

Г. Т. Фрумин

ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК



Санкт-Петербург
СпецЛит

Г. Т. Фрумин

**ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК**

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим объединением по образованию
в области гидрометеорологии в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям «Гидрометеорология»
и «Прикладная гидрометеорология»*

Санкт-Петербург
СпецЛит
2016

УДК 502/504
Ф93

Автор:

Фрумин Григорий Тевелевич – доктор химических наук, профессор кафедры экологии Российского государственного гидрометеорологического университета

Рецензент:

В. А. Шелутко – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета

Фрумин Г. Т.

Ф93 Техногенные системы и экологический риск / Г. Т. Фрумин. – Санкт-Петербург : СпецЛит, 2016. – 136 с.

В учебном пособии изложены общие представления о риске, рассмотрены виды рисков и критерии их приемлемости, даны представления о техногенных системах и создаваемых ими опасностях и угрозах для населения и экологических систем.

Учебное пособие предназначено для студентов и аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по экологическим и смежным специальностям, а также может быть полезным для широкого круга специалистов в области экологии, гидрометеорологии, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

УДК 502/504

Редактор *Тимагева П. А.*

Компьютерная верстка *Габерган Е. С.*

Подписано в печать 30.11.2015. Формат 60 × 88 ¹/₁₆.

Печ. л. 8,5. Тираж 500 экз. Заказ №

ООО «Издательство „СпецЛит“».

190103, Санкт-Петербург, 10-я Красноармейская ул., 15

Тел.: (812) 495-36-09, 495-36-12

<http://www.speclit.spb.ru>.

Отпечатано в типографии «L-PRINT»,

192007, Санкт-Петербург, Лиговский пр., 201, лит. А, пом. 3Н

ISBN 978-5-299-00726-8



9 785299 007268

ISBN 978-5-299-00726-8

© ООО «Издательство „СпецЛит“», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. РИСК И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВА.....	10
1.1. Понятие риска	10
1.2. Риск и проблема устойчивого развития	11
1.3. Математическое определение риска	13
Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ РИСКОВ	16
2.1. Общая характеристика рисков	16
2.2. Индивидуальный и коллективный риски	27
2.3. Потенциальный территориальный и социальный риски	32
Глава 3. СТРУКТУРА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА.....	35
3.1. Проблемы техногенной безопасности	35
3.2. Структура полного ущерба как последствий аварий на технических объектах	46
3.3. Общая структура анализа техногенного риска	49
Глава 4. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА	51
4.1. Основные определения и понятия теории надежности, безопасности и риска	51
4.2. Метод построения блок-схем	57
Глава 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК	61
5.1. Риск поражения населения при авариях на химически опасных объектах	62
5.2. Риск для здоровья населения и загрязнение окружающей среды	79
5.3. Оценка риска, связанного с воздействием ионизирующего излучения	87
Глава 6. ВОСПРИЯТИЕ РИСКА	92
6.1. Психологические аспекты восприятия риска. Факторы восприятия риска	92

6.2. Механизмы восприятия риска	101
Глава 7. УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ	105
7.1. Допустимые и пренебрежимые риски угрозы здоровью. . .	105
7.2. Роль человеческого фактора в оценках риска и в управлении им	110
7.3. Цена риска и принцип оптимизации вариантов его снижения	118
7.4. Экологическое законодательство и стандарты – инструменты управления экологическими рисками	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	127
ТЕСТЫ К ДИСЦИПЛИНЕ	128
ЛИТЕРАТУРА	135

УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АДО	– анализ «деревьев отказа»
АДС	– анализ «деревьев событий»
АХОВ	– аварийно химические опасные вещества
АЭС	– атомная электростанция
БЖД	– безопасность жизнедеятельности
БСТС	– большая сложная техническая система
ВВП	– валовой внутренний продукт
ЛИ	– летальный исход
МОТ	– Международная организация труда
МТ	– магистральный трубопровод
МЧС	– Министерство по чрезвычайным ситуациям
ОХВ	– опасное химическое вещество
ПДК	– предельно допустимая концентрация
РВ	– радиоактивные вещества
РОО	– радиационно опасный объект
СДЯВ	– сильнодействующие ядовитые вещества
ССЖ	– среднестатистическая жизнь
СТС	– сложные технические системы
ХО	– химическая опасность
ХОВ	– химически опасное вещество
ХОО	– химически опасный объект
ЧС	– чрезвычайная ситуация

ВВЕДЕНИЕ

Развитие техногенной сферы на планете привело к двум диаметрально противоположным последствиям [2, 3, 23]:

– с одной стороны, достигнуты выдающиеся результаты в электронной, атомной, космической, авиационной, энергетической и химической отраслях промышленности, а также в биологии, геномной инженерии, предоставившие человечеству возможность продвинуться на принципиально новые уровни во всех сферах жизни и деятельности;

– с другой стороны, появились невиданные ранее потенциальные и реальные опасности и угрозы человеку, созданным им объектам, среде обитания не только в военное, но и в мирное время.

Перечень катастроф, аварий, пожаров и взрывов с выбросами токсичных веществ весьма обширен, а ущерб и последствия вряд ли можно оценить в полной мере. Следует учесть также, что только в России насчитывается около 100 тыс. опасных производств и объектов. Из них около 2300 ядерных и 3000 химических обладают повышенной опасностью. При этом в ядерном комплексе сосредоточено около 10^{13} , а в химическом около 10^{12} смертельных токсических доз (токсодоз). Количество потенциально опасных объектов по регионам России приведено в таблице.

Количество потенциально опасных объектов по регионам России

Регион	Радиационно опасные объекты	Химически опасные объекты	Взрывопожаро- опасные объекты
Северо-Западный	13	150	2350
Центральный	35	800	990
Северо-Кавказский	6	700	1400
Приволжский	11	500	500
Уральский	19	350	800
Западно-Сибирский	4	284	400
Восточно-Сибирский	5	100	186
Забайкальский	9	76	200
Дальневосточный	7	320	270
В целом	109	3280	7096

В Российской Федерации 45 тыс. опасных объектов различного типа и разной формы собственности. Из них только в промышленности более 8000 взрыво- и пожароопасных объектов. На территории Российской Федерации эксплуатируются более 30 тыс. водохранилищ и несколько сотен накопителей промышленных стоков и отходов. Имеется около 60 крупных водохранилищ емкостью 1 млрд м³.

Остро стоит проблема обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. Эти сооружения на 200 водохранилищах и 56 накопителях отходов эксплуатируются без ремонта более 50 лет и находятся в аварийном состоянии.

В России эксплуатируется около 150 тыс. км магистральных газопроводов, 62 тыс. км нефтепроводов и 25 тыс. км продуктопроводов. Общая протяженность трубопроводов составляет более 220 тыс. км. Ежегодно на них происходит 40–50 тыс. аварий.

К настоящему времени в мире зафиксировано более 150 аварий на атомных электростанциях (АЭС) с утечкой радиоактивности. Кроме того, на дне Мирового океана находится шесть затонувших атомных подлодок, девять атомных реакторов, 50 ядерных боеприпасов и одна водородная бомба ВМФ США.

По данным Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) РФ, ежегодно происходит около 1000–1500 аварий и катастроф (кроме аварий на автомобильном транспорте и производственного травматизма), в которых погибают или получают увечья десятки тысяч человек. Материальный ущерб вследствие аварий и катастроф постоянно растет. Разливы нефти при авариях супертанкеров наносят такой ущерб природе, что катастрофы с этими гигантскими судами ставятся в один ряд с такими бедствиями, как ураганы, извержения вулканов или землетрясения.

От аварий на опасных объектах ежегодно в России получают вред 200 тыс. человек, а погибают в результате аварий и катастроф, включая дорожно-транспортные происшествия, более 50 тыс. человек. Общий экономический ущерб от ЧС в год достигает 6–7 % валового внутреннего продукта (ВВП) страны.

Ситуация усугубляется тем, что для многих потенциально опасных объектов и производств характерна выработка проектных ресурсов и сроков службы. Дальнейшая эксплуатация приводит к резкому возрастанию числа отказов.

Современные тенденции развития техносферы усиливают риски техногенных катастроф, количество и размер последствий реализации которых постоянно растут. В России в зонах возможного воздействия поражающих факторов при авариях на потенциально опасных производственных объектах проживают свыше 60 млн человек.

Многие современные потенциально опасные производства спроектированы так, что вероятность крупной аварии на них оценивается величиной порядка 10^{-4} . Это означает, что из-за неблагоприятного стечения обстоятельств с учетом реальной надежности механизмов, приборов, материалов и человека возможно одно разрушение объекта за 10 тыс. объекто-лет. Но если число подобных объектов близко к 10 тыс., то ежегодно один из них статистически может быть источником аварии.

Существенное обстоятельство, увеличивающее риск промышленной деятельности, связано с повышением плотности размещения разнородных объектов и производств, их взаимодействием в аварийных ситуациях. Стремление к наибольшей экономичности, к максимальному использованию сделанных ранее вложений в энергетику, транспортные коммуникации, социально-бытовую сферу какого-либо региона приводит к насыщению его различными предприятиями без должного изучения их взаимодействия. И может случиться так, что авария на одном из них и не была бы столь значительной по последствиям, если бы не ее воздействие на соседний объект с возможным многократным усилением поражающих факторов.

Во многих странах с конца 1970-х гг. появились центры по безопасности и риску, интегрирующие мировой опыт в области безопасности, исследующие роль ранее неизвестных факторов, обучающие людей и выявляющие наиболее опасные области. В нашей стране эта деятельность нуждается в существенном улучшении, несмотря на то что последние несколько лет научное направление, включающее исследование проблем безопасности во всех сферах жизнедеятельности, проблемы оценки, анализа, прогнозирования и управление риском, активно и стремительно развивается. Происходит становление научных школ по анализу и управлению рисками с учетом специфики и особенностей риска, возникают специализированные кафедры в высших учебных заведениях, на которых профессиональную подготовку получают будущие специалисты по анализу и управлению риском, исследованию проблем безопасности, создаются профессиональные объединения специалистов по риску – Российское научное общество анализа риска, Русское общество управления рисками, Академия наук риска и др.; издаются специализированные журналы по риску – «Проблемы анализа риска», «Управление риском» и др.; выпускается научная, учебная, научно-популярная литература по проблематике анализа и управления риском, испытывающая в некотором смысле бум [7].

Государственная политика в области экологической и промышленной безопасности и новые концепции обеспечения безопасности и безаварийности производственных процессов на объектах эконо-

мики, диктуемые Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ, Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» от 09.01.96 № 3-ФЗ, Федеральным законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.99 № 52-ФЗ, Федеральным законом «Об использовании атомной энергии» от 21.11.95 № 170-ФЗ, Законом РСФСР «Об охране окружающей природной среды» от 19.12.91 № 2060-1, предусматривают в первую очередь объективную оценку опасностей и позволяют наметить пути борьбы с ними [10].

Глава 1

РИСК И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВА

1.1. Понятие риска

Термин «риск» появился на рубеже Средних веков и Нового времени. Конечно, люди и раньше сталкивались с опасностями и неуверенностью в будущем. Однако опасности, которым они подвергались, связывались с воздействием высших сил. Слово «риск» стало востребовано тогда, когда у людей появилось осознание ответственности за принятые решения.

Слово «риск» пришло в русский язык из европейских языков, скорее всего из испанского, на котором *risco* означает скалу, да не просто скалу, а отвесную. Поэтому, видимо, мореплаватели обозначают этим словом опасность, угрожающую их кораблям [1].

Понятие «риск» в современной литературе не является установленным и однозначным. Относительно его происхождения существует ряд версий. По одной из них, термин «риск» – испано-португальского происхождения и означает «подводная отвесная скала, утес». По другой версии, происходит от староитальянского *risicare* – «ларировать между». Третья версия предписывает происхождение термина «риск» к греческим словам *ridsicon*, *ridsa* – «утес», «скала».

Термин «риск» имеет свои этимологические особенности и в других языках. Так, в иврите понятие «риск» связано не только с такими родственными явлениями, как «нож», «хулиганство», «бандит», «опасность», но и с понятиями из несколько иной области: «быть полезным», «осмеливаться», «дерзкий», «наглость», «черт».

В китайском иероглифе, обозначающем понятие «риск» и графически включающем изображение двух человек, двух камней над ними и еще одного человека, стоящего выше, содержится буквальный смысл. В Словаре русского языка С. И. Ожегова под риском понимается «возможная опасность», «действие наудачу, в надежде на счастливый исход», а в Словаре Н. Уэбстера (Webster) риск определяется как «опасность, возможность убытка или ущерба», в Словаре Д. Н. Ушакова также содержится определение риска как вероятной опасности.

Ряд исследователей считает, что достоверно установить происхождение слова «риск» не представляется возможным. Некоторые исследования свидетельствуют, что оно арабского происхождения.

1.2. Риск и проблема устойчивого развития

Наиболее завершенная концепция общества риска принадлежит У. Беку. Согласно Беку, риск – это не исключительный случай, не «последствие» и не «побочный продукт» общественной жизни. Риски постоянно производятся обществом, причем это производство легитимное, осуществляемое во всех сферах жизнедеятельности общества – экономической, политической, социальной. Риски – неизбежные продукты той машины, которая называется принятием решений. Риск, полагает Бек, может быть определен как «систематическое взаимодействие общества с угрозами и опасностями, индуцируемыми и производимыми модернизацией как таковой».

Риски, в отличие от опасностей прошлых эпох, – «следствия угрожающей мощи модернизации и порождаемых ею неуверенности и страха» [4]. «Общество риска» – это фактически новая парадигма общественного развития. Ее суть состоит в том, что господствовавшая в индустриальном обществе «позитивная» логика общественного производства, заключающаяся в накоплении и распределении богатства, все более перекрывается (вытесняется) «негативной» логикой производства и распространения рисков.

Согласно этой теории, в последней трети XX в. человечество вступило в новую фазу своего развития, которую можно назвать обществом риска. Общество риска – это постиндустриальная формация, которая коренным образом отличается от индустриального общества. Главное отличие состоит в том, что если для индустриального общества характерно распределение благ, то для общества риска – распределение опасностей и обусловленных ими рисков.

Иными словами, в индустриальном обществе производились и распределялись главным образом положительные достижения, а в обществе риска, которое вращается в индустриальное, накапливаются и распределяются между членами негативные следствия развития последнего [8].

Впервые определение устойчивого развития дано в докладе «Наше общее будущее» [25], опубликованном Комиссией ООН по окружающей среде и развитию (иногда по имени ее председателя называемой комиссией Х. Брундтланд): «Человечество способно придать развитию устойчивый и долговременный характер, с тем чтобы оно отвечало потребностям ныне живущих людей, не лишая будущие поколения возможности удовлетворять свои потребности».

Термин был окончательно введен в международный обиход на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992). Итоговый документ конференции «Повестка дня на XXI век» обращает внимание на тот факт, что «комплексный подход

к проблемам окружающей среды и развития и уделение им большего внимания будут способствовать удовлетворению основных потребностей, повышению уровня жизни всего населения, способствовать более эффективной охране и рациональному использованию экосистем и обеспечению более безопасного и благополучного будущего» (<http://www.ratical.org>). При этом обеспечение безопасности должно включать, прежде всего, анализ последствий тех мероприятий нынешнего поколения, которые подвергают риску способность окружающей среды обеспечить безопасность человека будущего поколения. Устойчивое развитие общества и безопасность – два взаимосвязанных понятия, имеющих важное значение при выборе целей и путей достижения высокого материального и духовного уровня людей.

В Экологической доктрине Российской Федерации приведен такой текст: «Современный экологический кризис ставит под угрозу возможность устойчивого развития человеческой цивилизации. Дальнейшая деградация природных систем ведет к дестабилизации биосферы, утрате ее целостности и способности поддерживать качества окружающей среды, необходимые для жизни. Преодоление кризиса возможно только на основе формирования нового типа взаимоотношений человека и природы, исключающих возможность разрушения и деградации природной среды. Устойчивое развитие Российской Федерации, высокое качество жизни и здоровья ее населения, а также национальная безопасность могут быть обеспечены только при условии сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды. Для этого необходимо формировать и последовательно реализовывать единую государственную политику в области экологии, направленную на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Сохранение и восстановление природных систем должно быть одним из приоритетных направлений деятельности государства и общества».

В Экологической доктрине Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225-р подчеркивается, что переход на стратегию устойчивого развития должен быть сопряжен с обеспечением безопасности в любой сфере деятельности общества и государства.

Под экологической опасностью понимается разрушение среды обитания человека, а также природных экосистем и сообществ живых организмов из-за неконтролируемого развития экономики, отставания техники и естественных, техногенных и антропогенных чрезвычайных ситуаций (ЧС). В приведенном определении понятие экоопасности относится не только к человеку, а также ко всем представителям флоры и фауны, что соответствует основному требованию экологии – отказу от только антропоцентрического подхода в решении экологических проблем.

Система экологической безопасности включает совокупность законодательных, технических, медицинских и биологических мероприятий и средств, направленных на поддержание равновесия между биосферой и экологической нагрузкой.

Общими принципами обеспечения экологически безопасного устойчивого развития экосистем являются сохранение их биологического (и прежде всего генетического) разнообразия, обеспечение баланса поступления и экспорта вещества и энергии, строгое выполнение требований в части предельно допустимой экологической нагрузки.

Применительно к анализу уровня безопасности разработаны несколько концепций безопасности, опирающихся на следующие принципы (или их сочетания):

- принцип безусловного приоритета безопасности и сохранения здоровья над любыми другими элементами условий и качества жизни членов общества;

- принцип приемлемых опасности и риска, в соответствии с которым устанавливаются нижний (допустимый) и верхний (желаемый) уровни безопасности и в этом интервале – приемлемый уровень безопасности и риска с учетом социально-экономических факторов;

- принцип минимальной опасности, в соответствии с которым уровень риска устанавливается настолько низким, насколько это реально достижимо;

- принцип последовательного приближения к абсолютной безопасности.

Концепция устойчивого развития предполагает систему мер по обеспечению экологической безопасности. Экологическая безопасность – состояние защищенности биосферы и человеческого общества, а на государственном уровне – государства от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на окружающую среду. В понятие экологической безопасности входит система регулирования и управления, позволяющая прогнозировать, не допускать, а в случае возникновения – ликвидировать развитие чрезвычайных ситуаций. Экологическая безопасность реализуется на глобальном, региональном и локальном уровнях.

1.3. Математическое определение риска

В большинстве научных исследований в понятие «риск» наряду с вероятностью наступления неблагоприятного события вкладывается и другая, связанная с этим событием характеристика, – *размер наносимого ущерба*. Это приводит к трактовке количественной меры

риска как математического ожидания ущерба, определяемого на множестве возможных неблагоприятных событий (величины среднего риска).

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 [8].

Такой подход к трактовке риска широко применяется в теории информации и кибернетике, где риск распознавания информации определен как математическое ожидание потерь от ошибок распознавания. Математическая статистика при разработке процедур принятия решений в качестве меры риска также рассматривает аналогичный показатель – среднеожидаемую величину потерь в случае неправильного решения.

При равенстве ущерба нулю при наступлении неблагоприятного события объект не подвергается риску. Аналогичная ситуация имеет место и при нулевой вероятности наступления события, хотя возможный ущерб от него был бы огромен. Ситуация воспринимается как опасная, рискованная только в тех случаях, когда вероятность неблагоприятного события и возможный ущерб от его проявления отличны от нуля или реальны в житейском понимании. Подобное двухмерное толкование риска предопределило в некотором смысле общие для большинства отраслей знаний принципы и этапы его анализа и исследования, а также подходы к разработке и принятию управленческих решений, направленных на снижение, предотвращение риска неблагоприятных событий, а следовательно, и возможного ущерба от них [31].

В соответствии с таким толкованием в качестве количественной меры риска целесообразно использовать показатель, одновременно учитывающий две характеристики неблагоприятного события – вероятность его наступления и величину причиняемого им ущерба. Наиболее распространенной мерой риска является *показатель среднего риска*, рассчитываемый согласно следующей формуле:

$$R = \sum_{i=1}^n p_{ji} x_i, \quad (1.1)$$

где p_{ji} – вероятность получения ущерба размера x_i в результате наступления какого-либо неблагоприятного события (группы событий);

x_i – величина ущерба в соответствующих показателях (в экономике, как правило, в стоимостном выражении);

R – количественная мера риска (средний риск), выражаемая в тех же показателях, что и ущерб;

n – число возможных вариантов ущербов, которые могут быть при наступлении неблагоприятного события, включая и нулевой ущерб.

Таким образом, 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 :

$$R = P \cdot Q. \quad (1.2)$$

Ущерб, наносимый в результате реализации какой-либо опасности, может измеряться в различных единицах. Материальный ущерб принято оценивать в натуральных и денежных единицах. В экономике ущерб принято оценивать в денежных или относительных единицах, например в долях ВВП. В БЖД ущерб жизни людей принято оценивать в летальных исходах (ЛИ). В медицине принято оценивать ущерб здоровью людей числом раненых, травмированных, заболевших определенными заболеваниями. В экотоксикологии ущерб экосистемам принято оценивать в массе биологического вещества, в долях сокращения популяции, в долях заболевших особей по отношению к общему количеству особей в популяции и т. п. [14].

Глава 2

КЛАССИФИКАЦИЯ РИСКОВ

В современной научной литературе рассматриваются несколько разновидностей риска, каждая из которых имеет свои особенности:

- риски, угрожающие безопасности (*safety risks*);
- риски, угрожающие здоровью (*health risks*);
- риски, угрожающие состоянию среды обитания (*environmental risks*);
- риски, угрожающие общественному благосостоянию (*publicelfare/goodwill risks*);
- финансовые риски (*financial risks*).

2.1. Общая характеристика рисков

Сложность классификации рисков заключается, с одной стороны, в их многообразии, а с другой – в наличии взаимосвязей с другими понятиями. Субъект сталкивается с проблемами оценки риска (рискологическими проблемами) при решении как текущих, так и долгосрочных задач для объектов самого различного масштаба (рискологические объекты) [6].

Начальную классификацию рисков можно провести в зависимости от основной причины возникновения рисков [3]:

- природные риски – риски, связанные с проявлением стихийных сил природы: землетрясениями, наводнениями, подтоплениями, бурями и т. п.;
- техногенные риски – риски, связанные с опасностями, исходящими от технических объектов;
- экологические риски – риски, связанные с загрязнением окружающей среды;
- коммерческие риски – риски, связанные с опасностью потерь в результате финансово-хозяйственной деятельности.

Одной из разновидностей техногенных рисков выступает *профессиональный риск*, который связан с профессиональной деятельностью и является результатом действия комплекса различного рода причин: технологических, организационных, социальных и экономических.

Профессиональный риск связан с профессиональной деятельностью людей и определяется для ограниченного контингента лиц, занятых тем или иным видом деятельности. В литературу по гигиене термин «про-

фессиональный риск», как и термин «риск», вошел вместе с рекомендацией Международной организации по стандартизации (ИСО) по оценке вероятности потери слуха от шума (ИСО Р-1999, 1971). В 1977 г. Международная организация труда (МОТ) приняла Конвенцию 148 «О защите трудящихся от профессионального риска, вызываемого загрязнением воздуха, шумом и вибрацией на рабочих местах».

Профессиональный риск есть вероятность повреждения (утраты) здоровья или смерти застрахованного, связанная с исполнением им обязанностей по трудовому договору (контракту).

Профессиональный риск включает [15]:

1 – риск смерти в результате острого действия или хронического действия независимо от длительности болезни, если установлена связь с профессией;

2 – риск травмы;

3 – риск профессионального заболевания как любого ненормального состояния или нарушения (кроме травм), вызванного воздействием факторов, связанных с трудовой деятельностью, и возникшего за период более одного рабочего дня или смены.

Специалисты МОТ и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) выделяют более 150 классов профессиональных рисков и приблизительно 1000 их видов, которые представляют реальную опасность для 2000 различных профессий. При этом считается, что данная классификация является неполной и охватывает только отдельные аспекты безопасности и гигиены труда.

В табл. 2.1 приведены данные о риске смерти, обусловленные производственными причинами, для рабочих разных профессий [17].

Таблица 2.1

Данные о риске для некоторых профессий

Источник риска	Уровень риска на человека в год
Пожарный	$2 \cdot 10^{-4}$
Полицейский	$3 \cdot 10^{-4}$
Верхолаз	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Тракторист	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Экипаж гражданского самолета – условия нормального риска	$4,5 \cdot 10^{-4}$
Экипаж реактивного бомбардировщика	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Пилот серийного реактивного истребителя	$2 \cdot 10^{-2}$
Летчик-испытатель	$1,2 \cdot 10^{-2}$

Как следует из данных, приведенных в табл. 2.1, уровень риска смертельных исходов для всех профессий сильно зависит от рода профессиональной деятельности и колеблется в широком диапазоне от 10^{-4} до 10^{-2} на человека в год. Эти уровни риска определяются и рассматриваются только для ограниченных контингентов лиц, занятых в данной отрасли или имеющих данную специальность.

С точки зрения применения понятия риска при его анализе и управлении техногенной безопасностью важными категориями являются:

- индивидуальный риск – риск, которому подвергается индивидум в результате воздействия исследуемых факторов опасности;

- потенциальный территориальный риск – пространственное распределение частоты реализации негативного воздействия определенного уровня;

- социальный риск – зависимость частоты событий, в которых пострадало на том или ином уровне число людей больше определенного, от этого определенного числа людей;

- коллективный риск – ожидаемое число смертельно травмированных в результате возможных аварий за определенный период времени;

- приемлемый риск – уровень риска, с которым общество в целом готово мириться ради получения благ или выгод в результате своей деятельности.

Природные риски обусловлены внутренними свойствами такой компоненты БСТС (большая сложная техническая система), как природа. Эту разновидность рисков называют еще неизбежными, или природными, рисками: землетрясения, извержения вулканов, наводнения, обвалы, оползни, сели, цунами, лавины, метели, засуха и сильная жара, лесные и торфяные пожары, инфекционные болезни, воздействия астероидов и др.

По генезису (происхождению) все опасные природные процессы делят на несколько групп:

- литосферные, или геологические (землетрясения, оползни, сели);

- гидросферные, или гидрологические (наводнения, цунами, штормы);

- атмосферные, или метеорологические (смерчи, бури, ураганы и т. д.);

- природные пожары (лесные, степные, торфяные);

- биологические (эпидемии, эпизоотии, эпифитопии);

- космические (астероиды, ультрафиолетовое излучение).

Наиболее крупные по числу жертв стихийные бедствия: наводнение в Китае в 1959 г. (2 млн жертв); засуха в Индии в 1965–1967 гг. (1,5 млн жертв); ураган в Бангладеш в 1970 г. (300 тыс. жертв); зем-

летрясение в Китае в 1976 г. (240 тыс. жертв); обвал в Перу в 1970 г. (70 тыс. жертв); извержение вулкана на Мартинике в 1902 г. (26 тыс. жертв).

На земном шаре в сутки наблюдаются 44 000 гроз, или 1800 гроз в час, а каждую минуту сверкают 100 молний. Молния – это высокоэнергетический электрический разряд, возникающий вследствие установления разности электрических потенциалов (иногда до нескольких миллионов вольт) между поверхностями облачного покрова и земли. Длина молний зависит от высоты расположения облаков и лежит в пределах 2–50 км. Сила тока в молнии при ее разряде составляет 50–60 тыс. ампер, а иногда эта величина достигает 200 тыс. ампер. Температура в канале молнии составляет 30 млн градусов. Молнии являются причиной пожаров и гибели людей. В Европе ежегодно от молний погибает около 40 человек, в Америке этот показатель составляет 200–230 человек.

В 1962 г. английский теплоход «Аругарри» загорелся от удара молнии и затонул со всеми людьми, находящимися на борту. В 1963 г. попадание молнии в американский самолет «Боинг-707» привело к пожару на его борту, падению самолета, гибели всех пассажиров и членов экипажа.

Одним из самых грозных природных феноменов считается гроза. Это атмосферное явление, связанное с развитием мощных кучево-дождевых облаков, сопровождающееся многократными электрическими разрядами (молниями) между облаками, облаками и земной поверхностью, шквалистым ветром, звуковыми явлениями (громом), ливневыми дождями, градом. К наиболее грозоопасным районам относятся экваториальные районы и зоны тропиков. В районе о. Ява грозы бывают 322 дня в году. Между 35° северной широты и 35° южной широты каждые 12 ч отмечается порядка 3200 грозовых ударов, некоторые из них слышны на несколько километров. Над океаном грозы бывают реже, чем над сушей. Всего на Земле ежедневно происходит примерно 45 тыс. гроз. Есть места на планете, где гроз практически не бывает. За Полярным кругом в год регистрируются 1–2 грозы, а в пустыне Сахара их нет вообще.

Трагический инцидент произошел на севере Индии в удаленном районе Сьерра-Невада-де-Санта-Марта (департамент Магдалена). Молния ударила в одно из строений, когда в нем находились более 60 человек, выполнявших традиционные индейские ритуалы. В результате погибли 11 человек, точно известно о 15 раненых, шесть из которых поступили в больницы в тяжелом состоянии. Силы природы стали причиной трагедии, произошедшей в двух угандийских школах. Из-за ударов молнии погибли 18 учеников и еще, как минимум, 50 получили ожоги и травмы. В мае 2011 г.

удары молний стали причиной гибели не менее 40 человек в Бангладеш.

Поражение молнией – частое явление в Йемене. В конце июля в стране наступает сезон дождей, которые нередко сопровождаются ударами молнии.

К числу стихийных бедствий относится засуха. Это комплекс метеорологических факторов в виде продолжительного отсутствия осадков в сочетании с высокой температурой и пониженной влажностью воздуха. Ученые считают, что примерно 15 % от общего урона, наносимого стихийными бедствиями, приносит засуха.

