.

Рассмотренные три принципа имеют общее значение и применимы на разных уровнях радиационной защиты. Более того, они пригодны также и при оценке защитных мер в случае сходных опасных ситуаций, не связанных с защитой от ионизирующих излучений.

**Приоритизация экологических рисков**

По современным требованиям, разрабатываемые программы по снижению экологических рисков должны предусматривать тщательно выверенные оценки необходимых затрат. При этом необходимо определить приоритетные направления расходования средств. Критерии для выбора приоритетов могут быть разными. Так, Закон США о бюджете на 1996 год отводил Департаменту энергетики 6,5 млрд долларов на расходы по улучшению состояния окружающей среды, причем львиная доля этой суммы — 5,1 млрд — предназначалась на мероприятия по уменьшению экологического риска. При обосновании своих финансовых нужд Департамент энергетики представил качественные критерии оценки экологических рисков, распределив их на высокие, средние и низкие.

В настоящее время все большее распространение получает точка зрения, согласно которой надлежит использовать *количественные критерии выявления приоритетов*. Последнее означает, что управление риском проводится по схеме, учитывающей категории  его  обоих  компонентов  —  вероятности  опасного события *P* и его последствий *Q*. Для этого рассматривается некоторое число категорий вероятности и последствий, и каждой категории присваивается определенный рейтинг.

На рис. 8 в виде квадратной таблицы представлены пять категорий вероятности некоторого события и пять категорий вызванных этим событием последствий [31]. Сначала вероятность и последствия данного опасного события разделяются на пять категорий, каждая из которых характеризуется следующими качественными характеристиками: минимальная, низкая, средняя, высокая и максимальная. Затем этим категориям присваиваются рейтинги от 1 до 5. Величины риска *R* как произведения *PQ* также подразделяются условно на пять категорий, например, следующим образом:

максимальный риск *R = PQ >* 20*,*

высокий риск 15 < *R <* 20*,*

средний риск 10 < *R <* 15*,*

низкий риск 5 < *R <* 10*,*

минимальный риск  *R <* 5.

В таком представлении максимальный и высокий риски обычно считаются недопустимыми, средний и низкий риски - ограниченно допустимыми, а минимальный риск рассматривается как безусловно допустимый. В соответствии с этим на рис.8 области недопустимых, ограниченно допустимых и безусловно допустимых рисков выделены графически.

Ценность рассмотренной схемы состоит в том, что в зависимости от величины рисков может проводиться их приоритизация, то есть расстановка по порядку. Это необходимо для установления очередности природоохранных мероприятий и соответствующего распределения средств на их проведение (инвестиций).

Рис. 8.  Таблица категорий вероятности опасного события *P* и его послед-ствий *Q*.  Выделены области недопустимых (темная заливка), ограниченно допустимых (светлая заливка) и безусловно допустимых рисков

Рассмотренный принцип применяется, в частности Департаментом обороны США для приоритизации экологических проектов и оптимизации расходов на природоохранные мероприятия. В качестве примера можно привести методологию, применяемую на базах и в подразделениях Военно-воздушных сил США [18]. Эта методология использует для количественных оценок экологических рисков таблицу коэффициентов, в которой  рассматриваются  пять  категорий  вероятности  события  и четыре категории его последствий (табл. 3).

Видно, что строки таблицы характеризуют категории степени тяжести последствий неблагоприятных событий, а ее столбцы приписывают количественные оценки (квантифицируют) категории вероятности (частости) таких событий. Регулирующие документы ВВС США содержат пояснения по обоим видам этих категорий, которые сводятся к следующему.

