

Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны,  
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

---

**В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков**

# **РАДИАЦИОННАЯ И ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ**

Москва  
Деловой экспресс  
2005 г.

УДК 614.876/.878(470+571)  
ББК 68.9(2Рос)  
В57

**Владимиров В.А.**

В57 Радиационная и химическая безопасность населения / Монография / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков; МЧС России. — М.: Деловой экспресс, 2005. — 544 с.

ISBN 5-89644-083-9

Монография посвящена весьма актуальной проблеме обеспечения радиационной и химической безопасности населения, в том числе персонала радиационно и химически опасных объектов. В ней рассмотрены: современные угрозы и опасности радиационного и химического характера; роль и значение источников радиационной и химической опасности в формировании экологической обстановки и среды обитания человека на территории России; техногенный и экологический риск, связанный с функционированием радиационно и химически опасных объектов; проблемы управления и регулирования в сфере радиационной и химической безопасности; современные взгляды на методы, организационные принципы, меры и действия по обеспечению радиационной и химической безопасности; нормативные правовые, экономические и другие аспекты в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности населения.

Монография рассчитана на специалистов, занимающихся вопросами обеспечения радиационной и химической безопасности, а также широкий круг читателей, интересующихся этими вопросами, может быть использована в учебных заведениях при изучении курса «Безопасность жизнедеятельности» и подготовке специалистов, профессионально занимающихся проблемами предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

УДК 614.876/.878(470+571)  
ББК 68.9(2Рос)

ISBN 5-89644-083-9

© В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков, 2005  
© МЧС России, 2005  
© Оформление «Деловой экспресс», 2005

# Содержание

Введение . . . . .	7
--------------------	---

## Раздел I

### СОВРЕМЕННЫЕ УГРОЗЫ И ОПАСНОСТИ РАДИАЦИОННОГО И ХИМИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА, АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИХ РИСКА

#### Глава 1

<b>Радиационная и химическая обстановка на территории Российской Федерации . . . . .</b>	<b>15</b>
1.1. Радиационная обстановка и основные источники формирования характеризующих ее угроз и опасностей . . . . .	15
1.2. Химическая обстановка и основные источники формирования характеризующих ее угроз и опасностей . . . . .	39
1.3. Влияние радиационных и химических факторов на экологическую обстановку и качество среды обитания . . . . .	56

#### Глава 2

<b>Радиационный и химический риски, основы их анализа и оценки . . . .</b>	<b>81</b>
2.1. Характеристика радиационного и химического рисков, общие принципы установления приемлемых уровней . . . . .	81
2.2. Радиационный риск и нормирование радиационных воздействий при нормальном функционировании радиационно опасных объектов . . . . .	90
2.3. Радиационный риск, обусловленный естественными и искусственными источниками ионизирующих излучений . . . . .	97
2.4. Химический риск и нормирование вредных воздействий при нормальном функционировании химически опасных объектов . . . . .	100

#### Глава 3

<b>Факторы, источники и методология оценки радиационного и химического рисков при авариях и катастрофах . . . . .</b>	<b>119</b>
3.1. Факторы риска аварий и катастроф на радиационно опасных объектах . . . . .	119
3.2. Факторы риска аварий и катастроф на химически опасных объектах . . . . .	129

- 3.3. Единый методический подход к оценке риска при авариях и катастрофах на радиационно и химически опасных объектах . . . 133
- 3.4. Методология обоснования приемлемых уровней риска . . . . . 139

## Раздел II

### ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

#### Глава 4

- Требования к радиационно и химически опасным объектам, предъявляемые при их создании и эксплуатации . . . . . 157**
- 4.1. Инженерно-конструкторские и медико-санитарные требования при создании радиационно опасных объектов . . . . . 157
- 4.2. Инженерно-конструкторские и медико-санитарные требования при создании химически опасных объектов. . . . . 166
- 4.3. Общие положения по информированию населения и общественности о радиационной и химической опасности . . . 174

#### Глава 5

- Обеспечение радиационной и химической безопасности персонала радиационно и химически опасных объектов. . . . . 181**
- 5.1. Обеспечение радиационной безопасности персонала радиационно опасных объектов. . . . . 181
- 5.2. Обеспечение химической безопасности персонала химически опасных объектов . . . . . 234

#### Глава 6

- Обеспечение радиационной и химической безопасности населения . . . 275**
- 6.1. Обеспечение радиационной безопасности населения . . . . . 275
- 6.2. Обеспечение химической безопасности населения . . . . . 328

## Раздел III

### УПРАВЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

#### Глава 7

- Основы управления . . . . . 365**
- 7.1. Общая организационно-функциональная структура процесса управления безопасностью и риском при техногенных воздействиях . . . . . 365
- 7.2. Целевая функция и предметная область управленческого процесса в сфере радиационной и химической безопасности . . . 375

- 7.3. Структурирование и некоторые подходы к моделированию предметной области. . . . . 380
- 7.4. Структура информационно-управленческой технологии в сфере радиационной и химической безопасности. . . . . 388

## Глава 8

- Управление радиационной и химической безопасностью систем различного характера и иерархического уровня. . . . . 391**
- 8.1. Управление радиационной и химической безопасностью в рамках определенных социально-экономических систем . . . . 391
- 8.2. Управление радиационной и химической безопасностью на уровне организационно-технических систем (радиационно и химически опасных объектов) . . . . . 401
- 8.3. Экономические механизмы управления безопасностью и риском. 414

## Глава 9

- Выявление и оценка радиационной и химической обстановки как составная часть управленческого процесса . . . . . 421**
- 9.1. Выявление обстановки, формирующейся при выбросах радиоактивных веществ в окружающую среду. . . . . 421
- 9.2. Прогнозирование радиационной обстановки с использованием методов теории игр . . . . . 427
- 9.3. Методологическая схема информационной поддержки и определения зон повышенного риска при выявлении и оценке радиационной обстановки . . . . . 432
- 9.4. Методика прогнозирования заражений окружающей среды при авариях на объектах, обладающих высокой химической опасностью . . . . . 437
- 9.5. Методики прогнозирования химических загрязнений воздушной среды городов. . . . . 441

## Глава 10

- Государственное управление радиационной и химической безопасностью . . . . . 449**
- 10.1. Субъекты государственного управления радиационной и химической безопасностью . . . . . 449
- 10.2. Целевая функция и построение единой системы государственного управления в сфере радиационной безопасности . . . . . 451
- 10.3. Целевая функция и построение единой системы государственного управления в сфере химической безопасности . . . . . 457

**Глава 11**

<b>Оценка эффективности управления радиационной и химической безопасностью . . . . .</b>	<b>463</b>
11.1. Критерии оценки эффективности . . . . .	463
11.2. Методологические основы оценки эффективности управления радиационной и химической безопасностью социально-экономических систем . . . . .	465
11.3. Методологические основы оценки эффективности управления радиационной и химической безопасностью организационно-технических систем (радиационно и химически опасных объектов). . . . .	469

<b>Заключение . . . . .</b>	<b>475</b>
-----------------------------	------------

**Приложение 1**

<b>Методика оценки радиационной обстановки при разрушении ядерного реактора на атомной электростанции. . . . .</b>	<b>476</b>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

**Приложение 2**

<b>Методика прогнозирования масштабов загрязнения аварийно химически опасными веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте . . . . .</b>	<b>518</b>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

<b>Литература . . . . .</b>	<b>536</b>
-----------------------------	------------

# Введение

Развитие человечества, обусловленное его стремлением к обеспеченной и безопасной жизни, всегда было поступательным движением вперед. Прогресс из тысячелетия к тысячелетию, из столетия к столетию, из года в год улучшал качество жизни людей, расширял их знания и возможности.

Благодаря происшедшей в последние десятилетия, начиная со второй половины XX века, научно-технической революции, мир особенно изменился. Достигнутые выдающиеся результаты в электронной, атомной, космической, авиационной, энергетической, химической, биотехнологической областях науки и техники продвинули человечество на принципиально новые рубежи во всех сферах жизнедеятельности. Существенно улучшилось качество жизни людей, в том числе улучшились условия труда, выросли благосостояние, уровень здравоохранения, образования, социальной обеспеченности, культуры. Значительная часть человечества стала обладательницей широкого круга прав и свобод, произошла гуманизация и либерализация взглядов. Невиданно возросли масштабы производства промышленной и сельскохозяйственной продукции, обеспечивающие упомянутое благосостояние, особенно в развитых странах. Так, объем промышленного производства за XX век возрос более чем в 100 раз. Современные коммуникации сблизили страны и континенты. Наглядным показателем возросшего уровня жизни стала увеличившаяся вдвое с XVIII века средняя продолжительность жизни людей.

Вместе с тем в жизни современного человечества большое место стали занимать заботы, связанные с преодолением различных кризисных явлений, возникающих по ходу развития земной цивилизации. Причиной тому — то, что научно-технический прогресс не только способствует повышению производительности и улучшению условий труда, росту материального благосостояния и интеллектуального потенциала общества, но и приводит к возрастанию риска аварий и катастроф, появились невиданные ранее потенциальные и реальные угрозы человеку, созданным им объектам, локальной и глобальной среде его обитания не только в военное, но и в мирное время.

Сегодня промышленное производство, сконцентрировав в себе колоссальные запасы различных видов энергии, вредных веществ и материалов, стало постоянным источником серьезной техногенной опасности и возникновения аварий и катастроф, сопровождающихся чрезвычайными ситуациями<sup>1</sup>. Как

---

<sup>1</sup> **Чрезвычайная ситуация** — обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

показывает опыт, внедрение в производство новых технологий, как правило, незначительно снижает уровень этой опасности. Естественное же постоянное стремление общества к наиболее полному удовлетворению своих материальных и духовных потребностей влечет за собой увеличение масштабов производства, а следовательно, и уровня техногенной опасности.

Особенно хотелось бы подчеркнуть большую техногенную и экологическую опасность, которую несут в себе радиационно и химически опасные объекты<sup>1</sup>. Для подтверждения этого достаточно назвать радиационные аварии<sup>2</sup> в Уиндскейле (Великобритания) в 1957 г., на ПО «Маяк» (Челябинская обл.) в 1957 г., на атомной электростанции (АЭС) в Три Майл Айленде (США) в 1979 г., на Чернобыльской АЭС (Украина) в 1986 г., а также химические аварии<sup>3</sup> в Севезо (Италия) в 1976 г., в Бхопале (Индия) в 1984 г., на ПО «Азот» (Ионава, Литва) в 1989 г. и другие, которые привели к гибели людей, к заболеванию сотен и тысяч человек, к загрязнению и заражению больших территорий.

Говоря об опасности радиационно и химически опасных объектов, следует отметить, что в настоящее время общепризнанным является утверждение специалистов о том, что атомная энергетика и промышленность являются одними из наиболее «чистых» отраслей производства. Сравнительный анализ опасности различных объектов показывает, что риск смертельных поражений, например, от выбросов АЭС при нормальной их работе в 400 раз меньше, чем от выбросов вредных веществ, источниками которых являются тепловые электростанции (ТЭС) [17, 56]. По оценкам ученых, в США из среднегодовой общей смертности от рака, составляющей 400 тыс. человек, в результате функционирования АЭС умирает лишь 3 человека. Тем не менее, как следует из результатов ранжирования по степени риска тридцати различных видов технологий и видов деятельности человека, выполненного на основе опросов общественного мнения в США, атомная энергетика занимает 1 место, а традиционная электроэнергетика стоит на 18—19 месте. Примечательно, что экспер-

<sup>1</sup> **Радиационно и химически опасные объекты** — объекты, при аварии на которых или разрушении которых могут произойти поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений, либо радиоактивное загрязнение или химическое заражение природной среды в количествах или концентрациях, превышающих естественный уровень.

<sup>2</sup> **Радиационная авария** — потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями персонала, стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей или радиоактивному загрязнению окружающей среды, превышающим величины, регламентированные для контролируемых условий [84].

<sup>3</sup> **Химическая авария** — авария, сопровождающаяся проливом или выбросом опасных химических веществ (ОХВ), способная привести к гибели или химическому заражению людей, продовольствия, пищевого сырья и кормов, сельскохозяйственных животных и растений или к химическому заражению природной среды [28]. К ОХВ в соответствии с ГОСТами [26,27] относятся боевые отравляющие вещества, аварийно химически опасные вещества, а также вещества, вызывающие преимущественно хронические заболевания.



ты-специалисты, наоборот, ставят атомную энергетику по степени опасности лишь на 20-е место, а неатомную электроэнергетику — на 9-е.

По официальной статистике в США сокращение средней продолжительности жизни за счет функционирования объектов атомной энергетики и промышленности составляет всего 0,05 дня, в то время как за счет загрязнения воздуха, обусловленного сжиганием каменного угля, — 13 дней, а гибели на автотранспорте — 200 дней [17, 56].

Вместе с тем не только в России, но и в мире проблема обеспечения радиационной безопасности<sup>1</sup> сегодня является весьма актуальной, что обусловлено большим количеством различных источников ионизирующих излучений<sup>2</sup>, используемых как в мирных, так и в военных целях, а следовательно, необходимостью защиты персонала предприятий и организаций, а также населения от их вредного воздействия.

Достаточно отметить, что в Российской Федерации функционируют более 12 000 предприятий и организаций, использующих ядерные материалы, радиоактивные вещества и изделия из них [71], в том числе 10 АЭС (31 энергоблок) с реакторами различного типа, 15 сооружений и комплексов с промышленными реакторами, 17 ядерных установок по переработке ядерных материалов, 3 уранодобывающих комплекса, 9 установок для проведения научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок с ядерными материалами, 12 стационарных сооружений для хранения ядерных материалов или радиоактивных отходов, 109 исследовательских ядерных установок, 15 атомных судов и т.д. [47, 71].

Если атомная энергетика и промышленность являются достаточно «чистыми» отраслями производства, то последствия радиационных аварий, о которых упоминалось выше, как правило, являются весьма опасными. Так, например, в результате аварии на Чернобыльской АЭС общая площадь радиоактивно загрязненных территорий только в России с плотностью загрязнения выше 1 Ки/км<sup>2</sup> по цезию-137 достигала почти 60 тыс. км<sup>2</sup>. На загрязненных территориях оказалось 7 608 населенных пунктов, где проживало около 3 млн. человек. Вообще же радиоактивному загрязнению подверглись территории в 16 областях России и трех республиках (Мордовии, Татарстане и Чувашии). На этих территориях проживало около 30 млн. человек.

---

<sup>1</sup> **Радиационная безопасность** — состояние защищенности людей настоящего и будущего поколений, а также объектов окружающей среды от вредных воздействий ионизирующих излучений [84, 150].

**Обеспечение радиационной безопасности** — осуществление комплекса мероприятий при использовании источников ионизирующих излучений, создающих условия, исключающие или уменьшающие до приемлемых уровней облучение и радиоактивное загрязнение персонала, населения и окружающей среды.