Засуха – это не только гибель растительности, падеж скота, а значит и голод, но зачастую еще и гибель людей. Так, от теплового удара, полученного при повышенной температуре воздуха и пониженной влажности, ежегодно погибают 180–200 человек. Засуха может быть косвенной причиной возникновения других стихийных бедствий. В августе 1988 г. после продолжительной засухи в некоторых государствах Африканского континента прошли сильные ливневые дожди, что привело к бурным паводкам на реках. Погибли около 2 тыс. человек, миллионы людей остались без крова, были уничтожены сельхозугодия на больших площадях. Летом 1995 г. на Северный Китай обрушилась засуха, уничтожившая около 3 млн га посевов.

В одной из работ В. И. Вернадский писал: «Земная поверхностная оболочка не может рассматриваться как область только вещества, это область энергии». Действительно, на поверхности Земли и в прилегающих к ней слоях атмосферы идет развитие множества сложнейших физических, физико-химических и биохимических процессов, сопровождающихся обменом и взаимной трансформацией различных видов энергии. Эти процессы лежат в основе эволюции Земли и ее природной обстановки, являясь источником постоянных преобразований облика нашей планеты – ее геодинамики. Геодинамические процессы внутри Земли, на ее поверхности и в прилегающих слоях атмосферы часто приводят к развитию природных катастроф (рис. 2.1). Природные катастрофы в современном мире – источники глубочайших социальных потрясений, сопровождаемых массовыми страданиями и гибелью людей, а также огромными материальными потерями. В общей проблеме безопасности общества они все чаще рассматриваются как один из важнейших дестабилизирующих факторов устойчивого развития.

За последние 50 лет количество природных катастроф на Земле увеличилось почти в 3 раза. Наиболее распространенными опасными природными явлениями в мире являются тропические штормы и наводнения (по 32 %), землетрясения (12 %), другие природные процессы (14 %) (рис. 2.2).



Рис. 2.1. Чрезвычайные ситуации природного характера

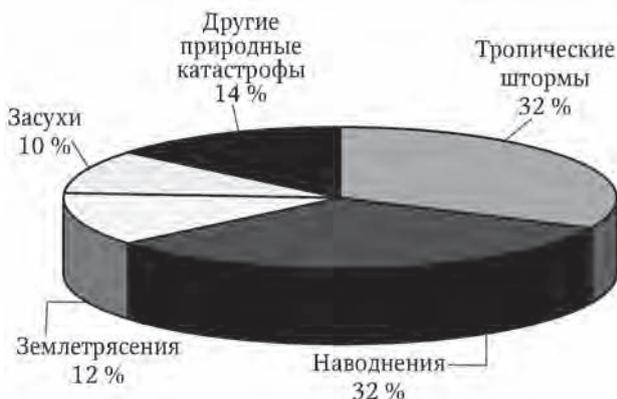


Рис. 2.2. Наиболее распространенные природные катастрофы в мире (1965–2001)

Среди континентов мира наиболее подверженными действию опасных природных процессов являются Азия (38 %) и Северная и Южная Америка (26 %). Далее следуют Африка (14 %), Европа (14 %) и Океания (8 %).

К природным опасностям, распространенным на территории нашей страны, относятся более 30 различных явлений, среди которых наибольшую угрозу представляют землетрясения, наводнения, ураганные ветры и штормы, извержения вулканов, цунами, провалы и опускания земной поверхности, оползни, сели, снежные лавины и сход ледников, аномальные температуры, лесные пожары.

Землетрясения – едва ли не самые страшные и губительные природные катастрофы. Действию землетрясений подвержено более 10 % суши, на которой проживает половина человечества. Они уносят десятки и сотни тысяч человеческих жизней, вызывают опустошительные разрушения на огромных пространствах.

В августе 1999 г. землетрясение на северо-западе Турции было эквивалентно подрыву 20 млн т тротила всего за 37 секунд; 7 декабря 1988 г. в Армении произошло Спитакское землетрясение, полностью стершее этот город с лица Земли. Тогда за несколько секунд погибло более 25 000 человек. Ашхабадское землетрясение в ночь с 5 на 6 октября 1948 г. унесло более 100 000 жизней. В Китае в 1920 г. погибло 200 000 человек, а в 1923 г. и 2011 г. в Японии – более 100 000 и 11 000. Этот скорбный список можно продолжать бесконечно. Землетрясения разной силы и в разных районах земного шара происходят постоянно. В год в среднем на планете происходит около 18 значительных землетрясений силой 7–8 баллов и одно сильное – 8 баллов.

Рекордным годом в России считается 1943 г., когда было зарегистрировано 41 землетрясение [26]. Статистические данные утверждают, что в среднем 1 человек из 8 тыс., проживающих на Земле, погибает при землетрясении.

Предвестниками землетрясений служит аномальное поведение животных и насекомых. Перед землетрясением кошки покидают селение и переносят котят в луга; домашние животные впадают в панику; муравьи за несколько часов до толчка покидают муравейники, захватив своих «куколок». Верным «рыбьим сейсмографом» в аквариумах японцы считают зубатку и угря. Хорошо чувствуют приближение «подземных гроз» голуби, ласточки, воробьи. Собаки проявляют перед землетрясением повышенную беспокойность и даже пытаются спасти своего хозяина перед началом страшных подземных толчков [21].

Роль вулканов в жизни Земли огромна. Вулканизм – глобальный геологический процесс, развивающийся на протяжении всей истории Земли. Вулканизм – «часть той силы, что вечно хочет зла и вечно совершает благо» (Гёте «Фауст»).

Вулканы нередко сопутствуют землетрясениям – эти явления имеют общую природу. В настоящее время на суше известно около

500 активных вулканов, примерно 20–30 вулканов ежегодно извергаются и представляют собой не только захватывающее зрелище, но и опасный (грозный) природный процесс. К сожалению, он также не обходится без человеческих жертв. Ежегодно жертвами извергающихся вулканов становятся в среднем почти 1000 человек. Вулкан Безымянный на Камчатке не извергался 1000 лет, но «проснулся» в 1955 г. Скорее всего, все вулканы, извергавшиеся в течение последних 25 000 лет, нужно рассматривать как потенциально активные.

Наиболее крупным вулканоопасным местом на планете является Тихоокеанское огненное кольцо, где находятся 526 вулканов, из них 328 извергались в историческое время. В нашей стране в это кольцо входят Курильские острова (40 вулканов) и Камчатка (28). Второй крупный пояс находится в Средиземноморье, в который входят Везувий (Италия), Этна (Сицилия), Эльбрус и Казбек (Кавказ), Арарат (Закавказье). Третий пояс – в Атлантическом океане (69 вулканов, из них 39 – извергалось в историческое время). Четвертый пояс – в Восточной Африке (Килиманджаро). За пределами поясов вулканы не встречаются.

Исследования свидетельствуют о том, что массовые вымирания биоты, которые неоднократно случались в геологическом прошлом, могли быть связаны с извержением вулканов. Так, например, рубеж в начале перми (183,6 млн лет назад) характеризовался массовым вымиранием морской фауны и флоры. И в это же время миллионы квадратных километров излившихся базальтовых лав способствовали резкому увеличению в атмосфере парниковых газов, а вулканический пепел, попавший в океан, изменил химический состав воды. Стабильная система «атмосфера – океан» оказалась нарушенной. Пережить это изменение смогли лишь некоторые виды организмов.

Во многом в прогнозе начала извержения вулканов могут помочь животные. Вулкан Мон-Пеле (Северная Америка) 8 мая 1902 г. разрушил город и погубил всех жителей (30 тыс. человек). Но среди трупов людей был всего один труп кошки. Значит, кошки предчувствовали опасность и спаслись. Еще в середине апреля многие животные покинули эту местность. Перелетные птицы, вместо того чтобы сделать в этом месте, как обычно, привал, не опускаясь, устремились на юг Америки. Исчезли змеи, которых было много на склонах гор. Разгадка может быть такой: животные уловили незначительное повышение температуры грунта, легкие сотрясения, выделения газов.

Стихийные бедствия метеорологического характера – тропические циклоны (ураганы, тайфуны) и циклоны средних широт, шквальные бури и смерчи (торнадо), экстремальные осадки и снежно-ледниковые явления, грозы, градобития, экстремальные температуры воздуха находят широкое распространение на планете Земля.

Смерчи (торнадо) – вид чрезвычайных ситуаций в США. Здесь ежегодно отмечается от 450 до 1500 торнадо (в Канаде в среднем 30 за год). Самый мощный из американских торнадо – Ирвингский. Он, проходя по территории США, скрутил в аккуратный сверток железнодорожный мост длиной 75 м и весом 115 т и утопил его в реке.

Летом 1948 г. смерч под Тулой (Россия) перенес на 200 м деталь весом в 500 кг. В Ростове в 1927 г. смерч сбросил с железной дороги груженные вагоны. «Наши смерчи» поражают своими странностями: налетая на поселок, смерч разрушает дом, но переносит на новое место буфет, не разбив ни одной чашки. Подняв высоко обезумевших от страха людей, он может бережно опустить их где-нибудь на землю. При прохождении смерча взрываются самые невероятные предметы: консервные банки, автомобильные камеры. Пролетев однажды над птичником, он оставил после себя живых, но полностью ошипанных кур. В 1904 г. смерч пронесся над Москвой. Коровы при этом летали по воздуху. На Немецком рынке в центр смерча попал городской, он вознесся в небо и затем, избитый градом и совсем раздетый, был опущен на землю. Московский смерч прошел полосой в 40 км длиной и шириной 400 м. Уже в двух шагах от границы смерча все стояло нетронутым.

Экстремальная жара в любом климатическом поясе устанавливается при летнем антициклоне. Абсолютный максимум температуры – максимальная температура воздуха, зарегистрированная в данной точке, стране или на Земле в целом за всю историю метеорологических наблюдений. Так, для Москвы это значение составляет 38,2 °С (29 июля 2010), предыдущий рекорд был отмечен 7 августа 1920 г., он составлял 36,8 °С. Для земного шара – это 57,8 °С (Ливийская пустыня).

Лето 2010 г. на европейской части России оказалось самым теплым за последние 1000 лет. Больше 2 месяцев почти ежедневно было на 7 градусов выше среднестатистических норм. Такие температуры (38,2 °С), в которых вынуждены выживать россияне, характерны для Сахары. Россия потеряла около 10 млн га зерновых, более 120 тыс. га леса, а смертность во многих регионах возросла вдвое; 17 регионов России были охвачены пожарами. Погибли 50 человек, без крова остались свыше 3,5 тыс. человек. Ущерб оценивается в миллиарды рублей. Невыносимо жарко также было в Японии, Канаде, США, Западной Европе. В Пакистане произошло самое сильное за последние 80 лет наводнение.

К числу стихийных бедствий в гидросфере относим процессы, приводящие к гибели людей и экосистем. К видам опасных гидрологических и гидрогеологических процессов, согласно ГОСТ Р 22.0.06-95, относятся: цунами, наводнения, подтопления, эрозии, затопление,

карст, суффозия, засоление, заболачивание, просадка лессовидных пород, пльвуны, набухание.

Наиболее опасное морское гидрологическое явление (наводнение) природного происхождения – цунами, что в переводе с японского языка означает «высокая волна в заливе».

За 2500 лет отмечены цунами только в Тихом (80 % случаев), Атлантическом океанах и Средиземном море. Цунами возникают, как правило, при подводных землетрясениях с магнитудой более 7. Энергия цунами обычно составляет 1–10 % энергии, вызванной землетрясением. Всего зарегистрировано 355 цунами. На долю Японии приходится 197 цунами, на Курилы и Камчатку – 14 цунами, из них только 4 можно считать сильными. Последнее сильнейшее цунами, охватившее 700-километровую зону Дальневосточного побережья, наблюдалось 5 ноября 1952 г., когда волны высотой до 10 м нанесли сильнейшее разрушение г. Северо-Курильску.

Май 1960 г. Всколыхнулось побережье Чили. Земля затряслась, словно в сильном припадке. Дыбилась и оседала почва. Местами сдвинулись горы. Это было землетрясение. Затем все затихло. Через несколько минут люди увидели, что море отходит от берега. Надвигалась более страшная беда. Люди ждали цунами. При Чилийском землетрясении на побережье накатилось несколько волн. Первая – «нежная» – около 5 м высотой, высокая вода простояла 5 мин, затем стала отступать. Вторая пришла через 20 мин: как гигантская рука, сминающая лист бумаги, она снесла все дома в городе. Море высоко стояло 15 мин, затем отступило, а третья волна пришла через час. Она была еще выше. В Чили погибли около 2 тыс. человек. Через 6 ч волны цунами пересекли Тихий океан и достигли Японии – островов Хонсю и Хоккайдо. Там морским наводнением уничтожено 5 тыс. домов.

Наводнения – наиболее распространенная природная опасность (часто стихийное бедствие). Наводнения составляют 40 % всех стихийных бедствий на планете. Наводнению подвержено $\frac{3}{4}$ части земной суши. Наводнение всегда сопровождало человечество и приносило значительные ущербы. Людям грозит опасность, когда слой воды достигает более 1 м, скорость потока превышает 1 м/с.

В начале 1990-х гг. Гидрометцентр России разработал «Карту опасности развития наводнений на территории России». В основу составления карты положен масштаб наводнений (величина максимального уровня половодья) и его повторяемость. Анализ карты районирования территории России по опасности развития наводнений показывает, что наиболее часто наводнения происходят на юге Приморского края, в бассейне Средней и Верхней Оки, Верхнего Дона, на реках бассейна Кубани и Терека. Наибольшие площади затопления наблюдаются на реках Сибири, текущих к северным морям –

Обь, Енисей, Лена, особенно на притоках Среднего Енисея и Средней Лены. Здесь разливы воды наблюдаются чаще чем один раз в два года, а в отдельные годы пойма заливается более чем на 90 %. На территории России сильные (выдающиеся) наводнения этого типа происходят в среднем раз в 10–25 лет. Они возможны при сочетании обильного осеннего увлажнения грунта и бурного снеготаяния (десятки миллиметров слоя воды в сутки), обеспечиваемого приходом масс теплого воздуха с дождями. Нагонные наводнения наблюдаются на Азовском, Балтийском, Белом и Каспийском морях, а также в устье рек Невы и Северной Двины.

В августе 2002 г. проливные дожди привели к паводкам по всей Центральной Европе. Ущерб составил примерно 12 млрд евро. Из берегов вышли 3 крупные реки – Дунай, Влтава и Эльба. В г. Майсене на Эльбе вода доходила до второго этажа зданий. Когда во вторник 13 августа 2002 г. окончательно рассвело, вода уже оккупировала целые районы чешской столицы, затопив подвалы, проникнув в квартиры, ударив по бизнесу.

К числу стихийных бедствий, изменяющих состояние верхних горизонтов литосферы и загрязняющих атмосферу и гидросферу, приводящих к гибели людей и экосистем, относятся природные пожары. Природные пожары (лесные, торфяные, степные) причиняют России значительный экономический и экологический ущерб. Так, за период 1990–2004 гг. ежегодно возникало от 18 тыс. до 43 тыс. лесных пожаров, охватывающих от 1380 тыс. га до 4260 тыс. га лесного (растительного) фонда.

По данным статистической отчетности, подавляющее число (89,5 %) лесных пожаров в целом по Российской Федерации возникают по вине людей. От молний (грозовых разрядов) возникает 10,5 % пожаров, т. е. 1 из 10 лесных пожаров.

К числу стихийных бедствий относятся биологические опасности, которые происходят от живых объектов. Биологические опасности могут быть связаны с растениями, животными, грибами, микроорганизмами.

Люди и домашние животные могут заражаться природноочаговыми болезнями, попадая на территории, где имеются места обитания переносчиков и возбудителей. К таким заболеваниям относятся чума, клещевой и комариный энцефалит, клещевой сыпной тиф и др. Возбудители этих болезней существуют в природе в пределах определенной территории вне связи с людьми или домашними животными. Они паразитируют в организме диких животных-хозяев. Передача возбудителей от животного к животному и от животного к человеку происходит преимущественно через переносчиков – кровососущих насекомых и клещей.

Инфекции проникают в организм через кожу, раневые поверхности, слизистые оболочки, в том числе органов дыхания, пищеварительного тракта и т. д.

Чума – острое инфекционное заболевание человека и некоторых животных, вызываемое чумной палочкой. Эту болезнь называли «черной смертью». Если в городе появлялась чума, то на городской стене вывешивался черный флаг, который символизировал, что приближаться к городу нельзя. Человечеству известны три эпидемии чумы (VI, XIV, XIX вв.). Развивающееся судоходство способствовало миграции 250 крыс и завозу с ними чумы в различные страны. Так, например, в 1347 г. в Европе началась эпидемия бубонной чумы, которая была занесена с кораблей, пришедших из заморских стран. Когда спустя три года эпидемия закончилась, оказалось, что она унесла с собой четверть европейского населения – 25 млн жизней.

Холера – острое инфекционное кишечное заболевание человека, вызываемое холерным вибрионом. Холера относится к числу древнейших болезней человека. До начала XIX в. она была свойственна для районов, расположенных в долине р. Ганг и его притоков. В дальнейшем холера периодически распространялась во многие страны мира, унося миллионы человеческих жизней. В Европу холера была занесена в 1816 г. Всего описано семь опустошительных пандемий холеры. Начало седьмой пандемии относят к 1961 г. Общее число только бактериологически подтвержденных случаев заболеваний, по данным ВОЗ, к началу 1984 г. превысило 1,3 млн человек.

Оспа натуральная – тяжелая острозаразная болезнь человека. В памятниках древней письменности описаны страшные эпидемии оспы, носившие опустошительный характер. В XVII–XVIII вв. в Европе ежегодно болели оспой 10 млн человек, около 1,5 млн из них умирали [21].

2.2. Индивидуальный и коллективный риски

Одной из наиболее часто употребляющихся характеристик опасности является *индивидуальный риск* (individual risk) – вероятность (частота) поражения отдельного индивидуума в результате воздействия исследуемых факторов опасности. Этот вид риска, которому подвергается индивидуальное лицо, рассматривается в качестве первичного понятия, во-первых, в связи с приоритетом человеческой жизни как высшей ценности и, во-вторых, в связи с тем, что именно индивидуальный риск может быть оценен по большим выборкам с достаточной степенью достоверности, что позволяет определять другие важные категории риска (например, потенциальный, территориальный) при анализе техногенных опасностей и осуществлять назначение приемлемого и неприемлемого уровня риска.

Обычно индивидуальный риск измеряется вероятностью гибели в исчислении на одного человека в год. Аналогично могут быть определены индивидуальные риски увечий, заболеваний, потери трудоспособ-

ности и т. д. Если говорится, что индивидуальный риск для пассажиров гражданской авиации составляет 10^{-4} 1/год (или 10^{-4} на чел./год), то в статистическом плане это означает, что существует возможность одного смертельного исхода в результате несчастного случая, связанного с отказом на самолете, на 10 тыс. пассажиров в год, или на одного пассажира, если бы он летал 10 тыс. лет. Иногда оценивают риск, отнесенный на 10^4 человек в год, при этом величина наиболее часто встречающихся рисков будет иметь порядок единицы. С другой стороны, когда оценивается риск какой-либо группы определенной профессии или специального рода деятельности, бывает целесообразно их риск относить к одному часу работы или одному технологическому циклу.

Индивидуальный риск в соответствии с названием и практикой применения характеризует риск человека (индивидуума) как объекта уязвимости определенных опасностей и угроз. Приоритетное положение этого показателя риска в существующей системе ценностей обусловлено ее высшим элементом – человеческой жизнью. Таким образом, индивидуальный риск занимает главенствующее положение среди других показателей и является одной из наиболее часто используемых характеристик опасностей, выражающей частоту (или вероятность) потери здоровья либо смерти человека. Источники и факторы индивидуального риска приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Классификация источников
и основных причин индивидуального риска смерти**

Источники риска смерти	Основные причины смерти
Внутренняя среда организма	Генетические и соматические заболевания
Естественная среда обитания	Несчастные случаи при землетрясениях, наводнениях и т. д.
Искусственная среда обитания	Несчастные случаи в быту, на транспорте, заболеваемость от загрязнения внешней среды и т. д.
Профессиональная деятельность	Профессиональные заболевания, несчастные случаи на производстве
Непрофессиональная деятельность	Заболеваемость и несчастные случаи в любительском спорте и других видах непрофессиональной деятельности
Социальная среда	Самоубийства и самоповреждения, убийства и ранения, связанные с военными действиями и т. п.

В общем случае индивидуальный риск на рассматриваемой территории от некоторой опасности или угрозы характеризуется вероятностью смерти произвольного лица из населения за интервал времени, равный 1 году. Риск определяется статистическим либо вероятностным (с помощью математических моделей) методом. Так, если имеется достаточная статистика, то точечная статистическая оценка индивидуального риска (1/год) может быть получена по формуле

$$RI = n/N, \quad (2.1)$$

где n – число смертей в год по рассматриваемой причине; N – численность населения на рассматриваемой территории в оцениваемом году.

Этот вид риска рассматривается в качестве первичного и основного понятия, во-первых, в связи с приоритетом человеческой жизни как высшей ценности и, во-вторых, в связи с тем, что именно индивидуальный риск может быть оценен по большим выборкам с достаточной степенью достоверности, что позволяет определять другие важные категории риска (например, потенциальный территориальный) при анализе техногенных опасностей и осуществлять установление приемлемого и неприемлемого уровней риска.

Например, в России в 2008 г. зарегистрировано около 200 тыс. пожаров, в которых погибли 15 165 человек (статистика МЧС России). Численность населения РФ в 2008 г. составляла примерно 141,8 млн человек. Пожары происходили в различных регионах страны, в городах и сельской местности, и гибли в них мужчины и женщины, люди всех возрастных групп, включая стариков и детей. Таким образом, можно считать, что общее число рискующих составляет всё население РФ, что вызывает особую тревогу. Величина среднего индивидуального риска смерти в России по причине пожаров в 2008 г. определена по зависимости (2.1) :

$$RI = 15165/141,8 \cdot 10^6 = 1,07 \cdot 10^{-4}, 1/\text{год}. \quad (2.2)$$

Для сравнения: в 2007 г. этот показатель был равен $1,13 \cdot 10^{-4}$ 1/год. Тенденция к уменьшению индивидуального риска на первый взгляд статистически незначительная, но в масштабах страны за этим стоят около 800 сохраненных жизней. Приведенные примеры относятся к апостериорному определению риска, т. е. характеристике уже свершившихся событий. Однако существующий методический аппарат позволяет решать и другую, не менее важную задачу – прогнозирование риска, т. е. априорную оценку событий на определенный временной интервал будущего.

Значение индивидуального риска разделено на 3 категории: 1 – бытовые риски (риски, которым подвергается каждый житель страны независимо от профессии и образа жизни), 2 – профессиональные риски (риски, связанные и с профессией человека), 3 – добровольные риски (риски, касающиеся личной жизни, в частности непрофессиональные занятия альпинизмом, прыжки с парашютом и т. д.); добровольные риски можно рассматривать как собственные интересы и плату за удовольствие. Наибольшие риски в категории 1 связаны с болезнями, за ними следуют несчастные случаи; в категории 2 – работа на морских платформах при разработке континентального шельфа; в категории 3 – занятие альпинизмом.

Коллективный риск (групповой, социальный) – это риск проявления опасности того или иного вида для коллектива, группы людей, для определенной социальной или профессиональной группы людей.

Количественной интегральной мерой опасности является коллективный риск, определяющий масштаб ожидаемых последствий для людей от потенциальных аварий или других негативных воздействий:

$$RN = RI \cdot N, \quad (2.3)$$

где N – общее число людей, подвергающихся потенциальному негативному воздействию.

Фактически коллективный риск определяет ожидаемое число смертельных исходов в результате аварий на рассматриваемой территории за определенный период времени. Наиболее удобно пользоваться этим понятием для сравнения различных территорий хозяйственной деятельности, однако для разработки мер безопасности применение коллективного риска неэффективно, так как основной ущерб от несчастных случаев как результатов неблагоприятных событий зачастую не рассматривается.

Индивидуальный и коллективный риски могут быть переведены в сферу экономических и финансовых категорий, если установить стоимость человеческой жизни и использовать формулу математического определения риска. Такой подход широко обсуждается, вызывая возражения определенного круга ученых, которые считают человеческую жизнь бесценной, и все финансовые дискуссии на этой почве недопустимыми. Однако на практике неизбежно возникает необходимость стоимостной оценки человеческой жизни именно с целью обеспечения безопасности людей. В большинстве промышленно развитых стран этот вопрос решается путем страхования индивидуальных рисков, в том числе смертельных. Уместно использовать категорию «цена человеческой жизни».

Стоимость человеческой жизни (стоимость среднестатистической жизни, ССЖ) – это условная расчетная экономическая величина, для определения которой применяются различные методики и показатели. «Стоимость человеческой жизни», или «стоимость среднестатистической жизни», условна потому, что человеческая жизнь не является рыночным товаром. Определение стоимости жизни может потребоваться в различных случаях: для определения размера компенсационных выплат при травмировании и гибели людей на производстве, в авариях и катастрофах, при террористических актах; для разработки мер безопасности; для планирования деятельности правоохранительной системы, здравоохранения, аварийных служб; для определения страховых сумм, страховых премий и выплат при страховании жизни и здоровья.

Первые методики расчета ценности жизни, с точки зрения самого человека, подвергаемого риску гибели, появились в 1960-х гг., когда правовое сознание людей, гражданское право, экономическая, социальная и культурная жизнь в США и Великобритании достигли такого уровня развития, что суды принуждали работодателей и перевозчиков пассажиров выплачивать за гибель человека, происшедшую по их вине в результате несчастного случая или транспортной катастрофы, компенсационную сумму, значительно превышавшую дисконтированную зарплату, которую этот человек мог заработать за всю свою жизнь.

В 2013 г. в России средняя «стоимость» человеческой жизни, справедливое возмещение в связи с гибелью человека, незначительно выросла и составила 3,6 млн руб. против 3,5 млн руб. годом ранее.

В [31] приведены данные о нормативах компенсационных выплат в некоторых развитых странах при несчастных случаях на производстве (если не принимались во внимание особые обстоятельства). Компенсации в случае несчастного случая, повлекшего смерть человека, составляли (доллары США): в Финляндии – 7000, в ФРГ – 40 000, США и Канаде – 500 000, Японии – до 1 800 000. При этом размер компенсации не зависел от возраста пострадавшего.

Исходя из того, что при использовании понятий «индивидуальный риск» и «коллективный риск» возникают значительные неопределенности, в настоящее время на практике стали применять другие категории риска (территориальный и социальный) как меры опасности, характеризующие риск не единственным числовым значением, а наборами чисел или функциональными зависимостями.

2.3. Потенциальный территориальный и социальный риски

Комплексной мерой риска, характеризующей опасный объект (территорию), является *потенциальный территориальный риск* – пространственное распределение вероятности (или частоты) реализации негативного воздействия определенного уровня. Например, при моделировании опасных техногенных процессов по схеме «авария – механизм воздействия – реализация воздействия» для оценки риска, связанного с выбросами вредных веществ, потенциальный территориальный риск в точке (x, y) рассчитывается по формуле

$$RI(x, y) = \sum P(A)_i P_{ij}(x, y) P(L)_j, \quad (2.4)$$

где $P(A)_i$ – вероятность аварии по сценарию i ;

$P_{ij}(x, y)$ – вероятность реализации механизма воздействия j в точке (x, y) для сценария выброса i ;

$P(L)_j$ – вероятность летального исхода (или заболевания) при реализации механизма воздействия j .

Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте, и может меняться в широком интервале. Потенциальный риск в соответствии с названием представляет собой потенциал максимально возможного риска для конкретных объектов воздействия, находящихся в данной точке пространства. На практике важно знать распределение потенциального риска для отдельных источников опасности и для отдельных сценариев аварий.

Например, для предприятия с холодильными установками, содержащими 148 т аммиака, поле потенциального риска для людей на открытой местности в зоне радиусом 200 м риск смерти составляет 10^{-2} , в зоне до 400 м он равен 10^{-3} , а при удалении на 1 км он падает до 10^{-5} , и вне этой зоны до 10^{-6} чел./год.

Как правило, потенциальный риск оказывается промежуточной мерой опасности, используемой для оценки индивидуального и социального риска.

Социальный риск – зависимость частоты событий F , в которых пострадало на том или ином уровне число людей, больше теоретически определенного числа людей N , от этого определенного числа людей N . Социальный риск фактически характеризует масштаб возможных аварий и катастроф. Распределение потенциального риска и плотности населения в исследуемом районе позволяет получить количественную оценку социального риска для населения. Для этого нужно определить число пораженных при каждом сценарии от каждого источника опасности и затем определить зависимость событий

F от N . Масштаб же возможных аварий и катастроф определяется функцией, у которой есть установившееся название F/N -кривая. В зависимости от задач анализа под N можно понимать и общее число пострадавших, и число смертельно травмированных или другой показатель тяжести последствий.

Социальный риск (R_c) характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций, а также различного рода явлений, снижающих качество жизни людей. По существу это риск для группы или сообщества людей. Оценить его можно, например, по динамике смертности, рассчитанной на 1000 человек соответствующей группы:

$$R_c = 1000(C_2 - C_1)t/L, \quad (2.5)$$

где C_1 – число умерших в единицу времени t (смертность) в исследуемой группе в начале периода наблюдения, например до развития чрезвычайных событий;

C_2 – смертность в той же группе людей в конце периода наблюдения, например на стадии затухания чрезвычайной ситуации;

L – общая численность исследуемой группы.

Социальный риск является функцией распределения потерь (ущерба), у которой есть установившееся название F/N -кривая, или кривая Фармера. При этом F – частота наступления ущерба, а под N в зависимости от задач анализа можно понимать общее число пострадавших, число смертельно травмированных, размер материальных убытков или другой показатель тяжести последствий. Таким образом, F/N -кривая характеризует частоту наступления ущерба той или иной тяжести (рис. 2.3).