Таблица 3. Оценивание экологических рисков в подразделениях ВВС США

Катастрофическими называются последствия, характеризующиеся полным нарушением функционирования объекта, полным выходом из строя его систем, материальными потерями на сумму более 1 млн долларов, наличием смертельных случаев или тяжелых травм у персонала, или же нанесенным среде обитания необратимым ущербом, сопровождающимся нарушением экологического  законодательства.  Критическими  являются последствия, характеризующиеся существенным нарушением функций объекта, выходом из строя основных узлов его систем, материальными потерями на сумму более 200 тыс., но менее 1 млн долларов, появлением постоянной нетрудоспособности, тяжелых травм или профзаболеваний у не менее чем у трех человек из персонала, или же нанесенным среде обитания обратимым ущербом, вызвавшим нарушение экологического законодательства. К незначительным (маргинальным) относятся последствия, характеризующиеся несущественным нарушением функционирования объекта, малозначащими повреждениями его систем, материальными потерями на сумму более 10 тыс., но менее 200 тыс. долларов, появлением повлекшими потерю одного рабочего дня легких травм или профзаболевания, или же нанесенным среде обитания восстановимым ущербом, не сопровождающимся нарушением экологического законодательства. Пренебрежимо малыми считаются последствия, характеризующиеся весьма незначительным нарушением функций объекта, малозначащими повреждениями его систем, материальными потерями на сумму более 2 тыс., но менее 10 тыс. долларов, появлением таких легких травм или профзаболевания, которые не привели к потере даже одного рабочего дня, или же нанесенным среде обитания минимальным восстановимым ущербом, не сопровождающимся нарушением экологического законодательства.

Для характеристики категорий вероятности (частости) экологически неблагоприятных событий признается целесообразным использовать не только количественные, но и качественные признаки (табл. 4).

Таблица 4. Качественные и количественные признаки категорий вероятности (частости) экологически  неблагоприятных событий, используемые в ВВС США

После количественного оценивания того или иного экологического риска рекомендуется сделать качественное заключение об его уровне, для чего в ВВС США используется следующая таблица (табл. 5).

Таблица 5. Соотношение между количественными и качественными оценками  экологического  риска,  используемое  в  подразделениях ВВС США

Например, исключительно высокий уровень риска может быть идентифицирован для катастрофических последствий вероятного события (коэффициент равен 2) или для критических последствий частого события (коэффициент равен 3).

Методология приоритизации экологических проектов, принятая в ВВС США, лишь недавно стала применяться на практике, но она уже успела зарекомендовать себя с положительной стороны. В США ее ставят в пример другим ведомствам, перед которыми стоят задачи по выработке юридических документов, призванных регулировать природоохранную деятельность.

**Экологическое законодательство и стандарты** — **инструменты управления экологическими рисками**

Управление экологическими рисками производится путем разработки и применения нормативно-правовых актов, в которых устанавливается эколого-правовая ответственность. В России (точнее, в бывшем СССР) понятие эколого-правовой ответственности впервые было сформулировано в Законе РСФСР «О предприятиях и предпринимательской деятельности», в котором предусматривалось возмещение ущерба от загрязнения и нерационального использования природной среды. Затем это положение было развито в специальном Законе РСФСР «Об охране окружающей природной среды», где, в частности, устанавливались три типа ущерба, подлежащего компенсации:

·      ущерб, причиненный окружающей природной среде источником повышенной опасности;

·      ущерб, причиненный здоровью граждан неблагоприятным воздействием на окружающую природную среду;

·      ущерб, причиненный имуществу граждан.

Принятый в 1997 г. Закон Российской Федерации «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» предусматривает,  что  предприятие,  являющееся  источником повышенной опасности, обязано обеспечить меры по защите населения и окружающей среды от опасных воздействий. В этом законе также вводится порядок лицензирования опасных производств и рассматриваются возможности отзыва или приостановления лицензии в случае невыполнения требований промышленной безопасности или несоответствия принятым нормативам. Кроме того, в этом законе впервые в России было введено обязательное экологическое страхование, представляющее собой страхование ответственности за причинение вреда (например, аварийного загрязнения окружающей среды) при эксплуатации опасного производственного объекта. Минимальный объем страховой ответственности предприятий определяется в зависимости от уровня опасности производства. Законом определено, что для наиболее опасных производственных объектов размер страховой суммы не может быть ниже 70 000 минимальных размеров оплаты труда (МРОТ), установленных законодательством Российской Федерации на день заключения договора о страховании. Экологическое страхование следует считать важ-ной составной частью механизма управления экологическими рисками.