<sup>2</sup> **Ионизирующее излучение** — излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков [17].

Не менее актуальна и проблема обеспечения химической безопасности<sup>1</sup>. Сегодня химические технологии в той или иной степени используются во всех отраслях промышленности. При этом в большинстве случаев даже при нормальном функционировании этих объектов имеет место выброс в атмосферу или сброс в водную среду тех или иных загрязняющих веществ, в том числе опасных химических веществ.

Достаточно сказать, что в настоящее время в процессе производственной деятельности ежегодно выбрасывается в атмосферу до 50 000 различных химических веществ, которые в определенных концентрациях могут оказать вредное воздействие. В подавляющем большинстве эти вещества не включаются в биотонический цикл и постепенно накапливаются в окружающей среде.

Причем доля предприятий различных отраслей хозяйственной деятельности человека в загрязнении атмосферы составляет [20]:

теплоэлектростанции и котельные	0,27
черная металлургия	0,17
нефтедобыча и нефтехимия	0,16
автомобильный транспорт	0,12
цветная металлургия	0,10
промышленность строительных материалов	0,05
угольная промышленность	0,025
химическая промышленность	0,01
прочие	0,09

Говоря, например, о нефтеперерабатывающей отрасли, следует подчеркнуть, что крупные предприятия, производящие широкий ассортимент нефтехимической продукции, выбрасывают в атмосферу и водоемы вещества от 50 до 100 наименований. Валовый выброс вредных веществ от источников отдельного предприятия составляет 20—90 тыс. т в год [5], а валовый выброс вредных веществ в атмосферу всей нефтеперерабатывающей отрасли составляет 1389 тыс. т/год. [75]

Но особенно опасны опять-таки последствия имеющих место химических аварий. Так, например, в результате аварии на химическом предприятии в г. Бхопал (Индия, 1984 г.) с выбросом высоко токсичного метилизоционата погибло 3 тыс. человек и более 200 тыс. человек пострадали.

Весьма высокая актуальность проблем обеспечения радиационной и химической безопасности подтолкнула авторов, имеющих значительный опыт в этой области, к написанию монографии, в которой рассмотрены современные угрозы и опасности радиационного и химического характера, техногенный и экологический риск, связанный с функционированием радиационно

---

<sup>1</sup> **Химическая безопасность** — состояние, при котором путем соблюдения правовых норм и санитарно-гигиенических правил, выполнения технологических и инженерно-технических требований, а также проведения соответствующих организационных и специальных мероприятий исключаются условия для химического заражения или поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений, загрязнения природной среды опасными химическими веществами в случае возникновения химической аварии [17].

и химически опасных объектов, проблемы управления и регулирования в сфере радиационной и химической безопасности, современные взгляды на методы, организационные принципы, меры и действия по обеспечению радиационной и химической безопасности населения, включая персонал радиационно и химически опасных объектов, экономические и другие аспекты в этой сфере.

Ряд вопросов, рассмотренных в монографии (проблемы управления, регулирования и другие), носят дискуссионный характер, и авторы были бы благодарны за высказанные замечания и предложения по этим вопросам.



## **Раздел I**

---

# **СОВРЕМЕННЫЕ УГРОЗЫ И ОПАСНОСТИ РАДИАЦИОННОГО И ХИМИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА, АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИХ РИСКА**

---



# Глава 1

## Радиационная и химическая обстановка на территории Российской Федерации

### 1.1. Радиационная обстановка и основные источники формирования характеризующих ее угроз и опасностей

Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в целом определяется следующими источниками ионизирующих излучений:

- природной радиоактивностью, включая космические излучения;
- глобальным радиационным фоном, обусловленным проводившимися в предыдущие годы испытаниями ядерного оружия;
- эксплуатацией ядерно и радиационно опасных объектов;
- наличием территорий, загрязненных радиоактивными веществами вследствие деятельности объектов атомной энергетики и промышленности и имевших место аварий на них в предыдущие годы.

Следует отметить, что доза облучения людей от естественных источников ионизирующих излучений не имеет существенно значимых величин. Согласно оценке Научного комитета по действию атомной радиации ООН суммарная доза на 1 человека в среднем во всем мире составляет всего 2,4 мЗв в год. Таким образом, указанные источники в лучшем случае должны учитываться, но они не представляют радиационной опасности и не требуют проведения каких-либо защитных мероприятий.

Некоторые технические и организационные меры по обеспечению радиационной безопасности населения следует осуществлять лишь на отдельных территориях, в местах рудопроявлений урана и выхода коренных кристаллических пород с повышенным кларком (содержанием) естественных радионуклидов, с целью исключения или снижения фактора облучения населения таким природным радиоактивным источником, как радон. Это характерно для Карельского перешейка, северной и северо-западной части Ленинградской области, части Новосибирской и Ростовской областей и ряда других мест. К сожалению, проблема радона в стране пока полностью не решена. Целые отрасли экономики, такие как нефтедобыча и переработка, добыча угля, жилищное строительство на радоноопасных территориях, производство стройматериалов и минеральных удобрений по радоновому фактору, остаются пока вне тщательного надзора и регулирования.

Доза облучения людей от последствий испытаний ядерного оружия в 50-х и начале 60-х годов XX-го века сегодня составляет около 1 % от общей фоновой дозы и к практически значимым факторам радиационной опасности также не относится.

Таким образом, первые два источника ионизирующих излучений, указанные выше, практической значимости не представляют.

Основные проблемы радиационной опасности на сегодня тесно связаны с развитием и эксплуатацией объектов атомной энергетики и промышленности, других форм мирного и военного использования атомной энергии, а также с наличием больших территорий, загрязненных радиоактивными веществами вследствие деятельности объектов атомной энергетики и промышленности и имевших место аварий на них в предыдущие годы. Все эти объекты и территории являются потенциально радиационно опасными объектами.

К этим объектам относятся [151]:

а) по признаку «объекты использования атомной энергии»:

— ядерные установки — сооружения и комплексы с ядерными реакторами, в том числе атомные электростанции, суда и другие плавсредства, космические и летательные аппараты, другие транспортные и транспортабельные средства; сооружения и комплексы с промышленными, экспериментальными и исследовательскими ядерными реакторами, критическими и подкритическими ядерными стендами; сооружения. Комплексы, полигоны, установки и устройства с ядерными зарядами для использования в мирных целях; другие содержащие ядерные материалы сооружения, комплексы, установки для производства, использования, переработки, транспортирования ядерного топлива и ядерных материалов;

— радиационные источники — не относящиеся к ядерным установкам комплексы, установки, аппараты, оборудование и изделия, в которых содержатся радиоактивные вещества или генерируется ионизирующее излучение;

— пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов (далее — пункты хранения), не относящиеся к ядерным установкам и радиационным источникам стационарные объекты и сооружения, предназначенные для хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранения или захоронения радиоактивных отходов;

— ядерные материалы — материалы, содержащие или способные воспроизвести делящиеся (расщепляющиеся) ядерные вещества;

— радиоактивные вещества — не относящиеся к ядерным материалам вещества, испускающие ионизирующее излучение;

— радиоактивные отходы — ядерные материалы и радиоактивные вещества, дальнейшее использование которых не предусматривается;

б) по территориально-производственному признаку:

— объекты ядерного комплекса (ядерно-топливного цикла (ЯТЦ), атомной энергетики, ядерного оружейного комплекса);

— базы ядерного оружия;



— территории и водоемы, загрязненные радионуклидами в результате имевших место радиационных аварий, ядерных взрывов в мирных целях, производственной деятельности и т.п.

Характер и степень радиационной опасности перечисленных объектов зависят от типа, мощности и конструкции источника ионизирующих излучений, условий его использования, типа (характера) возможной аварии. При этом если радиоизотопные источники, как правило, обладают одним-двумя видами радиационной опасности, то эксплуатация и аварии ядерных энергетических установок (ЯЭУ) сопровождаются практически всеми видами радиационной опасности (прямое ионизирующее излучение, радиоактивные газы и аэрозоли, продукты активации, радиоактивные загрязнения).

Давая характеристику перечисленным выше потенциально радиационно опасным объектам, необходимо отметить следующее.

Предприятия ЯТЦ осуществляют добычу урановой руды, ее обогащение (по  $^{235}\text{U}$ ), изготовление ядерного топлива, переработку отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов, хранение ядерного топлива, хранение и захоронение радиоактивных отходов.

Предприятия ЯТЦ по производственному признаку делятся на следующие группы:

- добывающие уран предприятия;
- предприятия по разделению изотопов урана;
- предприятия по изготовлению ядерного топлива;
- предприятия по переработке отработавшего ядерного топлива;
- объекты захоронения радиоактивных отходов.

К добывающим уран предприятиям относятся объекты, осуществляющие добычу урановой руды и ее переработку механическим и гидрометаллургическим способами, и предприятия по подземному выщелачиванию урана.

Основные типы радиационных аварий на этих предприятиях — выброс (разброс) урановой руды при транспортировке (или концентрата) и разливы растворов урана при авариях трубопроводов. В случае аварий на добывающих уран предприятиях принятия экстренных мер по защите населения и ликвидации их последствий, как правило, не требуется, а загрязнения ураном не носят катастрофического характера даже при больших масштабах выбросов из-за малой радиоактивности естественного урана.

Предприятия по разделению изотопов урана (обогащению природного урана) и изготовлению ядерного топлива используют в технологических процессах как физические, так и химические методы. Радиационную опасность на этих объектах представляют возможные аварии следующих типов:

- самоподдерживающаяся цепная реакция (СЦР) деления при проведении работ с растворами, порошками и изделиями из компактного урана;
- взрывы, в результате которых происходит выброс радиоактивных материалов в окружающую среду;
- разливы растворов, содержащих уран;
- пожары с возгоранием соединений, в которых содержится уран, и выбросом их в окружающую среду.

Из всех этих аварий радиационную опасность для населения может представлять газоаэрозольный выброс от СЦР, содержащий продукты деления урана, а также взрывы и пожары на различных участках технологических процессов [88].

Переработка отработанного ядерного топлива осуществляется на специальных перерабатывающих предприятиях (радиохимических заводах). В ходе технологических процессов переработки осуществляется разделка тепловыделяющих элементов, растворение топлива, химическое выделение урана, плутония, цезия, стронция и других радионуклидов. Безопасность персонала на этих предприятиях обеспечивается как за счет инженерно-конструкторских, так и организационно-технических мероприятий. Радиационную же опасность для населения представляют лишь возможные аварии в ходе технологических процессов.

Основными причинами радиационных аварий на радиохимических заводах являются термохимические взрывы, сопровождаемые выбросом содержимого технологических аппаратов (урана и продуктов его деления), в том числе и за пределы санитарно-защитной зоны предприятия.

Авария такого типа имела место в апреле 1993 г. на радиохимическом заводе Сибирского химического комбината (Томск-7), где в результате разрушения аппарата произошел выброс парогазовой смеси через штатную вентиляционную систему в атмосферу. Протяженность радиоактивного следа с уровнями радиации более 0,15 мкЗв/ч составила 28 км и площадью 123 км<sup>2</sup>.

Радионуклидный состав загрязнения на следе этого выброса представлен в табл. 1.1 [14].

Таблица 1.1

Радионуклидный состав загрязнения на следе при аварии на Сибирском химическом комбинате

Радионуклид	Период полураспада	% активности
<b>Бета-гамма-излучатели</b>		
Рутений-106	368 сут.	35
Рутений-103	39 сут.	2
Цирконий-95	64 сут.	20
Ниобий-95	35 сут.	42
Ниобий-94	1·10 <sup>4</sup> лет	менее 1
Цезий-137	~ 30 лет	менее 1
Хром-51	28 сут.	менее 1
Сурьма-125	2,8 лет	менее 1
<b>Альфа-излучатели</b>		
Плутоний-239	2,4·10 <sup>4</sup> лет	79
Уран-234	2,4·10 <sup>5</sup> лет	12
Уран-236	4,5·10 <sup>9</sup> лет	9

Радиоактивные отходы радиохимических заводов и других производств в большинстве своем направляются на объекты захоронения. Перед захоронением они, как правило, подвергаются дополнительной переработке. Низко- и среднеактивные отходы, характеризующиеся большими объемами, направляются на переработку, общей тенденцией которой является максимально возможное уменьшение их объема при помощи технологических процессов сорбции, коагуляции, выпаривания, прессовки и т.д. с последующим включением в матрицы (цемент, битум, смолы и т.д.). Хранение низко- и среднеактивных отходов осуществляется в бетонных емкостях с последующим захоронением в естественных и искусственных полостях. Высокоактивные отходы выдерживаются во временных хранилищах и по истечении определенного времени отправляются на захоронение.

Следует отметить, что основная часть радиоактивных отходов, накопленных в стране, сосредоточена на радиохимических предприятиях (более 90 % от суммарной активности). Так, например, в районе ПО «Маяк» (Челябинской обл.) в каскаде водоемов-хранилищ на р. Теча накоплено около 400 млн. м<sup>3</sup> загрязненной воды, в озеро Карачай там же сброшено радиоактивных отходов суммарной активностью около 120 млн. Ки. [71]

Радиационную опасность для населения на радиохимических предприятиях в основном представляют опять-таки возможные аварии.

Наиболее вероятной причиной радиационных аварий на объектах переработки и хранения радиоактивных отходов являются термобарические взрывы с выбросом содержимого технологических аппаратов.

Такого типа авария произошла в сентябре 1957 г. на ПО «Маяк», о чем упоминалось выше, где в одной из технологических емкостей, содержащей 256 м<sup>3</sup> высокоактивных отходов суммарной активностью 20 МКи, произошел химический взрыв. Радионуклидный состав аварийного выброса представлен в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Радионуклидный состав аварийного выброса на ПО «Маяк» в 1957 г.

Радионуклид	% суммарной β-активности	Начальное содержание на следе, кКи
Стронций-89	Незначительный	—
Стронций-90 + Иттрий-90	5,4	54
Цирконий-95 + Необий-95	24,8	496
Рутений-106 + Родий-106	3,7	74
Цезий-137	0,35	7,0
Церий-144 + Празеодим-144	65,8	1300
Прометий-147	Незначительный	—
Европий-155	Незначительный	—
Плутоний	0,002	0,38

Образовавшийся радиоактивный след был шириной до 20—40 км и протяженностью до 300 км, общей площадью 15—23 тыс. км<sup>2</sup>, на котором проживало в момент аварии 270 тыс. человек. Карта-схема образовавшегося радиоактивного следа, охватившего часть территории Челябинской, Свердловской и Курганской областей и получившего название «Восточно-Уральского радиоактивного следа» (ВУРС), представлена на рис. 1.1.