Риски нарушения нормального социального положения имеют разную природу, т. е. возникают и могут воспроизводиться по разным причинам (стихийные бедствия, военные действия, эпидемии, революции, государственные перевороты, демографические взрывы и провалы и т. п.).

Социальные риски выделяются в системе рисков тем, что они возникают и существуют не в чрезвычайных, а в обычных (нормальных) условиях развития общества, закономерно (а не случайно) сопровождают нормальное функционирование общества, и более того, имеют своими причинами именно базовые общественные отношения, нормальные (повседневные, регулярные) общественные порядки. Понимая, что данное общественное устройство само из себя постоянно порождает социальные риски, общество порождает и развивает систему защиты от социальных рисков – социальную защиту. Социальная защита – политика государства, направленная на обес-

печение социальных, экономических, политических и других прав и гарантий человека независимо от пола, национальности, возраста, места жительства и других обстоятельств.

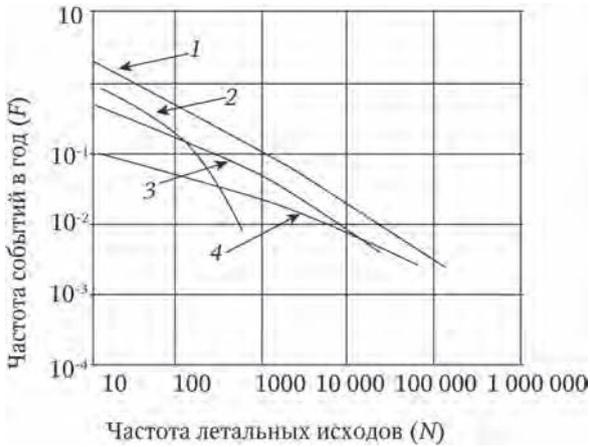


Рис. 2.3. F/N-кривые природных ЧС:
1 – суммарная кривая; 2 – торнадо; 3 – ураганы; 4 – землетрясения

Глава 3

СТРУКТУРА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей (рис. 3.1).

К *техногенным* относятся чрезвычайные ситуации, происхождение которых связано с техническими объектами: взрывы, пожары, аварии на химически опасных объектах, выбросы РВ на радиационно опасных объектах, аварии с выбросом экологически опасных веществ, обрушение зданий, аварии на системах жизнеобеспечения, транспортные катастрофы и др.



Рис. 3.1. Чрезвычайные ситуации техногенного характера

3.1. Проблемы техногенной безопасности

По данным МЧС, в нашей стране ежегодно происходит свыше 600 техногенных аварий.

В России насчитывается около 100 тыс. опасных производств и объектов. Из них около 2300 ядерных и 3000 химических обладают повышенной опасностью. При этом в ядерном комплексе сосредото-

чено около 10^{13} , а в химическом комплексе около 10^{12} смертельных токсодоз.

Анализ статистики аварий и катастроф в России, выполненный службами государственного надзора, показывает, что число смертельных случаев ежегодно увеличивается на 10–25 %, а в некоторых отраслях (например, на авиационном транспорте) – на 50 %. Так, по данным Министерства по чрезвычайным ситуациям РФ, ежегодно происходит около 1000–1500 аварий и катастроф (за исключением аварий на автомобильном транспорте и производственного травматизма), в которых погибают или получают увечья десятки тысяч человек. Материальный ущерб вследствие аварий и катастроф постоянно растет, хотя и не столь быстрыми темпами. Произошло смещение основной тяжести последствий аварий и катастроф в сторону увеличения числа смертельных случаев при относительной стабилизации материальных потерь. Все это происходит на фоне падения основного производства и сокращения числа потенциально опасных объектов. Таким образом, удельные показатели аварийности работы опасных объектов за последние годы растут еще более быстрыми темпами.

Ситуация усугубляется еще и тем, что для многих потенциально опасных объектов и производств характерна выработка проектных ресурсов и сроков службы. Дальнейшая эксплуатация приводит к резкому возрастанию числа отказов.

На территории России эксплуатируются системы магистральных трубопроводов (МТ) протяженностью более 200 тыс. км, имеющие около 6000 технически сложных наземных объектов повышенной опасности: компрессорные, насосные и газораспределительные станции, резервуарные парки. Аварийность на объектах МТ находится на довольно высоком уровне и имеет тенденцию к возрастанию, так как процессы «старения» трубопроводных систем характеризуются снижением прочности из-за коррозионных и усталостных повреждений металла, дефектов технологического и эксплуатационного характера (типа гофр, вмятин, рисок, подрезов и др.) [3].

3.1.1. Классификация и номенклатура потенциально опасных объектов и технологий

В основу предложений по классификации потенциально опасных объектов может быть положена их градация по характеру возможных чрезвычайных ситуаций, возникающих в результате аварий на таких объектах. Укрупненно может быть выделено шесть групп.

Группа 1. Радиационно опасные объекты и сложные технические системы (СТС), на которых при авариях могут произойти массовые

заражения людей, животных, растений, а также радиационное загрязнение обширных территорий. К радиационно опасным объектам относятся предприятия ядерного топливного цикла, организации, имеющие исследовательские и экспериментальные реакторы, и др.

Группа 2. Химически опасные объекты и СТС, на которых при авариях могут произойти массовые поражения людей, животных, растений, а также загрязнение обширных территорий сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ). К химически опасным объектам относятся предприятия по производству, переработке, хранению и утилизации СДЯВ.

Группа 3. Пожароопасные объекты и СТС, на которых производятся, хранятся, транспортируются взрывоопасные продукты или вещества, приобретающие при определенных условиях способность к возгоранию или взрыву.

Группа 4. Биологически опасные объекты и СТС, на которых при авариях возможны массовые поражения флоры и фауны, а также загрязнение обширных территорий биологически опасными веществами. К ним относятся предприятия по изготовлению, хранению и утилизации биологически опасных веществ, а также научно-исследовательские организации этого профиля.

Группа 5. Гидродинамически опасные объекты и СТС, при разрушении которых возможно образование волны прорыва и затопление обширных территорий. К ним относятся гидротехнические сооружения: плотины, дамбы, подпорные стенки, напорные бассейны и уравнительные резервуары, гидроаккумулирующие электростанции и др.

Группа 6. Объекты жизнеобеспечения крупных народнохозяйственных предприятий и населенных пунктов, аварии на которых могут привести к катастрофическим последствиям для предприятий и населения, а также вызвать экологическое загрязнение регионов. К рассматриваемым объектам жизнеобеспечения относятся объекты энергетических систем, коммунального хозяйства (канализация, водоснабжение, газоснабжение, очистные сооружения и др.), транспортные коммуникации и т. д.

В основе классификации ЧС по масштабу лежат: величина территории, на которой распространяется ЧС, число пострадавших и размер ущерба. По масштабу чрезвычайные ситуации могут быть классифицированы следующим образом (Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»):

1. Локального характера, в результате которой территория, на которой сложилась чрезвычайная ситуация и нарушены условия жизнедеятельности людей (далее – зона чрезвычайной ситуации), не выходит за пределы территории объекта, при этом количество

людей, погибших или получивших ущерб здоровью (далее – количество пострадавших), составляет не более 10 человек либо размер ущерба окружающей природной среде и материальных потерь (далее – размер материального ущерба) составляет не более 100 тыс. рублей.

2. Муниципального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного поселения или внутригородской территории города федерального значения, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн рублей, а также данная чрезвычайная ситуация не может быть отнесена к чрезвычайной ситуации локального характера.

3. Межмуниципального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более поселений, внутригородских территорий города федерального значения или межселенную территорию, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн рублей.

4. Регионального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного субъекта Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн рублей, но не более 500 млн рублей.

5. Межрегионального характера, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн рублей, но не более 500 млн рублей.

6. Федерального характера, в результате которой количество пострадавших составляет свыше 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 500 млн рублей.

Техногенные чрезвычайные ситуации могут возникать на основе событий техногенного характера вследствие конструктивных недостатков объекта (сооружения, комплекса, системы, агрегата и т. д.), изношенности оборудования, низкой квалификации персонала, нарушения техники безопасности в ходе эксплуатации объекта и др.

ЧС техногенного характера могут протекать с загрязнением или без загрязнения окружающей среды.

На территории России насчитывается более 3 тыс. объектов, которые при авариях и катастрофах могут привести к массовым поражениям людей. Из них более 2 тыс. объектов относятся к химически опасным, с общим запасом СДЯВ свыше 1 млн т.

Случаи попадания СДЯВ в окружающую среду не столь редки. Только в США за один 1995 г. зарегистрировано около 6 тыс. аварий с утечкой СДЯВ. По данным Госгортехнадзора РФ, в России в химических отраслях ежегодно происходит несколько тысяч различных аварий, многие из которых лишь по формальным признакам относятся к производственным неполадкам. Одной из тяжелейших катастроф на химических предприятиях стала производственная катастрофа на заводе транснациональной корпорации «Юнион Карбайд» в административном центре индийского штата Мадхья-Прадеш (г. Бхопале). В ночь со 2 на 3 декабря 1984 г. в результате аварии произошла утечка 43 т смертельно опасного яда – метилизоцианита. Тогда погибли 4035 человек. Отравления получили свыше 200 тыс. человек.

В России катастрофические последствия имела авария на Новосибирском заводе по производству химического оружия в апреле–мае 1979 г. Утечка отравляющих веществ унесла около 300 человеческих жизней.

10 июля 1976 г. произошла авария на заводе в г. Севезо (Италия). Из-за повышения внутреннего давления вследствие неконтролируемой реакции в реакторе произошел выброс струи трихлорфенола. Это вызвало серьезные заболевания у 1 тыс. человек.

В настоящее время резко возросли объемы перевозок по железной дороге сжиженного хлора. В России одновременно находятся в пути 650–700 цистерн со СДЯВ и столько же на загрузочно-разгрузочных работах, которые тоже отличаются повышенной опасностью. К примеру, 15 ноября 1983 г. на Кемеровском производственном объединении «Прогресс» наблюдался выброс хлора из цистерны емкостью 60 т. Заражена площадь порядка 5 тыс. кв. м. Погибли 26 человек.

Особую опасность представляет заражение высокотоксичными веществами водных источников. В сентябрь 1978 г. в г. Сучжоу (Китай) на химическом заводе произошел выброс в реку 28 т цианистого натрия. Этого количества яда хватило бы, чтобы убить 48 млн человек, однако, по официальному сообщению, число жертв составило 3 тыс. человек. В марте 1990 г. в результате прорыва дамбы прудов городских очистительных сооружений в г. Уфе (Башкортостан) содержание фенола в устье р. Шугуровка превысило предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 4000 раз. В сложившейся ситуации было невозможно некоторое время обеспечивать город водой через водозабор. В медицинские учреждения за оказанием помощи обратились около 2 тыс. человек.

Огромную опасность таят в себе аварии, связанные с выбросами радиоактивных веществ при их хранении, транспортировке и работе с ними.

Наибольшую тревогу вызывают ядерные и радиационные аварии, особенно аварии на АЭС. За суммарный срок эксплуатации всех

имеющихся в мире реакторов АЭС, равный 6000 лет, произошло три крупных аварии на АЭС: в Англии (Уиндскейл, 1986 г.), в США (Три-Майл-Айленд, 1979 г.) и в СССР (Чернобыль, 1986 г.) [13].

Существует потенциальная опасность непроизвольного ядерного взрыва, но она носит больше теоретический, чем практический характер. Отчасти это достигается многократным дублированием систем безопасности ядерных реакторов и ядерных боезарядов. Известен случай, происшедший в семидесятые годы, когда пилот бомбардировщика В-52 был вынужден сбросить термоядерную бомбу на территорию штата Южная Каролина (США) и этим чуть было не опроверг теорию вероятности. От взрыва бомбу защищали 6 предохранителей, позднее выяснилось, что 5 из них были неисправны. И лишь единственный спас США от катастрофы глобального масштаба.

По данным Гамбургского института по вопросам безопасности, за последние полстолетия ВВС США в ходе боевых учений, а также в результате аварий потеряли 92 атомные бомбы, которые находятся на дне Атлантического и Тихого океанов.

Определенную угрозу населению с точки зрения последствий возможных аварий и катастроф представляют также: корабли с ядерными, энергетическими установками на борту; береговые технические базы ремонта и перезарядки атомных реакторов; суда атомного технологического обслуживания, судоремонтные заводы ВМФ, на которых сосредоточено большое количество обработанного ядерного топлива, твердых и жидких радиоактивных отходов.

В отраслях ТЭК в настоящее время общее число производственных объектов достигло более 1 млн 355 тыс. Из них в электроэнергетике – 385 тыс., в нефтегазодобывающих отраслях – около 324 тыс., в нефтепереработке – около 44 тыс., на магистральном трубопроводном транспорте – более 6 тыс., а также 230 тыс. км промысловых нефте- и газопроводов.

В электроэнергетике количество оборудования, отработавшего свой ресурс, приближается к 60–65 %. Доля отработавшего ресурс оборудования в нефтяной промышленности достигла 80 %, как и внутри промысловых трубопроводов. В газовой промышленности степень износа оборудования составляет 70 % угольной промышленности – более 60 %. По данным Минэнерго России, 65 % (по протяженности) магистральных нефтепроводов эксплуатируются свыше 20 лет, 47 % магистральных газопроводов в эксплуатации от 15 до 30 лет, 15 % – более 30 лет при нормативном сроке службы 33 года.

Серьезную опасность для значительной части населения представляет состояние гидротехнических сооружений. В настоящее время на территории РФ эксплуатируются более 28,5 тыс. водохранилищ, более 500 накопителей промышленных стоков и отходов. В зо-

нах потенциального затопления проживают около 10 млн человек. На значительной части гидротехнических сооружений отсутствуют службы эксплуатации, из-за финансовых трудностей не выполняются текущие и капитальные ремонтно-восстановительные работы. Разрушение гидротехнических сооружений может привести к катастрофическим затоплениям обширных территорий, населенных пунктов, объектов экономики, гибели людей, прекращению сельскохозяйственного и рыбопромыслового производства.

3.1.2. Природно-техногенные риски

В категорию природно-техногенных катастроф и бедствий в значительной мере условно включены те из них, в которых преобладают природные причины. Несомненно, что в большинстве случаев оказывается высокой и доля социальных причин, связанных с человеческим фактором.

Природно-техногенные катастрофы и бедствия занимают 2-е место по числу погибших, но 1-е место по наносимому ущербу.

Практически любой катастрофический процесс (загрязнение, сели, оползни, пылевые бури и другие явления) имеет комбинированный характер: техногенное влияние соединяется с природными явлениями.

Среди природных катастроф наиболее тяжелые последствия вызывают землетрясения. Для мира в целом ущерб от землетрясений превышает ущерб от всех остальных природных катастроф, вместе взятых. По оценкам ЮНЕСКО (Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры) и других международных организаций, ежегодный ущерб от землетрясений составляет несколько десятков миллиардов долларов. Одно катастрофическое землетрясение может унести до миллиона жизней и причинить ущерб до 100 млрд долларов. При этом негативные экономические последствия наблюдаются далеко за пределами территории, непосредственно пострадавшей от землетрясения. Процесс урбанизации ведет к увеличению материального ущерба от землетрясений.

Наглядны примеры ущерба, причиненного землетрясениями последних лет. В результате землетрясения средней силы в Нортридж (США) в 1994 г., происшедшего в относительно малонаселенном районе, прямой ущерб только системам жизнеобеспечения превысил 2 млрд долларов. Данная величина отражает только затраты на ремонт поврежденных коммуникаций, а прогнозная оценка косвенного ущерба составляет на порядок большую величину.

Оценки потерь от землетрясений, сделанные по мировым данным страховой компании «Munich Re», показывают, что число событий

с тяжелыми последствиями во всем мире в период 1986–1995 гг. увеличилось по сравнению с 1960 гг. в 3,2 раза, а объем потерь возрос в 15,4 раза. Анализ причин увеличения потерь свидетельствует о том, что это далеко не случайное явление, а необратимые последствия быстрого роста населения, промышленности, инфраструктуры, коммерческой и экономической деятельности в крупных городах и промышленных центрах, расположенных в сейсмоактивных районах. Это приводит к выводу о необходимости инвестировать работы по стратегии уменьшения потерь от землетрясения до того, как оно произойдет, а не расходовать во много раз больше в период реагирования и восстановления после землетрясения [3].

Оценке и прогнозированию территориальных рисков природно-техногенного характера посвящены многие монографии [29, 36].

Несмотря на неуклонное повышение технической оснащенности общества, следует ожидать, что масштабы и спектр негативного воздействия природных процессов на человека и системы его жизнеобеспечения будут возрастать.

3.1.3. Опасности аварий и их последствия

Опасность техногенного характера рассматривается как состояние, внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое в виде поражающих воздействий источника техногенной чрезвычайной ситуации на человека и окружающую среду при его возникновении либо в виде прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации этих объектов.

Большинство опасностей на промышленных объектах возникают в результате штатных (плановых) или нештатных (аварийных) выбросов в атмосферу вредных (токсичных) или взрывопожароопасных веществ или в результате быстротечных выделений больших количеств энергии. Указанные опасности, как правило, имеют различное происхождение, разные масштабы и механизмы воздействия на человека и окружающую среду.

Ниже приведены основные причины крупных техногенных аварий:

- отказы технических систем из-за дефектов изготовления и нарушения режимов эксплуатации;
- ошибочные действия операторов технических систем;
- концентрация различных производств в промышленных зонах;
- высокий энергетический уровень технических систем;
- внешние негативные воздействия на объекты энергетики, транспорта и др.

При оценках индивидуального риска от ЧС техногенного и природного характера часто принимается, что значения индивидуального риска в основном определяются частотой аварии и интенсивностью поражающего фактора (моделями воздействия) и сопротивлением этому воздействию (*законами поражения*). В качестве поражающего фактора при расчете последствий принимается фактор, вызывающий основные разрушения и поражения. Основные параметры поражающих факторов ЧС природного и техногенного характера приведены в табл. 3.1 [3].

Таблица 3.1

Поражающие факторы и их основные параметры

Вид ЧС	Поражающие факторы	Параметры
Землетрясение	Обломки зданий, сооружений	Интенсивность землетрясения
Взрывы	Воздушная ударная волна	Избыточное давление во фронте воздушной ударной волны
Пожары	Тепловое излучение	Плотность теплового потока
Цунами, прорыв плотин	Волна цунами, волна прорыва	Высота волны, максимальная скорость волны, площадь и длительность затопления, давление гидравлическое
Радиационные аварии	Радиоактивное заражение	Доза излучения
Химические аварии	Токсичные нагрузки	Токсодоза

Среди чрезвычайных ситуаций техногенного характера аварии на химически опасных объектах занимают одно из важнейших мест. Химизация промышленной индустрии во второй половине XX в. обусловила возрастание техногенных опасностей, связанных с химическими авариями, которые могут сопровождаться выбросами в атмосферу аварийно химически опасных веществ (АХОВ), значительным материальным ущербом и большими человеческими жертвами. Как свидетельствует статистика, в последние годы на территории Российской Федерации ежегодно происходит 80–100 аварий на химически опасных объектах с выбросом АХОВ в окружающую среду.

В настоящее время на территории страны функционирует более 3600 химически опасных объектов, 148 городов расположены в зонах повышенной химической опасности. Суммарная площадь, на которой может возникнуть очаг химического заражения, составляет 300 тыс. км² с населением около 54 млн человек.

По степени воздействия на организм человека АХОВ подразделяются на 4 класса опасности: 1 – чрезвычайно опасные; 2 – высокоопасные; 3 – умеренно опасные; 4 – малоопасные.

По своим поражающим свойствам АХОВ неоднородны. В качестве их основного классификационного признака наиболее часто используется признак преимущественного синдрома, складывающегося при острой интоксикации человека.

По характеру воздействия на организм человека все АХОВ условно делятся на следующие группы:

- вещества с преимущественно удушающим действием (хлор, фосген и др.);
- вещества преимущественно общеядовитого действия (оксид углерода и др.);
- вещества, обладающие удушающим и общеядовитым действием (азотная кислота и оксиды азота, сернистый ангидрид, фтористый водород и др.);
- вещества, обладающие удушающим и нейротропным действием (аммиак и др.);
- метаболические яды (оксид этилена и др.);
- вещества, нарушающие обмен веществ (диоксины и др.).

В результате химической аварии с выбросом АХОВ происходит химическое заражение – распространение опасных химических веществ в окружающей природной среде в концентрациях или количествах, создающих угрозу для людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени. Возможный выход облака зараженного воздуха за пределы территории химически опасного объекта обуславливает химическую опасность административно-территориальной единицы, где такой объект расположен. В результате аварии на химически опасном объекте (ХОО) возникает зона химического заражения.

Последствия аварий на ХОО представляют собой совокупность результатов воздействия химического заражения на объекты, население и окружающую среду. В результате аварии складывается аварийная химическая обстановка, возникает чрезвычайная ситуация техногенного характера. Люди и животные получают поражения в результате попадания АХОВ в организм: через органы дыхания – ингаляционно; кожные покровы, слизистые оболочки и раны – респираторно; желудочно-кишечный тракт – перорально [35].

Бурное развитие атомной промышленности и атомной энергетики, расширение сферы применения источников радиоактивности обусловили появление радиационной опасности и риска возникновения радиационных аварий с выбросом радиоактивных веществ и загрязнением окружающей среды. Радиационная опасность может возникать при авариях на радиационно опасных объектах (РОО).

РОО – объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества и при аварии на котором или его разрушении может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства, а также окружающей природной среды.

В настоящее время в России функционируют более 700 крупных РОО, которые в той или иной степени представляют радиационную опасность, но объектами повышенной опасности являются атомные станции. Практически все действующие АЭС расположены в густонаселенной части страны, а в их 30-километровых зонах проживают около 4 млн человек. Общая площадь радиационно дестабилизированной территории России превышает 1 млн км², на ней проживают более 10 млн человек.

Последствия радиационных аварий обусловлены их поражающими факторами, к которым на объекте аварии относятся ионизирующее излучение как непосредственно при выбросе, так и при радиоактивном загрязнении территории объекта; ударная волна (при наличии взрыва при аварии); тепловое воздействие и воздействие продуктов сгорания (при наличии пожаров при аварии). Вне объекта аварии поражающим фактором является ионизирующее излучение вследствие радиоактивного загрязнения окружающей среды (табл. 3.2).

Таблица 3.2

**Загрязнение территории европейских стран цезием-137
вследствие чернобыльской катастрофы**

Страна	Площадь, 10 ³ км ²		Чернобыльские выпадения, % от суммарных выпадений в Европе
	страны	территории с загрязнением выше 1 Ки/км ²	
Австрия	84	11,08	2,5
Беларусь	210	43,50	23,4
Великобритания	240	0,16	0,8
Германия	350	0,32	1,9
Греция	130	1,24	1,1
Италия	280	1,35	0,9
Норвегия	320	7,18	3,1
Польша	310	0,52	0,6
Россия (европейская часть)	3800	59,30	29,7

Страна	Площадь, 10 ³ км ²		Чернобыльские выпадения, % от суммарных выпадений в Европе
	страны	территории с загрязнением выше 1 Ки/км ²	
Словакия	49	0,02	0,3
Словения	20	0,61	0,5
Украина	600	37,63	18,8
Финляндия	340	19,00	4,8
Чехия	79	0,21	0,5
Швейцария	41	0,73	0,4
Швеция	450	23,44	4,5
Европа (в целом)	9700	207,5	100,0

Уникальный характер чернобыльской катастрофы обусловлен рядом ее особенностей. Во-первых, это самая крупная авария на атомном реакторе. Во-вторых, эта авария сопровождалась самым большим выбросом радионуклидов в окружающую среду, который, по расчетным оценкам, в 200 раз превышал суммарную активность радионуклидов, образовавшихся в результате атомной бомбардировки японских городов Хиросима и Нагасаки. В-третьих, в результате катастрофы на ЧАЭС оказались загрязненными огромные территории – около 25 тысяч кв. км с плотностью радиоактивного загрязнения более 185 кБк/кв. м.

Из приведенных данных можно видеть, что по площади загрязнения цезием-137 на долю России, Украины и Беларуси (вместе взятых) приходится около $\frac{1}{2}$ всей площади радиоактивных загрязнений в Европе и более $\frac{2}{3}$ территорий с загрязнением свыше 1 Ки/км. По вкладу в суммарное количество выпавшего цезия-137 на долю России приходится 29,7 %, Беларуси – 23,4 %, Украины – 18,8 %, т. е. по трем республикам вместе – 71,9 % от суммарного загрязнения этим радионуклидом в Европе.

Всего на территориях радиоактивного загрязнения, обусловленного катастрофой на ЧАЭС, проживало 6,8 млн граждан бывшего Советского Союза.

3.2. Структура полного ущерба как последствий аварий на технических объектах

В современном производстве с повышенными параметрами технологического процесса периодически создаются условия, приводящие к неожиданному нарушению работы или выходу из строя машин, агрегатов, коммуникаций, сооружений или их систем. Такие явления

принято называть авариями. Катастрофа – если авария создает угрозу жизни или здоровью людей или вызывает человеческие жертвы.

Наиболее опасные последствия аварий – пожары, взрывы, обрушения и аварии на энергоносителях: энергоисточниках, на атомных электростанциях, на химических предприятиях, приводящих к разрушению средств производства. Большинство аварий происходят по вине человеческого фактора. Наиболее частыми последствиями аварий являются пожары и взрывы.

При рассмотрении социальных, экономических и экологических сторон тяжелой аварии или катастрофы целесообразно оперировать понятиями прямого, косвенного и полного ущерба (рис. 3.2).

Прямой экономический ущерб связан непосредственно с повреждением или утратой основных и оборотных фондов и включает затраты на ограничение развития ЧС. Этот вид ущерба представляют с максимально возможной точностью в денежном выражении.

Прямой социальный ущерб непосредственно связан с воздействием на население и его среду обитания (рис. 3.3).



Рис. 3.2. Структура полного ущерба



Рис. 3.3. Составляющие прямого социального ущерба

Прямой экологический ущерб обусловлен ущербом природной среде (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Составляющие прямого экологического ущерба

Косвенный ущерб включает убытки, понесенные вне зоны прямого воздействия аварии или ЧС. Косвенный ущерб включает экономический, социальный и экологический ущербы (рис. 3.5–3.7).



Рис. 3.5. Факторы, формирующие косвенный экономический ущерб



Рис. 3.6. Факторы, формирующие косвенный социальный ущерб



Рис. 3.7. Факторы, формирующие косвенный экологический ущерб

3.3. Общая структура анализа техногенного риска

Общая логическая последовательность количественного анализа риска состоит из определенных этапов (рис. 3.8).

1. Обоснование целей и задач анализа риска.
2. Анализ технологической особенности производственного объекта. Идентификация потенциальных опасностей и классификация нежелательных событий, способных привести к нерегулируемым выбросам веществ и энергии.
3. Определение вероятности или частоты возникновения нежелательных событий.
4. Выделение характерных особенностей, определение интенсивностей, общих количеств и продолжительности выбросов опасных веществ или выделения энергии в окружающую среду для всего спектра нежелательных событий.
5. Определение критериев поражения, а также форм или допустимых уровней разового или систематического негативного воздействия различных источников на окружающую среду.
6. Обоснование моделей и расчет пространственно-временного переноса и распределения, а также трансформации исходных факторов опасности в окружающей среде с учетом ее природно-климатической и географической специфики.
7. Построение полей потенциального риска вокруг каждого из выделенных источников опасности, в пределах которых вероятно определенное негативное воздействие для соответствующих объектов.
8. Расчет прямых и косвенных последствий (ущербов) негативного воздействия источников опасности на различные субъекты или группы риска с учетом конкретного количественного и пространственно-временного распределения вокруг источников.

9. Анализ структуры риска. Исследование влияния различных факторов на уровень и пространственно-временное распределение риска вокруг источников.

10. Оптимизация организационно-технических мероприятий по снижению риска до заданной величины.



Рис. 3.8. Блок-схема анализа техногенного риска

Глава 4

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

Обобщающим термином «техника» обычно называют совокупность средств, созданных в результате человеческой деятельности, для осуществления процессов производства и удовлетворения производственных потребностей общества. К технике относят все многообразие комплексов и изделий, машин и механизмов, производственных зданий и сооружений, приборов и агрегатов, инструментов и коммуникаций, устройств и приспособлений, деталей и электро-, радиоизделий.

В технике материализованы знания и опыт, накопленные человечеством в процессе развития общественного производства. Являясь продуктом производства, техника облегчает трудовые усилия человека и увеличивает их эффективность. Техника последовательно заменяет человека в выполнении технологических функций, связанных с физическим и несложным умственным трудом.

На процесс возникновения и развития риска оказывает влияние множество факторов и условий, среди которых: отказы в работе систем и агрегатов вследствие их конструктивных недостатков, низкого качества изготовления или нарушения правил технического обслуживания; отклонения от нормальных условий эксплуатации; ошибки персонала; внешние воздействия и пр.

Риск возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:

- существование фактора риска (источника опасности);
- присутствие данного фактора риска в определенной, опасной (или вредной) для объектов воздействия мере;
- подверженность (чувствительность) объектов воздействия к факторам опасностей.