Управление экологическими рисками непосредственно связано с *экологическим менеджментом*. Понятие “система экологического менеджмента” впервые было определено и введено в специальном стандарте Великобритании BS 7750 (Environmental Management Systems) в 1992 г. Через несколько лет появились международные стандарты, устанавливавшие рекомендации по управлению качеством среды обитания, они составили так называемую серию ISO 14000. Серия ISO 14000 включает в себя следующие стандарты:

· ISO 14001 — Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению (Environmental management systems — Specification with guidance for use).

· ISO 14004 — Системы управления окружающей средой. Общие руководящие указания по принципам, системам и средствам обеспечения функционирования (Environmental management systems — General guidelines on principles, systems and supporting techniques).

· ISO 14010 — Руководящие указания по экологическому аудиту. Основные принципы (Guidelines for environ-mental auditing — General principles).

· ISO 14011 — Руководящие указания по экологическому аудиту. Процедуры аудита. Проведение аудита для систем управления окружающей средой (Guide-lines for environmental auditing — Audit procedures — Auditing of environmental management systems).

· ISO 14012 — Руководящие указания по экологическому аудиту. Квалификационные критерии для аудиторов в области экологии (Guidelines for environmental auditing — Qualification criteria for environmental auditors).

· ISO 14020 — Экологические термины и формулировки. Основные принципы (Environmental labels and declarations — General principles).

· ISO 14031 — Управление окружающей средой. Оценивание состояния экосистем. Проект руководящих указаний (Environmental management — Environmental performance evaluation — Guidelines (a draft).

· ISO 14040 — Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла (продукции). Принципы и сфера применения (Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.)

· ISO 14041 — Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла (продукции). Определение цели и аспектов инвентаризационного анализа (Environmental management — Life cycle assessment — Goal and scope definition and inventory analysis).

· ISO 14050 — Управление окружающей средой. Словарь терминов (Environmental management — Vocabulary).

В стандартах серии ISO 14000 содержатся важные определения и основополагающие положения, ниже приводятся некоторые из них.

*Экологическая цель* — общая экологически значимая цель деятельности организации, установленная ее экологической политикой; степень достижения цели оценивается в тех случаях, когда это практически возможно (ISO 14001. Definitions. 3.7. Environmental objective).

*Экологическая задача* (*задача экологической деятельности*) — детальное требование в отношении экологических показателей деятельности организации в целом или ее подразделений, которое следует из установленной экологической цели деятельности организации и подлежит выполнению в порядке достижения этой цели (ISO 14001. Definitions. 3.11. Environmental target).

Организация должна установить процедуру *идентификации экологических аспектов* и выполнять ее в отношении всех видов деятельности, продукции и услуг, в отношении которых она может осуществлять контроль и на которые она может оказывать влияние. Указанные процедуры необходимы для того, чтобы определить те наиболее значимые экологические аспекты деятельности, продукции или услуг, которые могут оказывать значительное воздействие на окружающую среду (ISO 14001. 4.3.1. Environmental aspects). Организация обязана обеспечить, чтобы все значимые экологические аспекты (то есть те, с которыми связано вероятное значительное воздействие на окружающую среду) были учтены при постановке экологических целей. Эта информация должна быть актуальной (отражать реальную ситуацию) и постоянно обновляться (ISO 14001. 4.3.1. Environmental aspects).

Организация должна разрабатывать, внедрять и развивать *программу (программы) экологического менеджмента* для достижения экологических целей и решения задач. Программы включают в себя распределение ответственности за достижение целей и решение задач на всех уровнях организации, а также необходимые средства и периоды времени, в течение которых цели должны быть достигнуты (ISO 14001. 4.3.4. Environmental management programme). Программы экологического менеджмента помогают организации улучшить экологические показатели ее деятельности. Они должны быть динамичными, регулярно  пересматриваться и отражать  изменение  целей и задач организации (ISO 14004. 4.2.6. Environmental management pro-gramme).