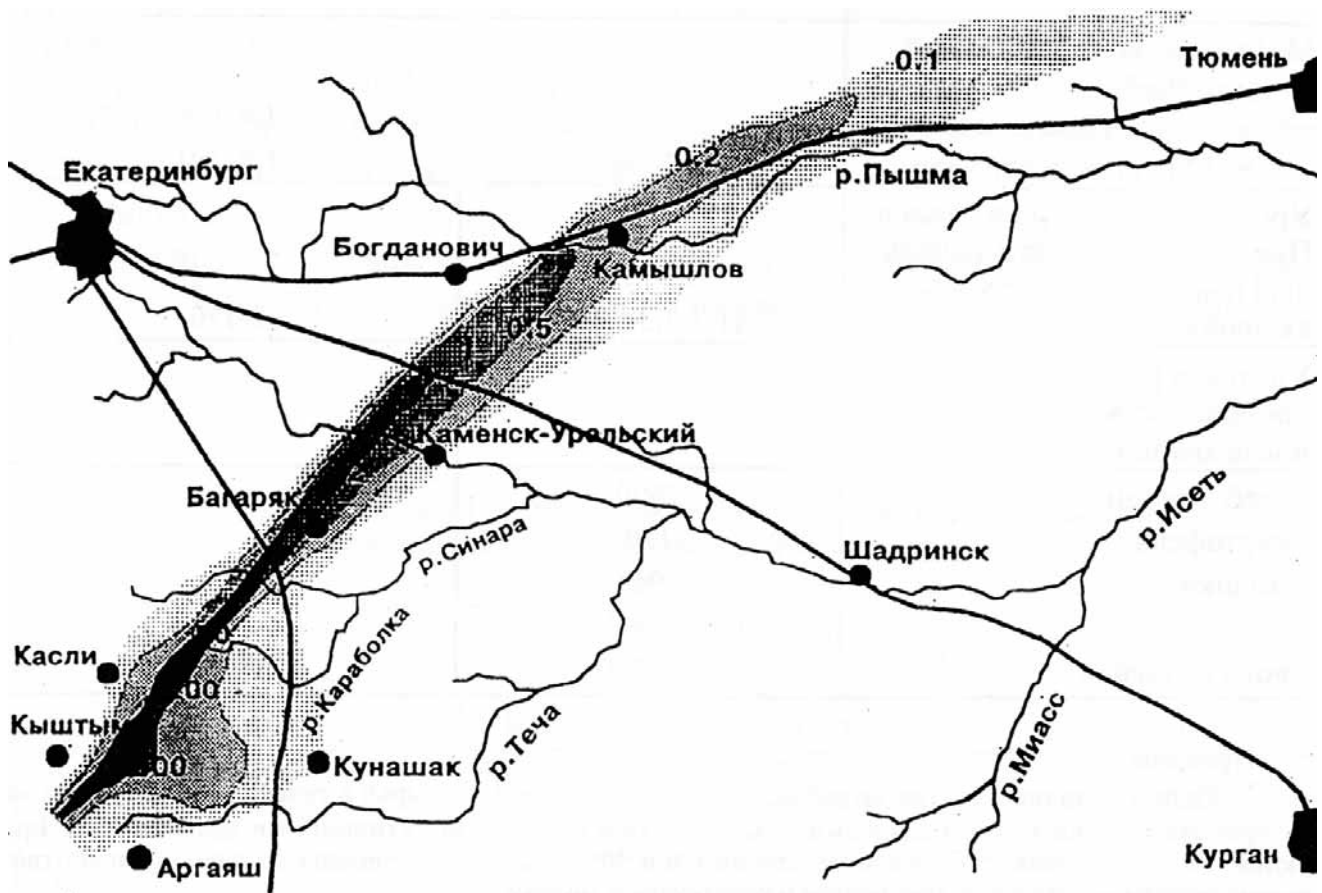


Рис. 1.1. Карта-схема Восточно-Уральского радиоактивного следа

Основные характеристики радиационной обстановки, в начальный период после этой аварии (до 1 года), приведены в табл. 1.3. Они показывают, что радиационная опасность для населения на территории ВУРСа была вследствие как внешнего, так и внутреннего облучения на протяжении примерно первых 50 км от ПО «Маяк» вдоль оси следа. Как и при большинстве известных радиационных аварий, основная доля накопленной дозы сформировалась именно в начальный период преимущественно вследствие наличия в смеси выбросов коротко- и среднеживущих радионуклидов.

Наибольшую вероятность возникновения и значительную радиационную опасность для населения имеют аварии при транспортировании ядерных материалов, прежде всего, гексафторида урана (ГФУ) и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) водо-водяных энергетических реакторов. Наиболее опасны при этом попадания контейнеров с этими ядерными материалами в зону пожара.

Таблица 1.3

Характеристики радиационной обстановки на территории ВУРСа на протяжении первых 75 км вдоль оси следа в начальный период

Показатели	Максимальные уровни радиоактивного загрязнения (12,5 км, д. Бердениш)	Уровни радиоактивного загрязнения на расстоянии 75 км (с. Багаряк)
Средняя начальная плотность загрязнения, кБк/м <sup>2</sup> (Ки/км <sup>2</sup> ) по <sup>90</sup> Sr	24·10 <sup>3</sup> (650)	37(1,0)
Мощность экспозиционной дозы мкР/ч* — Через 1 сутки после аварии — Через 120 суток после аварии	1,4·10 <sup>6</sup> 4,3·10 <sup>5</sup>	1,4·10 <sup>4</sup> 1,8·10 <sup>2</sup>
Уровни загрязнения жилищ и предметов обихода в начальный период, кБк/м <sup>2</sup> по Σβ-активности	(1,7—2,3)·10 <sup>3</sup>	3—170
Удельная β-активность в продукции в первые дни после аварии, кБк/кг** — Хлеб домашний — Картофель — Молоко — Мясо — Вода питьевая	2600 170 96 59 52	— — 4,4 — 0,011

\* Измеренные в первые дни после аварии значения мощности экспозиционной дозы на открытом воздухе соответствовали в среднем 0,015 мкР/с, или 1,3 мР/сут.

\*\* Средний радионуклидный состав продовольственного сырья в течение первых 8 мес. был представлен <sup>90</sup>Sr + <sup>90</sup>Y на уровне 16 % суммарной активности в растительной продукции, 70 % — в молоке, <sup>137</sup>Cs — соответственно 6 и 30 %, суммой редкоземельных элементов (<sup>144</sup>Ce) — 64 и 0 %.

И все же наиболее серьезную потенциальную радиационную опасность как для персонала, так и населения представляют АЭС, на которых тепло, выделяющееся в ядерном реакторе, используется для получения водяного пара, вращающего турбогенератор для производства электрической энергии.

АЭС включает один или несколько ядерных энергетических реакторов. На российских АЭС работают следующие типы ядерных реакторов:

— водоводяные энергетические реакторы электрической мощностью 440 МВт (ВВЭР-440) и 1000 МВт (ВВЭР-1000) на тепловых нейтронах;

— реакторы большой мощности, канальные, электрической мощностью 1000 МВт (РБМК-1000), графитовые, на тепловых нейтронах;

— реакторы жидкометаллические на быстрых нейтронах электрической мощностью 600 МВт (БН-600);

— реакторы энергетические графитовые паровые на тепловых нейтронах электрической мощностью 12 МВт (ЭГП-12)

Типы ядерных реакторов, эксплуатирующихся на АЭС в России, представлены в табл. 1.4, их основные физико-технические характеристики — в табл. 1.5.

Таблица 1.4

Типы ядерных реакторов, эксплуатирующихся на АЭС в России

Тип реактора	Количество блоков	Атомная станция
ВВЭР-440	2	Нововоронежская
	4	Кольская
ВВЭР-1000	1	Нововоронежская
	3	Калининская
	4	Балаковская
	1	Ростовская
РБМК-1000	4	Ленинградская
	4	Курская
	3	Смоленская
БН-600	1	Белоярская
ЭГП-12	4	Билибинская

При работе любого ядерного реактора каждую секунду происходит огромное количество делений ядер урана-235 (до  $10^{18}$  и более). При этом освобождаются нейтроны и испускаются гамма-кванты. В результате вблизи реактора (в отсутствие защиты) мощность эквивалентной дозы облучения может составить несколько зивертов (сотни бэр) в секунду, в то время как смертельная доза облучения для человека равна 6 Зв (600 бэр). Это одна из главных опасностей, требующая создания мощной биологической защиты вокруг реактора, ослабляющей поток гамма-нейтронного излучения, состоящей из кольцевого водяного бака для ослабления интенсивности потока нейтронов и железобетонного ограждения толщиной 2—3 м для ослабления гамма-излучения.

Кроме того, в ходе работы АЭС в результате процесса деления ядер урана образуется около 200 радионуклидов различных элементов, от газообразных до твердых, с различными периодами полураспада, которые накапливаются в активной зоне реактора. При этом радионуклиды с коротким периодом полураспада достигают по активности равновесного состояния. Активность же долгоживущих радионуклидов определяется мощностью реактора и временем нахождения ядерного топлива в нем до перегрузки.

Например, равновесный уровень активности радиоактивных благородных газов для реактора ВВЭР-440 составляет  $3,2 \cdot 10^8$  Ки, из которых на долю долгоживущего ксенона-133 приходится  $7,8 \cdot 10^7$  Ки.

Таблица 1.5

Физико-технические характеристики ядерных реакторов,  
эксплуатирующихся на АЭС в России

Характеристики	Тип реактора			
	РБМК-1000	ВВЭР-1000	ВВЭР-440	БН-600
Тепловая мощность, МВт	3 200	3 000	1 375	1 430
Электрическая мощность, МВт	1 000	1 000	440	600
Ядерное топливо	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> , PuO <sub>2</sub>
Количество загружаемой двуокиси урана, т	190	80	42	
Среднее обогащение ядерного топлива по урану-235, %	2	3,3—4,4	3,5	
Средняя глубина выгорания топлива, МВт сут/кг	20	26—40	28	10
Давление в первом контуре, Мпа		15,69	12,26	
Давление пара перед турбиной, Мпа	6,374	6,0	4,4	13,73
Температура пара, °С	280			540
Температура воды на выходе из реактора, °С		322	301	
Расход воды через реактор, м <sup>3</sup> /г		80 000	39 000	
Температура Na на выходе из реактора, °С				580

Активность долгоживущего цезия-137 для того же реактора, рассчитанная исходя из среднего времени нахождения ядерного топлива в реакторе в 1,5 года, составляет  $2,5 \cdot 10^6$  Ки.

Этой накопленной активностью и обуславливается потенциальная радиационная опасность АЭС для персонала и населения.

При нормальной эксплуатации АЭС количество радиоактивных веществ, поступающих во внешнюю среду за счет газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов, невелико и доза внешнего и внутреннего облучения организма человека на границе санитарно-защитной зоны вокруг АЭС и за ее пределами намного ниже установленных норм.

Это обеспечивается наличием нескольких защитных барьеров на пути распространения радиоактивности от ядерного топлива до внешней среды. Таковыми барьерами являются:

- герметичность оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ);
- герметичность корпуса реактора и корпуса теплоносителя в целом;
- герметичность помещений или защитной оболочки, внутри которой размещается все основное оборудование ядерной паропроизводящей установки.

Каждый из защитных барьеров ослабляет количество поступающей во внешнюю среду радиоактивности во много раз. Например, ослабление активности газообразных и возгоняющихся продуктов деления оболочкой ТВЭЛОВ при нормальной эксплуатации составляет  $10^5$ — $10^6$  раз.

В теплоносителе первого контура лишь незначительная часть (около 0,01 Ки/сут.) уходит из контура за счет неорганизованных протечек теплоносителя. Следовательно, герметичность контура теплоносителя реактора создает дополнительное ослабление активности порядка  $10^3$  раз.

Герметичность помещений и защитной оболочки является еще одним барьером ослабления радиоактивности, однако ее основная роль проявляется при аварийных ситуациях, когда два первых защитных барьера оказываются разрушенными в ходе аварии.

Так, например, развитие аварии на АЭС с реакторами ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 без разрушения ядерного реактора может сопровождаться разрывом трубопровода первого контура, нарушением герметичности 100% оболочек ТВЭЛОВ без оплавления активной зоны, несрабатыванием или недостаточной эффективностью работы спринклерной системы понижения аварийного давления.

В этом случае из реакторов во внешнюю среду могут выбрасываться с потоками пара газообразные и возгоняющиеся радиоактивные элементы: радиоактивные благородные газы (РБГ), радионуклиды йода и цезия.

При такой аварии с реактором ВВЭР-440 все накопленные под оболочками ТВЭЛОВ радионуклиды активностью  $1,02 \cdot 10^6$  Ки по смеси РБГ и  $6,3 \cdot 10^5$  Ки по сумме изотопов йода с потоками пара могут выбрасываться в течение 0,5 ч через аварийные клапаны в атмосферу на высоту 30—50 м.

При аварии на ВВЭР-1000 происходит утечка радионуклидов активностью  $2,23 \cdot 10^6$  Ки по смеси РБГ и  $1,37 \cdot 10^6$  Ки по сумме изотопов йода со всей цилиндрической поверхности защитной оболочки в течение многих часов и даже суток. При этом в первые 12 ч через защитную оболочку в окружающую среду может быть выброшено в среднем 3200 Ки/ч йода-131 и 3100 Ки/ч йода-133.

В любой радиационной аварии различают четыре фазы развития: начальную, раннюю, промежуточную и позднюю (восстановительную).

Начальная фаза аварии является периодом времени, предшествующим началу выброса (сброса) радиоактивности в окружающую среду или периодом обнаружения возможности облучения населения за пределами санитарно-защитной зоны предприятия. В отдельных случаях подобная фаза может не существовать вследствие своей быстротечности.



Ранняя фаза аварии (фаза «острого» облучения) является периодом собственного выброса радиоактивных веществ в окружающую среду или периодом формирования радиационной обстановки непосредственно под влиянием выброса (сброса) в местах проживания или нахождения населения. Продолжительность этого периода может быть от нескольких минут до нескольких часов в случае разового выброса (сброса) и до нескольких суток в случае продолжительного выброса (сброса). Для удобства в прогнозах продолжительность ранней фазы аварии в случае разовых выбросов (сбросов) принимается, как правило, равной 1 суткам.

Промежуточная фаза аварии охватывает период, в течение которого нет дополнительного поступления радиоактивности из источника выброса в окружающую среду и в течение которого решения о введении или продолжении ранее принятых мер радиационной защиты принимаются на основе проведенных измерений уровней содержания радиоактивных веществ в окружающей среде и вытекающих из них оценок доз внешнего и внутреннего облучения населения. Промежуточная фаза начинается с нескольких первых часов с момента выброса (сброса) и длится до нескольких суток, недель и больше. Для разовых выбросов (сбросов) протяженность промежуточной фазы прогнозируют, как правило, в пределах 7—10 суток.

Поздняя фаза (фаза восстановления) характеризуется периодом возврата к условиям нормальной жизнедеятельности населения и может длиться от нескольких недель до нескольких десятков лет в зависимости от мощности и радионуклидного состава выброса, характеристик и размеров загрязненного района, эффективности мер радиационной защиты.