4.1. Основные определения и понятия теории надежности, безопасности и риска

Применительно к опасным промышленным и транспортным объектам целесообразно рассматривать проблемы безопасности как проблемы надежности сложных человеко-машинных систем по отношению к здоровью и жизни людей, состоянию окружающей среды. Во-первых, при определенных условиях эти понятия тесно связаны (например, когда нарушение работоспособного состояния технических элементов системы может привести к аварийным или катастрофическим последствиям). Во-вторых, такой подход позволяет

использовать количественные показатели безопасности, подобные в математическом отношении принятым показателям теории надежности, методы которой разработаны достаточно полно и широко используются на практике. При этом вводится понятие «технический риск» (или «функция риска») как дополнение до единицы функции безопасности, определяемой по аналогии с функцией надежности как вероятность безопасной работы. Технический риск не включает измерение размеров потерь или ущерба, эта характеристика позволяет оценивать вероятность критического (опасного) отказа.

Работа любой технической системы может характеризоваться ее эффективностью, под которой понимается совокупность свойств, определяющих способность системы выполнять необходимые задачи (рис. 4.1) [20].



Рис. 4.1. Основные свойства технических систем

Под надежностью понимают свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. К параметрам, характеризующим способность выполнять требуемые функции, относят геометрические, кинематические и динамические параметры, показатели конструкционной прочности, показатели точности функционирования,

производительности, скорости и т. п. С течением времени значения этих параметров могут изменяться, характеризуя то или иное состояние объекта.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени. Ремонтпригодность – свойство объекта быть приспособленным к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, к восстановлению работоспособности и исправности в процессе технического обслуживания и ремонта. Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимым прерыванием для технического обслуживания и ремонтов. Сохраняемость – свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение (и после) хранения и (или) транспортировки.

В теории надежности обычно рассматриваются исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное и предельное состояния. *Исправное состояние* (исправность) – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. *Неисправное состояние* (неисправность) – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. *Работоспособное состояние* (работоспособность) – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют нормативно-технической (проектной) документации. *Неработоспособное состояние* (неработоспособность) – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. *Предельное состояние* – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. *Критерий предельного состояния* – признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией. В зависимости от условий эксплуатации и назначения для одного и того же объекта могут быть установлены различные критерии предельного состояния.

Переход объекта из одного состояния в другое обычно происходит вследствие повреждения или нарушения работоспособного состояния. Переход объекта из исправного состояния в неисправное работоспособное состояние происходит из-за повреждений.

Центральными понятиями в проблеме оценки технического состояния и оценки риска являются: предельное состояние, отказ, наработка и ресурс.

Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа (объекта, элемента, системы). Ошибка оператора может также рассматриваться как отказ функционального элемента сложной полиэргатической (человеко-машинной) системы.

К показателям надежности и безопасности относят количественные характеристики, которые вводят и определяют согласно правилам теории надежности, теории вероятностей и математической статистики. Область применения этих теорий ограничена крупносерийными объектами, которые изготавливают и эксплуатируют в статистически однородных условиях и к совокупности которых применимо статистическое истолкование вероятности.

Отказы в системах возникают под воздействием разнообразных факторов. Поскольку каждый фактор в свою очередь зависит от многих причин, то отказы элементов, входящих в состав системы, относятся, как правило, к случайным событиям, а время работы до возникновения отказов – к случайным величинам. В инженерной практике возможны и неслучайные (детерминированные) отказы (отказы, возникновение которых происходит в определенный момент времени, т. е. в момент возникновения причины, так как существует однозначная и определенная связь между причиной отказа и моментом его возникновения). Например, если в цепи аппаратов ошибочно поставлен элемент, не способный работать при пиковой нагрузке, то всякий раз, когда возникает эта нагрузка, он обязательно перейдет в отказовое состояние. Такие отказы выявляются и устраняются в процессе проверки технической документации и испытаний.

Рассматривая отказ как случайное событие, удобной мерой надежности технических объектов следует признать вероятность безотказной работы системы (и соответственно мерой безопасности – вероятность безаварийной работы). Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает. Вероятность безотказной работы определяется в предположении, что в начальный момент времени (начало исчисления наработки) объект находился в работоспособном состоянии.

Обозначим через t время или наработку объекта. Возникновение первого отказа – случайное событие, а наработка от начального момента до возникновения этого события τ – случайная величина. Вероятность безотказной работы объекта в интервале времени от 0 до t включительно определяют как

$$P(t) = P\{\tau > t\}. \quad (4.1)$$

Здесь $P\{\tau > t\}$ – вероятность события, заключенного в скобки. Очевидно, что эта величина является функцией времени или наработки $P(t)$. В технической литературе эту функцию называют функцией надежности.

Аналогично можно определить вероятность безаварийной работы:

$$S(t) = S(T > t), \quad (4.2)$$

рассматривая происшествие как отказ из-за перехода объекта в предельное состояние (устанавливаемого из соображений безопасности), а наработку (или время) от начального момента до достижения предельного состояния как ресурс T (или срок службы). Функцию $S(t)$ в этом случае называют (по аналогии с функцией надежности) функцией безопасности.

В более общем случае, когда состояние объекта характеризуется набором параметров, функция безопасности $S(t)$ определяется вероятностью случайного события, состоящего в том, что на отрезке времени $[0, t]$ ни разу не возникнет особая ситуация, вызванная отказом и приводящая к происшествию.

Типичная функция интенсивности отказов изображена на рис. 4.2.

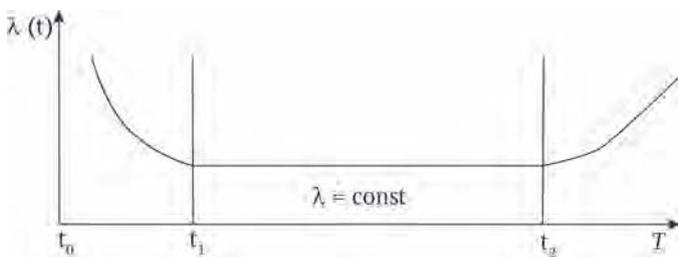


Рис. 4.2. Типичная функция интенсивности отказов

Участок убывающей интенсивности отказов $(t_0 - t_1)$ иногда называют периодом приработки или периодом ранних отказов. Появление отказов в этом периоде обычно вызывается конструктивными или производственными дефектами.

Участок постоянной интенсивности отказов $(t_1 - t_2)$ называют периодом нормальной эксплуатации. Этот период начинается сразу же после периода приработки и заканчивается непосредственно перед периодом износовых отказов. Период износовых отказов начинается тогда, когда элемент (устройство) выработал

свой ресурс, вследствие чего число отказов в этом периоде начинает возрастать. Отказы, появляющиеся в периоде нормальной эксплуатации, называют внезапными, так как они появляются в случайные моменты времени, или, другими словами, внезапно, непредсказуемо.

Наиболее распространенные факторы техногенного риска следующие: ошибочный выбор по критериям безопасности направлений развития техники и технологий; выбор потенциально опасных конструктивных схем и принципов действия технических систем; ошибки в определении эксплуатационных нагрузок; неправильный выбор конструкционных материалов; недостаточный запас прочности; отсутствие в проектах технических средств безопасности; некачественная доводка конструкции, технологии, документации по критериям безопасности; отклонения от заданного химического состава конструкционных материалов; недостаточная точность конструктивных размеров; нарушение режимов термической и химико-термической обработки деталей; нарушение регламентов сборки и монтажа конструкций и машин; использование техники не по назначению; нарушение паспортных (проектных) режимов эксплуатации; несвоевременные профилактические осмотры и ремонты; нарушение требований транспортирования и хранения.

Технические системы становятся взаимосвязанными только благодаря наличию такого основного звена, как человек. Примерно 20–30 % отказов прямо или косвенно связаны с ошибками человека; 10–15 % всех отказов непосредственно связаны с ошибками человека. По мнению академика В. А. Легасова, свыше 60 % аварий происходит из-за ошибок персонала «рисковых» объектов.

Там, где работает человек, появляются ошибки [33]. Они возникают независимо от уровня подготовки, квалификации или опыта. Поэтому прогнозирование надежности оборудования без учета надежности работы человека не может дать истинной картины.

Ошибки по вине человека могут возникнуть в тех случаях, когда:

- оператор или какое-либо лицо стремится к достижению ошибочной цели;
- поставленная цель не может быть достигнута из-за неправильных действий оператора;
- оператор бездействует в тот момент, когда его участие необходимо.

В целом сложная картина воздействий на человека, управляющего потенциально опасной техникой, представлена на рис. 4.3.

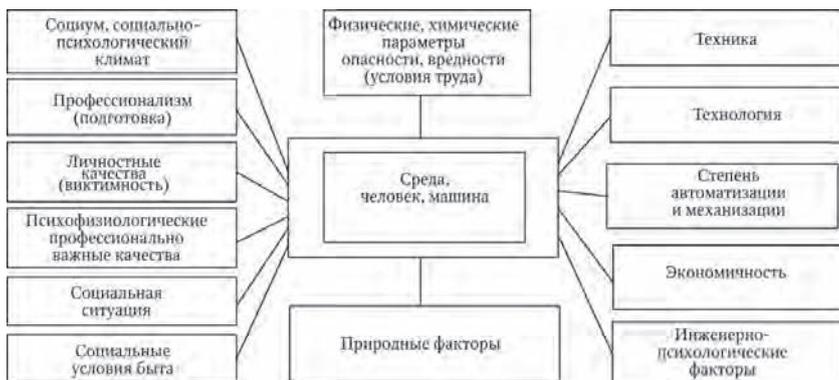


Рис. 4.3. Факторы, воздействующие на человека, управляющего потенциально опасной техникой

4.2. Метод построения блок-схем

Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы оборудования, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, выброс, пролив вещества, рассеяние веществ, воспламенение, взрыв, интоксикация и т. д.). Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа «деревьев отказов» и «деревьев событий».

В 1940–1950-х гг. теория надежности как самостоятельная область знаний получает распространение в основном в авиации, военной и ядерной индустрии. Фактически родиной теории надежности становятся в 1950 г. США, что, прежде всего, связано с развитием электроники. Именно тогда министр обороны США выявил, что поддержание в работоспособном состоянии электронного оборудования стоимостью в 1 долл. обходится за год в 2 долл. Стало очевидным, что следовало разрабатывать элементы системы изначально надежными. При этом системы были настолько сложными, а элементы системы влияли на такое большое число различных функций, что только самые четкие и неукоснительные действия обученного обслуживающего инженерного персонала могли обеспечивать минимально необходимый уровень надежности. В итоге министр обороны при объявлении тендера на поставку электронного оборудования потребовал, чтобы производители оборудования по итогам длительных испытаний доказали надежность своего оборудования. Результаты этих испытаний и составили первую известную базу данных по надежности «Military Standard 217. Reliability prediction of electronic equipment».

Тогда же в 1962 г. впервые был использован метод анализа «дерева отказов» (Fault Tree Analysis – FTA) компанией «Bell Labs» для Военно-воздушных сил США, который на сегодняшний день получил широкое распространение для анализа причин отказов статичных систем.

Данный метод является частью национальных стандартов, таких, например, как стандарт США «MIL-HDBK-217 Reliability prediction of electronic equipment» или российских «Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов РД 03-418-01».

4.2.1. Построение «деревьев отказов»

При анализе «деревьев отказов» (АДО) (Fault Tree Analysis – FTA) выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала и внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к основному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). Анализ «дерева отказов» позволяет выделить ветви прохождения сигнала к головному и используется главным образом для выявления слабых мест и определения наиболее эффективных мер предупреждения аварии (рис. 4.4).

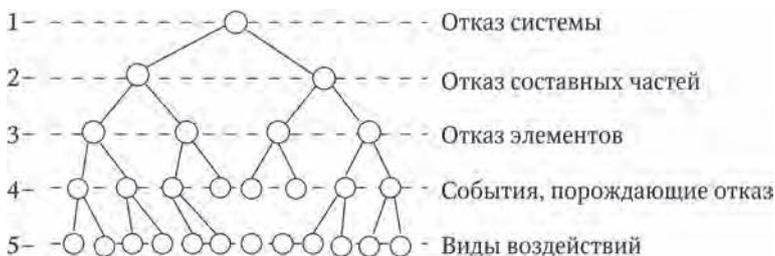


Рис. 4.4. Условная схема построения «дерева отказов»

Главное преимущество метода «дерева отказов» заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу системы или аварии.

«Дерево отказов» удобно использовать в сочетании с вероятностями возникновения тех или иных событий. Пример такого дерева приведен для анализа причин автомобильных аварий на Т-образном перекрестке (рис. 4.5).

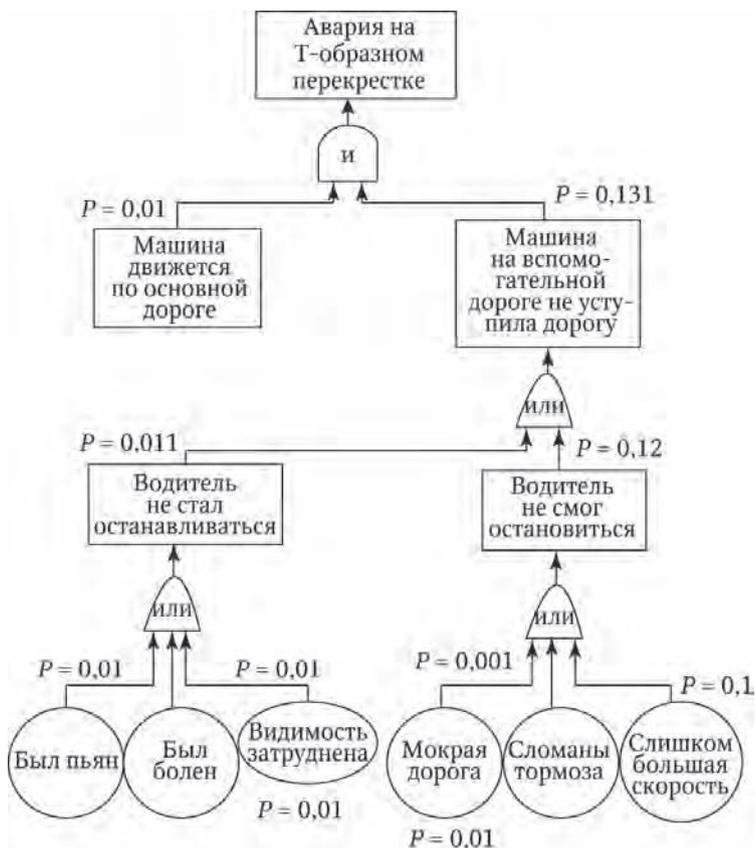


Рис. 4.5. Пример схемы построения «дерева отказов» с указанием вероятности событий

Метод АДО (fault tree analysis, FTA) способствует тщательному анализу причин отказов технических систем и выработке мероприятий, наиболее эффективных для их устранения. Такой анализ проводят для каждого периода функционирования, каждой части или системы в целом.

4.2.2. Построение «деревьев событий»

Анализ «деревьев событий» (АДС) (Event Tree Analysis – ETA) – алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации). Метод используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией, с воспламенением). Результатом оценки риска является перечень исходов для каждого рассматриваемого случая; при этом рассчитываются частота и последствия, т. е. величины ожидаемых последствий.

Пример «дерева событий» для количественного анализа различных сценариев аварий на установке переработки нефти представлен на рис. 4.6. Цифры рядом с наименованием события показывают условную вероятность возникновения этого события. При этом вероятность возникновения инициирующего события (выброс нефти из резервуара) принята равной 1. Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию [РД 03-418-01].

Методы «деревьев отказов» и «деревьев событий» являются трудоемкими и применяются, как правило, для анализа проектов или модернизации сложных технических систем и производств.



Рис. 4.6. «Дерево событий» аварий на установке первичной переработки нефти

Глава 5

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК

Риск экологический – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера (Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.02 № 7-ФЗ в ред. от 22.08.04, ст. 1).

Чрезвычайная экологическая ситуация – опасное отклонение от естественного или обычного состояния окружающей среды, возникшее в результате стихийного бедствия или хозяйственной деятельности человека, ведущее к неблагоприятным последствиям экономического и социального характера и представляющее непосредственную угрозу жизни и здоровью людей, объектам экономики и элементам окружающей природной среды на ограниченной территории.

Экологические чрезвычайные ситуации практически охватывают все стороны жизни и деятельности человека.

Чрезвычайные ситуации экологического характера – это экстремальные ситуации, связанные с изменением состояния суши, кризисные ситуации, связанные с изменением свойств атмосферы, водной среды (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Чрезвычайные ситуации экологического характера

1. ЧС, связанные с изменением состояния суши: просадка, оползни, обвалы из-за выработки недр; наличие тяжелых металлов в почве (более 50 ПДК); деградация почв из-за эрозии, засоления; критические ситуации из-за переполнения хранилищ отходами.

2. ЧС из-за изменения состава атмосферы: резкие изменения погоды или климата в результате антропогенной деятельности; превышение ПДК вредных примесей в атмосфере; температурные инверсии над городами; «кислородный» голод в городах; значительное превышение предельно допустимого уровня городского шума; образование обширной зоны кислотных осадков; разрушение озонового слоя атмосферы; значительные изменения прозрачности атмосферы.

3. ЧС из-за изменения состояния гидросферы (водной среды): недостаток питьевой воды вследствие истощения водных источников или их загрязнения; истощение водных ресурсов, необходимых для организации хозяйственно-бытового водоснабжения и обеспечения технологических процессов; нарушение хозяйственной деятельности и экологического равновесия вследствие загрязнения зон внутренних морей и Мирового океана.

4. Чрезвычайные ситуации в биосфере.

5.1. Риск поражения населения при авариях на химически опасных объектах

Химически опасными принято считать такие объекты, на которых производят, хранят или используют химически опасные вещества и при разрушении которых могут произойти массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений АХОВ.

К ХОО относятся предприятия химического и нефтехимического комплекса, хладо-, мясокомбинаты, молокозаводы, станции водочистки городов, газо-, нефте- и аммиакопроводы, различные хранилища ОВ и АХОВ.

В основе классификации ХОО лежит количественная оценка степени опасности объекта с учетом следующих характеристик:

- масштаба возможных последствий химической аварии для населения и прилегающих к объекту территорий;

- типа возможной ЧС при аварии на ХОО по наихудшему сценарию;

- степени опасности АХОВ, используемых на ХОО;

- риска возникновения аварии на ХОО.

По масштабам возможных последствий химической аварии ХОО делятся на четыре степени химической опасности (табл. 5.1).

Классификация химически опасных объектов

Показатель опасности ХОО	Количество рабочих, служащих и населения, находящихся в прогнозируемой зоне химического заражения с поражающими концентрациями, тыс. чел.
I степень ХО	≥ 75
II степень ХО	От 40 до 75
III степень ХО	До 40
IV степень ХО	Зона поражения с поражающими концентрациями не выходит за пределы территории объекта

К химически опасным объектам I степени относятся крупные предприятия химической промышленности, водоочистные сооружения, расположенные в непосредственной близости или на территории крупнейших и крупных городов.

К объектам II степени ХО относятся предприятия химической, нефтехимической, пищевой и перерабатывающей промышленности, водоочистные сооружения коммунальных служб больших и средних городов, крупные железнодорожные узлы.

К объектам III степени ХО относятся небольшие предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности (хладокомбинаты, мясокомбинаты, молокозаводы и др.) местного значения, водоочистные сооружения и другие средних и малых городов и сельских населенных пунктов.

К объектам IV степени ХО относятся предприятия и объекты с относительно малым количеством АХОВ (менее 0,1 т).

В соответствии с принятыми представлениями происшествие наступает тогда, когда появляется полный набор условий (факторов) его возникновения (рис. 5.2). При этом каждое условие возникновения происшествия рассматривается как предпосылка к происшествию. Чем больше появилось предпосылок к происшествию и чем более они существенны, тем выше риск. Признак опасности рассматривается как условие наступления предпосылки к происшествию [2].

Сегодня в мире происходят тысячи химических аварий при производстве, хранении, транспортировке АХОВ. Наибольшее число аварий в мире и в России происходит на предприятиях, производящих или хранящих хлор, аммиак, минеральные удобрения, гербициды, продукты органического и нефтеорганического синтеза.

В России насчитывается более 3600 химически опасных объектов, а 146 городов с населением более 100 тыс. человек расположены в зо-

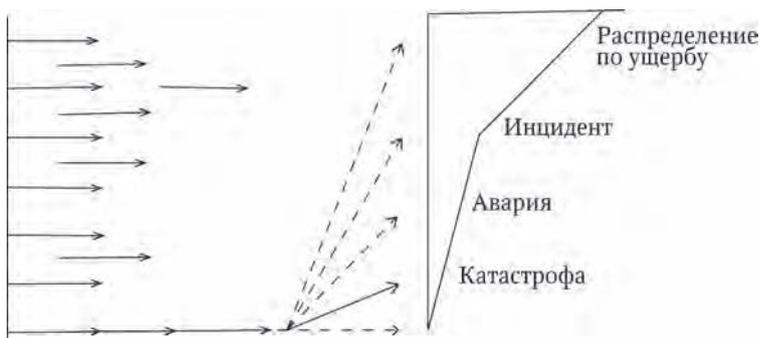


Рис. 5.2. От предпосылки к происшествию

нах повышенной химической опасности. За 5 лет – с 1992 по 1996 г. – произошло более 250 аварий с выбросом АХОВ, во время которых пострадали более 800 и погибли 69 человек. Причем 25 % аварий произошло из-за эксплуатации оборудования свыше нормативного срока, коррозии оборудования и неработоспособности контрольно-измерительной аппаратуры.

Среди наиболее крупных химических аварий последних лет в мире можно отметить следующие.

В 1976 г. на химическом заводе итальянского города Севезо произошла авария, в результате которой территория площадью более 18 км оказалась зараженной диоксином. Пострадали более 1000 человек, отмечалась массовая гибель животных. Ликвидация последствий аварии продолжалась более года.

Наверное, самой крупной аварией на химическом производстве за всю историю развития мировой промышленности оказалась катастрофа в г. Бхопале (Индия, 1984), из-за которой погибли 3150 человек, а более 200 тыс. получили поражения различной степени тяжести. В 1988 г. при железнодорожной катастрофе в г. Ярославле произошел разлив гептила, относящегося к АХОВ первого класса токсичности. В зоне возможного поражения оказались около 3 тыс. человек. В ликвидации последствий аварии участвовали около 2 тыс. человек и большое количество техники.

В 1989 г. произошла химическая авария в г. Ионаве (Литва). Около 7 тыс. т жидкого аммиака разлилось по территории завода, образовав озеро ядовитой жидкости с поверхностью около 10 тыс. м². От возникшего пожара произошло возгорание склада с нитрофоской, ее термическое разложение с выделением ядовитых газов. Глубина распространения зараженного воздуха достигала 30 км, и только

благоприятные метеорологические условия не привели к поражению людей, так как облако зараженного воздуха прошло по незаселенным районам. В ликвидации последствий этой аварии участвовали 982 человека, привлекалась 241 единица техники.

В августе 1991 г. в Мексике во время железнодорожной катастрофы с рельсов сошли 32 цистерны с жидким хлором. В атмосферу было выброшено около 300 т хлора. В зоне распространения зараженного воздуха получили поражения различной степени тяжести около 500 человек, из них 17 человек погибли на месте. Из ближайших населенных пунктов было эвакуировано свыше тысячи жителей.

В ноябре 1979 г. произошло крушение поезда в провинции Онтарио (Канада), в составе которого находились цистерны с хлором, стиолом, пропаном, толуолом и другими АХОВ. Авария потребовала эвакуации более 200 тыс. человек населения на 6 дней.

В Нижнем Новгороде 1 января 1966 г. в 18.00 на автозаводской водонасосной станции произошел разлив 27 т хлора. Газовое облако при температуре $t = -1$ °С и скорости ветра 1 м/с проникло на глубину до 7 км жилого района, в котором проживало 35 тыс. человек. Из них около 20 тыс. человек не чувствовали запаха хлора и не имели поражений (находились в жилых многоэтажных домах на верхних этажах). Из примерно 15 тыс. человек, находившихся на открытой местности, в течение суток обратились за помощью в лечебные учреждения примерно 4 тыс. человек, значительная часть которых была госпитализирована на 3–5 дней, 150 человек находились на излечении в течение месяца.

На территории России за 5 лет (с 1985 по 1990 г.) произошло более 120 крупных аварий, связанных с производством, транспортировкой и хранением АХОВ. Только в 1994 г. произошло более 1 тыс. аварий техногенного характера и среди них многие с выбросом АХОВ.

В практике гражданской защиты населения и территорий в перечень опасных химических веществ (ОХВ) включают только те ОХВ, которые обладают высокой летучестью и токсичностью и в аварийных ситуациях могут стать причиной массового поражения людей.

В ГОСТ Р 22.9.05–95 дано следующее определение: «Аварийно-химически опасное вещество (АХОВ) – опасное химическое вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (разливе) которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях (токсодозах)».

К ним отнесены 34 вещества: аммиак, оксиды азота, диметилмин, сероводород, сероуглерод, сернистый ангидрид, соляная кислота, синильная кислота, фосген, фтор, хлор, хлорпикрин, оксид

этилена и другие. Часто к этому списку добавляют еще 17 наиболее распространенных АХОВ:

- компоненты ракетного топлива – несимметричный диметилгидразин и жидкая четырехокись азота;
- отравляющие вещества – люизит, зарин, зоман, V-газы;
- некоторые другие АХОВ: диоксин, метиловый спирт, фенол, бензол, концентрированная азотная и серная кислоты, ртуть металлическая и др.

В большинстве случаев при аварии и разрушении емкости давление над жидкими веществами падает до атмосферного, АХОВ вскипает и выделяется в атмосферу в виде газа, пара или аэрозоля. Облако газа (пара, аэрозоля) АХОВ, образовавшееся в момент разрушения емкости в пределах первых 3 мин, называется первичным облаком зараженного воздуха. Оно распространяется на большие расстояния. Оставшаяся часть жидкости (особенно с температурой кипения выше 20 °С) растекается по поверхности и также постепенно испаряется. Пары (газы) поступают в атмосферу, образуя вторичное облако зараженного воздуха, которое распространяется на меньшее расстояние.

Таким образом, зона заражения АХОВ – это территория, зараженная ядовитыми веществами в опасных для жизни людей пределах (концентрациях). Глубина зоны распространения зараженного воздуха зависит от концентрации АХОВ и скорости ветра. Например, при ветре 1 м/с за один час облако от места аварии удалится на 5–7 км, при 2 м/с – на 10–14, а при 3 м/с – на 16–21 км. Значительное увеличение скорости ветра (6–7 м/с и более) способствует его быстрому рассеиванию. Повышение температуры почвы и воздуха ускоряет испарение АХОВ, а следовательно, увеличивает концентрацию его над зараженной территорией. На глубину распространения АХОВ и величину его концентрации в значительной степени влияют вертикальные перемещения воздуха (погодные условия).

Форма (вид) зоны заражения АХОВ в значительной мере зависит от скорости ветра (рис. 5.3). Так, например, при скорости менее 0,5 м/с она принимается за окружность, при скорости от 0,6 до 1 м/с – за полуокружность, при скорости от 1,1 до 2 м/с – за сектор с углом в 90°, при скорости более 2 м/с – за сектор с углом в 45° (рис. 5.4).

Риск токсических эффектов. Неблагоприятные изменения здоровья людей, обусловленные повседневным или профессиональным контактом с токсическими веществами, в общем случае имеют вероятностный характер. Это обусловлено значительными вариациями в физическом состоянии людей, а также невозможностью точно контролировать такие определяющие риск параметры, как доза, время контакта, специфика поступления вещества в организм и т. д. [32].

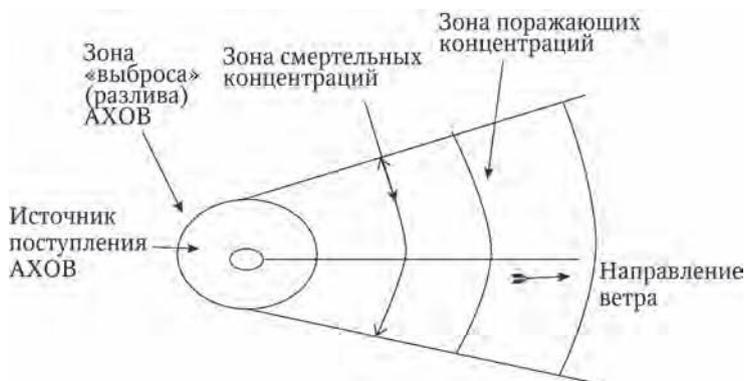


Рис. 5.3. Вид очага химического поражения при выбросе АХОВ



Рис. 5.4. Влияние скорости ветра на форму образования зоны поражения

Для характеристики частоты негативных изменений в здоровье населения в медицинской статистике используют термин «заболеваемость». Заболеваемость – статистический показатель, определяемый как отношение числа заболевших к средней численности населения на территории наблюдения в период, к которому относится расчет этого показателя:

$$З = p(N_z)/N, \quad (5.1)$$

где $З$ – заболеваемость, 1/год;

$p(N_z)$ – частота заболевания, чел./год;

N – численность населения, чел.

Заболеваемость – величина, имеющая размерность потенциального риска, близко связанная с понятием экологического риска, однако не тождественная ему. Риск следует рассматривать как допол-

нительную заболеваемость, связанную с поступлением в организм экотоксикантов:

$$Z = a + bR_3, \quad (5.2)$$

где a – фоновая заболеваемость, 1/год;

b – коэффициент пропорциональности;

R_3 – риск заболевания, 1/год.

Риск заболевания является функцией дозы токсиканта, поступившего в организм среднего представителя данной группы населения за всю жизнь. Применительно к загрязнению атмосферы доза токсиканта может быть оценена на основе данных о концентрации токсиканта в воздухе и времени пребывания людей в условиях загрязненной атмосферы.

Основным параметром зараженного воздуха является концентрация химически опасного вещества (ХОВ) – количество вещества (в единицах веса), отнесенное к единице объема воздуха; измеряется в мг/м³ или мг/л. Важной характеристикой ХОВ является *токсодоза*. Она определяется как произведение концентрации химического вещества и времени пребывания в зараженном воздухе. В табл. 5.2 приведены данные о токсодозах для некоторых химически опасных веществ.