*Система экологического менеджмента* — часть общей системы менеджмента, включающая организационную структуру, планирование деятельности, распределение ответственности, практическую работу, а также процедуры, процессы и ресурсы для разработки, внедрения, оценки достигнутых результатов реализации и совершенствования экологической политики, целей и задач (ISO 14001. Environmental management systems — Specification with guidance for use. Definitions. 3.5. Environmental management system).

*Последовательное улучшение* — процесс развития системы экологического менеджмента, направленный на достижение лучших показателей во всех экологических аспектах деятельности предприятия, там, где это практически достижимо в соответствии с его экологической политикой (ISO 14001. Definitions. 3.1. Continual improvement).

Серия стандартов ISO 14000 содержит перечень рекомендуемых процедур, планирование и  выполнение которых данной организацией или предприятием должно обеспечить экологическую безопасность. В этот перечень входят следующие мероприятия:

·      выявление экологических аспектов деятельности предприятия;

·      идентификация законодательных и нормативных актов, а также других документов, определяющих экологические требования к деятельности предприятия, и обеспечение доступа к ним;

·      обучение персонала;

·      обмен информацией (коммуникации);

·      создание системы собственных документов экологического менеджмента и обеспечение контроля за ней;

·      контроль за соблюдением экологических требований на рабочих местах (производственный экологический контроль);

·      прогнозирование потенциальных аварийных ситуаций и определение необходимых действий персонала в этих ситуациях;

·      мониторинг и измерение экологических показателей деятельности предприятия;

·      оценка соответствия фактических экологических показателей установленным требованиям;

·      определение прав и обязанностей лиц, участвующих в экологическом менеджменте, и их ответственности при выявлении несоответствий экологических показателей установленным требованиям и нормативам;

·      проведение аудитов системы экологического менеджмента.

Стандарты серии ISO 14000 послужили основой стандартов в области *экологического менеджмента*, принятых в Российской Федерации:

·      ГОСТ Р ИСО 14001–98. Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению.

·      ГОСТ Р ИСО 14004–98. Системы управления окружающей средой. Общие руководящие указания по принципам, системам и средствам обеспечения функционирования.

·      ГОСТ Р ИСО 14010–98. Руководящие указания по экологическому аудиту. Основные принципы.

·      ГОСТ Р ИСО 14011–98. Руководящие указания по экологическому аудиту. Процедуры аудита. Проведение аудита для систем управления окружающей средой.

·      ГОСТ Р ИСО 14012–98. Руководящие указания по экологическому аудиту. Квалификационные критерии для аудиторов в области экологии.

*УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ*

1. *Ананьев Г.С.* Методология изучения катастрофических процессов рельефообразования и вопросы эколого-геоморфологического риска // Обзор картографирования природных опасностей и стихийных бедствий. М., 1992. C. 54–59.

2. *Бахирева Л.В., Осипов В.И., Кофф Г.Л., Родина Е.Е.* Геологический и геохимический риск как критерий геоэкологического нормирования территорий // История взаимодействия общества и природы: факты и концепции. Тез. докл. Ч. 1. М., 1990. С. 98–102.

3. *Быков А.А., Соленова Л.Г., Земляная Г.М., Фурман В.Д.* Методические рекомендации по анализу и управлению риском воздействия на здоровье населения вредных факторов окружающей среды. М., 1999. 70 с.

4. *Ваганов П.А.* Риск  смерти  и  цена  жизни // Правоведение. 1999. N 3. С. 67–82.

5. *Ваганов П.А.* Ядерный риск. СПб., 1997. 112 с.

6. *Дзекцер Е.С.* Методологические аспекты проблемы геологической опасности и риска // Геоэкология. 1994. N 3. С. 41–47.

7. *Куриленко В.В.* Основы управления природо- и недропользованием. Экологический менеджмент. СПб., 2000. 206 с.

8. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Пер. с англ. М., 1988. 79 c.