Следует отметить, что в большинстве случаев все аварии на радиационно опасных объектах, сопровождающиеся выбросами радиоактивных веществ и формированием радиационных полей, классифицируют применительно к АЭС.

Прежде всего в зависимости от характера и масштабов повреждений и разрушений аварии на АЭС и других радиационно опасных объектах подразделяют на проектные, проектные с наибольшими последствиями (максимально проектные) и запроектные.

Под проектной аварией понимается авария, для которой определены в проекте исходные события аварийных процессов, характерных для того или иного объекта (типа ядерного реактора) или другого радиационно опасного узла, конечные состояния (контролируемые состояния элементов и систем после аварии), а также предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие ограничение последствий аварий установленными пределами.

Максимально проектные аварии характеризуются наиболее тяжелыми исходными событиями, обуславливающими возникновение аварийного процесса на данном объекте. Эти события приводят к максимально возможным в рамках установленных проектных пределов радиационным последствиям.

Под запроектной аварией понимается такая авария, которая вызывается не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями и сопровож-

дается дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности.

Кроме того, аварии на АЭС, сопровождаемые выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, в зависимости от характера и масштабов последствий подразделяются на четыре категории [17, 86]:

**первая — локальная авария.** Происходит выход радиоактивных продуктов или ионизирующих излучений за предусмотренные границы оборудования, технологических систем, зданий и сооружений. Количество выброшенных радиоактивных веществ превышает установленные значения, но зона радиоактивного загрязнения внешней среды не выходит за пределы промплощадки АЭС;

**вторая — местная авария.** Выход радиоактивных веществ происходит за пределы промплощадки, но область радиоактивного загрязнения находится внутри санитарно-защитной зоны АЭС. В указанной зоне возможно облучение персонала в дозах, превышающих допустимые, а концентрация радиоактивных веществ в воздухе и уровень радиоактивных загрязнений поверхностей в помещениях и на территории АЭС, а также в санитарно-защитной зоне могут быть выше допустимых;

**третья — средняя авария.** Область радиоактивного загрязнения выходит за пределы санитарно-защитной зоны, но локализуется в пределах ближайшего города, района;

**четвертая — крупная авария.** Область радиоактивного загрязнения выходит за пределы 100 км и охватывает несколько областей, республик, государств или один или несколько городов с количеством населения более 1 млн. человек, при уровне суммарного облучения в течение года дозой более 3сЗв (3 бэр).

Среднюю и крупную аварии часто объединяют в один вид и называют **общей радиационной аварией.**

Международным агентством по атомной энергетике (МАГАТЭ) разработана более полная шкала событий на АЭС, представленная в табл. 1.6. В соответствии с этой шкалой аварии на АЭС подразделяются также по характеру и масштабам последствий, а некоторые — и по причинам, их вызвавшим. Важно, что данные, представленные в табл. 1.6 и характеризующие международную шкалу уровней аварий на АЭС, также адаптируемы к радиационным авариям на других радиационно опасных объектах, критерии которых, особенно для радиационных аварий с выбросом в окружающую среду большого количества радиоактивных продуктов, подтверждают потенциальную опасность этих аварий.

К наиболее тяжелым радиационным авариям на АЭС, сопровождаемым выбросом урана и продуктов его деления за пределы санитарно-защитной зоны и радиоактивным загрязнением окружающей среды, относятся запроектные аварии, обусловленные разгерметизацией первого контура реактора с разрушением активной зоны.

Характерным примером такого типа аварий может служить упоминавшаяся выше авария реактора РБМК-1000 на Чернобыльской АЭС (Украина) в апреле 1986 г.

Таблица 1.6

## Международная шкала аварий на атомных электростанциях, разработанная МАГАТЭ

Уровень аварии	Наименование аварии	Характеристические признаки (показатели)	Пример
7	Глобальная авария	Выброс в окружающую среду большей части радиоактивных продуктов, накопленных в активной зоне, в результате которого будут превышены дозовые пределы для проектных аварий*. Возможны острые лучевые поражения, длительное воздействие на здоровье населения, проживающее на большой территории, включающей более чем одну страну, длительное воздействие на окружающую среду.	Чернобыль, СССР, 1986 г.
6	Тяжелая авария	Выброс в окружающую среду большого количества радиоактивных продуктов, накопленных в активной зоне, в результате которого дозовые пределы для проектных аварий** будут превышены, а для проектных — нет. Для ослабления серьезного влияния на здоровье населения необходимо введение планов мероприятий по защите работников (персонала) и населения в случае аварий в зоне радиусом 25 км, включающих эвакуацию населения.	Уиндскейл, Великобритания, 1957 г.
5	Авария с риском для окружающей среды	Выброс в окружающую среду такого количества продуктов деления, которое приводит к незначительному повышению дозовых пределов для проектных аварий** и радиационно эквивалентных выбросу порядка сотни ТБк йода-131. Разрушение большей части активной зоны, вызванное механическим воздействием или плавлением с превышением максимального проектного предела повреждения твэлов. В некоторых случаях требуется частичное введение планов мероприятий по защите персонала и населения в случае аварии (местная йодная профилактика и/или частичная эвакуация) для уменьшения влияния облучения на здоровье населения.	Три-Майл-Айленд, США, 1979 г.
4	Авария в пределах АЭС	Выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду в количестве, превышающем значения для уровня 3, который привел к переоблучению части персонала, но в результате которого не будут превышены дозовые пределы для населения**. Однако требуется контроль продуктов питания населения.	Сант-Лаурент, Франция, 1980 г.

Продолжение табл. 1.6

3	Серьезное происшествие	<p>Выброс в окружающую среду радиоактивных продуктов выше допустимого суточного, но не превышающий 5-кратного допустимого суточного выброса газообразных летучих радиоактивных продуктов и аэрозолей и/или годового допустимого сброса со сбросными водами.</p> <p>Высокие уровни радиации и/или большие загрязнения поверхностей на АЭС, обусловленные отказом оборудования или ошибками эксплуатации. События, в результате которых происходит значительное переоблучение работающих (доза &gt; 50 мЗв).</p> <p>При рассматриваемом выбросе не требуется принимать защитных мер за пределами площадки. Происшествия, при которых дальнейшие отказы в системах безопасности должны привести к авариям или ситуациям, при которых системы безопасности не будут способны предотвратить аварию, если произойдет исходное событие.</p>	Ванделлос, Испания, 1989 г.
2	Происшествие средней тяжести	Отказы оборудования или отключения от нормальной эксплуатации, которые хотя и не влияют непосредственно на безопасность станции, но способны привести к значительной переоценке мер по безопасности.	
1	Незначительное происшествие	Функциональные отклонения или отклонения в управлении, которые не представляют какого-либо риска, но указывают на недостатки в обеспечении безопасности. Эти отклонения могут возникнуть из-за отказа оборудования, ошибки эксплуатационного персонала или недостатков руководства по эксплуатации. (Такие события должны отличаться от отклонений без превышения пределов безопасной эксплуатации, при которых управление станцией осуществляются в соответствии с установленными требованиями. Эти отклонения, как правило, считают «ниже уровня шкалы».)	
0 Ниже уровня шкалы	Не влияет на безопасность		

\* Под дозовым пределом для проектных аварий понимают превышение дозы внешнего облучения людей 0,1 Зв за первый год после аварии и дозы внутреннего облучения щитовидной железы детей 0,3 Зв за счет ингаляции на расстоянии 25 км от станции. (Последнее обеспечивается при превышении аварийного выброса в атмосферу 30 тыс. Ки йода-131 и 3 тыс. Ки цезия-137).

\*\* При проектных авариях доза на границе санитарно-защитной зоны и за ее пределами не должна превышать 0,1 Зв на все тело за 1-й год после аварии и 0,3 Зв на щитовидную железу ребенка за счет ингаляции.

К моменту аварии реактор отработал около трех лет. В его активной зоне накопилось максимальное количество радиоактивных продуктов деления и активации — 1 500 МКи. Данные по активности отдельных радионуклидов на момент аварии приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Активность радионуклидов в реакторе 4-го энергоблока  
Чернобыльской АЭС на момент аварии

Радионуклиды*	Период полураспада, Т (1/2), сут.**	Энергетический выход, МэВ/расп.	Активность абсолютная, МКи
Нептуний-239	2,35	0,16	720
Молибден-99	2,75	0,28	160
Теллур-132	3,25	0,24	73
Йод-132	(3,25)	1,84	—
Йод-131	8,04	0,39	86
Барий-140	12,8	0,18	135
Лантан-140	(12,8)	2,30	—
Церий-141	32,5	0,80	150
Рутений-103	39,4	0,49	130
Стронций-89	52	0	63
Иттрий-91	58	—	70
Цирконий-95	64	0,74	130
Ниобий-95	(64)	0,76	130
Кюрий-242	163	0	0,49
Серебро-110м	250	2,84	0,5
Церий-144	284	0,02	90
Рутений-106	367	0,20	60
Цезий-134	2,06 года	1,55	4,0
Сурьма-125	2,77 года	0,44	0,7
Стронций-90	28,8 года	0	6
Цезий-137	30,2 года	0,57	8
Плутоний-238	87,7 года	0	0,02
Плутоний-240	6 537 лет	0	0,03
Плутоний-239	24 380 лет	0	0,02

\* В порядке возрастания периода полураспада — Т (1/2)

\*\* В скобках указан период полураспада материнского радионуклида.

Выброшенные из разрушенной активной зоны реактора в атмосферу радиоактивные продукты деления суммарной активностью  $5 \cdot 10^7$  Ки были разносены воздушными потоками на сотни и тысячи километров, приведя к радиоактивному загрязнению огромных территорий, оказав негативное воздействие на окружающую среду и здоровье проживающего на них населения. В наибольшей степени радиоактивному загрязнению подверглись территории России, Белоруссии и Украины. В табл. 1.8 представлены данные распределения по площадям и удельной величине загрязнения цезием-137 территорий этих государств. [57]

Таблица 1.8

Площади радиоактивного загрязнения территорий России, Белоруссии и Украины цезием-137, км<sup>2</sup>

Государство	> 40 Ки/км <sup>2</sup>	15—40 Ки/км <sup>2</sup>	5—15 Ки/км <sup>2</sup>	1—5 Ки/км <sup>2</sup>
Россия	310	2 130	5 450	48 100
Белоруссия	2 150	4 210	10 170	29 920
Украина	640	820	1 990	34 000

Карта загрязнения цезием-137 территории Европейской части России с плотностью  $\geq 1$  Ки/кв.км представлена на рис. 1.2.

В значительно меньшей степени подверглись радиоактивному загрязнению территории Балтии, других европейских государств — Австрии, Болгарии, Венгрии, Великобритании, Германии, Греции, Италии, Норвегии, Польши, Румынии, Турции, Финляндии, Швеции, Югославии. Повышения уровней радиационного фонда фиксировались в Японии и США.

Подобные радиационные аварии, безусловно меньшего масштаба, имеют место на судах и кораблях, космических аппаратах с ядерными реакторами, на объектах с промышленными, экспериментальными и исследовательскими ядерными реакторами.

Корабельные объекты с ЯЭУ оснащаются реакторами легководного типа. Принципиальными их отличиями от реакторов АЭС являются: использование в качестве топлива более обогащенного урана, сравнительно малые размеры, высокая степень защиты.

Характерной причиной радиационных аварий на корабельных ЯЭУ является разгерметизация первого контура реактора с выбросом при определенных условиях продуктов деления урана в окружающую среду.

На существующих космических объектах с ЯЭУ используются малогабаритные ядерные реакторы с высоким обогащением природного урана, на быстрых нейтронах, с жидкометаллическим теплоносителем, электрической мощностью несколько МВт.

Особенности радиационных последствий аварий космических объектов с ЯЭУ в полете обуславливаются разрушением и сторанием летательного аппарата при входе в плотные слои атмосферы и выпадением его радиоактивных остатков на значительном пространстве, исчисляемом десятками тысяч км<sup>2</sup>.

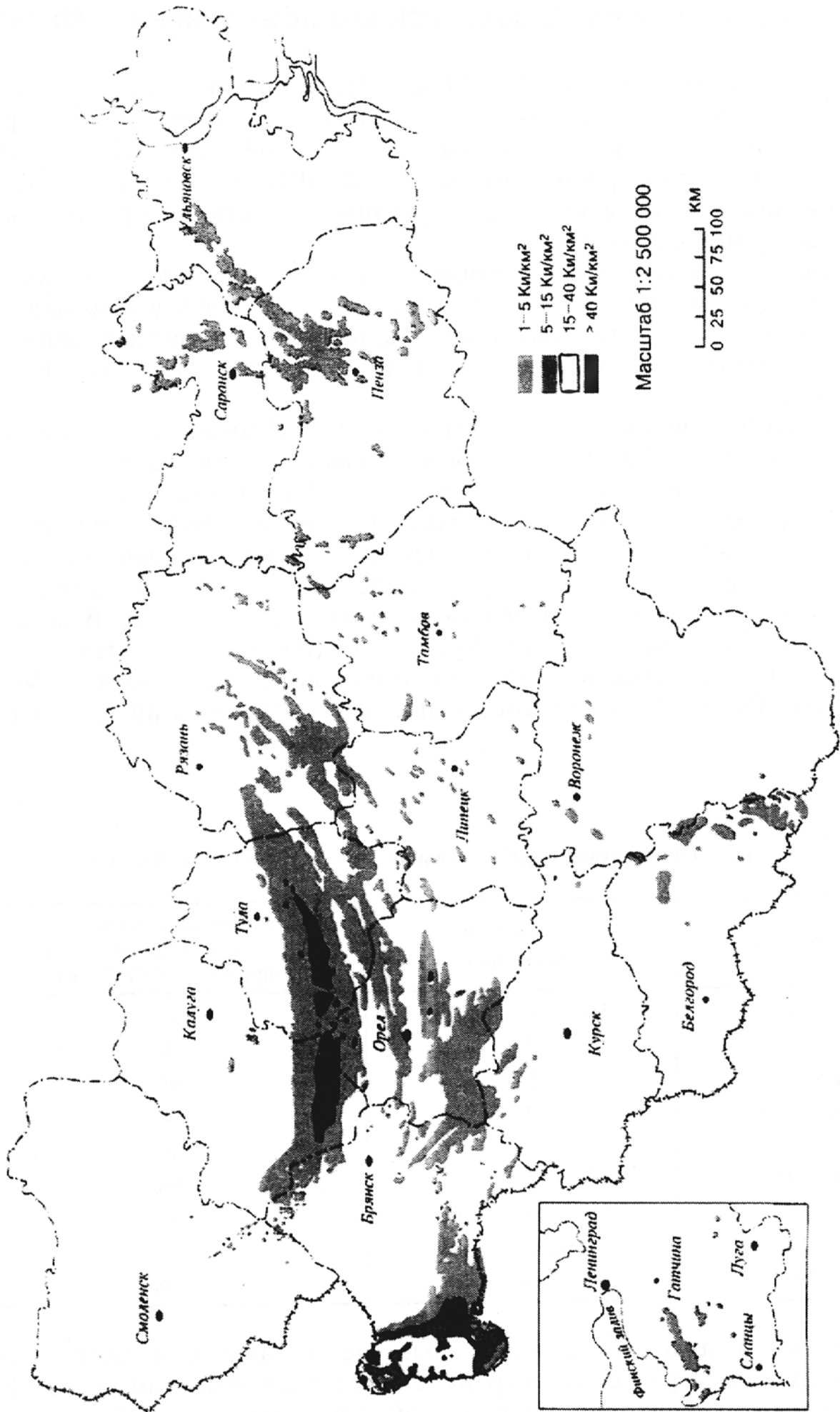


Рис. 1.2. Карта радиоактивного загрязнения цезием-137 территории Европейской части России с плотностью  $\geq 1$  Ки/кв.км

Исследовательские ядерные реакторы отличаются большим разнообразием. Основные их физико-технические характеристики представлены в табл. 1.9 [88].