Для описания негативного воздействия загрязнения окружающей среды на здоровье, которое может реализоваться в форме немедленных токсических либо хронических проявлений (в том числе канцерогенных и иммунотоксических), используются, как правило, две группы моделей: пороговые и беспороговые.

Острая токсичность (немедленные токсические проявления) имеет ярко выраженный пороговый характер.

Группой компаний и исследовательских организаций Нидерландов были разработаны методики расчета экологических рисков, ориентированные на оценку *жизненного цикла* основных видов промышленной продукции и процессов (методики «Экоиндикатор 95» и «Экоиндикатор 99»). Основная идея этих методик состоит в детальном учете (инвентаризации) всех потребляемых ресурсов и попадающих в среду обитания загрязняющих веществ в течение жизненного цикла определенного продукта (например, стали, бумаги, пластических материалов и т. д.) или процесса (выработка электрической или тепловой энергии, транспортировка грузов и т. п.). Методики используют европейский масштаб для оценки ущерба экосистемам и здоровью людей, это означает, что учитываются потребляемые ресурсы и поступающие в окружающую среду вещества в результате промышленного производства во всех странах Западной и Восточной Европы. Расчеты показали, что при оценке воздействия жизненного

цикла (Life Cycle Impact Assessment) надлежит учитывать 9 основных процессов, причиняющих вред здоровью людей и ущерб экосистемам, причем каждому из этих процессов приписывается определенный весовой коэффициент (табл. 5.3).

Таблица 5.2

Токсодозы некоторых химически опасных веществ

Наименование ХОВ	Смертельная токсодоза, мг/л·мин	Токсодоза, вызывающая поражения средней тяжести, мг/л·мин	Токсодоза, вызывающая начальные симптомы, мг/л·мин
Хлор	6	0,6	0,01
Аммиак	150	15,0	0,25
Фосген	6	0,6	0,01
Сернистый ангидрид	70,0	20,0	0,4–0,5
Фтористый водород	7,5	4,0	0,4
Цианистый водород	1,5	0,75	0,02–0,04
Сероводород	30,0	5,0	0,3
Сероуглерод	900,0	135,0	1,5–1,6
Нитрил акриловой кислоты	7,0	0,7	0,03

Таблица 5.3

Процессы, причиняющие вред здоровью людей и среде обитания, их весовые коэффициенты и критерии выявления (для стран Европы, методики «Экоиндикатор 95» и «Экоиндикатор 99»)

Процесс	Весовые коэффициенты	Критерии выявления
Обеднение озонового слоя	100	Вероятность одной смерти в год на 10 ⁶ жителей
Действие пестицидов	25	5 %-я деградация экосистемы
Действие канцерогенных веществ	10	Вероятность одной смерти в год на 10 ⁶ жителей
Повышение кислотности водоемов	10	5 %-я деградация экосистемы
Эвтрофирование	5	5 %-я деградация экосистемы

Процесс	Весовые коэффициенты	Критерии выявления
Действие тяжелых металлов	5	Учитывается концентрация кадмия – основного экотоксиканта среди тяжелых металлов
Действие зимнего смога	5	Учет жалоб в период действия смога, особенно со стороны астматиков и пожилых людей
Действие летнего смога	2,5	Учет жалоб в период действия смога, особенно со стороны астматиков и пожилых людей
Парниковый эффект	2,5	Повышение температуры на 0,1 °C каждые 10 лет, 5 %-я деградация экосистем

Из табл. 5.3 следует, что максимальный и минимальный весовые коэффициенты отличаются в 40 раз. Для европейских стран основными факторами экологического риска считаются обеднение озонового слоя, действие пестицидов и канцерогенов, а также повышение кислотности водоемов.

По данным ООН, сокращение озонового слоя всего на 1 % приводит к появлению у людей 100 тыс. новых случаев катаракты и 10 тыс. случаев рака кожи. Последствия убыли озона могут быть угрожающими, они могут привести к более чем 3 млн смертельных случаев от рака кожи до 2030 г. и 19 млн – до 2060 г. Число глазных заболеваний (катаракты) может увеличиться на 130 млн до 2060 г.; примерно 50 % из них придется на долю развивающихся стран.

Число этих заболеваний растет. В США за 7 лет количество случаев заболевания одним из самых опасных видов рака кожи (меланомой) возросло на 3–7 %. Кроме увеличения заболеваемости, существует множество других трудно учитываемых воздействий на здоровье человека и животных (например, снижение иммунитета), на урожаи сельскохозяйственных культур, на водные экосистемы и др.

Под канцерогенными для человека веществами (факторами) понимаются вещества (факторы), способные вызвать образование у человека злокачественных и доброкачественных опухолей. Канцерогенная опасность зависит от уровня и длительности воздействия на организм человека конкретных веществ (факторов), а также ряда других причин, способных изменить эффект от их действия. Так же в тех производствах, на которых в технологическом процессе используются и/или образуются вещества и продукты, способные вызвать образование у человека злокачественных и доброкачественных опухолей, с которыми контактируют работники данных производств.

По данным статистики, за последние годы количество умирающих от курения ежегодно растет. В 1998 г. каждые 10 с от курения в мире погибал человек. В XX в. курение унесло жизни 100 млн человек. Дым XXI в. грозит унести миллиард. Смертность в России на сегодняшний день колеблется около отметки в 2 млн человек ежегодно. При этом 17 % этого показателя приходится на курение.

Бытует выражение, что «капля никотина убивает лошадь». Некоторые ученые считают, что эта капля способна убить не одну, а трех лошадей. Что же касается людей, то смертельная доза никотина для человека – 50–100 мг.

При выкуривании в день 20–25 сигарет за 30 лет курильщик пропускает через свои легкие 150–160 кг табака и не умирает только оттого, что вводит его небольшими дозами. Табачный дым вызывает и обостряет многие болезни, действуя практически на все органы. Учеными установлено, что при выкуривании одной пачки сигарет человек получает дозу радиации в 7 раз больше той, которая признана предельно допустимой. А радиация табачного происхождения вкуче с другими канцерогенными веществами – главная причина возникновения рака.

В табачном дыме содержится более 4000 компонентов, многие из которых являются фармакологически активными, токсичными, мутагенными и канцерогенными. При горении количество вредных веществ только увеличивается. Температура на горящем конце сигареты превышает 800 °С – это миниатюрный мусоросжигательный завод, производящий выбросы в ваши легкие (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Состав сигаретного дыма

Эвтрофирование – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных и естественных (природных) факторов.

Особо следует подчеркнуть, что между эвтрофированием и загрязнением имеется существенная разница, заключающаяся, прежде всего, в том, что загрязнение обусловлено сбросом токсических веществ, подавляющих биологическую продуктивность водоемов, а эвтрофирование до известной степени повышает продуктивность.

Основными источниками загрязнения водоемов биогенными веществами служат смыв азотных и фосфорных удобрений с полей, строительство водохранилищ без надлежащей очистки ложа, сброс сточных вод, в том числе и прошедших биологическую очистку.

Эвтрофирование представляет собой естественный процесс эволюции водоема. С момента «рождения» водоем в естественных условиях проходит несколько стадий в своем развитии: на ранних стадиях – от ультраолиготрофного до олиготрофного, далее становится мезотрофным, и в конце концов водоем превращается в эвтрофный и гиперэвтрофный – происходит «старение» и гибель водоема с образованием болота. Однако под воздействием хозяйственной деятельности этот естественный процесс приобретает специфические черты, становится антропогенным. Резко возрастают скорость и интенсивность повышения продуктивности экосистем. Так, если в естественных условиях эвтрофирование какого-либо озера протекает за время 1000 лет и более, то в результате антропогенного воздействия это может произойти в 100 и даже 1000 раз быстрее. Такие крупные водоемы, как Балтийское море, озера Эри, Тахо и Ладожское, перешли из одного трофического состояния в другое всего за 20–25 лет. Данный процесс охватил многие крупнейшие пресноводные озера Европы, США (Великие Американские озера), Канады и Японии.

По выражению Ю. Одума, антропогенное «эвтрофирование есть злокачественное увеличение первичной продукции в водоеме». Развитие процесса антропогенного эвтрофирования приводит ко многим неблагоприятным последствиям с точки зрения водопользования и водопотребления (развитие «цветения» и ухудшение качества воды, появление анаэробных зон, нарушение структуры биоценозов и исчезновение многих видов гидробионтов, в том числе ценных промысловых рыб).

Первое научное упоминание токсического цветения в пресноводных водоемах Австралии, вызвавшего гибель овец, лошадей,

свиной, собак, сделал в 1878 г. Дж. Френсис. С тех пор появилось множество свидетельств таких токсичных цветений в различных водоемах мира. Так, токсичность сине-зеленых водорослей во время их цветения установлена в Киевском водохранилище, на р. Днепр, в Куршском заливе Балтийского моря и т. д. Особенно им благоприятствуют в умеренных широтах подогрев воды в водохранилищах-охладителях и замедленный водообмен. Сине-зеленые водоросли в результате своей жизнедеятельности производят сильнейшие токсины (алкалоиды, низкомолекулярные пептиды и др.), которые сами не используют, но они, попадая в водную толщу, представляют опасность для живых организмов и человека. Токсины могут вызывать цирроз печени, дерматиты у людей, отравление и гибель животных.

Интересный пример токсического действия сине-зеленых планктонных водорослей описан для Южной Африки. Там эти явления привлекли особое внимание после сооружения большого водохранилища на реке Вааль в Трансваале, строительство которого было окончено в 1938 г. С 1940 г. по берегам водохранилища были отмечены случаи падежа скота, принявшие массовый характер в 1942 г. во время сильного цветения водохранилища сине-зелеными водорослями. Погибли тысячи голов крупного рогатого скота и овец, гибли также лошади, мулы, ослы, собаки, кролики и домашняя водоплавающая птица. Отмечалось, что слабым ветром водоросли сгонялись к берегу, где концентрировались, и в этих местах животные гибли за немногие часы.

Токсины водорослей являются первопричиной загадочной гаффской болезни, эпидемии которой, начиная с 1924 г., несколько раз наблюдались в окрестностях Кёнигсберга (ныне Калининград), на побережье опресненного залива Балтийского моря Фришес-Гафф. Болезнь поражала рыбаков, занимавшихся промыслом в заливе, и не распространялась на выезжавших на лов в Балтийское море. Гаффская болезнь наступает внезапно, без продромальных симптомов, и выражается в острых мышечных болях при малейших движениях или при прикосновении, в результате чего больные падают и остаются неподвижными [11].

Ущерб экосистемам выражается путем использования двух величин: доли видов, затронутых данным техногенным воздействием, и доли видов, исчезнувших в результате такого воздействия. Эти величины умножаются на площадь экосистемы и время воздействия. В табл. 5.4 представлены показатели ущерба экосистемам, наносимого различными видами воздействия. Эти показатели отнесены к одному году длительности каждого техногенного воздействия [8].

**Показатели ущерба экосистемам, наносимого различными видами воздействия, рассчитанные по методике «Экоиндикатор 99»
(ДЗВ – доля затронутых видов; ДИВ – доля исчезнувших видов)**

Вид воздействия	Единица измерения	Ущерб
Экотоксиканты	ДЗВ·м ² ·год/год	8110
Экотоксиканты	ДИВ·м ² ·год/год	811
Подкисление природных вод и эвтрофирование	ДИВ·м ² ·год/год	375
Землепользование	ДИВ·м ² ·год/год	3950
Суммарный ущерб экосистемам	ДИВ·м ² ·год/год	5136

В настоящее время нефть – самое распространенное вещество, загрязняющее природные воды. Только в Мировой океан ежегодно поступает 11–16 млн т нефти. Работа автотранспорта и предприятий нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, газообразные выбросы и сбросы сточных вод промышленными предприятиями, многочисленные разливы нефти и нефтепродуктов в результате аварий трубопроводов и нефтеналивных судов (танкеров), аварий и пожаров на нефтехранилищах и нефтеперегонных заводах приводят к загрязнению атмосферного воздуха, воды, донных отложений и почвы значительными количествами сырой нефти и продуктами ее переработки и создают угрозу экологической безопасности различным регионам России.

Транспортировка половины добываемой на мировом шельфе нефти обеспечивается танкерным флотом. Транспортировка на танкерах оценивается в 1,5 млрд т в год. Неизбежным спутником любых танкерных операций были и продолжают оставаться аварии. Несмотря на явную тенденцию к снижению аварийности нефтеналивного танкерного флота, аварии танкеров до сих пор остаются одним из основных источников экологического риска.

Для оценки ущерба целесообразно использовать «Методику исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства», утвержденную Приказом Минприроды России 13 апреля 2009 г. № 87.

Согласно указанной методике, исчисление размера вреда в результате аварии производится по следующей формуле:

$$У = K_{вг} \cdot K_{Е} \cdot K_{ин} \cdot K_{дл} \cdot Н, \quad (5.3)$$

где $У$ – размер вреда, млн рублей;

$K_{вг}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года (табл. 5.5);

K_E – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов) (табл. 5.6);

$K_{ин}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

$K_{дл}$ – коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия при неприятии мер по его ликвидации (табл. 5.7);

N – такса, определяемая в зависимости от массы разлитой нефти (нефтепродуктов) (табл. 5.8).

В первом приближении можно принять, что $K_{ин} = 1$. В этом случае формула (5.3) приводится к виду

$$Y = K_{вг} \cdot K_E \cdot K_{дл} \cdot N. \quad (5.4)$$

Таблица 5.5

Коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года ($K_{вг}$)

Месяц	Коэффициент, $K_{вг}$
Декабрь, январь, февраль	1,15
Март, апрель, май	1,25
Июнь, июль, август	1,10
Сентябрь, октябрь, ноябрь	1,15

Таблица 5.6

Коэффициент, учитывающий экологические факторы (K_E) (состояние водных объектов)

Моря или их отдельные части	Коэффициент, K_E
Азовское, Каспийское моря:	
до 10 км (от береговой линии)	1,25
более 10 км	1,10
Черное море:	
до 10 км (от береговой линии)	1,15
более 10 км	1,05
Балтийское, Белое, Баренцево, Японское моря:	
до 10 км (от береговой линии)	1,05
более 10 км	0,95
Карское, Охотское и Берингово моря, Тихий океан:	
до 10 км (от береговой линии)	1,02
более 10 км	0,90
Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря:	
до 10 км (от береговой линии)	1,0
более 10 км	0,85

Таблица 5.7

Коэффициенты, учитывающие длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект (К_{дл}) при принятии мер по его ликвидации

Время непринятия мер по ликвидации загрязнений, τ, ч	Коэффициент, К _{дл}
До 6 включительно	1,1
Более 6 до 12 включительно	1,2
Более 13 до 18 включительно	1,3
Более 19 до 24 включительно	1,4
Более 25 до 30 включительно	1,5
Более 31 до 36 включительно	1,6
Более 37 до 48 включительно	1,7
Более 49 до 60 включительно	1,8
Более 61 до 72 включительно	1,9
Более 73 до 84 включительно	2,0
Более 85 до 96 включительно	2,1
Более 97 до 108 включительно	2,2
Более 109 до 120 включительно	2,3
Более 121 до 132 включительно	2,4
Более 133 до 144 включительно	2,5
Более 145 до 156 включительно	2,6
Более 157 до 168 включительно	2,7
Более 169 до 180 включительно	2,8
Более 181 до 192 включительно	2,9
Более 193 до 204 включительно	3,0
Более 205 до 216 включительно	3,1
Более 217 до 228 включительно	3,2
Более 229 до 240 включительно	3,3
Более 241 до 250 включительно	3,5
Более 251 до 300 включительно	3,6
Более 301 до 400 включительно	3,7
Более 401 до 500 включительно	4,0
Более 500	5,0

Примечание. Время непринятия мер по ликвидации загрязнения водного объекта рассчитывается как разница между временем начала ликвидации загрязнения и временем прекращения (фиксации) сброса вредных веществ.

Таксы для исчисления размера вреда при загрязнении водных объектов органическими веществами в результате аварий (Н)

М, т	Н, млн руб.	М, т	Н, млн руб.	М, т	Н, млн руб.
0,1–0,2	0,34–0,44	5,5–9	5,8–10	200–350	190–322
0,2–0,4	0,44–0,68	9–13	10–14,6	350–600	322–536
0,4–0,9	0,68–1,2	13–25	14,6–27	600–800	536–703
0,9–1,6	1,2–2,2	25–40	27–42	800–1300	703–1110
1,6–3,0	2,2–3,6	40–90	42–90	1300–2500	1110–2054
3,0–5,5	3,6–5,8	90–200	90–190	2500–5000	2054–3940

Примечание. М – количество разлитой нефти (нефтепродуктов). Для определения промежуточных значений Н, не вошедших в таблицу, применяется интерполяция между ближайшими значениями Н.

Весьма серьезные экологические проблемы обусловлены химическим оружием, затопленным в ряде районов Мирового океана.

Способность ядовитых веществ вызывать гибель людей и животных известна с незапамятных времен. В XIX в. ядовитые вещества стали применяться в ходе боевых действий большого масштаба. В Крымской войне во время осады Севастополя английская армия применяла сернистый газ для «выкуривания» обороняющихся русских гарнизонов из инженерных сооружений. Позднее, в 1899–1902 гг., во время Англо-бурской войны, англичане применяли экспериментальные артиллерийские снаряды, начиненные пикриновой кислотой, способной вызывать рвоту у пострадавших. К концу XIX в. угроза применения ядовитых и удушающих газов стала реальной. Это нашло отражение в Гаагской конвенции 1899 г., в ст. 23 которой объявлялся запрет на применение боеприпасов, единственным предназначением которых было вызывать отравление живой силы противника. Однако рождение химического оружия как средства ведения вооруженной борьбы в современном понимании следует относить ко времени Первой мировой войны.

Начавшаяся в 1914 г. Первая мировая война вскоре приобрела позиционный характер, что заставило искать новые наступательные вооружения. Немецкая армия стала применять массированные атаки позиций противника с помощью ядовитых и удушающих газов. 22 апреля 1915 г. на Западном фронте у городка Ипр (Бельгия) была проведена газовая атака хлором, впервые показавшая эффект массированного применения токсичного газа как средства ведения войны.

Эффект применения хлора был ошеломляющим. В обороне французов образовалась брешь в 8 км по фронту и на 10 км в глубину.

Число отравленных достигло 15 тыс., из них 5 тыс. погибли на поле боя. Тогда вряд ли задумывались о последствиях использования этого нововведения в будущем, о той угрозе здоровью и жизни людей и окружающей среде их обитания, которая вскоре возникла вместе с развернувшейся гонкой химических вооружений.

В ночь с 12 на 13 июля 1917 г. с целью сорвать наступление англо-французских войск Германия применила иприт – жидкое отравляющее вещество кожно-нарывного действия. При первом применении иприта поражения различной тяжести получили 2490 человек, из которых 87 скончались. Иприт обладает отчетливо выраженным местным действием: он поражает глаза и органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и кожные покровы. Всасываясь в кровь, он проявляет и общедовитое действие. К концу Первой мировой войны число отравленных превысило 1,3 млн человек.

После окончания Второй мировой войны на оккупированной территории Германии было обнаружено 296 103 т химического оружия (ХО). На Потсдамской мирной конференции стран антигитлеровской коалиции в 1945 г. было принято решение об уничтожении этого химического оружия. Был определен плановый район затопления. Он находился в Атлантическом океане в 200 милях к северо-востоку от Фарерских островов. Но плохие погодные условия этому помешали. В результате в Балтийское море, его заливы и проливы было сброшено 267,5 тыс. т бомб, снарядов, мин и контейнеров, в которых содержалось 50–55 тыс. т боевых отравляющих веществ 14 видов (иприт, люизит, дифосген, фосген, адамсит, хлорацетофенон, табун, зарин и др.).

Серьезную опасность представляет загущенный иприт, которым обычно снаряжали так называемые «прыгающие мины». В тонкостенных боеприпасах, как правило, полностью разрушенных коррозией, содержится примерно 10 кг загущенного иприта.

Скорость коррозии в соленой воде Балтийского моря составляет в среднем 0,13 мм в год. Таким образом, сквозная коррозия оболочек авиабомб может варьировать в пределах от 13 до 80 лет, артиллерийских снарядов и мин – 22–150 лет. По мнению экспертов, коррозия корпусов химических снарядов, затопленных в Балтийских проливах, составляет уже 70–80 % со всеми вытекающими из этого последствиями.

Первыми жертвами затопленных химических боеприпасов среди людей стали рыбаки, производившие траловый лов рыбы в Балтийском море. В течение многих лет, прошедших после окончания Второй мировой войны, два основных района акватории Балтийского моря продолжают оставаться зонами повышенной опасности для рыболовства – это район, расположенный в 15 морских

милях к востоку от датского острова Христиансё, и район, находящийся в 40 милях к юго-востоку от южной оконечности шведского острова Готланд. В этих печально знаменитых районах в тралы рыболовецких судов регулярно попадают поврежденные коррозией авиабомбы, снаряженные ипритом, которые свободно разбросаны по поверхности морского дна (www.coastguard.se). По данным информационного агентства «Regnum», только за последние 5 лет в районе промыслового вылова рыбы у острова Борнхольм 362 рыбака из разных стран получили местные и резорбтивные поражения ипритом, а общее количество пострадавших приближается к одной тысяче.

В Мировом океане имеется до 60 мест затопления отравляющих веществ. Рассекречены места затопления ХО в Балтийском море, в Баренцевом море, в Средиземном море, в Сиднейской бухте, в Японском море, в Мексиканском заливе, в Тихом океане, в Северной Атлантике.

Только в Северной Атлантике известны более 70 участков затопления компонентов ХО: от южной оконечности Флориды до острова Ньюфаундленд. В водах, омывающих Аляску, в непосредственной близости от Алеутских островов затоплены боеприпасы в районе Калифорнийского побережья у Сан-Франциско. В акватории Мексиканского залива вблизи Нового Орлеана затоплены боеприпасы с ипритом и фосгеном, северо-восточнее Флориды – с ипритом, люизитом и ФОВ [5].

5.2. Риск для здоровья населения и загрязнение окружающей среды

Оценка риска здоровью является естественной поведенческой реакцией человека и сопровождает его с первых дней и до смерти. Поведение человека как сознательное, так и рефлекторное, основано на оценке ситуации во взаимосвязи с возможными отрицательными последствиями. На оценке риска здоровью базируется вся система информационной связи человека с окружающим его миром. Такие понятия, как «опасность», «угроза» и другие, связаны, прежде всего, с информацией о риске здоровью. Принято считать, что загрязнение окружающей среды (химические вредные вещества, шум и т. д.) создает опасность для здоровья человека. Основанием для такого суждения служат, во-первых, многочисленные жалобы населения, проживающего в условиях загрязненной окружающей среды, на неприятные запахи, головные боли, общее плохое самочувствие и другие дискомфортные состояния; во-вторых, данные медицинской статистики, свидетельствующие о тенденции к росту заболеваемости на загрязненных территориях; в-третьих, данные специальных научных

исследований, направленных на количественное определение связи между загрязнением окружающей среды и его влиянием на организм. В связи с этим оценка риска здоровью человека, который обуславливается загрязнением окружающей среды, является в настоящее время одной из важнейших медико-экологических проблем [16].

При оценке риска здоровью, который обуславливается качеством окружающей среды, исходят из следующих теоретических соображений:

- биологический эффект воздействия зависит от интенсивности вредного (химического, физического и др.) фактора, действующего на организм человека;

- интоксикация есть одна из фаз адаптации;

- предельно допустимый уровень загрязнения окружающей среды есть понятие вероятностное, определяющее приемлемый (допустимый) риск и имеющее профилактическую направленность и гуманистическое значение.

Схема оценки риска здоровью состоит из четырех основных блоков:

- расчет потенциального (прогнозируемого) риска в соответствии с результатами оценки качества окружающей среды;

- оценка заболеваемости (здоровья) населения в соответствии с материалами медицинской статистики, диспансерных наблюдений и специальных исследований;

- оценка реального риска здоровью с использованием статистических и экспертных аналитических методов;

- оценка индивидуального риска на основе расчета накопленной дозы и применения методов дифференциальной диагностики.

Для оценивания риска угрозы здоровью и жизни людей требуется установить соотношение, которое связывает определенное количество вредного вещества (токсиканта, канцерогена) с мерой вызванных им негативных последствий. Эта связь, которую обычно называют соотношением «доза–отклик», должна быть количественной. Для выявления ее характеристик проводят специальные исследования, охватывающие эксперименты с животными и статистическую обработку наблюдений над людьми.

На базе подобных исследований создают конкретные математические модели. Такое моделирование позволяет прогнозировать результаты воздействия токсикантов (канцерогенов) на людей, в этом состоят основные задачи количественного оценивания риска, обусловленного загрязнителями среды обитания. В круг важнейших задач входят также расчеты допустимых концентраций токсикантов или канцерогенов. Пути решения этих задач существенно различаются в зависимости от того, являются ли рассматриваемые вредные

вещества *пороговыми* или *беспороговыми*. Кроме того, подход к этим задачам зависит от вида контингента риска, который может охватывать всех жителей подвергшейся загрязнению местности (население) или же только персонал, имеющий дело с загрязнением на рабочих местах.

В количественных оценках экологического риска, связанного с загрязнителями компонентов окружающей среды, важное место принадлежит величине, называемой частотью дополнительного риска.

Исследование негативных воздействий токсикантов (канцерогенов) показывает, что точно такие же воздействия могут наблюдаться (как правило, в значительно меньших масштабах) и там, где рассматриваемый токсикант отсутствует, т. е. в контрольных группах, которые используются для сравнения. Так, случаи заболевания раком легких, вызываемые типичным представителем полиароматических углеводородов – бенз(а)пиреном, приходится выявлять на фоне случаев рака легких, обусловленных совсем другими причинами. Следовательно, надо учитывать, что связанный с данным веществом риск обычно накладывается на уже существующий риск, поэтому его называют дополнительным [8].

Дополнительный риск, обусловленный присутствием в окружающей среде вредного вещества, зависит от его дозы, поступившей в организм человека. Иными словами, частотью дополнительного риска является функция дозы: $q_e = f(D)$. Существуют различные виды зависимости q_e от дозы D , два из них представлены на рис. 5.6.

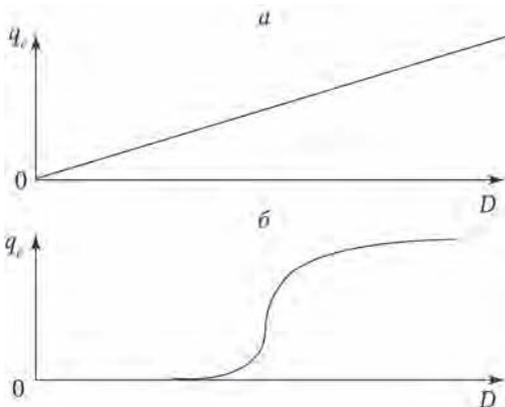


Рис. 5.6. Соотношение между дозой (D) и откликом на нее (частотью дополнительного риска q_e):

а – линейная связь для беспорогового токсиканта;

б – сложная связь для порогового токсиканта

Первым видом зависимости характеризуются так называемые беспороговые вредные вещества, у которых связь между дозой и обусловленным ею риском линейна. Такими веществами являются канцерогены. Зависимостью второго вида обладают пороговые токсиканты, действие которых вызывает негативные последствия тогда, когда величина дозы превзойдет пороговое значение. Пороговыми токсикантами выступают неканцерогенные вещества.

В качестве функции $f(D)$, описывающей эффекты действия пороговых токсикантов, используется одна из математических моделей, вид и параметры которой определяются в результате специальных исследований. Назначение математической модели – отражать основные закономерности соотношения между дозой и откликом (реакцией) на нее, установленные в процессе предварительных исследований.

Доза D определяется произведением концентрации вещества c , скорости его поступления в организм v и полным временем поступления t :

$$D = c \cdot v \cdot t. \quad (5.5)$$

Концентрацию c обычно выражают в мг/м³ (для воздуха), в мг/л (для воды) или в мг/кг (для продуктов питания). Скорость (интенсивность) поступления v измеряется в л/мин или м³/день (воздух), л/день (вода), кг/день (продукты питания). Когда речь идет о времени поступления, охватывающем всю жизнь человека, то в качестве t обычно берут 70 лет.

В табл. 5.9 приведены стандартные количества поступающих в организм человека объема воздуха и массы воды, принятые в Российской Федерации. Стандартные значения скорости поступления в организм воздуха, воды и пищи, которые используются для расчетов в США, приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.9

Стандартные количества поступающих в организм человека объема воздуха и массы воды, принятые в Российской Федерации

Контингент	Воздух	Вода
Население	$7,3 \cdot 10^6$ л/год = 20 м ³ /день	800 л/год = 2,2 л/день
Персонал	$2,5 \cdot 10^6$ л/год = 10 м ³ /день (если в году 250 рабочих дней)	0

**Стандартные значения скорости поступления воздуха, воды
и пищи в организм людей и животных, принятые в США
(*T* – средняя продолжительность жизни; *M* – масса тела,
для пищи указан «сырой вес»)**

Вид	Пол	<i>T</i> , годы	<i>M</i> , кг	Воздух, л/мин	Вода, мл/день	Пища, г/день
Человек	м	72	75	7,5*	2000	1500
	ж	79	60	6,0*	2000	1500
Мышь	м	2,5	0,030	0,03	5	3,6
	ж	2,5	0,025	0,03	5	3,25

* Приведены скорости поступления воздуха для состояния покоя. При легкой физической нагрузке эта скорость принимается равной 29 л/мин у мужчин и 19 л/мин у женщин, а при тяжелой физической работе эти значения возрастают соответственно до 43 л/мин и 25 л/мин.