9. *Шеко А.И., Круподеров В.С.* Оценка опасности и риска экзогенных геологических процессов // Геоэкология. 1994. N 3. С. 53–59.

10. *Bartell S.M.* Ecological/Environmental Risk Assessment // Risk Assessment and Management Handbook. New York, 1996. P. 10.3–10.59.

11. *Beck U.* Risk Society. Towards a New Modernity. London, 1992. 298 p.

12. *Chicken J.C.* Risk Handbook. London, 1996. 310 p.

13. *Chicken J.C., Harbison S.A.* Differences Between Industries in the Definition of Acceptable Risk // New Risks. New York, 1990. P. 123–128.

14. *Cohen B.L.* Catalog of Risks Extended and Updated // Health Physics. 1991. Vol. 61. P. 89–96.

15. *Cohen B.L.* The Nuclear Energy Option. An Alternative for the 90s. New York, 1990. 320 p.

16. *Сovello V.T.* Communications Risk in Crisis and Noncrisis Situations // Risk Assessment and Management Handbook. For Environmental, Health, and Safety Professionals. New York, 1996. P. 45–65.

17. *Covello V.T., Sandman P.T., Slovic P.* Guidelines for Communicating Information about Chemical Risks Effectively and Responsibly // Acceptable Evidence. Science and Values in Risk Management. New York, 1991. P. 66–90.

18. *Dzuray E.J, Maranto A.R.* Assessing the Status of Risk-Based Approaches for the Prioritization of Federal Environmental Spending // Federal Facilities Environmental J. 1999. N 5. <http://www.research.umbc.edu/~maranto/fedfac.htm>.

19. Environmental Encyclopedia. Detroit, 1994. 110 p.

20. *Goedkoop M.* The Eco-indicator 95. Final Report. Utrecht, The Netherlands. 1995. <<http://www.pre.nl/eco-indicator95/ei-95-reports.htm>>

21. *Goedkoop M., Spriensma R.* The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report. Amersfoort, The Netherlands, 2000. <[http://www.pre.nl/download/EI99\_methodology\_v2.](http://www.pre.nl/eco-indicator95/ei-95-reports.htm)pdf>

22. *Hallenbeck W.H.* Quantitative Risk Assessment for Environmental and Occupa-tional Health. Boca-Raton, 1993. 212 p.

23. *Kasperson R.E., Renn O., Slovic P. et al.* The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework // Risk Analysis. 1988. Vol. 8. N 2. P. 177–187.

24. *Kolluru R.V.* Health Risk Assessment: Principles and Practices // Risk Assessment and Management Handbook. For Environmental, Health, and Safety Professionals. New York, 1996. P. 123–151.

25. *Kunreuther H., Slovic P.* Science, Values, and Risk // Challenges in Risk Assessment and Management. Thousand Oaks; London, 1996. P. 116–125.

26. *Lewis H.W.* Technological Risk. New York; London, 1990. 280 p.

27. *Lindley D.V.* Making Decisions. 2nd edition. London, 1985. 286 p.

28. *Maslow A.H.* The Farther Reaches of Human Nature. New York, 1971. 266 p.

29. *Molak V.* Introduction and Overview // Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management. Boca Raton, 1997. P. 1–10.

30. *Ossenbruggen P.J.* Fundamental Principles of Systems Analysis and Decision-Making. New York, 1994. 312 p.

31. *Preyssl C*. The Evolution and Process of Risk Management at the European Apace Agency ESA // International Journal of Risk Assessment and Management. 2000. Vol.1. N 1/2. P. 80-89.

32. *Rowe W.D.* An Anatomy of Risk. Malabar, Florida, 1988. 416 p.

33. *Slovic P.* Perceived Risk, Trust and Democracy // Risk Analysis. 1993. Vol. 13. N 6. P. 675–682.

34. *Tengs T.O., Adams M.E., Pliskin J.S. et al.* Five-Hundred Life-Saving Interventions and Their Cost-Effectiveness // Risk Analysis. 1995. Vol. 15. N 3. P. 369–387.