Наиболее тяжелые радиационные последствия аварий на исследовательских реакторах имеют место при разрушении активных зон реакторов, сопровождаемом выбросом урана и продуктов его деления за пределы санитарно-защитной зоны и загрязнением окружающей среды.

Тяжесть радиационных последствий аварий на этих реакторах нарастает по мере наступления следующих основных этапов:

- повреждения оборудования первого контура с последующим истечением теплоносителя в разрыв;
- повреждения оболочек твэлов в результате тепломеханических процессов в активной зоне;
- разрушения отдельных твэлов или большей части активной зоны в результате плавления топлива;
- проплавления бака или корпуса реактора и взаимодействие с бетоном.

Значительную радиационную опасность для населения могут представлять радиационные аварии с ядерными боеприпасами (ЯБП).

Радиационная авария с ЯБП может возникнуть на различных этапах их войсковой эксплуатации (стационарное хранение, регламентные работы, транспортировка, нахождение ЯБП в составе носителя на боевом дежурстве) в результате ошибочных действий персонала, стихийных природных бедствий, аварий с транспортным средством и диверсионных актов.

Следует отметить, что сегодня в различных областях достаточно широко используются радиоактивные вещества.

Установки технологического, медицинского назначения и источники тепловой и электрической энергии, в которых они используются, весьма разнообразны по назначению, конструкции, составу радионуклидов, типу и мощности их излучения. Технические характеристики некоторых из них приведены в табл. 1.10.

Большинство используемых в этих установках и приборах радионуклидов являются мощными гамма-излучателями (кобальт-60, цезий-137 и другие) и радиационно опасны за счет внешнего облучения, особенно при разрушении защитных контейнеров, в которых они находятся, или изъятии их из контейнеров без принятия мер защиты.

Защита от внешнего облучения осуществляется путем создания стационарных или передвижных защитных ограждений, которые снижают уровень облучения до регламентируемых пределов.

К стационарным защитным ограждениям относятся: защитные стены, перекрытия пола и потолка, двери и дверные проемы, смотровые окна и т.д., к передвижным — ширмы различного типа, экраны, тубусы, диафрагмы, ограничивающие пучок излучений, контейнеры для транспортировки источников излучения и радиоактивных отходов.

В меньшей части установок используются альфа- и бета-излучатели (плутоний-239, полоний-210 и другие), которые для внешнего облучения не опасны,



Таблица 1.9

## Основные физико-технические характеристики некоторых исследовательских реакторов

Характеристики	Типы установок									
	ВК-50	СМ-2	МИР-М1	БОР-60	ВВР	ИРТ	РБТ	БР-10		
Тип реактора	корпусной	корпусной	петлевой	корпусной	корпусной	бассейно- вый	бассейно- вый	корпусной		
Замедлитель	вода, пар	вода	вода	—	вода	вода	вода	—		
Отражатель	-	бериллий	бериллий	—	бериллий	бериллий	вода	—		
Активная зона: тип твэла	стержне- вой	пластин- чатый	кольцевой	кольцевой	кольцевой	кольцевой	пластин- чатый	стержне- вой		
вид топлива	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> + Cu	UO <sub>2</sub> + Al	UO <sub>2</sub> , PuO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> + Al	UO <sub>2</sub> + Al	UO <sub>2</sub> + Cu	UO <sub>2</sub> , PuO <sub>2</sub>		
Циркуляция тепло- носителя на ИР: работающем остановленном	естествен. естествен.	принудит. принудит.	принудит. принудит.	принудит. принудит.	принудит. принудит.	принудит. принудит.	принудит. принудит.	принудит. принудит.		
Первый контур	герме- тичн.	герме- тичн.	герме- тичн.	герме- тичн.	герме- тичн.	негерме- тичн.	негерме- тичн.	герме- тичн.		
Наличие гермозо- ны и ее объем	есть 4 500	есть 22 500	есть 2 000	есть 800	нет	нет	есть 480	нет		
Тепловая мощ- ность, МВт	200	100	100	60	18	15	20	10		
Теплоноситель	вода, пар	вода	вода	натрий	вода	вода	вода	натрий		

Таблица 1.10

Техническая характеристика некоторых радиоизотопных источников, используемых в установках и приборах различного назначения

Область применения источников ионизирующих излучений (ИИИ)	Тип (наименование) установки (прибора)	Тип ИИИ	Количество ИИИ в упаковке	Радионуклид	Общая активность установок
Облучающие технологические установки	МРХ-У-100	ГИК-7-3	18	Кобальт-60	2,196·10 <sup>4</sup> Ки
	МРХ-У-30	ГИК-7-4	18	Кобальт-60	4,337·10 <sup>4</sup> Ки
	МРХ-У-20	Гик-7-2	35	Кобальт-60	1,985·10 <sup>4</sup> Ки
Медицинские установки	Луч-1, АГАТ-Р			Кобальт-60	До 5·10 <sup>2</sup> Ки
	Томограф типа CBS LBD			Кобальт-60	От 4 до 470 Ки
Научно-исследовательские установки	ГУПОС-800	ГС7.029.2	8	Цезий-137	1,38·10 <sup>3</sup> Ки
	УОП-БЕТА	ИРУС-1-3	30	Стронций-90 + Иттрий-90	2,432·10 <sup>3</sup> Ки
Радиоизотопные приборы	Релейный прибор (КСГ-3К)	ИГИ-Ц-3	1	Цезий-137	0,33 мКи (1,23·10 <sup>10</sup> Бк)
	Плотномер (ПР-1025М)	ИГИ-Ц-4	1	Цезий-137	1,73 Ки (6,35·10 <sup>10</sup> Бк)
	Прибор многоцелевой РТК-1	ИГИ-Ц-4	1	Цезий-137	1,73 Ки (6,35·10 <sup>10</sup> Бк)
Радиоизотопный термоэлектрический генератор	РИТЭГ	РИТ-90		Стронций-90	28 000—32 000 Ки

однако представляют большую радиационную опасность в случае разрушения установок и загрязнения этими радионуклидами окружающей среды.

Следует отметить, что нередко, особенно при радиационно-химических работах, радиоактивные вещества используются в открытом виде. В этих случаях, кроме внешнего облучения, возможно попадание радиоактивных веществ внутрь организма. При этих работах наряду с организацией защиты от внешнего облучения предусматривается комплекс мероприятий, предотвращающих радиоактивное загрязнение воздуха и поверхностей рабочих и смежных помещений, одежды и кожных покровов, а также объектов внешней среды.

Завершая характеристику радиационно опасных объектов, необходимо подчеркнуть, что территории и водоемы, загрязненные радионуклидами в результате имевших место радиационных аварий, а также производственной деятельности предприятий ЯТЦ, представляют радиационную опасность в связи с возможным разносом радиоактивных загрязнений и облучением населения, проживающего на загрязненных территориях, как за счет внешнего, так и внутреннего облучения, обусловленного употреблением загрязненных продуктов (овощей, фруктов, мяса, рыбы, молока, ягод, грибов).

Для примера, в Брянской области, наиболее загрязненной на территории России, средняя накопленная за 10 лет после аварии на Чернобыльской АЭС эффективная доза облучения населения составила 23,5 мЗв, а максимальная — 167 мЗв. У 30—35 тыс. жителей этой области она превысила 50 мЗв. Участники же ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, зарегистрированные в Российском государственном медико-дозиметрическом регистре, имеют в среднем дозы от 83 до 120 мЗв.

В табл. 1.11 представлены данные по последствиям крупнейших радиационных катастроф на территории России в части загрязнения территорий.

Таблица 1.11

## Последствия крупнейших радиационных катастроф на территории России

Последствия	Катастрофа	
	Авария на Чернобыльской АЭС	Деятельность ПО «Маяк»
Выброшено радиоактивности, МКи	50	5,4
Площадь загрязненных территорий, тыс. км <sup>2</sup>	56	более 23
Изъято из оборота земель, в т.ч. сельскохозяйственных, тыс. га	16,3 (14,1)	114 (76)
Пострадало населения, млн.чел.	2,6	0,5
Эффективная доза облучения, мЗв	средняя 23,5 (Брянская обл.)	менее 520

Следует отметить, что радиоактивные загрязнения окружающей среды имеют сложную зависимость от исходных параметров радиационно опасных объектов (типа объекта; типа и мощности ядерной или радиоизотопной установ-

ки, ядерного боеприпаса; характера радиохимического процесса и т.д.) и метеоусловий.

На предприятиях по разделению изотопов урана (обогащению природного урана) и изготовлению ядерного топлива для атомной энергетики выход радионуклидов за пределы санитарно-защитной зоны возможен при авариях, связанных с возникновением СЦР, как указывалось выше, взрывов и пожаров на участках технологических процессов.

Разгон мощности СЦР может привести к числу делений в диапазоне  $10^{18}$ — $5 \cdot 10^{18}$ . Выброс короткоживущих радионуклидов при этом может составить: криптон-89 + ксенон-137  $\sim 5 \cdot 10^5$  Бк, йод-134 —  $10^{13}$  Бк, йод-131  $\sim 3 \cdot 10^{10}$  Бк, радон-105  $\sim 5 \cdot 10^{15}$  Бк и цезий-138  $\sim 3 \cdot 10^{14}$ , часть из них может оказаться за пределами санитарно-защитной зоны, но без заметных радиационных последствий для населения.

При взрывах и пожарах возможен выброс гексафторида урана (ГФУ) и двуокиси урана ( $UO_2$ ), в том числе за пределы санитарно-защитной зоны с плотностью загрязнения на площади до  $10 \text{ км}^2$  от  $3 \cdot 10^{-10}$  до  $8 \cdot 10^{-2}$  Ки/ $\text{км}^2$ . Эта плотность загрязнения не потребует эвакуации населения, но будет необходима дезактивация значительных площадей в местах проживания населения, производства продуктов питания и др.

Радионуклидный состав и активность выбросов за пределы санитарно-защитной зоны при термохимических и термобарических взрывах на предприятиях по переработке отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов перед захоронением зависит, безусловно, от характера технологического процесса и этапа его осуществления. Причем радионуклиды, присутствующие в технологических средах, не участвуют в химических реакциях взрывного характера и причиной их выбросов является разрушение технологического аппарата с высокой температурой технологической среды (для растворов  $\sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ). При переработке топлива суммарная активность выброса, содержащего радионуклиды: рутений-106, рутений-103, цирконий-95, ниобий-94, цезий-137, плутоний-239, уран-234, уран-236, сурьма-125 и другие, может достигать  $\sim 5 \cdot 10^5$  Ки, но большая часть этой активности остается в пределах санитарно-защитной зоны, а площадь загрязнения за ее пределами с дозой 1 Зв может достигать порядка  $10 \text{ км}^2$ .

Вероятность аварии с радиоактивным загрязнением местности с данной дозой за пределами санитарно-защитной зоны более  $10 \text{ км}^2$  (до  $100 \text{ км}^2$ ) весьма мала.

При попадании транспортного контейнера с отработанным ядерным топливом ВВЭР-1000 в зону пожара при температурных воздействиях  $\sim 1300 \text{ }^\circ\text{C}$  возможно разрушение контейнера и выход в атмосферу следующих радионуклидов, определяющих основную активность: рутений-106 —  $2,5 \cdot 10^3$  Ки, стронций-90 —  $4,7 \cdot 10^3$  Ки и цезий-137 —  $6,5 \cdot 10^3$  Ки. При этом площадь радиоактивного загрязнения с мощностью дозы 5 сЗв/год может достигать  $100 \text{ км}^2$ . Площадь отчуждения с плотностью загрязнения более  $15 \text{ Ки}/\text{км}^2$  может составить  $\sim 35 \text{ км}^2$ .

При попадании транспортного контейнера с ГФУ в зону пожара возможно разрушение контейнера и выброс ГФУ. Учитывая, что он является сильным химотоксикантом, при поступлении ГФУ в воздух атмосферы происходит реакция его гидролиза, образуется густой, белый и непрозрачный туман из частиц  $\text{UO}_2\text{F}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  с размерами  $\sim 1$  мкм. Оседая, эти частицы обуславливают радиоактивное загрязнение окружающей среды. При этом общая площадь радиоактивного загрязнения с превышением допустимого уровня ( $\sim 0,05$  Ки/км<sup>2</sup>) может составить 100—200 га, со средней плотностью  $\sim 120$  гУ/м<sup>2</sup>, что соответствует плотности загрязнения 40 Ки/км<sup>2</sup>.

Основным источником радиоактивных загрязнений окружающей среды и облучения людей за пределами санитарно-защитной зоны при запроектных авариях ядерных реакторов являются выбрасываемые из реактора газоаэрозольные смеси. Они образуются в результате:

- выброса инертных радиоактивных газов и соединений йода;
- диспергирования материалов конструкции, содержащих радионуклиды;
- конденсации паров радиоактивных веществ;
- адсорбции радионуклидов на поверхности нейтральных частиц;
- осаждения продуктов распада радиоактивных газов на частицах атмосферной пыли.

Размер, форма и удельная активность являются важнейшими параметрами радиоактивных аэрозолей. Средний диаметр частиц аэрозолей —  $\sim 1$ —2 мкм, средняя активность —  $10^{-4}$ — $10^{-6}$  Ки.

Радиоактивные аэрозоли после попадания на поверхность объектов закрепляются на ней.

В зависимости от характера физико-химического взаимодействия между загрязненной поверхностью и носителем активности происходят адгезионный, адсорбционный и ионообменный процессы.

Характерной особенностью при адгезионном загрязнении является «прилипание» частицы к поверхности и наличие границы раздела фаз между радиоактивными частицами и поверхностью.

При адсорбции происходит межмолекулярное взаимодействие на поверхности раздела фаз.