Практика определения потенциальных эффектов неблагоприятного воздействия, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, предполагает расчет следующих типов риска:

- риска немедленных эффектов, проявляющегося непосредственно в момент воздействия (неприятные запахи, раздражающие эффекты, различные физиологические реакции, обострение хронических заболеваний и пр., а при значительных концентрациях – острые отравления);
- риска длительного (хронического) воздействия, проявляющегося при накоплении достаточной для этого дозы в росте неспецифической патологии, снижении иммунного статуса и т. д.;
- риска специфического действия, проявляющегося в возникновении специфических заболеваний или канцерогенных, иммунных, эмбриотоксических и других подобных эффектов.

Для оценки влияния токсиканта, присутствующего в окружающей среде, вводится понятие «риска от дозы *i* токсиканта *j*», обозначаемого через $[P_e(D)]_{ij}$. Фактически величина $[P_e(D)]_{ij}$ является вероятностью, она зависит от так называемого фактора риска данного токсиканта F_r и его дозы *D*. Доза измеряется в мг, а фактор риска имеет размерность (мг⁻¹) и представляет собой риск, приходящийся на единицу дозы.

Величина фактора риска должна быть установлена в результате специальных исследований. Если связь между дозой и риском линейна, а воздействие токсиканта не имеет порога, то величина $[P_e(D)]_{ij}$ определяется простой формулой:

$$[P_e(D)]_{ij} = (F_r \cdot D)_{ij} \cdot (F_r \cdot c \cdot v \cdot t)_{ij}, \quad (5.6)$$

где *c* – концентрация токсиканта;

v – его ежедневное поступление в организм;

t – время воздействия токсиканта.

Для оценки риска немедленных (рефлекторных) эффектов при ингаляционном воздействии вредных веществ используются математические модели, приведенные в табл. 5.11. По этим моделям рассчитываются пробиты (*Prob*), которым соответствуют величины рисков (*Risk*), представленные в табл. 5.12. При отсутствии данных о среднегодовых концентрациях (*C*) можно воспользоваться данными, согласно которым, как правило, максимальные разовые, среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые концентрации соотносятся как 10 : 4 : 1,5 : 1, т. е. среднегодовая концентрация обычно на один порядок меньше максимальной разовой.

Таблица 5.11

Вероятность токсического воздействия вещества при оценке кратности превышения ПДК_{МР} в соответствии с классом опасности

Класс опасности	Уравнение
I	$Prob = -9,15 + 11,66 \lg(C/ПДК_{МР})$
II	$Prob = -5,51 + 7,49 \lg(C/ПДК_{МР})$
III	$Prob = -2,35 + 3,73 \lg(C/ПДК_{МР})$
IV	$Prob = -1,41 + 2,33 \lg(C/ПДК_{МР})$

Примечание. ПДК_{МР} – максимально разовая ПДК.

Таблица 5.12

Соотношения между *Prob* и *Risk*

<i>Prob</i>	<i>Risk</i>	<i>Prob</i>	<i>Risk</i>	<i>Prob</i>	<i>Risk</i>	<i>Prob</i>	<i>Risk</i>
-3,0	0,001	-1,1	0,136	0,0	0,500	1,1	0,864
-2,5	0,006	-1,0	0,157	0,1	0,540	1,2	0,885
-2,0	0,023	-0,9	0,184	0,2	0,579	1,3	0,903
-1,9	0,029	-0,8	0,212	0,3	0,618	1,4	0,919
-1,8	0,036	-0,7	0,242	0,4	0,655	1,5	0,933
-1,7	0,045	-0,6	0,274	0,5	0,692	1,6	0,945
-1,6	0,055	-0,5	0,309	0,6	0,726	1,7	0,955
-1,5	0,067	-0,4	0,345	0,7	0,758	1,8	0,964
-1,4	0,081	-0,3	0,382	0,8	0,788	1,9	0,971
-1,3	0,097	-0,2	0,421	0,9	0,816	2,0	0,977
-1,2	0,115	-0,1	0,460	1,0	0,841	2,5	0,994
—	—	—	—	—	—	3,0	0,999

Из теории развития клеток вытекает, что достаточно одной злокачественной клетки, чтобы вызвать опухоль, ведущую в конце концов к летальному исходу. Еще в 1936 г. нью-йоркский исследователь Джекоб Фэрт пересадил здоровой мыши клетку, взятую у мыши, больной раком, и в результате у здоровой мыши тоже развился рак.

Подсчеты показали, что одна лейкозная клетка, делясь каждые четыре дня, через 164 дня (немногим более 5 мес.) приведет к острому лейкозу (при котором в организме больного содержится приблизительно триллион пораженных клеток). Для того чтобы вылечить больного лейкозом, недостаточно истребить 99,9 или даже 99,999 % этих клеток. Должны быть уничтожены все до последней злокачественные клетки, иначе болезнь возобновится, что и бывает при лейкозе слишком часто.

Для расчета ингаляционного канцерогенного риска используется следующая формула:

$$Risk = C_{ст} \cdot SF \cdot \alpha \cdot 20/70, \quad (5.7)$$

где $C_{ст}$ – среднегодовая концентрация канцерогенного вещества, которая предполагается постоянно воздействующей в течение всей жизни индивидуума, мг/м³;

SF – фактор потенциала канцерогенного эффекта при ингаляционном пути поступления, который измеряется как величина, обратная суточной дозе на единицу массы тела (мг·кг⁻¹сут⁻¹)⁻¹;

α = (время воздействия/70) – коэффициент, отражающий влияние времени, в течение которого индивидуум находился под воздействием (если индивидуум подвергался воздействию в течение 70 лет, то $\alpha = 70/70 = 1$).

Факторы потенциала канцерогенов при воздействии через органы дыхания для некоторых соединений представлены в табл. 5.13.

Таблица 5.13

Факторы потенциала канцерогенных веществ при ингаляционном воздействии

Вещество	$SF, (мг/кг/день)^{-1}$
Мышьяк	50
Бензол	$2,9 \cdot 10^{-2}$
Кадмий	6,1
Хлороформ	$8,1 \cdot 10^{-2}$
Бенз(а)пирен	6,11
Диоксин	$15 \cdot 10^4$

Бернард Коэн предложил оценивать и сравнивать риски по величине, называемой *сокращением ожидаемой продолжительности жизни*. Эта величина, обозначаемая LLE (loss of life expectancy), показывает, на какой срок укорачивается в среднем жизнь индивидуума, подвергающегося данному риску. Преимущество ее использования состоит в наглядности – так, показатель смертности, выраженный величиной $1 \cdot 10^{-4}$, труднее для восприятия, нежели характеризующая тот же риск значение LLE, равное, к примеру, 20 дням. Методика расчета LLE предложена Б. Коэном, она основана на использовании детальных статистических данных США (табл. 5.14; 5.15).

Учитывая, что риск по своей сути является величиной вероятностной, возможно определение риска комбинированного действия в соответствии с правилом умножения вероятностей, где в качестве множителя выступают не величины риска здоровью, а значения, характеризующие вероятность его отсутствия:

$$Risk_{\text{сум}} = 1 - (1 - Risk_1)(1 - Risk_2)(1 - Risk_3) \dots (1 - Risk_N), \quad (5.8)$$

где $Risk_{\text{сум}}$ – риск комбинированного воздействия примесей;

$Risk_1 \dots Risk_N$ – риск воздействия каждой отдельной примеси.

Таблица 5.14

Сокращение ожидаемой продолжительности жизни (LLE) в США, вызываемое повседневной деятельностью, болезнями и стихийными бедствиями (по Б. Коэну)

Причина риска	LLE, дни
Курение (мужчины, 1 пачка сигарет в день)	2300
Сердечно-сосудистые заболевания	2100
Работа в шахте (добыча угля)	1100
Рак	980
Избыточный вес (15 кг)	900
Инсульт	520
Алкоголь	230
Автомобильные аварии	180
Грипп и воспаление легких	130
Наркотики	100
Убийство	90
Несчастные случаи на работе	74
СПИД	70
Пожары и смертельные ожоги	27
Кофе (3 чашки в день)	26
Авиакатастрофы	1
Ураганы, торнадо	1
Наводнения	0,4
Землетрясения	0,2

**Сокращение ожидаемой продолжительности жизни (LLE),
вызываемое различными экологическими причинами (по Б. Коэну)**

Причина риска	LLE, дни
Радон в помещениях	35
Работа с химикалиями	30
Постоянная работа с излучением	25
Обеднение озонового слоя в стратосфере	22
Пестициды в пищевых продуктах	12
Загрязнение наружного атмосферного воздуха	10
Загрязнение питьевой воды	1,3
Проживание вблизи АЭС	0,4

5.3. Оценка риска, связанного с воздействием ионизирующего излучения

Пьером Кюри и Марией Склодовской-Кюри было открыто явление радиоактивности. Это открытие положило начало бурному развитию новых направлений в химии и физике, которые, в свою очередь, стали фундаментом для создания атомно-промышленного комплекса. Недолгое изучение привело к необдуманному сбросу отходов, крупномасштабному загрязнению окружающей среды и росту числа заболеваний у работников атомной промышленности и населения, проживающего в зоне радиоактивного загрязнения, вследствие неверного нормирования доз облучения. Первые предприятия ядерного комплекса формировались в условиях «гонки вооружения», к тому же эффекты воздействия радиации на организм человека и окружающую среду были мало изучены.

Активность радионуклидного источника или препарата есть количество радиоактивных превращений в нем в единицу времени. Единицей активности в системе СИ является беккерель (Бк) – активность источника, в котором происходит (в среднем, в статистическом смысле) одно радиоактивное превращение за 1 с. 1 Бк – это очень малая активность (например, суммарная равновесная активность тела взрослого человека составляет около 7500 Бк), поэтому в практических радиационных измерениях часто используют килобеккерель (1 кБк = 10³ Бк), мегабеккерель (1 МБк = 10⁶ Бк), гигабеккерель (1 ГБк = 10⁹ Бк).

Величины активностей, характерных для некоторых естественных и техногенных объектов, приведены в табл. 5.16.

Активности некоторых естественных и техногенных объектов

Объект	Активность, Бк
Воздух на открытой местности	15 (на 1 м ³)
Воздух в помещениях	50–1000 (на 1 м ³)
Тело человека (70 кг)	До 7500
Питьевая вода	0,5–5 (на 1 л)
Вода из минеральных источников (сразу после забора)	До 40 000 (на 1 л)
Продукты питания	40 (на 1 кг)
Строительный фосфогипс	900 (на 1 кг)
Выброс при аварии на ЧАЭС	$2 \cdot 10^{18}$
Радиоактивные вещества и материалы на крупном радиохимическом заводе	10^{19} – 10^{20}
Общая активность Мирового океана	10^{23}

Дозы естественного излучения являются значительно более высокими, чем те, которые генерируются техникой, созданной человеком. Исключение составляют медико-радиологические обследования. На рис. 5.7 показана процентная доля облучения тела человека различными источниками (фоновое годовое облучение) [27].



Рис. 5.7. Процентная доля облучения тела человека дозами ионизирующего излучения, получаемыми от различных источников

По НРБ-99 (нормы радиационной безопасности) вводятся следующие основные понятия, относящиеся к термину «доза» [19].

1. Поглощенная доза – энергия, передаваемая единице массы вещества при воздействии на него ионизирующим излучением. Единицей поглощенной дозы является грей (Гр) – доза, соответствующая поглощению 1 джоуля энергии в 1 кг вещества. Используемая ранее внесистемная единица поглощенной дозы (рад равен 0,01 Гр) и НРБ-99 не признается, хотя и упоминается в них.

2. Доза эквивалентная – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на взвешивающий коэффициент для данного вида излучений. Взвешивающий коэффициент эквивалентной дозы учитывает относительную биологическую эффективность различных видов излучений (1 для гамма-квантов и электронов, 5–20 для нейтронов различных энергий, 20 для α -частиц при внутреннем облучении и т. д.). Единица эквивалентной дозы – зиверт (Зв).

3. Доза эффективная – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных негативных последствий облучения с учетом индивидуальной радиочувствительности различных органов и тканей тела. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на взвешивающие коэффициенты эффективной дозы, которые изменяются в пределах от 0,20 (половые железы) до 0,01 (кожа, клетки костных поверхностей). Единица эффективной дозы – зиверт (Зв). Совокупность взвешивающих коэффициентов эффективной дозы имеет существенную особенность: их сумма равна единице (условие нормировки). Легко понять, что это соответствует важнейшему частному случаю, когда ионизирующее излучение с достаточной проникающей способностью воздействует не на отдельные органы с разной радиочувствительностью, а на все тело. Так происходит при воздействии на организм обширных полей внешнего нейтронного и/или γ -излучения. Большое значение взвешивающего коэффициента эффективной дозы делает этот случай, при достаточной интенсивности полей излучения, очень опасным.

4. Доза эффективная коллективная – мера коллективного риска возникновения отдаленных эффектов облучения. Она равна сумме индивидуальных эквивалентных (эффективных) доз для рассматриваемой группы населения или персонала. Единица эквивалентной (эффективной) коллективной дозы – человеко-зиверт (чел.-Зв). Понятие коллективной дозы используется при совокупной (включающей экономические, социальные, медицинские и иные аспекты) оценке как штатных радиационных последствий реализации каких-либо технологий (необязательно ядерных), так и в случаях аварий или инцидентов.

5. Доза, отнесенная ко времени воздействия излучения, называется мощностью дозы. Она измеряется в греях или зивертах, отнесенных к единице времени (секунде, минуте или часу). Следует понимать, что мощность дозы – это не только количественный, но и важнейший качественный показатель, в большей мере характеризующий вероятные последствия облучения организма. Любители солнечных ванн хорошо знают, что загорать по полчаса в течение 20 дней отпуска или 10 ч в течение первого дня – далеко не одно и то же: в первом случае кожа приобретет требуемый бронзовый оттенок, во втором – неминуем сильнейший ожог, хотя доза солнечного ультрафиолета в обоих случаях одна и та же. Точно так же обстоит дело с ионизирующей радиацией: при одинаковой дозе всегда опаснее большая однократная мощность дозы. Причина этого состоит в том, что организм обладает до некоторых пределов способностью к постепенной самореабилитации, но при больших разовых лучевых поражениях эти пределы оказываются превзойденными.

Радиоактивные вещества (РВ) могут проникать в организм тремя путями: с вдыхаемым воздухом, через желудочно-кишечный тракт (с пищей и водой), через кожу. Человек получает облучение не только снаружи, но и через внутренние органы. РВ проникают в молекулы внутренних органов, особенно костной ткани и мышц. Концентрируясь в них, РВ продолжают облучать и повреждать организм изнутри.

Радиационный риск – вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызывать неблагоприятные эффекты двух видов:

- детерминированные (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.). Предполагается существование дозового порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше которого тяжесть эффекта зависит от дозы;

- стохастические вероятностные беспороговые вредные биологические эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни), не имеющие дозового порога возникновения. Тяжесть их проявления не зависит от дозы. Период возникновения этих эффектов у облученного человека составляет от 2 до 50 лет и более.

Различают внешние и внутренние источники земного происхождения. В состав первых входят радионуклиды, содержащиеся в горных породах, воде, воздухе, строительных материалах и т. д. Испускаемое ими излучение обуславливает наружное радиационное воздействие на человека. Ко вторым относятся радионуклиды, постоянно поступающие в организм человека из окружающей среды

и содержащиеся в ней; эти радионуклиды ответственны за его внутреннее облучение.

Ионизирующее излучение определяется как любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков, т. е. положительных и отрицательных.

Распад естественных радионуклидов приводит к образованию α -частиц, β -частиц (электронов) и γ -квантов. Пробег α - и β -частиц настолько мал, что они практически полностью поглощаются в биологической ткани толщиной в несколько миллиметров. Поэтому при оценке внешнего воздействия излучения радионуклидов, содержащихся в земной коре, воде и воздухе, принимается во внимание лишь более проникающее γ -излучение, тогда как для внутреннего облучения наиболее существенную роль играют α -частицы, ионизирующая способность которых значительно больше, чем β - и γ -излучений.

Острые поражения развиваются при однократном равномерном гамма-облучении всего тела и поглощенной дозе выше 0,5 Гр. При дозе 0,25–0,5 Гр могут наблюдаться временные изменения в крови, которые быстро нормализуются. В интервале дозы 0,5–1,5 Гр возникает чувство усталости, менее чем у 10 % облученных могут наблюдаться рвота, умеренные изменения в крови. При дозе 1,5–2,0 Гр наблюдается легкая форма острой лучевой болезни, которая проявляется продолжительной лимфопенией, в 30–50 % случаев – рвота в первые сутки после облучения. Смертельные исходы не регистрируются.

Лучевая болезнь средней тяжести возникает при дозе 2,5–4,0 Гр. Почти у всех облученных в первые сутки наблюдаются тошнота, рвота, резко снижается содержание лейкоцитов в крови, появляются подкожные кровоизлияния, в 20 % случаев возможен смертельный исход, смерть наступает через 2–6 нед. после облучения. При дозе 4,0–6,0 Гр развивается тяжелая форма лучевой болезни, приводящая в 50 % случаев к смерти в течение первого месяца. При дозах, превышающих 6,0 Гр, развивается крайне тяжелая форма лучевой болезни, которая почти в 100 % случаев заканчивается смертью вследствие кровоизлияния или инфекционных заболеваний. Приведенные данные относятся к случаям, когда отсутствует лечение. В настоящее время имеется ряд противолучевых средств, которые при комплексном лечении позволяют исключить летальный исход при дозах около 10 Гр.

Все ли излучения являются ионизирующими и какие именно являются ионизирующими? Нет, не все, а лишь такие, энергия которых (на одну частицу потока излучения) способна вызывать ионизацию. Например, электромагнитное излучение в диапазоне радиоволн или видимого света ионизирующим не является. Иное дело ядерные излучения, характеризующиеся значительной энергией каждой из отдельных частиц [19].

Глава 6

ВОСПРИЯТИЕ РИСКА

Восприятием риска управляют сложные процессы, имеющие психологическую, антропологическую и социально-психологическую природу. Накоплен обширный материал, позволяющий понять основы этих процессов и выявить их закономерности [8, 24].

6.1. Психологические аспекты восприятия риска.

Факторы восприятия риска

Люди ежедневно, сознательно или несознательно подвергают- ся целому ряду рисков. Каждый рискует, преодолевая опасности на производстве, в транспорте, быту. Риск объективен и сопряжен практически с любым видом деятельности, начиная со времен первобытного общества (риск охоты, мореплавания) и до наших дней (риск экономический, производственный, социальный, экологический). Он играл большую роль на протяжении всей истории человечества (географические открытия, освоение космоса, испытания новой техники и т. п.). Понимание риска существовало всегда, например, еще древние люди, играя в азартные игры (в частности, игры в кости), оценивали риски. Сцены этой игры обнаружены и в египетских гробницах, и на античных греческих вазах. Позже риск наблюдался в мореплавании, предпринимательстве, в банковском деле, страховании.

Но раньше, как отмечают Ваганов и Ман-Сунг Им [8], риски были добровольными и индивидуальными (так, Х. Колумб знал, что рискует собственной жизнью и жизнями своих спутников, но он считал это допустимым риском, и в его власти было принимать рискованные решения).

В практике каждого человека риск реализуется через принятие им, как субъектом, решения. По характеру отношения к рискам различают людей *рискофобов* и *рискофилов*. По оценкам исследований, в современном обществе распределение между рискофобами и рискофилами колеблется в следующих пределах: 95–97 % – рискофобы и 3–5% – рискофилы.

Согласно теории личности и личностного роста, разработанной одним из основателей так называемой гуманистической психологии А. Маслоу, всем индивидуумам присущи не только физиологиче-

ские, но и психологические потребности. Последние, наряду с физиологическими потребностями, должны удовлетворяться для сохранения здоровья. В число психологических потребностей входит потребность в безопасности, ее роль и положение относительно других потребностей играют важнейшую роль в понимании психологической основы восприятия риска. В наборе основных потребностей человека действует, по Маслоу, определенная иерархия приоритетов, которая включает пять следующих уровней (рис. 6.1):

- потребность в самоактуализации (в развитии способностей);
- потребность в уважении (в самоуважении, признании);
- потребность в любви и принадлежности (в семье, дружбе);
- потребность в безопасности (в стабильности, порядке);
- физиологические потребности (в пище, воде, сне и т. п.).

Низший уровень отвечает примитивным (физиологическим) потребностям человека, которые служат фундаментом для психологических потребностей. Непосредственно на этом фундаменте находится низший уровень психологических потребностей, занятый потребностью в безопасности. Потребности низших уровней требуют удовлетворения в первую очередь. Как только они удовлетворяются, сразу же заявляют о себе потребности более высоких уровней. Высший уровень занят потребностью в самоактуализации, которая представляет собой полное использование талантов, способностей, возможностей и т. п.



Рис. 6.1. Пирамида Маслоу

Потребность в безопасности имеет собственную внутреннюю структуру, включающую не только обеспечение физической безопасности, но также достижение чувства защищенности от физических и эмоциональных угроз. Чувство эмоциональной безопасности (комфорта) можно считать очень близким к чувству защищенности от болезни. Потребность в эмоциональной безопасности в весьма значительной степени определяет восприятие риска.

При исследовании психологических аспектов риска следует учитывать изученный Маслоу феномен, названный им комплексом Ионы. Этот термин характеризует отказ человека от деятельности по полной реализации своих способностей. Подобно библейскому пророку Ионе, стремившемуся избежать ответственности пророчества, большинство людей действительно не желают использовать свои способности в максимальной степени. Вместо того чтобы преследовать цели, для достижения которых требуется полнота собственного развития, они предпочитают умеренность и ограниченность в целях. Умеренность дает им ощущение безопасности, когда не нужны ни особые интеллектуальные усилия, ни ответственность за принятие решений, ни попытки по преодолению соблазна подмены собственных вкусов и суждений внешними (социальными) стандартами. Комплекс Ионы приводит к тому, что средний человек, предпочитая безопасность даже небольшому риску, является существом с подавленными или заглушенными способностями и одаренностями.

Выявлением и изучением факторов, определяющих восприятие риска, занимаются психологи и социальные психологи. Важнейшая цель этих исследований состоит в том, чтобы установить связь между двумя процессами: восприятием риска и выработкой решений по приемлемости (допустимости) риска. От восприятия риска зависит его оценка, управление им (принятие мер по его предотвращению или снижению), а также выбор пути информирования людей о том или ином риске. Психологи установили, что *уровень риска* далеко не единственный фактор, влияющий на *восприятие риска*. Специально ставившиеся опыты показали, что это восприятие зависит от многочисленных факторов, с которыми приходится считаться. Основные из них перечислены ниже.

Фактор катастрофичности означает, что события, в результате которых появляются человеческие жертвы, сгруппированные во времени и пространстве (например, взрыв на химическом комбинате), вызывают усиленное восприятие риска по сравнению с событиями, жертвы которых рассеяны по пространству и времени. Пример таких событий – аварии автомобильного транспорта.

Влияние *фактора знакомства* приводит к тому, что риски, вызванные мало или совсем неизвестными явлениями или процессами,

воспринимаются с трудом. Так, большинство людей не знают, почему использование некоторых веществ (фреона и других фтороводородов) влечет за собой истощение озонового слоя Земли, зато они хорошо знакомы с последствиями удара молнии.

Фактор понимания обусловлен тем, насколько данные явления или процессы понятны простым людям. Чем меньше понимание, тем больше внутренняя обеспокоенность и недоверие и, как следствие, меньшая склонность воспринимать соответствующий риск. Например, степень восприятия риска, связанного с воздействием радиации, существенно ниже, нежели риска, которому подвергается переходящий улицу пешеход.

Фактор неопределенности в последствиях событий или процессов вызывает обострение воспринимаемого риска. Чем меньшим объемом имеющихся научных данных характеризуется событие или процесс, тем интенсивнее восприятие обусловленного им риска. Примером могут служить проекты создания хранилищ высокорadioактивных отходов в геологических формациях, в которых содержится целый ряд неопределенностей, связанных прежде всего с необходимостью обеспечить экологическую безопасность в течение исключительно большого срока — порядка 10 тыс. лет.

Фактор контролируемости действий или событий на восприятие риска проявляется в виде осознаваемой индивидуумом возможности влиять на то действие (событие), в которое он вовлечен. Если человек находится в ситуации, развитие которой происходит независимо от его личного контроля, он склонен к большему беспокойству за последствия этого развития, его восприятие риска интенсифицировано. Исследования, в частности, показывают, что человек за рулем автомобиля воспринимает риск попасть в аварию в меньшей степени, чем его пассажир.

Фактор добровольности подвергнуться риску весьма существенно действует на его восприятие. Люди гораздо меньше задумываются о риске, если они идут на него по собственной воле. Увлечение альпинизмом или солнечным загаром сопряжено с немалыми опасностями, однако в этих случаях проблем с восприятием риска нет, поскольку действует пословица «Охота пуще неволи».

Напротив, экологические риски, обусловленные, например, загрязнением питьевой воды или воздуха, воспринимаются болезненно, так как они отнюдь не являются добровольными.

Фактор воздействия на детей приводит к усиленному восприятию риска, вызванного такими событиями или процессами, последствия которых сказываются в первую очередь на детях. Примером может служить опасность попадания пестицидов или иных токсиантов в продукты, предназначенные для детского питания. К это-

му фактору близок другой фактор, зависящий от воздействий на будущие поколения. Люди склонны проявлять тревогу не только за будущее детей, но и за судьбу отдаленных поколений. Этим обусловлено повышенное восприятие риска от таких процессов, как, например, генерация генетических дефектов, индуцируемых ионизирующим излучением.

Фактор идентифицируемости жертв проявляется в различном отношении людей к конкретным лицам, пострадавшим в опасных ситуациях, и к так называемым статистическим (неидентифицируемым) жертвам. Риск группы шахтеров, оказавшихся в завале на глубине, воспринимается значительно острее, когда известно время и место катастрофы, по сравнению с восприятием статистических сведений о среднем числе шахтеров, погибающих под землей ежегодно.

Фактор устрашения означает, что риск воспринимается особым образом, если вместе с его восприятием появляется чувство сильной тревоги, страха и ужаса. Примером такой реакции является обостренное чувство опасности от возможности повторения катастрофы типа чернобыльской.

Фактор обратимости опасных событий или процессов по-разному влияет на восприятие вызванного ими риска в зависимости от того, обратимы они или нет. Необратимые события (например, кислотный дождь) характеризуются усиленным восприятием риска, обратимые (например, перелом ноги лыжника при неудачном спуске с горы) — ослабленным.

Под *фактором доверия* понимают доверие ответственным за управление риском институтам. Этот фактор ослабляет восприятие риска при достаточно высоком уровне этого доверия и, напротив, усиливает воспринимаемый риск в случае дефицита доверия к указанным институтам. Исследования общественного мнения, проведенные в США, показали, что Департамент энергетики, ответственный за эксплуатацию и развитие атомных электростанций, перестал вызывать должное доверие. Следствием этого оказался значительный рост сомнений в надежности ядерной энергетики. Иными словами, стал больше воспринимаемый американцами риск, обусловленный возможностью аварий на АЭС.

Фактор внимания средств массовой информации имеет особое значение в связи быстрым развитием телевидения, средств коммуникации и компьютерных сетей. Если средства массовой информации совсем не уделяют внимания каким-либо опасным событиям или информируют о них в незначительной мере, то восприятие риска этих событий как бы заторможено. Но стоит сведениям о таких событиях появиться в заголовках новостей, как соответствующие риски переходят на значительно более высокий уровень восприятия.

Влияние фактора предшествующей истории несчастных случаев заключается в том, что риск деятельности, в ходе развития которой не было ни крупных аварий (катастроф), ни даже сравнительно мелких несчастных случаев, воспринимается как малосущественный. Наоборот, если в истории производства или иной деятельности были как небольшие аварии, так и катастрофы, то риск воспринимается как весьма серьезный. Так, новая отрасль технологии – геновая инженерия – имеет совсем короткую историю, в ней еще нет никаких фатальных происшествий. Поэтому люди не относят ее риск к разряду важных (хотя на самом деле это может быть неверным). История ядерной энергетики включает, как известно, несколько очень крупных аварий, следствием этого является подчеркнутое восприятие ее риска.

Фактор справедливости приводит к различному отношению к опасному событию или процессу в зависимости от того, как распределяется соответствующий риск между членами общества. Если риск распределен более или менее равномерно, то влияние этого фактора невелико, однако оно резко увеличивается при явно неравномерном распределении риска.

Фактор выгоды зависит от того, насколько очевидна польза, которую предполагается извлечь в результате воздействия риска. Если эта польза ясна, то влияние фактора выгоды мало, в противном же случае – велико.

Фактор личной вовлеченности прямо пропорционален степени подверженности риску отдельного (данного) индивидуума.

Фактор происхождения отражает различие в восприятии риска, обусловленного антропогенными и иными опасностями. Чувствительность к риску, вызываемому опасными действиями (или бездействием) людей, выше чувствительности к риску, обусловленному явлениями природы или проявлением высших сил (Бога).

Действие всех перечисленных факторов на восприятие риска можно изучать количественно, так поступают при проведении исследований, называемых психометрическими. Каждому фактору приписывают взвешивающий коэффициент, который может принимать дискретные значения (1, 2 и т. д.), соответствующие субъективным качественным оценкам влияния фактора («очень слабое», «слабое», «среднее» и т. д.). Затем выполняется анкетирование, в котором принимают участие несколько десятков или сотен опрошиваемых. Данные анкетирования подвергаются обработке с помощью одного из методов многомерной статистики (как правило, факторного анализа).