При физической адсорбции молекулы радионуклидов сохраняют свою индивидуальность.

При хемосорбции молекулы (ионы) радионуклидов, а также их соединения образуют с адсорбентом поверхностные химические соединения.

При ионном обмене происходит обратимый, а иногда и необратимый процесс эквивалентного (стехиометрического) обмена между ионами радионуклидов и загрязняемой поверхностью. Ионообменная адсорбция является основным процессом, определяющим радиоактивное загрязнение почвы.

При попадании радиоактивных веществ вглубь материала происходит глубинное (объемное для жидкой фазы) радиоактивное загрязнение. При этом радиоактивные вещества могут попасть вглубь материала объекта вследствие диффузии, затекания и других механизмов, проникновения в поры, капиллярные и трещинные системы поверхности объекта.

Процессы поверхностного и глубинного загрязнений, как правило, происходят одновременно, при этом возможно сочетание различных механизмов загрязнения в определенной последовательности.

В сухую погоду радиоактивные загрязнения будут в основном поверхностными. В то же время отдельные частицы будут проникать в выемки шероховатой поверхности, обуславливая глубинные загрязнения.

При загрязнении поверхности каплями, содержащими радиоактивные вещества, первоначально будет происходить адгезия капель к твердой поверхности, которая в дальнейшем приведет к адсорбции радионуклидов на поверхности, ионному обмену, диффузии и капиллярному смачиванию.

Помимо первичного радиоактивного загрязнения возможны последующие циклы загрязнения, так называемое «вторичное» загрязнение.

Вторичным (иногда многократным) радиоактивным загрязнением считается переход радиоактивных веществ с ранее загрязненного объекта (территории) на чистый или загрязненный в меньшей степени объект. Так, радиоактивные загрязнения местности, сооружений и дорог могут переходить в воздушную среду (грунтовые воды), а затем осаждаться, вызывая радиоактивные загрязнения ранее «чистых» объектов, переноситься транспортом, людьми, животными и т.п.

Характер радиоактивного загрязнения различных поверхностей, в том числе территорий и водоемов, зависит от агрегатного состояния загрязняющих веществ, их химической природы, вида и состояния загрязняемых поверхностей, длительности контакта радиоактивных веществ с этими поверхностями.

Радиоактивное загрязнение окружающей среды является наиболее важным экологическим последствием радиационных аварий с выбросами радионуклидов, основным фактором, оказывающим влияние на состояние здоровья и условия жизнедеятельности людей на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Степень опасности радиоактивно загрязненных поверхностей определяется радионуклидным составом загрязнений, плотностью загрязнений, характером загрязненных поверхностей, временем, прошедшим после загрязнения, и некоторыми другими характерными для соответствующего загрязнения причинами.

Наиболее характерные особенности имеет радиоактивное загрязнение вследствие аварий ядерных реакторов.

В соответствии с удельным весом в составе выбросов биологически наиболее значимых радионуклидов при аварии ядерных реакторов в развитии радиационной обстановки выделяют, как правило, два основных периода: «йодовой опасности», продолжительностью до 2 месяцев, и «цезиевой опасности», который продолжается многие годы.

В «йодном периоде», кроме внешнего облучения (до 45 % дозы за первый год), основные проблемы связаны с молоком и листовыми овощами — главными «поставщиками» радионуклида йода внутрь организма.

«Цезиевый период», наступающий по прошествии 10 периодов полураспада йода-131, является периодом, когда цезий определяет основную причину радиационного воздействия на население и окружающую среду.

На первом этапе радиационное воздействие на людей складывается из внешнего и внутреннего облучений, обусловленных соответственно радиоактивными облучениями от загрязненных радионуклидами объектов окружающей среды и вдыханием радионуклидов с загрязненным воздухом, на втором этапе — облучением от загрязненных радионуклидами объектов окружающей среды и введением их в организм человека с потребляемой пищей и водой, а в дальнейшем — в основном за счет употребления населением загрязненных продуктов питания. Принято считать, что 85 % суммарной прогнозируемой дозы облучения на последующие 50 лет после аварии составляет доза внутреннего облучения, обусловленного потреблением продуктов питания, которые выращены на загрязненной территории, и лишь 15 % падает на дозу внешнего облучения.

Радиоактивное загрязнение водоемов, как правило, представляет опасность лишь в первые месяцы после аварии.

Все изложенное подтверждает, что проблема обеспечения радиационной безопасности при эксплуатации и особенно при авариях радиационно опасных объектов является весьма актуальной и для своего решения требует осуществления соответствующих мер по защите персонала, населения и окружающей среды.

## **1.2. Химическая обстановка и основные источники формирования характеризующих ее угроз и опасностей**

Время «большой химии» началось в XIX веке, когда взрывообразно стало увеличиваться число синтезируемых человеком веществ, получила быстрое развитие химическая промышленность, стали нарастать объемы ее производства. Своего апогея производство и использование различных химических веществ достигло во второй половине XX века, когда особенно бурное развитие получила нефтехимическая промышленность.

Сегодня крупнейшими потребителями АХОВ являются:

— черная и цветная металлургия, где широко используются хлор, аммиак, соляная кислота, ацетонциангидрин, водород фтористый, нитрил акриловой кислоты;

— целлюлозно-бумажная промышленность — хлор, аммиак, сернистый ангидрид, сероводород, соляная кислота;

— машиностроительная и оборонная промышленность — хлор, аммиак, соляная кислота, водород фтористый;

— коммунальное хозяйство — хлор и аммиак;

— медицинская промышленность — аммиак, хлор, фосген, нитрил акриловой кислоты, соляная кислота;

— сельское хозяйство — аммиак, хлорпикрин, хлорциан, сернистый ангидрид.

Подтверждением опасности аварий на предприятиях, использующих АХОВ, является ряд крупных химических аварий в мире в конце XX века, в том числе упомянутая выше известная крупная авария на химическом заводе в г. Севезо (Италия), выпускающем различные химические вещества (в основном ароматические соединения). Авария привела к заражению диоксином значительной территории вокруг завода. На зараженной площади были выделены три зоны: зона А (наиболее зараженная) со средним уровнем заражения  $2,4 \cdot 10^{-4}$  г/м<sup>2</sup> и площадью 1,08 км<sup>2</sup>; зона Б со средним уровнем заражения  $3 \cdot 10^{-6}$  г/м<sup>2</sup> и площадью 2,7 км<sup>2</sup>; зона В с уровнем заражения менее  $5 \cdot 10^{-6}$  г/м<sup>2</sup> и площадью 14,3 км<sup>2</sup>.

Всего на зараженной территории проживало более 200 тыс. человек, в том числе 27,6 тыс. человек в зонах А, Б и В. В результате аварии пострадало около 1 000 человек, пришлось забить и уничтожить 78 тыс. мелких животных, около 700 голов крупного скота и уничтожить большое количество зараженного зерна и сена. Около 3 тыс. мелких животных погибли от токсического воздействия. На землях фермеров потребовалось снять слой почвы на глубину до 20 см, чтобы уменьшить уровень диоксина в пахотном слое. Зараженный слой почвы объемом 200 тыс. куб. м был перемещен, захоронен и заменен свежей почвой. В дальнейшем, в период с 1976 по 1986 годы, от рака в этом регионе умерло более 500 человек. Национальный институт рака (г. Милан, Италия) проводит прямую связь этих смертей с воздействием на людей диоксина [16].

Еще более масштабная авария произошла в ночь с 2 на 3 декабря 1984 года на химическом заводе в г. Бхопале (Индия) с выбросом метилизоцианата. Из-за прохладной погоды смертоносное облако паров не поднялось вверх, а стелилось по земле и накрыло городские районы площадью 40 км<sup>2</sup>. Погибло более 3 тыс. человек, пострадало более 200 тыс. человек.

В настоящее время известно более 54 тыс. химических соединений, которые могут быть отнесены к опасным химическим веществам вследствие их способности вызывать острые и хронические интоксикации.

К таким веществам относятся:

а) **токсичные вещества** — вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

— средняя смертельная доза при введении в желудок от 15 мг/кг до 200 мг/кг включительно;

— средняя смертельная доза при нанесении на кожу от 50 мг/кг до 400 мг/кг включительно;

— средняя смертельная концентрация в воздухе от 0,5 мг/л до 2 мг/л включительно;

б) **высокотоксичные вещества** — вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:



- средняя смертельная доза при введении в желудок не более 15 мг/кг;
- средняя смертельная доза при нанесении на кожу не более 50 мг/кг;
- средняя смертельная концентрация в воздухе не более 0,5 мг/л;

в) **вещества, представляющие опасность для природной среды**, — вещества, характеризующиеся в водной среде следующими показателями острой токсичности:

- средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 часов не более 10 мг/л;
- средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 часов, не более 10 мг/л;
- средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 часов, не более 10 мг/л.

По степени опасности для организма человека опасные химические вещества делятся на четыре класса: I класс — чрезвычайно опасные, II класс — высокоопасные, III класс — умеренно опасные и IV класс — малоопасные. Классификация химически опасных веществ представлена в табл. 1.12 [141].

Таблица 1.12

Классификация опасности веществ по степени воздействия на организм

Наименование показателя	Класс опасности веществ			
	I	II	III	IV
ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	< 0,1	0,1—1,0	1,0—10,1	> 10,1
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	< 15	15—150	151—5 000	> 500,0
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	< 100	100—500	501—2 500	> 2 500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	< 500	500—5 000	5 001—50 000	> 50 000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	> 300	300—30	29—3	< 3

К чрезвычайно опасным химическим веществам относятся:

- некоторые соединения металлов (органические и неорганические производные мышьяка, ртути, свинца, кадмия, цинка и др.);
- карбонилы металлов (тетракарбонил никеля, пентакарбонил железа и др.);
- вещества, содержащие циангруппу (водород цианистый, синильная кислота и ее соли, нитрилы, циангидрины, изоцианаты и др.);
- соединения фосфора (фосфорорганические соединения, хлориды фосфора, оксихлорид фосфора, форсфин и др.);
- галогены (хлор, бром, фтор);

- галогеноводороды (водород хлористый, водород фтористый, водород бромистый);
- хлоргидрины (этиленхлоргидрин, эпихлоргидрин и др.);
- фторорганические соединения (фторуксусная кислота и ее эфиры, фторэтанол и др.);
- некоторые другие соединения (фосген, окись этилена, амины, аллиловый спирт и др.).

К высокоопасным химическим веществам относятся:

- минеральные и органические кислоты (серная, азотная, соляная, уксусная и др.);
- щелочи (аммиак, едкий натр, едкий калий и др.);
- серосодержащие соединения (сульфиды, сероуглерод, тиокислоты, тиоцианаты и др.);
- галогензамещенные углеводороды (хлористый метил, бромистый метил и др.);
- некоторые спирты и альдегиды кислот (формальдегид, метиловый спирт и др.);
- органические и неорганические нитро- и аминосоединения (гидразин, анилин, нитробензол, толуидин и др.);
- фенолы, крезолы и их производные.

К умеренно и малоопасным веществам относится вся остальная основная масса потенциально опасных химических соединений.

Определенная часть веществ, относящихся к классу чрезвычайно и высокоопасных, по причине сочетания токсических и физико-химических свойств может вызывать массовое поражение людей, находящихся в контакте с ними, в случае аварийных выбросов. Для характеристики таких веществ и используется термин «аварийно химически опасные вещества».

Критериями для отнесения того или иного вещества к АХОВ являются:

1. Принадлежность вещества к I—II классам опасности по величине коэффициента возможности ингаляционного отравления (КВИО).

Расчет КВИО проводится по формуле:

$$КВИО = \frac{C_{\max}^{20}}{LC_{50}}, \quad (1.1)$$

где:  $C_{\max}^{20}$  — максимальная концентрация паров вещества при 20 °С, мг/л;  
 $LC_{50}$  — среднесмертельная концентрация веществ при 2-часовой экспозиции, мг/л (согласно ГОСТ 12.1.007-76 определяется по белым мышам).

Максимальная концентрация паров вещества определяется по формуле:

$$C_{\max}^{20} = \frac{16 \cdot M \cdot p^{20}}{T}, \quad (1.2)$$

где:  $M$  — молекулярный вес вещества, г;

- $p^{20}$  — упругость насыщенного пара вещества при 20 °С, мм рт. столба (для веществ с температурой кипения ниже 20 °С — 760 мм рт. столба);
- $T$  — температура кипения вещества по абсолютной шкале, °К;
- $LC_{50}$  — определяется по справочной литературе.

2. Наличие вещества на химически опасных объектах или его перевозка в количествах, выброс которых в окружающую среду может представлять опасность массового поражения людей.

Ввиду того, что оценка опасности вещества в зависимости от его количества проводится применительно к конкретным условиям, под массовым поражением понимается такая ситуация, при которой в случае аварийного выброса АХОВ образующийся очаг поражения представляет опасность: на химически опасном объекте — для рабочих и служащих производственного участка; в городе — для населения, проживающего в жилом квартале, в загородной зоне — для населения, проживающего в рабочем поселке или сельском населенном пункте.

Наличие второго критерия обусловлено тем, что из достаточно большого числа известных и синтезируемых новых химических соединений, относимых по величине КВЮ к I и II классам опасности, реальную опасность представляет лишь та их часть, которая характеризуется крупнотоннажностью производства, потребления, хранения и перевозок.

Перечень АХОВ, вероятность поражения которыми населения промышленных городов и сельской местности в случае аварийных выбросов будет наибольшей, установленный на основе анализа их свойств и объемов размещенных на объектах запасов и перевозок, включает 34 вещества.

Перечень этих веществ и минимальные их объемы, не представляющие опасности для населения, находящегося на удалении одного км и более, в случае производственной аварии, приведены в табл. 1.13 [141].

Необходимо подчеркнуть, что часть веществ, указанных в табл. 1.13, находит достаточно редкое использование на промышленных объектах. В связи с этим к наиболее распространенным АХОВ, которые часто встречаются в воздухе рабочей зоны на химически опасных объектах и населенных пунктах, отнесены вещества, представленные в табл. 1.14 [53].

Опасность АХОВ для людей определяется их способностью, проникая в сравнительно небольших количествах через органы дыхания в организм, нарушать его нормальную жизнедеятельность, вызывать различные болезненные состояния, а при определенных условиях — летальный исход. В ряде случаев, в первую очередь при нахождении в непосредственной близости от источника заражения, возможно поражение людей через кожные покровы. Степень и характер нарушения нормальной жизнедеятельности организма (поражения) зависят от особенностей механизма токсического действия АХОВ, его агрегатного состояния, концентрации паров в воздухе и продолжительности их воздействия, путей воздействия на организм.

Таблица 1.13

Перечень основных АХОВ и минимально безопасные их объемы

Наименование АХОВ	Минимально безопасные объемы, т	Наименование АХОВ	Минимально безопасные объемы, т
Акролеин	7,0	Окись этилена	7,0
Аммиак	40,0	Сернистый ангидрид	8,0
Ацетонитрил	550	Сероводород	80
Ацетонциангидрин	120	Серовуглерод	370
Водород мышьяковистый	20	Соляная кислота (конц.)	15
Водород фтористый	0,4	Триметиламин	12
Водород хлористый	3,5	Формальдегид	1,5
Водород бромистый	0,7	Фосген	2,0
Водород цианистый	2,5	Фтор	0,1
Диметиламин	0,04	Фосфор треххлористый	60
Метиламин	4,0	Фосфор хлорокись	4,5
Метил бромистый	7,5	Хлор	1,5
Метил хлористый	40	Хлорпикрин	2,0
Метилакрилат	5,0	Хлорциан	3,0
Метилмеркаптан	600	Этиленамин	6,0
Нитрил акриловой кислоты	12	Этиленсульфид	1,0
Окислы азота	7,5	Этилмеркаптан	9,0

**Примечание.** Данные приведены для условий: удаление населения от места аварии не менее одного км; метеоусловия — инверсия; температура воздуха 20 °С; скорость приземного ветра — 1 м/с.

В настоящее время не существует общепринятого принципа классификации токсичных веществ, включая АХОВ, по механизму токсического действия. Из нескольких же существующих классификаций наибольшее распространение получили клиническая и патогенетическая.

Согласно клинической классификации вся совокупность АХОВ делится на следующие группы:

**первая группа** — вещества с преимущественно удушающим действием:

— с выраженным прижигающим действием (хлор, треххлористый фосфор, хлорокись фосфора);

— со слабым прижигающим действием (фосген, хлорпикрин);

Таблица 1.14

Перечень и предельно допустимые концентрации  
наиболее распространенных АХОВ в воздухе

Наименование АХОВ	ПДК, мг/м <sup>3</sup> , в воздухе		
	Рабочей зоны	Населенных пунктов	
		разовая	суточная
Азотная кислота (конц.)	5,0	0,4	0,15
Аммиак	20	0,2	0,04
Ацетонитрил	10,0	—	0,002
Ацетонциангидрин	0,9	—	0,001
Водород хлористый	0,05	0,2	0,01
Водород фтористый	0,05	0,02	0,005
Водород цианистый	0,3	—	0,01
Диметиламин	1,0	0,005	0,005
Метиламин	1,0	—	—
Метил бромистый	1,0	—	—
Метил хлористый	5,0	—	—
Нитрилоакрил	0,5	—	0,03
Окись этилена	1,0	0,3	0,3
Сернистый ангидрид	10,0	0,5	0,05
Сероводород	10,0	0,008	0,008
Сероуглерод	1,0	0,03	0,005
Соляная кислота (конц.)	5,0	0,2	0,2
Формальдегид	0,5	0,035	0,003
Фосген	0,5	—	—
Хлор	1,0	0,1	0,03
Хлорпикрин	2,0	0,007	0,007

**вторая группа** — вещества, преимущественно общеядовитого действия (водород цианистый, хлорциан, водород мышьяковистый);

**третья группа** — вещества, обладающие удушающим и общеядовитым действием:

- с выраженным прижигающим действием (нитрил акриловой кислоты);
- со слабым прижигающим действием (сернистый ангидрид, сероводород, окислы азота);

**четвертая группа** — нейротропные яды, т.е. действующие на генерацию, проведение и передачу нервного импульса (сероуглерод);

**пятая группа** — вещества, обладающие удушающим и нейротропным действием (аммиак);

**шестая группа** — метаболические яды (окись этилена, метил хлористый).

В патогенетической классификации выделяются 4 группы АХОВ:

**нервные (нейротропные) яды** — сероводород, сероуглерод, метил хлористый и др.;

**кровяные яды** — водород мышьяковистый;

**ферментные яды** — водород цианистый, нитрил акриловой кислоты, ацетонитрил и др.;

**раздражающие** — хлор, акролеин, сернистый ангидрид, фосген и др.

Последняя классификация наиболее целесообразно отражает конкретную направленность токсического действия АХОВ на определенные органы человека.

Следует отметить, что сегодня на территории России функционируют более 3 600 объектов, имеющих значительные запасы АХОВ. Суммарная площадь, на которой может возникнуть очаг химического заражения в результате возможных аварий на этих объектах, составляет 300 тыс. км<sup>2</sup> с населением 54 млн. человек.

Все эти объекты классифицируются по степени химической опасности. В основу этой классификации положена степень опасности для населения и территорий (табл. 1.15) [17].

Таблица 1.15

Классификация объектов по химической опасности

Степени химической опасности объектов	Количество человек, попадающих в зону химического заражения при аварии
I	Более 75 тыс. человек
II	От 40 до 75 тыс. человек
III	Менее 40 тыс. человек
IV*	Оценке не подлежит

\* Зона возможного заражения АХОВ при аварии не выходит за пределы территории объекта или его санитарно-защитной зоны.

Безопасность функционирования химически опасных объектов зависит от многих факторов: физико-химических свойств сырья, продуктов производства, характера технологического процесса, конструкции и надежности оборудования, условий хранения и транспортирования химических веществ, наличия и состояния контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, эффективности средств противоаварийной защиты и т.д. Кроме того, безопасность производства, использования, хранения и перевозок АХОВ в значительной степени зависит от уровня организации профилактической работы, своевременности и качества планово-предупредительных и ремонтных работ, подготовленности и практических навыков персонала, наличия системы надзора за состоянием технических средств противоаварийной защиты, надежностью функционирования всех систем технологического процесса.

Наличие большого количества факторов, от которых зависит безопасность функционирования химически опасных объектов, определяет сложность решения проблемы предупреждения химических аварий и катастроф.

Следует отметить, что химические аварии и катастрофы, сопровождаемые выбросом (разливом) АХОВ, подразделяются на три типа:

- с образованием только первичного облака АХОВ;
- с образованием первичного и вторичного облака АХОВ;
- с заражением окружающей среды (грунта, водоисточников, технологического образования и т.п.) высококипящими жидкостями и твердыми веществами без образования первичного и вторичного облака.

Большинство АХОВ при аварийных ситуациях сравнительно легко переходит из одного агрегатного состояния в другое, чаще всего из жидкого в парообразное (газообразное), из твердого в аэрозольное и наносят массовые поражения людям, животным и растениям.

Возможный выход облака зараженного воздуха за пределы территории химически опасного объекта в случае аварии на нем обуславливает химическую опасность для административно-территориальной единицы, где такой объект расположен. Аналогично химически опасным объектам в основу классификации административно-территориальных единиц (района, города, области, края, республики) также положена опасность поражения населения АХОВ.

Критерием для отнесения административно-территориальной единицы к той или иной степени опасности в этом случае является процент населения, проживающего в зоне возможного заражения в случае аварии на химически опасном объекте (табл. 1.16) [17].

Таблица 1.16

Классификация административно-территориальных единиц  
по химической опасности

Степень химической опасности	Количество населения, проживающего в зоне возможного заражения, %
I	Более 50
II	30—50
III	10—30
IV	До 10

Несмотря на предпринимаемые меры в области промышленной безопасности (многие потенциально опасные производства спроектированы так, что вероятность крупной аварии на них оценивается величиной порядка  $10^{-4}$ ), полностью исключить вероятность возникновения аварии практически невозможно.

В большинстве случаев аварии вызываются нарушением технологии производства, правил эксплуатации оборудования, машин и механизмов, низкой трудовой и технологической дисциплиной, несоблюдением норм безопасности, отсутствием должного надзора за состоянием оборудования. Одна из возможных причин аварий — стихийные бедствия.

Характерными особенностями этих аварий являются внезапность возникновения чрезвычайных ситуаций, обусловленных выбросом (разливом) АХОВ, быстрое распространение поражающих факторов, опасность массового поражения людей и животных, попавших в зону заражения, необходимость проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в короткие сроки.

Аварии на химически опасных объектах по типу возникновения делятся на производственные и транспортные, при которых нарушается герметичность емкостей и трубопроводов, содержащих АХОВ.

По масштабам последствий химические аварии имеют свою специфическую классификацию:

**локальные** — последствия которых ограничиваются одним цехом (агрегатом, сооружением) химически опасного объекта;

**местные** — последствия которых ограничиваются производственной площадкой химически опасного объекта или его санитарно-защитной зоной;

**общие** — последствия которых распространяются за пределы санитарно-защитной зоны химически опасного объекта.

По сфере возникновения химические аварии классифицируются на:

- аварии на хранилищах АХОВ;
- аварии при ведении технологических процессов (возможные источники заражения — технологические емкости и реакционная аппаратура);
- аварии при транспортировке АХОВ по трубопроводу или железнодорожными цистернами по территории объекта.

Основными исходами этих аварий, как правило, являются:

- выбросы (разливы) АХОВ;
- мгновенное или постепенное испарение;
- дисперсия газов с нейтральной и положительной плавучестью;
- дисперсия тяжелого газа;
- возгорание жидкостей, зданий, сооружений и т.п.;
- взрывы различного характера (ограниченные, в свободном пространстве, взрывы паровых облаков, пылевые взрывы, детонации, физические взрывы, взрывы конденсированной фазы).

Основными последствиями химических аварий могут быть:

- разрушения зданий, оборудования, технологических линий и т.п.;
- возгорание зданий, сооружений, жидкостей и т.п.;
- загрязнение окружающей среды (атмосферного воздуха, земли, недр, почвы, воды, растительного и животного мира, зданий, сооружений, технологического оборудования и т.п.);
- поражение людей, оказавшихся в зоне токсического воздействия без необходимых средств защиты или не успевших их использовать.

В химических авариях выделяют 4 фазы [17]:

- инициирование аварии (1);
- развитие аварии (2);
- выход последствий аварии за пределы объекта (3);
- локализация и ликвидация последствий аварии (4).



Содержание каждой фазы отражено в табл. 1.17

Таблица 1.17

## Фазы развития химических аварий

Фаза	Содержание фазы	Аварии на хранилищах и при ведении технологических процессов	Транспортные аварии
1	Инициирование аварии вследствие накопления отклонений от нормального процесса или неконтролируемой случайности, в результате чего система приходит в неустойчивое состояние	Накопление дефектов в оборудовании: ошибка при проектировании, строительстве и монтаже оборудования; ошибки в эксплуатации оборудования; нарушение технологического процесса	Ухудшение состояния железнодорожного пути; некачественное ведение ремонтных работ, возникновение неполадок в подвижном составе; нарушение правил перевозок; столкновение с другими транспортными объектами; коррозия трубопроводов и т.д.
2	Развитие аварии, в течение которой происходит нарушение герметичности системы (емкости, реакторы, цистерны и т.д.) и попадание АХОВ в атмосферу	Возникновение пожаров, взрывов, разливы, выбросы АХОВ в окружающую среду	Сход с рельсов цистерн, пожары, взрывы, разливы, выбросы АХОВ в окружающую среду
3	Выход последствий аварии за пределы объекта	Распространение газовой волны и ее выход за пределы объекта: поражающее воздействие АХОВ на население и производственный персонал	
4	Локализация и ликвидация последствий аварии	Проведение мероприятий химической защиты, в том числе по локализации и ликвидации источника заражения	

Следует отметить, что вторая фаза развития химических аварий оказывает определяющее влияние на масштабы последствий аварии, так как от особенностей попадания АХОВ в атмосферу зависят дальность распространения газовой волны и время поражающего действия.

В свою очередь особенности попадания АХОВ в атмосферу определяются условиями его содержания в возможном источнике заражения и характером повреждения последнего. Возникающие при этом типовые аварийные ситуации представлены в табл. 1.18.

Таблица 1.18

Типовые аварийные ситуации, связанные с выбросом (проливом) АХОВ

Агрегатное состояние АХОВ	Вид источника заражения	Степень разрушения источника заражения	Характер попадания АХОВ в окружающую среду	Возможные варианты разлива АХОВ
Сжиженные газы	Хранилища и ж/д цистерны	Полное	Мгновенный выброс всего содержимого емкости с последующим испарением разлива	Свободный или в обваловку (поддон)
		Частичное (трещины, отверстия, разрывы и т.п.)	Истечение во времени через отверстия (трещину и т.п.) с последующим испарением разлива.	
Сжатые газы	Технологические емкости и реакционная аппаратура	— " —	— " —	Свободный
	Трубопроводы	Частичное	Истечение во времени через отверстие (трещину и т.п.) с последующим испарением разлива	
	Хранилища, технологические емкости и реакционная аппаратура	Полное	Мгновенный выброс всего объема СДЯВ с мгновенным переходом в атмосферу	Разлив отсутствует
	Трубопроводы	Частичное	Истечение во времени через отверстие (трещину и т.п.) с мгновенным переходом в атмосферу	
Жидкости	Хранилища и ж/д цистерны	Полное	Мгновенный выброс всего содержимого емкости с последующим испарением разлива	Свободный или в обваловку (поддон)
		Частичное	Истечение во времени через отверстие (трещину и т.п.) с последующим испарением разлива	
	Трубопроводы	Частичное	Истечение во времени через отверстие (трещину и т.п.) с последующим испарением разлива	Свободный
		Частичное	Истечение во времени через отверстие (трещину и т.п.) с последующим испарением разлива	

**Примечание.** Под мгновенным выбросом понимается истечение всего объема АХОВ из разрушенного оборудования за несколько секунд.

Опасность заражения АХОВ приземного слоя атмосферы, зданий и сооружений, местности, открытых водоисточников, а в отдельных случаях и грунтовых вод при химических авариях определяется физико-химическими свойствами АХОВ, их способностью переходить из одного состояния в другое.

Во многом это определяется температурой кипения АХОВ, в зависимости от которой АХОВ делятся на три группы.

**К первой группе** относятся вещества, имеющие точку кипения ниже минус 40 °С и хранящиеся в сжатом состоянии. В аварийной ситуации они в результате интенсивного выброса образуют только первичное газовое облако, которое может создать опасность взрыва и пожара, а также привести к резкому снижению содержания кислорода в воздухе (в закрытых помещениях). При разрушении единичной емкости с содержанием таких веществ время действия газового облака не превышает нескольких минут. При аварии, сопровождаемой нарушением герметизации технологической аппаратуры (емкости), образующееся облако АХОВ действует до момента прекращения поступления вещества в атмосферу.

**Ко второй группе** относятся вещества, имеющие точку кипения в интервале температур от минус 40 °С до плюс 40 °С. Вещества этой группы, находящиеся в парообразном состоянии, легко переводятся в жидкое состояние при сжатии. Хранятся они, как правило, либо в изотермических емкостях в охлажденном виде, либо при обычной температуре в толстостенных сосудах (емкостях) под давлением насыщенных паров.

При проливе (выбросе) веществ, находящихся под давлением, образуется первичное и вторичное облака зараженного воздуха, все остальные вещества этой группы образуют только вторичное облако.

Глубина распространения как первичного, так и вторичного облака зараженного воздуха может достигать от нескольких сот метров до десятков километров.