Восприятие риска возникает в результате взаимодействия трех компонентов:

а) реальная ситуация, создаваемая функционированием технологической системы, и связанный с ней объективный риск, т. е. риск, оправ-

данный имеющимися научными данными, а также признанный на основании жизненного опыта в качестве такового большинством людей;

б) особенности личности индивида, столкнувшегося с риском;

в) социальная среда, в которой возникает риск.

Поскольку восприятие риска осуществляется не только отдельными индивидами, но и различными общностями людей (семейная, территориальная, субкультурная и т. п.), то в первом и втором случае они развиваются по различным социально-психологическим механизмам.

К сожалению, большинство информации, под воздействием которой находятся люди, обеспечивает искаженную картину мира рисков. Недавно американские исследователи провели такой эксперимент. Они рассмотрели сообщения о причинах смерти в двух газетах на противоположных побережьях США в течение одного года. Результаты исследования выявили, что обе газеты имеют сходное предубеждение в своих репортажах о событиях, угрожающих жизни. Например, о многих статистически частых причинах смерти (например, диабет, эмфизема легких, различные формы рака) редко сообщалось в обеих газетах в течение периода исследования. В то же время о жестоких или катастрофических событиях (торнадо, пожары, случаи утопания, убийства, автомобильные аварии и другие несчастные случаи) сообщалось чаще, чем о менее драматических причинах смерти, имеющих подобную, или даже большую, статистическую частоту. Известно, что болезни уносят в 16 раз больше жизней, чем несчастные случаи, но в газетах было в 3 раза больше статей о несчастных случаях, отмечавших в 7 раз большее количество смертей. Среди сообщений о наиболее частых событиях убийства занимали первое место по их количеству. Хотя болезни уносят в 100 раз больше жизней, чем убийства, в газетах было в 3 раза больше статей об убийствах, чем о смертях от болезней. Более того, статьи об убийствах имели тенденцию быть в 2 раза длиннее статей, сообщавших о смертях от болезней и в результате несчастных случаев.

Иллюстрацией того, что люди склонны легко мириться с источниками опасности, характеризуемыми относительно большим риском, и в то же время часто переоценивают опасности, сопряженные со значительно меньшим риском, служат результаты опроса, проведенного в США. Исследовалось восприятие риска американцами, представляющими три социальные группы: женщины (члены Лиги женщин-избирательниц), студенты высших учебных заведений, бизнесмены. Им предлагалось расположить в порядке убывания 30 возможных источников повышенной опасности. Статистические показатели по этим источникам сравнивались с усредненными результатами опроса. Данные приведены в табл. 6.1.

Видно, что ядерная энергетика, которую женщины и студенты поставили на 1-е место, а бизнесмены – на 8-е место в последовательности убывания риска, занимает в действительности (по статистическим данным) 20-е место.

Таблица 6.1

**Рейтинги восприятия источников повышенной опасности
представителями трех социальных групп США
в сравнении со статистическими данными**

Женщины	Студенты	Бизнесмены	Статистика
1. Ядерная энергетика	1. Ядерная энергетика	1. Огнестрельное оружие	1. Курение
2. Автомобили	2. Огнестрельное оружие	2. Мотоциклы	2. Алкоголь
3. Огнестрельное оружие	3. Курение	3. Автомобили	3. Автомобили
4. Курение	4. Пестициды	4. Курение	4. Огнестрельное оружие
5. Мотоциклы	5. Антибиотики	5. Алкоголь	5. Электричество
6. Алкоголь	6. Мотоциклы	6. Пожары	6. Мотоциклы
7. Авиация	7. Алкоголь	7. Работа в полиции	7. Плавание
8. Работа в полиции	8. Работа в полиции	8. Ядерная энергетика	8. Хирургические операции
9. Пестициды	9. Противозачаточные средства	9. Хирургические операции	9. Рентгеновское облучение
10. Хирургические операции	10. Пожары	10. Охота	10. Железные дороги
			11.–19. ...
			20. Ядерная энергетика

Как следует из приведенных данных, между предполагаемыми и реальными опасностями есть существенные различия, обусловленные неадекватным восприятием риска людьми.

Характерный пример: эксперимент, поставленный сотрудниками Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований (ВНИИСИ), был направлен на выявление особенностей

субъективного представления людей о степени риска, связанного с различными видами деятельности. Он предполагал ранжирование испытуемыми 13 видов риска. Первое место по степени риска для общества (социального риска) в обобщенной ранжировке заняли стихийные бедствия, второе – АЭС, а последнее – поездки на железнодорожном транспорте и активный отдых (табл. 6.2).

Полученная ранжировка неадекватна реальному положению вещей. Несомненно, что ущерб от стихийных бедствий велик и ежегодное число жертв стихийных бедствий оценивается 250–300 тыс. человек. Однако число жертв курения составляет до 2,5 млн чел. каждый год, что в 8 раз превышает число жертв, связанных с использованием автотранспорта.

Люди в условиях аварии проявляют лишь те качества, которые в них были заложены, развиты и укреплены и которые неоднократно можно было наблюдать до аварии. И ничего более! С этой точки зрения культура безопасности, гуманизация технического образования, воспитание и привитие общечеловеческой культуры специалисту должны стоять в одном ряду с развитием техники и занимать тем более ответственную позицию, чем более опасной является та или иная отрасль техники.

Таблица 6.2

Ранжировка суждений о риске

Вид риска	Ранжировка риска
Стихийные бедствия	1
АЭС	2
Загрязнение окружающей среды	3
Потребление алкоголя	4
Добыча полезных ископаемых	5
Использование автотранспорта	6
Тепловые электростанции	8
Курение	8
Гидроэлектростанции	8
Полеты на самолетах	10
Рентген в медицине	11
Поездки на железнодорожном транспорте	12
Активный отдых	13

6.2. Механизмы восприятия риска

Механизмы восприятия риска исследуются целым рядом наук, главным образом в психологии и в социальной психологии. Ниже рассматриваются наиболее значительные из них [8].

Принцип асимметрии. Эксперименты по восприятию сопряженных с риском событий и процессов показали, что при обработке получаемой информации люди по-разному относятся к «хорошим» и «плохим» новостям. Оказалось, что человеческой психике присущ особый механизм, который значительно повышает чувствительность восприятия негативной информации. Этот механизм действует согласно так называемому принципу асимметрии, который проявляется в том, что «плохие» новости отфильтровываются от «хороших». Принцип асимметрии действует в процессе восприятия экологического риска. Его эффективность существенно усиливается в сочетании с другими механизмами восприятия, к которым относится так называемое социальное усиление риска.

Социальное усиление риска. Исследования в области социальной психологии показали, что прохождение сообщений, несущих сведения о сопряженных с риском событиях, по информационным системам и каналам (прежде всего, через средства массовой информации) сопровождается изменениями нагрузки этих сообщений риском. Выделены 2 вида таких изменений: во-первых, сигналы о риске могут стать усиленными или ослабленными, и, во-вторых, эти сигналы бывают как бы отфильтрованными. Последнее означает, что из сообщений могут быть удалены признаки риска или все то, что подчеркивает их важность.

В последние годы имели место экологические и технологические катастрофы (Чернобыль в СССР, взрыв на химическом комбинате Бхопал в Индии, гибель космического корабля «Челленджер» в США), которые исключительно широко освещались средствами массовой информации. При этом подчеркивалось, что эти катастрофы произошли именно там, где были приняты максимальные меры по обеспечению безопасности. Результатом является снижение доверия к оценкам безопасности, делаемым специалистами, и, как следствие, расширение сферы действия механизма усиления риска.

Неадекватное восприятие вероятностей. Механизм неадекватных оценок вероятностей был изучен Тверским и Канеманом, заметившими, что люди очень часто неправильно судят о вероятности различного рода действий или событий. На это указывают, в частности, результаты следующих психологических экспериментов. В первом эксперименте участники должны были выбрать 1 из 2 предложений: получить наверняка (с вероятностью 100 %) некоторую сравнитель-

но небольшую сумму денег (например, 100 долл.) или же попытаться выиграть значительно большую сумму (1000 долл.) путем угадывания результата однократного подбрасывания монеты, т. е. с вероятностью 50 %. Этот опыт показал, что подавляющее большинство людей предпочитает первый вариант. Во втором эксперименте тем же участникам предлагалось сделать выбор также между двумя вариантами: первый представлял собой приглашение участвовать в игре на выигрыш 100 долл. с вероятностью 10 %, а второй состоял в попытке выиграть 1000 долл., но с вероятностью, равной 5 %. С точки зрения теории вероятностей условия первого и второго опытов одинаковы, поскольку в обоих случаях вероятность получить значительную сумму превышает вероятность выиграть небольшую сумму ровно в 2 раза. Судя по результатам первого эксперимента, можно было ожидать, что предпочтение получит вариант, связанный с большей вероятностью. Однако на самом деле участники второго эксперимента поступают иначе, выбирая, как правило, шанс выигрыша большой суммы денег.

Искажение оценок вероятности приводит к тому, что риски, характеризующиеся низкими вероятностями событий, но тяжелыми последствиями их, воспринимаются как более угрожающие по сравнению с рисками, обусловленными событиями с большой вероятностью, но с относительно умеренными последствиями. По этой причине общественное мнение склонно преувеличивать опасность от использования ядерных реакторов для производства электроэнергии.

Стратегия оптимизации риска. Механизм, получивший название «стратегия оптимизации риска», близок к механизму неадекватного восприятия вероятностей, но его следует рассматривать независимо от других эффектов. Суть названной стратегии состоит в том, что человек обычно идет на определенный риск, чтобы предотвратить потерю чего-либо или свести эту потерю к минимуму, даже если при этом он рискует большей потерей. В других ситуациях, когда речь идет не о потере, а о возможном приобретении, люди, как правило, не желают подвергаться риску, предпочитая получить меньше, но со стопроцентной уверенностью.

Устрашение скрытыми рисками. Механизм устрашения рисками, условно называемыми «скрытыми», близок по действию к эффектам, проявляющимся в случае восприятия риска от крайне редких, но очень опасных событий. Люди склонны преувеличивать риск, обусловленный весьма маловероятными событиями или процессами, являющимися катастрофами. Термин «скрытые риски» следует понимать в двух разных значениях. Во-первых, он охватывает риски, связанные с гипотетическими событиями или процессами, которые никогда не имели места, но теоретически могут произойти. К ним можно отнести ядерную войну, столкновение Земли с крупным астероидом,

катастрофическое изменение климата. Именно вследствие очень малой вероятности подобных событий их восприятие оказывается неопределенным и совершенно различным у разных людей, прежде всего у экспертов и неспециалистов. Например, в разгар холодной войны в США проводились социологические опросы, в ходе которых часто задавался вопрос: «Какова Ваша оценка шанса того, что в течение ближайших 10 лет начнется война с широким применением ядерного оружия?» Большинство американцев давало тогда очень высокую оценку вероятности этого события, ее среднее значение равнялось примерно $\frac{1}{3}$, в то время как оценки экспертов не превышали 10^{-3} . Психологи полагают, что сходная ситуация наблюдается в настоящее время, когда результаты изучения общественного мнения выявляют большую обеспокоенность людей последствиями таких событий, как крупная авария на атомной электростанции или утечка радионуклидов из подземного хранилища радиоактивных отходов.

Второе значение термина «скрытые риски» относится только к разновидностям ядерного или радиационного рисков. Угроза радиации воспринимается людьми по-особому, так как они знают, что ее носитель невидим и обладает высоким энергетическим потенциалом. Ядерная энергия появилась во время Второй мировой войны и дала возможность быстро закончить ту войну. В течение многих лет все связанное с ядерной энергией хранилось в тайне. С термином «ядерная энергия» ассоциируются представления о мощных взрывах, разрушениях, радиоактивных осадках, лучевой болезни, генных мутациях. Все это способствовало формированию «ядерного страха», радиофобии (боязни облучения) и негативного отношения к ядерной энергетике. Устрашение необходимо учитывать при исследовании механизмов восприятия риска.

Архетип «поверженного героя». Выдающимся психологом Карлом Юнгом было введено понятие о *коллективном бессознательном*, обозначающее ту область человеческой психики, в которой удерживается и из которой передается по наследству многое из накопленного психологической сферой всего человечества. Имеются существенные различия между личным и коллективным бессознательным, последнее можно считать суммой всех наследственных факторов духовной эволюции людей. Фрейд считал область бессознательного вместилищем вытесненных комплексов (в основном сексуальных), т. е. той доли психической субстанции, которая выходит за пределы сознания в течение жизни индивидуума. Юнг полагает, что коллективное бессознательное отнюдь не является простым вместилищем комплексов, оно представляет собой более глубинный и несравненно более важный слой, в фундаментальной части которого хранится генетическая память всего человеческого рода. Коллективное бессознательное возрождается в мозгу каждого индивидуума, где оно

впоследствии функционирует и проявляется. Основные виды этого проявления – разнообразные образы и символы, за которыми угадываются контуры универсальных структур, называемых *архетипами*.

По Юнгу, архетипы – это те устойчивые формы, в которых существует коллективное бессознательное. Их универсальная природа доказывается тем, что порождаемые ими символические представления с постоянством повторяются в снах, видениях, галлюцинациях и фантазиях совершенно различных людей в абсолютно разных условиях и обстоятельствах, а также в мифах совершенно различных народов, причем заведомо никогда не имевших контактов друг с другом. Архетипы несут на себе мощную эмоциональную нагрузку и могут интенсивно влиять на сознание человека, на его поведение, на отношение к чему-либо. В общем, архетипические структуры коллективного бессознательного постоянно и активно воздействуют на сознание и играют решающую роль в его формировании. Архетипы находятся вне сферы личного осознанного контроля, они могут быть вызваны некоторым стимулирующим сигналом в виде конкретного послания, мысли или внешнего события. Именно архетипы создают религии, мифы и философские течения, которые влияют на судьбы народов и характеризуют целые исторические эпохи. Одним из самых распространенных и наиболее известных является миф о герое.

Миф о герое встречается повсюду: в античной мифологии Греции и Рима, в средневековых сказаниях европейских стран, в эпосе народов стран Ближнего и Дальнего Востока, в сказках современных американских индейцев. Детали этого мифа, разумеется, варьируют, однако главное остается неизменным: некий герой сперва был любим и обласкан богами, но потом возгордился и восстал против них, вследствие чего был жестоко наказан. Это составляет основу архетипа поверженного героя, его типичными представителями можно считать Икара и Прометея.

Значение архетипов состоит в том, что человек становится зависимым, им управляет некая сила, о которой он ничего не знает, но которая еще с доисторических времен является ему в представлениях, «напоминая» с их помощью о себе. Зависимость людей от архетипов не может не проявиться в процессе восприятия ими риска.

Принимающий решение, связанное с риском, основывается на совместном учете двух факторов: величины выигрыша и величины риска. Предпочтение отдается тем альтернативам, в которых выигрыши больше, а риск – меньше. При этом в качестве риска R принимается его значение из следующей формулы [18]:

$$R = 3,12 \cdot P_{\text{пр}} + \lg C_{\text{пр}}, \quad (6.1)$$

где $P_{\text{пр}}$ – вероятность проигрыша;

$C_{\text{пр}}$ – величина проигрыша.

Глава 7

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, датированном 1950 г. до н. э., 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 700 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 веществ примесей [8].

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.

7.1. Допустимые и пренебрежимые риски угрозы здоровью

С точки зрения здоровья человека среда должна соответствовать 5 основным требованиям: 1 – чистый воздух; 2 – достаточное количество питьевой воды; 3 – сбалансированная и питательная пища; 4 – безопасные и спокойные места проживания; 5 – стабильная глобальная экосистема. В настоящее время здоровье нельзя рассматривать как нечто автономное, связанное только с индивидуальными особенностями организма. По определению Всемирной организации

здравоохранения, здоровье человека – это объективное состояние и субъективное чувство полного физического, психического и социального комфорта.

Уровень здоровья людей формируется в результате взаимодействия экзогенных (природных и социальных) и эндогенных (пол, возраст, телосложение, наследственность, раса, тип нервной системы и др.) элементов.

Уровень здоровья – универсальный признак, рассматриваемый в процессе общественного воспроизводства населения, находящегося в определенном взаимодействии с окружающей средой, обладающего динамическими тенденциями, структурой, спецификой размещения и территориальной организацией.

Состояние здоровья отдельно взятого человека – явление в значительной степени случайное. Оно может быть обусловлено преимущественно эндогенными факторами. Уровень же здоровья достаточно представительной группы людей (усредненный уровень здоровья) всегда служит показателем благотворного или негативного влияния окружающей среды на население. Уровень здоровья отражает степень адаптированности общности людей к определенным условиям жизни.

Проблемы качества здоровья населения глубоко волнуют ученых и политиков во всем мире. В 1948 г. ООН приняла «Всеобщую декларацию прав человека». В Декларации было записано: «Каждый человек имеет право на такой жизненный уровень, включая пищу, одежду, медицинский уход и социальное обслуживание, который необходим для поддержания здоровья и благосостояния его самого и его семьи...» Спустя 38 лет ученые, собравшиеся в Канаде под руководством ВОЗ, приняли «Оттавскую хартию промоции (дальнейшего улучшения) здоровья». В Хартии подчеркнуто, что «...хорошее здоровье является главным ресурсом для социального и экономического развития как общества в целом, так и отдельной личности и является важнейшим критерием качества жизни» [34].

Здоровье населения формируется и поддерживается всей совокупностью условий повседневной жизни. Условия, обстоятельства, конкретные причины, более других влияющие на возникновение и развитие болезней, получили название факторов риска. Формирование популяционного здоровья определяют следующие факторы: 1) образ жизни и социально-экономические условия; 2) генетика, биология человека; 3) качество внешней среды, природные условия; 4) здравоохранение. В свое время Д. И. Писарев говорил, что усилия благоразумного человека должны направляться не к тому, чтобы чинить и конопатить свой организм, как утлую и дырявую ладью, а к тому, чтобы устроить себе такой рациональный образ жизни,

при котором организм как можно реже приходил бы в расстройство и, следовательно, как можно реже нуждался бы в починке. Снижение уровня здоровья во многом зависит не только от образа жизни людей, социально-экономических факторов, состояния окружающей среды и наследственности, но и от природных условий (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Факторы риска

Сфера	Значение для здоровья. Примерный удельный вес, %	Группы факторов риска
Образ жизни и социально-экономические условия	49–53	Курение; несбалансированное неправильное питание; употребление алкоголя, наркотиков; злоупотребление лекарствами; вредные условия труда; стрессовые ситуации; гиподинамия; плохие материально-бытовые условия; непрочность семей; одиночество; низкий образовательный и культурный уровни; чрезмерная урбанизация
Генетика, биология человека	18–22	Предрасположенность к наследственным болезням, к дегенеративным болезням, онкологическим заболеваниям
Качество внешней среды, природные условия	17–20	Загрязнение воздуха, воды и почвы; загрязнение жилища и продуктов питания; вредные производственные условия; резкие смены погоды; повышенные гелиокосмические, магнитные и другие излучения
Здравоохранение	8–10	Низкая эффективность профилактических мероприятий; низкое качество медицинской помощи

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 состав-

ляют 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 $10^{-6}/70 = 1,43 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹.

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 $1,0 \cdot 10^{-3}$ за год, а для населения – $5,0 \cdot 10^{-5}$ за год (последняя величина в 50 раз превышает уровень пренебрежимого риска, который в Российской Федерации принят равным 10^{-6} за год).

На рис. 7.1 показано, как зависят установленные правительством Нидерландов предельные значения социального риска от числа возможных жертв в результате техногенных аварий. Здесь социальный риск выражается величиной f – отнесенной к одному году частотой таких аварий на одном объекте, количество жертв которых не превышает значение N .



Рис. 7.1. 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. 7.2 представлены стадии процесса управления риском.

Как следует из рис.7.2, 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.



Рис. 7.2. Схема процесса управления риском

7.2. Роль человеческого фактора в оценках риска и в управлении им

По мере совершенствования техники и технологий возможности человека-оператора (в первую очередь психофизиологические) росли (за счет улучшения качества общего и специального образования, повышения оснащенности автоматизированными системами контроля и управления производством, улучшения системы медицинского и психофизиологического отбора). Однако постепенно возможности человека все более и более отставали от быстрых темпов развития техники. Такая ситуация связана в том числе с определенным отставанием всесторонней оценки человеком новой техники в отношении ее потенциальной (аварийной) опасности. Очень трудно (а скорее практически невозможно) предусмотреть все виды (и варианты) этой опасности на этапах создания и испытания новой техники и технологий.

Усложнение и совершенствование техники, ее количественный рост, появление еще не изученных (или мало изученных) возможных технических отказов, нарушений неизбежно создает предпосылки к увеличению вероятности (риска) возникновения аварий.

Возможности же человека в предотвращении аварий также росли за счет улучшения образования, повышения квалификации, улучшения качества отбора, использования компьютерной техники, автоматизированного управления производством, совершенствования всей системы и средств обеспечения безопасности и т. п., но тем не менее эти возможности со временем стали все более заметно отставать от ускоренного развития и расширяющихся возможностей современной техники. Это соотношение схематически изображено на рис. 7.3 в форме увеличивающейся со временем «зоны отставания» роста возможностей человека-оператора от быстрых темпов развития (усложнения) техники.

Таким образом, существует вполне реальная опасность увеличения частоты человеческих ошибок, вызванных различными причинами, на всех этапах создания и эксплуатации новой техники и технологий [22].

Как следствие отставания возможностей человека от развития техники все больше несчастных случаев и аварий происходят уже по вине человека, а не техники. Если ранее (до 70-х гг. XX в.) более 75 % всех происшествий в техногенной сфере было вызвано техническими причинами, то сегодня прослеживается тенденция резкого смещения причин этих происшествий в сторону человеческого фактора.

В процессе количественного оценивания риска и управления им значительные трудности вызываются наличием неопределенностей



Рис. 7.3. Схематическое изображение соотношения развития (усложнения) техники и роста возможностей человека-оператора

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 удастся. В значительной степени это связано с тем, что в подобных чрезвычайных ситуациях возникают непредусмотренные 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.

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» (рис. 7.4).

Приведенная классификация используется в моделировании взаимодействия человека с машиной. Схема на рис. 7.4 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



Рис. 7.4. Классификация причин опасных действий персонала, способных привести к техногенным чрезвычайным ситуациям (по Ризону)

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.

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 [8].

Ошибки людей, являющиеся причинами аварий и несчастных случаев, рассматривались рядом исследователей в свете так называемой теории домино. Этот термин, введенный еще в 1931 г. Г. Хайнрихом, должен был напоминать о том, что практически всегда человеческие ошибки образуют последовательности, в которых первая ошибка неминуемо вызывает вторую, вторая — третью и т. д. Вместе с тем Хайнрих утверждал, что важно исследовать не только ошибочные действия людей, но и совокупность тех условий, в которых эти действия совершаются. Эти условия, по оценкам Хайнриха, ответственны за каждую пятую аварию (он предложил пользоваться «**правилом 80 : 20**», по которому 80 % причин аварийных ситуаций связаны

с опасными действиями персонала, а 20 % – с опасными условиями производства). Теория «домино» сыграла положительную роль в изучении причин и моделировании промышленных аварий.

Согласно теории «домино», в развитии нештатной ситуации можно выделить 5 стадий.

Первая стадия обусловлена наследственностью человека и той социальной средой, в которой он находится, совершая действия, необходимые для данного производственного процесса. На второй стадии сказываются личные недостатки человека и характерные для него ошибки (например, плохая память или замедленная реакция). Третья стадия охватывает непосредственно опасные действия, которые может совершить человек. Четвертая стадия представляет саму аварию. Пятая стадия – связанный с аварией ущерб, включая несчастные случаи.

Перечисленные стадии уподобляются ряду костей домино, стоящих друг за другом. Удержав любую из первых четырех костей, можно предотвратить последствия аварии в виде материального ущерба или несчастных случаев (рис. 7.5).

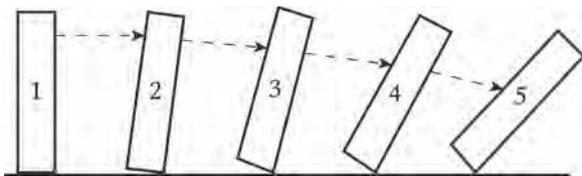


Рис. 7.5. Иллюстрация теории «домино»

В результате анализа 122 документально засвидетельствованных происшествий, имевших место в одной авиатранспортной компании в период с 1989 по 1991 г. и связанных с ошибками человека, вызванными вероятным проявлением человеческого фактора в технике, было выяснено, что основными видами ошибок, допущенных при техническом обслуживании, являлись:

- упущения – 56 %;
- неправильная установка – 30 %;
- использование не тех деталей – 8 %;
- прочие ошибки – 6 %.

Большинство наиболее частых упущений – это невыполненное или незаконченное закрепление деталей. Неправильный монтаж компонентов, невнимательные осмотр и контроль качества являются

наиболее часто повторяющимися ошибками при техническом обслуживании. Примеров много. Приведем некоторые из них (Циркуляр ИКАО 253-AN/151):

«10 июня 1990 года самолет ВАС 1-11 (рейс 5390 авиакомпании „Бритиш эруэйз“) вылетел из Бирмингемского международного аэропорта в Малагу, Испания, с 81 пассажиром, четырьмя бортпроводниками и двумя членами летного экипажа. Взлет выполнял второй пилот, и после перехода к установившемуся набору высоты командир воздушного судна в соответствии с принятыми в авиакомпании правилами взял управление на себя. В этот момент оба пилота освободили плечевые привязные ремни, а командир – и накидной ремень. При наборе высоты 17 300 футов раздался резкий звуковой удар, и фюзеляж окутал густой туман, что является признаком быстрой разгерметизации. Лобовое стекло в кабине экипажа вылетело наружу, а командира втянуло в проем лобового стекла, где он застрял. Дверь в кабину экипажа резко открылась внутрь и ударила по пульту управления и контроля радиотехническим и навигационным оборудованием. Второй пилот немедленно вновь взял управление самолетом на себя и начал экстренное снижение на эшелон 110. Бортпроводники старались втянуть командира назад в кабину, но высасывающий поток не позволил им это сделать. Они удерживали его в таком положении за колени до тех пор, пока самолет не приземлился. В результате расследования было установлено, что причиной летного происшествия явилось то обстоятельство, что при замене лобовое стекло было закреплено не теми болтами.

11 сентября 1991 г. самолет „Эмбраер 120“ авиакомпании „Континентал экспресс“, выполнявший рейс 2574, вылетел из международного аэропорта Ларедо, Техас, в международный аэропорт Хьюстон. Самолет внезапно разрушился в полете и потерпел катастрофу, унесшую жизни всех 13 человек, находившихся на его борту. В ходе расследования было установлено, что происшествие произошло из-за того, что крепежные винты на верхней поверхности левой стороны передней кромки горизонтального стабилизатора были откручены и не поставлены на место, в результате чего противообледенительный агрегат передней кромки был закреплен на стабилизаторе только нижними крепежными винтами».

1979 г. – авария на электростанции Three Mile Island (США). Авария была вызвана грубыми ошибками персонала, обслуживающего реактор. Заражена значительная территория.

Наиболее известной из техногенных («порожденных техникой») аварий и катастроф является произошедшая в 1986 г. знаменитая катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции, расположенной недалеко от Киева. В результате **целой серии**

ошибка персонала, эксплуатировавшего станцию, взорвался один из ее реакторов мощностью в миллион киловатт. В результате взрыва и пожара в воздух было выброшено несколько десятков тонн высокорadioактивных материалов, которые образовались в реакторе за время его работы. Часть этих материалов упала вблизи электростанции и сильно заразила и ее, и ее окрестности, а часть выброшенного материала распылилась в мельчайшую пыль и разнеслась ветрами на огромные расстояния. Уже через несколько дней радиация была обнаружена в Швеции и Норвегии, потом она вместе с атмосферными потоками пересекла Атлантический океан, достигла Гренландии, Канады и США. Затем радиоактивная пыль стала «вымываться» из атмосферы дождями и оседать на землю – оседать очень неравномерно. Образовались опасные «радиоактивные пятна» во многих областях Украины, Белоруссии и юга России. Население, проживавшее в этих «радиоактивных пятнах», стали переселять в более безопасные места. Огромный труд был затрачен на уменьшение уровня радиации вокруг атомной электростанции. Над разрушенным взрывом реактором был создан непроницаемый бетонный «саркофаг», зараженная радиацией земля вокруг атомной станции была снята и отвезена в отдаленные хранилища.

Всего над ликвидацией последствий чернобыльской катастрофы работали 400 тыс. человек «ликвидаторов» – солдат и гражданских специалистов, призванных из запаса. Многие из них в ходе работы получили опасные дозы радиации и стали инвалидами, многие умерли [28].

Анализ мирового опыта ядерных аварий показывает, что главная угроза безопасности АЭС исходит не снаружи, откуда ее ожидают все современные системы физической защиты, а изнутри самой АЭС. А именно, от непрофессиональных действий персонала.

Согласно оценкам специалистов по анализу аварий и катастроф, именно ошибки человека при эксплуатации систем являются причиной около 45 % аварийных ситуаций на атомных электростанциях, 60 % авиакатастроф и 80 % катастроф на море. Свыше 90 % аварийных ситуаций, возникших в воздушном пространстве, произошли из-за человеческих ошибок. В книге [12] на основании анализа зарубежных источников приведены данные, что 60 % столкновений, гибели и посадки судов на мель происходит из-за ошибочных действий их команд, 75 % летных происшествий в военной авиации – по вине личного состава, 20–50 % отказов различного оборудования вызывается ошибками обслуживающего персонала. Еще в 1967 г., согласно оценкам специалистов, на дорогах мира в автокатастрофах ежегодно погибало порядка 150 000 чел., а число раненых достигало 6 млн. Значительное число этих жертв определяется ошибками человека, допущенными при управлении транспортным средством. Однако,

несмотря на объективную реальность, практика свидетельствует, что люди склонны недооценивать масштаб этих цифр, и проблема безопасности систем «человек–машина» решается главным образом наращиванием надежности технического компонента системы, в то время как научно обоснованному проектированию деятельности человека уделяется все еще недостаточно внимания.

Анализ аварий и инцидентов на море, произошедших за последние 30 лет, вынудил международное морское сообщество постепенно отойти от одностороннего подхода, сфокусированного на технических требованиях к конструкции и оборудованию судна, и обратить внимание на тот подход, который пытается признать роль человеческого фактора в безопасности на море и более полно обращается к нему в рамках всей морской отрасли. Этот анализ общего характера выявил, что в условиях участия человека во всех аспектах деятельности на море, включая проектирование, изготовление, управление, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт, почти во все аварии и инциденты на море вовлечен человеческий фактор. Число аварийных случаев, связанных с человеческим фактором, стабильно удерживается на уровне 70–80 %.

По телевидению и в печати было объявлено, что причиной катастрофы подводной лодки «Курск» был взрыв торпеды в торпедном аппарате.

В 60-е гг. XX в. пытались реализовать идею использования для подводных лодок и их торпед пероксида водорода, который легко отдает кислород и может использоваться для увеличения скорости. Для военных это было заманчиво, и опыты начались в России и Англии. Но быстро выяснилось, что пероксид водорода – это крайне опасный продукт. Он может разлагаться со взрывом при попадании в него мельчайших примесей, а на подводных лодках, где царит теснота, уберечь ее от взрыва практически невозможно. Авария со взрывом произошла в Англии. Правительство опросило ученых, те подтвердили: пероксид водорода на подводных лодках держать и использовать нельзя. Согласившись с мнением ученых, пероксид водорода запретили к использованию на подводном флоте Англии.

В СССР примерно в то же время произошла очень похожая авария со взрывом пероксида водорода на подводной лодке. Но в СССР ученых не опрашивали, а страшную аварию просто засекретили. Поэтому применение опаснейшего пероксида водорода в Военно-морском флоте СССР и потом в России не было запрещено, и в августе 2003 г. произошло то, что рано или поздно неминуемо должно было произойти: на подводном ракетоносце «Курск» взорвалась торпеда с пероксидом водорода. Взрыв погубил сам подводный ракетоносец и весь экипаж [28].

Ни одно государство в мире торпеды с пероксидом водорода не использует. Некоторые попытки были, но в конечном итоге они оказались по причине взрывопожаробезопасности. Мы же не отказались, и вот результат. Пероксид водорода (H_2O_2) в присутствии тяжелых металлов и их ионов разлагается на H_2O и O_2 . Особенно эффективные катализаторы разложения – соли железа, меди, марганца. Разложение пероксида водорода – экзотермический процесс и может происходить со взрывом. Высококонцентрированный пероксид водорода, разлагающийся на оксидном катализаторе, дает нагретую до высоких температур ($7000\text{ }^\circ\text{C}$) водно-кислородную смесь.

Одним из ярких примеров человеческих ошибок, которые привели к серьезной аварии, можно считать переворот парома, курсировавшего между Дувром (Англия) и Зебрюгге (Бельгия) в 1988 г. Причиной аварии послужили незакрытые створки для въезда автомобилей в носовой части парома. Контролировать их закрытие должен был старший помощник капитана, но в момент отплытия парома он был занят другим делом. Капитан до аварии просил установить на мостике световую сигнализацию о закрывании створок, но ему было отказано. В свой последний рейс паром был отправлен в большой спешке из-за опоздания. В связи с этим не было времени на опорожнение балластных цистерн и подъема носа корабля выше ватерлинии. В результате, как только паром отошел от причала, он перевернулся и утонул при ясной, безветренной погоде. В аварии погибли 180 человек.

Вопиющим примером трагической ошибки была катастрофа самолета-аэробуса в 1997 г. в России, когда командир лайнера доверил штурвал ребенку.

Согласно статистике, более половины аварий в социотехнических системах (в авиации до 90 %) связаны с человеческим фактором – из-за возрастания концентрации управляемой мощности в руках одного человека [22].

7.3. Цена риска и принцип оптимизации вариантов его снижения

Принято считать, что социально-экономический ущерб Y , обусловленный воздействием на людей, присутствующих в среде обитания опасных веществ, прямо пропорционален риску угрозы здоровью R [8]:

$$Y = \alpha \cdot R, \quad (7.1)$$

где α – 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 α определяется количеством денег, приходящимся на одну дополнительную смерть или на один человеко-год сокращения продолжительности жизни. Использование цены риска позволяет перейти к монетарным показателям, т. е. 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 [8]:

- 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.

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 долл. В качестве среднего (медианного) значения часто используется величина 3,2 млн долл. за статистическую жизнь (70 лет) или приблизительно 45 тыс. долл. за один человеко-год.

За последние годы в России сложился определенный «тариф», по которому государство выплачивает пособия (пособия, а не компенсации) родственникам погибших от терактов и аварий (подобных разрушению аквапарка «Трансвааль», авиакатастрофам) по 100 тыс. руб., а лицам, получившим травмы, – по 50 тыс. руб. Дети погибших в подмосковном аквапарке будут, кроме того, ежемесячно получать 1,5 тыс. руб. до совершеннолетия или окончания вуза.

Сумма компенсаций, выплачиваемых в западных странах, значительно, в десятки раз, превышает суммы пособий, выплачиваемых в России. Так, согласно Монреальской конвенции, принятой в 1999 г., члены семей погибших пассажиров любой авиакомпании имеют право на компенсацию в размере 135 тыс. долл. В США семьи тех, кто погиб 11 сентября 2001 г., получили от 250 тыс. до 7 млн долл. Необходимо отметить, что крупные суммы компенсации устанавливаются в первую очередь чтобы наказать компанию или государственную структуру, по чьей вине произошел инцидент с гибелью людей, т. е. повисить их ответственность за обеспечение безопасности людей.

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. В табл. 7.2 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 7.2

Оценки затрат на некоторые экологические мероприятия с целью сохранения одной человеческой жизни в год

(по Т. Тенгсу и др.)

Мероприятие	Затраты, долл. США
Хлорирование питьевой воды	3100
Контроль за загрязнением воздуха тепловыми электростанциями, работающими на каменном угле	37 тыс.
Снижение концентрации радона в жилых помещениях	От 6,1 до 140 тыс.
Запрещение использования формальдегида для теплоизоляции зданий	От 11 до 220 тыс.
Контроль за выбросами бензола в фармацевтической промышленности	460 тыс.
Контроль за ионизирующим излучением в урановых шахтах	От 79 тыс. до 3,9 млн
Запрещение использования асбеста в строительстве зданий	От 550 тыс. до 5,2 млн
Снижение выбросов мышьяка на стекольных заводах	От 2,3 до 51 млн
Снижение выбросов диоксида на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности	От 4,5 до 7,5 млн
Снижение выбросов мышьяка на медеплавильных заводах	От 36 тыс. до 890 млн

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 заключается в следующем. Сначала рассматриваются все варианты (сценарии) возможных действий и мер по снижению риска. Для каждого i -го сценария ($i = 1, 2, \dots, n$) вычисляются затраты W_i на его реализацию и планируемая при этом выгода V_i . Кроме того, для каждого сценария оцениваются значения так называемого остаточного риска R_i , к которому приведет осуществление i -го сценария. Чистый экономический эффект E_i для каждого сценария определяется разностью выгод и затрат:

$$E_i = V_i - W_i. \quad (7.2)$$

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

$$W_i = \frac{1}{t} \cdot \sum_{j=0}^{t-1} (C_j + tD_j) \left(\frac{1}{1 + r_j} \right)^j, \quad (7.3)$$

где t – время жизни проекта;

C_j и D_j – капитальные и текущие затраты соответственно;

r_j – среднегодовая процентная ставка j -го года.

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

Остаточный экономический ущерб Y_i определяется произведением цены риска и остаточного риска (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:

$$Y_i = \frac{1}{t} \cdot \sum_{j=0}^{t-1} \alpha_j R_{ji}, j \left(\frac{1}{1 + r_j} \right)^j, \quad (7.4)$$

где α_j – цена риска для j -го года;

R_{ji} – остаточный риск j -го года для i -го сценария.

Выгода как предотвращенный ущерб оценивается следующим образом. Если Y_0 – социально-экономический ущерб, имевшийся до принятия каких-либо действий по возможным сценариям, а Y_i – остаточный социально-экономический ущерб после реализации i -го сценария, то предотвращенный ущерб ΔY_i определяется разностью:

$$\Delta Y_i = Y_0 - Y_i \quad (7.5)$$

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

$$V_i = \Delta Y_i \quad (7.6)$$

Чистый экономический эффект E_i определяется выражением:

$$E_i = \Delta Y_i - W_i = Y_0 - (Y_i + W_i). \quad (7.7)$$

Сумму $(Y_i + W_i)$ называют обобщенными приведенными затратами. Формула (7.6) показывает, что чистый экономический эффект будет максимален при минимуме обобщенных приведенных затрат:

$$\max E_i \rightarrow \min (Y_i + W_i). \quad (7.8)$$

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

В научной литературе вместо термина «принцип оптимизации» иногда используют другой – так называемый **принцип ALARA**. Акроним ALARA состоит из начальных букв английской фразы «as low as practically achievable», означающей «настолько низко, насколько это технически достижимо». Согласно этому принципу, независимо от достигнутого в промышленной деятельности уровня безопасности, требуется дальнейшее повышение этого уровня, если это технически осуществимо. Однако, как показывает опыт, всегда может произойти что-то непредвиденное, т. е. нельзя полностью ликвидировать опасность аварии и достичь таким образом нулевого риска. Кроме того, данный путь может быть слишком дорогостоящим и даже разорительным для общества.

В соответствии с принципом ALARA требуется достижение такого уровня безопасности, который можно обеспечить с учетом социальных и экономических соображений, в том числе и с учетом последствий возможных аварий. Уровень современных инженерных возможностей таков, что в отношении любого опасного объекта всегда можно найти и реализовать дополнительные меры безопасности, которые снижают риск до сколь угодно малого (не нулевого) уровня. Вопрос лишь в стоимости этих мер. Очевидно, что даже в случае

выбора разумной с точки зрения затрат величины приемлемого риска, общество несет потери в результате отчуждения и ограничений в хозяйственном использовании значительных территорий.

Для идентификации рисков и выбора механизмов управления предложены различные классификации рисков. Оригинальная классификация типов риска с использованием образов древнегреческой мифологии приведена в статье [30].

Тип 1. Дамоклов меч. Данному типу соответствует малая вероятность события, но катастрофически высокий потенциальный ущерб при его реализации. Особенность данного вида риск состоит в том, что его источниками в основном являются сложные промышленные объекты (ядерная энергетика, химические заводы, плотины и т. п.).

Тип 2. Циклоп. Этот тип риска отличается тем, что одна из его основных характеристик, ущерб, может быть оценена с большой степенью достоверности. Другая характеристика, вероятность, либо не определена, либо ее оценка имеет большой доверительный интервал. К числу таких рисков относятся катастрофические природные явления, СПИД и др.

Тип 3. Пифия. Данный риск характеризуется тем, что как вероятность, так и последствия неопределенны, хотя потенциальный ущерб может быть велик. Примером таких рисков могут быть тепличный эффект или воздействие некоторых веществ на эндокринную систему человека.

Тип 4. Ящик Пандоры. Специфика данного типа риска определяется глобальным и разносторонним проявлением последствий, которые могут быть как мгновенными, так и межпоколенческими. К данному типу можно отнести, например, разрушение озонового слоя. Точность ущерба и вероятности крайне низка.

Тип 5. Кассандра. Наряду с большой вероятностью реализации риска и высоким ущербом, данный тип связан с обязательным наличием отдаленных эффектов (например, антропогенное изменение климата).

Тип 6. Медуза. Данный тип риска обладает целым рядом особенностей. Сочетание малой вероятности, относительно малого ущерба и широкие масштабы проявления, особенно в области социально-психологических интересов, требуют повышенного внимания. В качестве примера данного типа риска могут выступать техногенные электромагнитные поля.

Данная классификация весьма условна и используется при начальной идентификации рисков и при выборе механизмов управления рисками [23].

7.4. Экологическое законодательство и стандарты – инструменты управления экологическими рисками

Управление экологическими рисками проводится путем разработки и применения нормативно-правовых актов, в которых устанавливается эколого-правовая ответственность. В специальном Законе РСФСР «Об охране окружающей природной среды» 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 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 важной 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 environmental auditing – General principles);

- ISO 14011 – Руководящие указания по экологическому аудиту.

Процедуры аудита. Проведение аудита для систем управления окружающей средой (Guidelines 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. Оценка 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).

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из важнейших составляющих элементов системы экологической безопасности является управление экологическими рисками. При проведении комплексной экологической оценки территории производится идентификация и анализ экологических рисков. На основе полученных результатов организуется подсистема мониторинга экологических рисков, в задачу которой входит анализ, определение количественных показателей величины экологических рисков и прогноз вероятности их проявления на оцениваемой территории. Совокупность полученных данных позволяет перейти к выбору методов управления экологическими рисками как элемента экологической политики, реализуемой органами государственного и административного управления на оцениваемой территории.

Применение анализа риска техногенных систем показывает, что анализ риска позволяет установить приоритеты для химических веществ и процессов, позволяющие обеспечить наивысшую безопасность для здоровья человека и экологических систем.

Загрязнения различных географических оболочек (атмосферного воздуха, водных объектов, почв) могут рассматриваться как ресурсы, распределенные в ненадлежащих местах. Старая парадигма контроля загрязнений экономически менее целесообразна, чем предотвращение загрязнений, что неоспоримо подтверждается экономическим обоснованием. Экономический анализ и анализ здоровья населения, основанный на оценке риска, может быть использован для минимизации и предотвращения загрязнений.

Содержание учебного пособия ориентировано на получение и последующее применение студентами ключевых представлений и методологических подходов, направленных на решение проблем обеспечения безопасного и устойчивого взаимодействия человека с природной средой.

Автор надеется, что учебное пособие окажется полезным студентам, аспирантам, научным сотрудникам и специалистам, занимающимся вопросами обеспечения экологической безопасности.

ТЕСТЫ К ДИСЦИПЛИНЕ

Вопрос	Правильный ответ
<p>1. Как называется наружная оболочка Земли?</p> <p>1. Атмосфера. 2. Биосфера. 3. Литосфера. 4. Гидросфера.</p>	Биосфера
<p>2. Как называется наука о комфортном и безопасном взаимодействии человека с техносферой?</p> <p>1. Безопасность жизнедеятельности. 2. Безопасность. 3. Опасность. 4. Жизнедеятельность.</p>	Безопасность жизнедеятельности
<p>3. Дайте определение понятию «техногенный риск»:</p> <p>1. Риски, связанные с опасностями, исходящими от технических объектов. 2. Риски, связанные с проявлением стихийных сил природы. 3. Риски, связанные с загрязнением окружающей среды. 4. Риски, связанные с опасностью потерь в результате финансово-хозяйственной деятельности.</p>	Риски, связанные с опасностями, исходящими от технических объектов
<p>4. Индивидуальный риск – это:</p> <p>1. Риск, которому подвергается индивидуум. 2. Уровень индивидуального риска, не вызывающий беспокойства индивидуума. 3. Уровень риска, с которым общество готово мириться ради получения определенных благ. 4. Уровень риска, устанавливаемый административными органами.</p>	Риск, которому подвергается индивидуум
<p>5. Что такое «атмосфера»?</p> <p>1. Газовая оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли. 2. Смесь азота и диоксид углерода. 3. Слой воздуха, в котором распространена жизнь. 4. Смесь кислорода и диоксида углерода.</p>	Газовая оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли

Вопрос	Правильный ответ
<p>6. Что такое «гидросфера»?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность всех вод Земли (глубинных, почвенных, поверхностных, материковых, океанических и атмосферных). 2. Воды рек, озер. 3. Воды морей и океанов. 4. Воды подземных источников. 	<p>Совокупность всех вод Земли (глубинных, почвенных, поверхностных, материковых, океанических и атмосферных)</p>
<p>7. Основные причины выпадения кислотных дождей:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Поступление во влажную атмосферу оксидов азота и (или) серы. 2. Разлив минеральных кислот при авариях на химических предприятиях. 3. Поступление во влажную атмосферу метана. 4. Поступление в атмосферу фторхлоруглеродов. 	<p>Поступление во влажную атмосферу оксидов азота и (или) серы</p>
<p>8. Каковы возможные последствия парникового эффекта?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Образование озоновых дыр в атмосфере. 2. Уменьшение концентрации оксидов углерода в атмосфере. 3. Уменьшение концентрации кислорода в атмосфере. 4. Изменение параметров климата планеты за счет поступления в атмосферу парниковых газов. 	<p>Изменение параметров климата планеты за счет поступления в атмосферу парниковых газов</p>
<p>9. Вероятность, что неблагоприятный эффект будет иметь место у индивидуума, группы или в экологической системе при воздействии определенной дозы или концентрации опасного агента, – это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Риск. 2. Ущерб. 3. Экологический ущерб. 4. Среди ответов нет верного. 	<p>Риск</p>
<p>10. Ущерб от безвозвратных потерь населения, сокращения сроков жизни, ухудшения здоровья и благополучия людей – это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Социальный ущерб. 2. Социально-экономический ущерб. 3. Экономический ущерб. 4. Экологический ущерб. 	<p>Социальный ущерб</p>

Вопрос	Правильный ответ
<p>11. Потери, которые нанесены окружающей среде или ее отдельным компонентам, – это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Социальный ущерб. 2. Социально-экономический ущерб. 3. Экономический ущерб. 4. Экологический ущерб. 	Экологический ущерб
<p>12. Уровень индивидуального риска, обусловленный хозяйственной деятельностью, который пренебрежимо мал для индивида, называют:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Пренебрежимым. 2. Приемлемым. 3. Предельно допустимым. 4. Чрезмерным. 	Пренебрежимым
<p>13. Уровень индивидуального риска, обусловленный хозяйственной деятельностью, настолько низкий, насколько возможно при данных социально-экономических условиях, называют:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Пренебрежимым. 2. Приемлемым. 3. Предельно допустимым. 4. Чрезмерным. 	Приемлемым
<p>14. Интегральной характеристикой или количественной мерой экологической опасности является:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Экологическая угроза. 2. Экологический риск. 3. Источники экологической опасности. 4. Среди ответов нет верного. 	Экологический риск
<p>15. Температура, движение воздуха, осадки – это факторы риска:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Климато-метеорологические. 2. Орорафические. 3. Геофизические. 4. Гидрографические. 	Геофизические
<p>16. Состав пород, радиация – это факторы риска:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Геологические. 2. Почвенные. 3. Климато-метеорологические. 4. Гидрографические. 	Геологические

Вопрос	Правильный ответ
<p>17. Ядовитые и опасные животные, переносчики возбудителей болезней – это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фауна. 2. Флора. 3. Микрофлора. 4. Среди ответов нет верного. 	Фауна
<p>18. Суть парникового эффекта :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Углекислый газ и другие парниковые газы, накапливающиеся в атмосфере, пропускают коротковолновые солнечные лучи. 2. Углекислый газ и другие парниковые газы задерживают длинноволновое (тепловое) излучение Земли. 3. Углекислый газ и другие парниковые газы не имеют никакого отношения к парниковому эффекту. 4. Углекислый газ пропускает солнечное длинноволновое излучение и задерживает тепловое излучение Земли. 	Углекислый газ пропускает солнечное длинноволновое излучение и задерживает тепловое излучение Земли
<p>19. Нормирование качества природной и окружающей среды – это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вынужденная мера. 2. Результат закономерного развития общества. 3. Волевое решение Правительства РФ. 4. Требование международных природоохранных организаций. 5. Требование общественности. 	Вынужденная мера
<p>20. 21 % атмосферного воздуха составляет:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Углекислый газ. 2. Азот. 3. Инертные газы. 4. Кислород. 5. Водород. 	Кислород
<p>21. На какой высоте в атмосфере расположен озоновый слой?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 10–15 км. 2. 15–20 км. 3. 20–25 км. 4. 25–30 км. 5. 30–35 км. 	20–25 км

Вопрос	Правильный ответ
<p>22. Выпадение кислотных дождей связано с:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Изменением климата. 2. Повышением содержания углекислого газа. 3. Увеличением озона в атмосфере. 4. Выбросами в атмосферу диоксида серы, оксидов азота. 5. Повышением пылевых частиц. 	<p>Выбросами в атмосферу диоксида серы, оксидов азота</p>
<p>23. Канцерогенами называют вещества, вызывающие:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Психические расстройства. 2. Раковые заболевания. 3. Хроническое отравление. 4. Инфекционные заболевания. 5. Аллергические заболевания. 	<p>Раковые заболевания</p>
<p>24. Укажите отходы, представляющие наибольшую угрозу для человека и всей биоты:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Твердые бытовые отходы. 2. Промышленные отходы. 3. Радиоактивные отходы. 4. Жидкие бытовые отходы. 5. Газообразные выбросы. 	<p>Радиоактивные отходы</p>
<p>25. Уровень, который не представляет опасности для здоровья человека, состояния животных, растений, их генетического фонда, называется:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ПДС. 2. ПДВ. 3. ПДУ. 4. ПДН. 5. ПДД. 	<p>ПДУ</p>
<p>26. Вредные вещества, вызывающие отравления в организме человека:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Мутагенные. 2. Канцерогены. 3. Сенсибилизирующие. 4. Токсичные. 5. Раздражающие. 	<p>Токсичные</p>

Вопрос	Правильный ответ
<p>27. Какой газ при увеличении его концентрации приводит к нагреву нижних слоев атмосферы и поверхности Земли:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Метан. 2. Озон. 3. Аммиак. 4. Диоксид углерода. 5. Азот. 	<p>Метан</p> <p>Диоксид углерода</p>
<p>28. ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) – это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Российская рок-группа. 2. Дураки из дома техники. 3. Инсектицид. 4. Препарат для снятия стресса. 5. Препарат для лечения заикания. 	<p>Инсектицид</p>
<p>29. Главные загрязнители Мирового океана:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Поверхностно-активные вещества. 2. Нефть и нефтепродукты. 3. Серная, соляная, азотная кислоты. 4. Пестициды и гербициды. 	<p>Нефть и нефтепродукты</p>
<p>30. Великий мусорный континент расположен в:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В Индийском океане. 2. В Тихом океане. 3. В Атлантическом океане. 4. В Балтийском море. 5. В Черном море. 	<p>В Тихом океане</p>
<p>31. К техногенным катастрофам относятся:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Крупные аварии на производстве, повлекшие за собой человеческие жертвы. 2. Крупные аварии на транспорте, повлекшие за собой человеческие жертвы. 3. Явления природы, приводящие к гибели людей, уничтожению материальных ценностей. 4. Глобальное загрязнение биосферы. 	<p>Крупные аварии на производстве, повлекшие за собой человеческие жертвы</p>
<p>32. Рискология – это наука о:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Создании генетически модифицированных продуктов. 2. Теории горения пороха. 3. Рисках. 4. Климате. 	<p>Рисках</p>

Вопрос	Правильный ответ
<p>33. Наибольший вред человеку наносит попадание паров воды с высоким содержанием радона:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. На кухне. 2. В спальнной комнате. 3. В ванной комнате. 4. В личном кабинете. 	В ванной комнате
<p>34. Влияет ли увеличение количества ультрафиолетового излучения Солнца на число раковых заболеваний кожи у людей?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Да, количество заболеваний кожи у людей уменьшается. 2. Да, количество заболеваний кожи у людей увеличивается. 3. Нет, количество заболеваний кожи у людей и животных фактически остается постоянным. 	Да, количество заболеваний кожи у людей увеличивается
<p>35. Экологические риски – это риски, связанные с:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличением валового национального продукта. 2. Уменьшением валового национального продукта. 3. Загрязнением окружающей среды. 4. Увеличением биоразнообразия. 	Загрязнением окружающей среды
<p>36. СДЯВ – это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Препарат для лечения аллергии. 2. Сильно действующее ядовитое вещество. 3. Препарат для повышения успеваемости студентов. 4. Средняя доза ядовитого вещества. 	Сильно действующее ядовитое вещество

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абчук В. А.* Теория риска в морской практике / В. А. Абчук. – Л. : Судостроение, 1983.
2. *Акимов В. А.* Риски в природе, техносфере, обществе и экономике / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М. : Деловой экспресс, 2004.
3. *Алымов В. Т.* Техногенный риск. Анализ и оценка / В. Т. Алымов, Н. П. Тарасова. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004.
4. *Бек У.* От индустриального общества к обществу риска / У. Бек // THESIS. – 1994. – № 5.
5. *Белевитин А. Б.* Медицинское обеспечение работ в районах затопления химического оружия / А. Б. Белевитин, В. В. Вальский, А. Н. Гребенюк, А. В. Носов. – СПб. : Издательство «Ъ», 2009.
6. *Буянов В. П.* Рискология (управление рисками) : учебное пособие / В. П. Буянов, К. А. Кирсанов, Л. М. Михайлов. – М. : Экзамен, 2003.
7. *Быков А. А.* О проблемах техногенного риска и безопасности техносферы / А. А. Быков // Проблемы анализа риска. – 2012. – № 3.
8. *Ваганов П. А.* Экологические риски : учебное пособие / П. А. Ваганов, Ман-Сунг Им. – СПб. : СПбГУ, 2001.
9. *Ваганов П. А.* Риск смерти и цена жизни / П. А. Ваганов // Правоведение. – 1999. – № 3.
10. *Ветошкин А. Г.* Техногенный риск и безопасность : учебное пособие / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001.
11. *Дмитриев В. В.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем : учебное пособие / В. В. Дмитриев, Г. Т. Фрумин. – СПб. : Наука, 2004.
12. *Зинченко В. П.* Основы эргономики : учебное пособие / В. П. Зинченко, В. М. Мунипов. – М. : МГУ, 1979.
13. *Измалков В. И.* Техногенная и экологическая безопасность и управление риском / В. И. Измалков, А. В. Измалков. – М. ; СПб. : НИЦЭБ РАН, 1998.
14. *Карлин Л. Н.* Управление энвиронментальными и экологическими рисками : учебное пособие / Л. Н. Карлин, В. М. Абрамов. – СПб. : РГГМУ, 2006.
15. *Касьяненко А. А.* Современные методы оценки рисков в экологии: учебное пособие / А. А. Касьяненко. – М. : Изд-во РУДН, 2008.
16. *Киселев А. В.* Оценка риска здоровью / А. В. Киселев, К. Б. Фридман. – СПб. : Международный институт оценки риска здоровью, 1997.
17. *Ковалев Е. Е.* Радиационный риск на земле и в космосе / Е. Е. Ковалев. – М. : Атомиздат, 1976.
18. *Козелецкий Ю.* Психологическая теория решений / Ю. Козелецкий. – М. : Прогресс, 1979.

19. Колдобский А. Б. Ионизирующая радиация: воздействие, риски, общественное восприятие / А. Б. Колдобский. – М. : МИФИ, 2008.

20. Костиков В. А. Надежность технических систем и техногенные риски : учебное пособие / В. А. Костиков. – М. : Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2008.

21. Крепша Н. В. Опасные природные процессы : учебное пособие / Н. В. Крепша. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014.

22. Либерман А. Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор / А. Н. Либерман. – СПб. : Центр информатики «Гамма-7», 2006.

23. Лыков И. Н. Техногенные системы и экологический риск : учебное пособие / И. Н. Лыков, Г. А. Шестакова. – М. : ИПЦ «Глобус», 2005.

24. Музалевский А. А. Экологические риски: теория и практика / А. А. Музалевский, Л. Н. Карлин. – СПб. : РГГМУ, 2011.

25. Наше общее будущее : доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР) : пер. с англ. / под ред. и с послесл. С. А. Евтеева и Р. А. Перелета. – М. : Прогресс, 1989.

26. Осипов В. И. Природные катастрофы на рубеже XXI века / В. И. Осипов // Вестник РАН. – 2001. – № 4.

27. Павлов А. Н. Воздействие электромагнитных излучений на жизнедеятельность : учебное пособие / А. Н. Павлов. – М. : Гелиос АРВ, 2002.

28. Петров Ю. П. Расследование и предупреждение техногенных катастроф : научный детектив / Ю. П. Петров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007.

29. Потапов Б. В. Экономика природного и техногенного рисков / Б. В. Потапов, Н. Н. Радаев. – М. : ЗАО «Деловой экспресс», 2001.

30. Ренн О. Три десятилетия исследования риска: достижения и новые горизонты / О. Ренн // Вопросы анализа риска. – 1999. – № 1.

31. Тихомиров Н. П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками : учебное пособие / Н. П. Тихомиров, И. М. Потравный, Т. М. Тихомирова. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003.

32. Фрумин Г. Т. Экологическая химия и экологическая токсикология / Г. Т. Фрумин. – СПб. : РГГМУ, 2002.

33. Фрумин Г. Т. Геоэкология: реальность, наукообразные мифы, ошибки, заблуждения : учебное пособие / Г. Т. Фрумин. – СПб. : РГГМУ, 2006.

34. Фрумин Г. Т. Экология человека (Антропоэкология) : учебное пособие / Г. Т. Фрумин. – СПб. : РГГМУ, 2012.

35. Фрумин Г. Т. Экологическая токсикология (экоотоксикология) : курс лекций / Г. Т. Фрумин. – СПб. : РГГМУ, 2013.

36. Шахраманьян М. А. Оценка природной и техногенной безопасности России: теория и практика / М. А. Шахраманьян, В. А. Акимов, К. А. Козлов. – М. : ФИД «Деловой экспресс», 1998.