**К третьей группе** веществ относятся АХОВ с температурой кипения выше 40 °С (верхнего предела возможных температур приземного слоя воздуха). В эту группу входят АХОВ, находящиеся в емкостях при атмосферном давлении в жидком состоянии. В случае аварийного пролива этих АХОВ преимущественно происходит заражение местности, открытых водоисточников, а в отдельных случаях заражение грунтовых вод. Возможно образование также вторичного облака зараженного воздуха.

При возникновении химического заражения различных сред в зависимости опять-таки от физико-химических свойств АХОВ, условий их хранения и транспортировки могут возникать чрезвычайные ситуации с химической обстановкой четырех основных типов, отличающихся характером поражающих факторов.

**Первый тип химической обстановки.** При аварии на химически опасном объекте происходит разрушение емкости или технологического оборудования, содержащих АХОВ в газообразном состоянии, в результате чего образуется первичное парогазовое или аэрозольное облако с высокой концентрацией АХОВ, распространяющееся по направлению ветра.

Основным поражающим фактором при этом является ингаляционное воздействие высоких (смертельных) концентраций паров АХОВ на людей и животных.

Масштабы заражения при этом типе химической обстановки зависят от количества выброшенных АХОВ, размеров облака, концентрации ядовитого вещества, скорости ветра, состояния приземного слоя атмосферы (инверсия, изотермия или конвекция), плотности паров АХОВ (легче или тяжелее воздуха), времени суток и характера местности.

**Второй тип химической обстановки.** При аварийных выбросах (проливах) АХОВ, используемых в производстве или хранящихся (транспортируемых) в виде сжиженных газов (аммиак, хлор и др.), перегретых летучих жидкостей с температурой кипения ниже температуры окружающей среды (окись этилена, фосген, окислы азота, сернистый ангидрид, синильная кислота и др.), образуются первичное и вторичное облака. При этом в результате мгновенного испарения части ядовитого вещества образуется первичное облако, концентрация паров в котором может многократно превышать смертельную, а при испарении вылившейся в поддон или разлившейся на подстилающей поверхности другой части содержащегося в емкости АХОВ образуется вторичное облако, концентрация паров в котором существенно меньше, чем в первичном облаке. Однако и она может представлять также высокую опасность.

Основными поражающими факторами в этих условиях являются ингаляционное воздействие на людей и животных первичного облака (кратковременное — несколько минут) и продолжительное воздействие — вторичного облака (часы, сутки).

Кроме того, пролив АХОВ может привести к заражению грунта и воды.

**Третий тип химической обстановки.** При проливе в поддон (обвалование) или на подстилающую поверхность больших количеств сжиженных газов из изотермических хранилищ или жидких АХОВ с температурой кипения, близкой к температуре окружающей среды, а также при горении некоторых сложных химических соединений с выделением АХОВ (например, удобрений типа нитрофоски, комковой серы и других) образуется только вторичное облако зараженного воздуха.

**Четвертый тип химической обстановки.** При аварийном выбросе (проливе) значительных количеств малолетучих АХОВ, типа фенола, сероуглерода, несимметричного диметилгидразина и др. с температурой кипения существенно выше температуры окружающей среды, происходит заражение местности (грунта, растительности, воды) в опасных концентрациях.

Основными поражающими факторами при этом являются резорбтивное воздействие АХОВ в результате соприкосновения открытых участков кожи с зараженной поверхностью или пероральное воздействие в результате попадания ядовитых веществ внутрь организма через желудочно-кишечный тракт.

Указанные типы обстановки при авариях на химически опасных объектах, особенно второй и третий, могут сопровождаться пожарами и взрывами, что существенно осложняет обстановку и затрудняет проведение аварийно-спасательных работ.

Характер распространения вредных примесей в атмосфере зависит от плотности паров ядовитых веществ. Чем ниже плотность АХОВ, тем выше производительность источника заражения (скорость испарения).

Направление распространения облака зараженного воздуха с относительной плотностью паров АХОВ меньше единицы определяется направлением ветра, а с относительной плотностью больше единицы как направлением ветра, так и профилем местности. АХОВ тяжелее воздуха растекаются в низких местах, затекают в подвалы домов, сохраняя продолжительное время поражающие свойства.

В результате возникновения аварий на различных производственных объектах с жидкими (газообразными) АХОВ или пожаров с твердыми химическими веществами с образованием аэрозолей АХОВ в районах, прилегающих к очагу поражения, может создаваться сложная химическая обстановка на значительных площадях с образованием обширных зон химического заражения.

Под зоной химического заражения понимается территория, в пределах которой в результате воздействия АХОВ возможно поражение людей, сельскохозяйственных животных и растений. Она включает территорию непосредственного разлива АХОВ (горения веществ, образующих АХОВ) и территорию, над которой распространилось облако зараженного воздуха с поражающими концентрациями.

Величина зоны химического заражения зависит от физико-химических свойств, токсичности, количества разлившегося (выброшенного в атмосферу) АХОВ, метеорологических условий и характера местности.

Размеры зоны химического заражения характеризуются глубиной и шириной распространения облака зараженного воздуха с поражающими концентрациями и площадью разлива (горения) АХОВ. Внутри зоны могут быть районы со смертельными концентрациями.

Основной характеристикой зоны химического заражения является глубина распространения облака зараженного воздуха. Она может колебаться от нескольких десятков метров до десятков километров.

Так, при разливе 30 тыс. т аммиака поражающие концентрации АХОВ могут распространяться на глубину до 30 км, при 100 т хлора — до 100 км.

Глубина зоны химического заражения для АХОВ определяется глубиной распространения первичного или вторичного облака зараженного воздуха.

Глубина распространения облака зараженного воздуха в значительной степени зависит от метеорологических условий, рельефа местности и плотности застройки объектов.

Существенное влияние на глубину зоны химического заражения оказывает вертикальная устойчивость приземного слоя воздуха: инверсия (когда нижние слои воздуха холоднее верхних); изотермия (температура воздуха на высотах до 30 м от поверхности земли почти одинакова); конвекция (нижний слой воздуха нагрет сильнее верхнего).

Инверсия способствует распространению облака зараженной атмосферы на более значительные расстояния от места разлива (горения) АХОВ, чем изо-

термия и конвекция. Наименьшая глубина распространения АХОВ наблюдается при конвекции.

Данные по глубинам распространения первичного облака некоторых АХОВ на равнинной местности при стандартных внешних температурных условиях с граничным значением пороговой токсодозы ( $PC_{\tau 50}$ ) представлены в табл. 1.19.

Существенное влияние на глубину зоны химического заражения оказывает площадь разлива АХОВ. Она может колебаться в широких пределах — от нескольких сотен до нескольких тысяч квадратных метров. Так, например, площадь разлива АХОВ для одного изотермического хранилища аммиака емкостью 10 тыс. т составляет 4 800—6 300 м<sup>2</sup>, а емкостью 30 тыс. т — 13 500—16 800 м<sup>2</sup>.

Наличие земляной обваловки, поддона, железобетонной ограждающей стенки ограничивает площадь разлива АХОВ и способствует сокращению глубины распространения зараженной атмосферы.

Для хранилищ с АХОВ, не имеющих обваловки (поддонов), площадь разлива определяется размерами территории свободного разлива АХОВ на почве толщиной слоя, условно принятой 0,05 м.

В зависимости от глубины распространения облака АХОВ в зоне заражения может быть один или несколько очагов химического поражения. Очагом химического поражения принято называть территорию с находящимися на ней объектами, в пределах которой в результате воздействия АХОВ произошли массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений. Такими объектами могут быть административные, промышленные, сельскохозяйственные предприятия и учреждения, жилые кварталы населенных пунктов, городов и другие объекты.

Потери рабочих, служащих и населения в очагах химического поражения зависят от токсичности, величины концентрации АХОВ и времени пребывания людей в очаге поражения, степени их защищенности и своевременности использования индивидуальных средств защиты (противогазов). Характер поражения людей, находящихся в зоне химического поражения, может быть различным. Он определяется главным образом токсичностью АХОВ и полученной токсодозой. Возможные потери рабочих, служащих и населения от АХОВ и ориентировочная структура потерь в очаге поражения приведены в табл. 1.20.

Изложенное свидетельствует о том, что сегодня десятки тысяч химических соединений различной степени опасности используются, получают, хранятся и перевозятся на химически опасных объектах, представляя серьезную опасность для населения и территорий в случае возможных аварий, сопровождаемых выбросом и проливом этих соединений. Это требует принятия мер по предупреждению химических аварий, их локализации и ликвидации, защите населения и территорий.

Таблица 1.19

Глубина распространения первичного облака некоторых АХОВ на равнинной местности при стандартных внешних температурных условиях с граничным значением пороговой токсодозы  $PC_{c50}$ , км

Емкость хранения (общее количество) АХОВ, т	Конвекция		Изотермия			Инверсия*	
	Скорость ветра, м/с						
	1	2	2	4	6	1	2
<b>Хлор</b>							
1	< 0,5		0,6	< 0,5		2,1	1,4
10	0,9	0,6	2,7	1,8	1,3	8,7	5,7
100	2,9	2	9,5	6,4	5,1	30	20
500	5,5	4	25	17	14	До 60	
1000**	3,4	2,5	11,4	7,7	6,1	37	24
<b>Фосген</b>							
1	< 0,5		0,6	0,5	< 0,5	1,8	1,2
10	1,2	0,5	1,7	1,2	0,9	4,1	2,7
100	3,6	2,6	6,5	4,4	3,5	16,7	11
<b>Аммиак</b>							
50	0,7	0,5	1,6	1,1	0,8	5,0	3,2
100	0,9	0,6	2,4	1,6	1,3	6,7	4,4
500	2,0	1,4	6	4	3,2	18,3	12
10000**	3,1	2,3	10,4	7	5,5	33,7	22
30000**	5,3	3,8	19,5	13,1	10,4	до 60	43,6
<b>Цианистый водород</b>							
1	Менее 0,5						
10	< 0,5		0,5	< 0,5		1,3	0,9
50	0,5	< 0,5	1,2	0,8	0,6	3,7	2,4
100	0,7	0,5	1,8	1,2	1	5,6	3,7
<b>Окись этилена</b>							
10	< 0,5					< 0,5	
50	< 0,5		< 0,5		0,6	< 0,5	
100	< 0,5		0,6	< 0,5		0,9	0,6
<b>Окись углерода***</b>							
10	< 0,5		0,8	0,6	0,5	2,3	1,5
<b>Сернистый ангидрид</b>							
25	< 0,5		0,6	< 0,5		1,4	0,9
50	0,8	0,5	1	0,7	0,6	2,3	1,5
100	1,1	0,8	2	2	1,6	8,5	5,5
<b>Оксиды азота</b>							
10	0,8	0,6	2,4	1,6	1,3	7,5	4,9
50	1,7	1,2	5,9	4	3,2	20	13
100	2,3	1,7	8,8	5,9	4,7	30	20

\* Глубина распространения рассчитана из условия, что инверсия сохраняется в течение всего времени распространения АХОВ.

\*\* Хранение осуществляется в жидком (охлажденном) состоянии (изотермический способ хранения).

\*\*\* При оценке глубины распространения окиси углерода представленные данные характеризуют возможные последствия в случае аварийного выброса из промышленных установок.

Таблица 1.20

Возможные потери рабочих, служащих и населения от АХОВ  
в очаге поражения (Р), %

Условия нахождения людей	Без противогазов	Обеспеченность людей противогазами								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
На открытой местности	90—100	75	65	58	50	40	35	25	18	10
В простейших укрытиях, зданиях	50	40	35	30	27	22	18	14	9	4

**Примечание.** Ориентировочная структура потерь людей в очаге поражения составит: легкой степени — 25 %, средней и тяжелой степени (с выходом из строя не менее чем на 2—3 недели и нуждающихся в госпитализации) — 40 %, со смертельным исходом — 32 %.

### 1.3. Влияние радиационных и химических факторов на экологическую обстановку и качество среды обитания

Источники радиационной и химической опасности, как следует из изложенного выше, играют большую роль в формировании экологической обстановки и среды обитания человека на территории страны. Причем загрязнение окружающей среды, особенно при радиационных и химических авариях и катастрофах, носит, как правило, комплексный характер и, в зависимости от характера аварии или катастрофы и возникающих при этом поражающих факторов, может включать физическую, химическую, а в некоторых случаях и биологическую составляющие.

Физическая составляющая (физическое загрязнение) при авариях характеризуется загрязнителями — ингредиентами и физическими полями, такими как радиоактивные вещества, электромагнитное, тепловое, звуковое и ультразвуковое поля. Химическая составляющая — различного рода простые вещества и химические соединения из числа ксенобиотиков, чуждых биогеохимии экосистем и природных ландшафтов. Сюда относятся прежде всего некоторые аварийно химически опасные вещества. Биологическая составляющая — это болезнетворные микроорганизмы.

Следует заметить, что поскольку в технологических циклах современных производств все в большей степени используются искусственные материалы, то в окружающую среду, особенно при авариях и катастрофах, попадает довольно значительное количество указанных выше ксенобиотиков<sup>1</sup>. Они не участвуют в циклах естественного круговорота веществ, накапливаются в тех или иных компонентах среды и природных системах и существенно влияют на ухудшение экологической обстановки.

<sup>1</sup> **Ксенобиотики** — чужеродные для организмов соединения.



Учитывая, что наибольшие загрязнения окружающей среды происходят при авариях и катастрофах, обратим основное внимание на роль возникающих при этом опасностей в формировании экологической обстановки и среды обитания человека.

Анализ имевших место в последние десятилетия аварий и катастроф показывает, что происходящее в их результате загрязнение окружающей среды обуславливается одним или некоторой совокупностью ингредиентов и физических полей, количественно или качественно чуждых естественным биогеоценозам<sup>1</sup>. Это обстоятельство является одной из причин тех неблагоприятных изменений экологической обстановки и условий обитания, которые происходят при техногенных воздействиях.

В интересах предметного анализа экологических последствий загрязнения окружающей среды в процессе их формирования и развития при авариях и катастрофах обычно выделяют три основные фазы:

- распространение загрязнения;
- включение загрязняющих веществ в биомассу растений и живых организмов;
- биологическое накопление загрязняющих веществ.

Такое выделение нескольких фаз в значительной мере является условным, поскольку указанные процессы, безусловно, являются не просто связанными между собой, но и взаимопереплетающимися.

Экологические последствия загрязнения биосферы при авариях и катастрофах, обусловленные теми или иными ингредиентами, проявляются главным образом на второй и третьей его фазах, т.е. при включении загрязняющих веществ в биомассу и их биологическом накоплении. Однако и при распространении загрязняющих веществ в различных средах, т.е. в период первой фазы, нередко экологические последствия также имеют место. В частности, в процессе распространения радиоактивных веществ, еще до включения их в биомассу, происходят бета- и гамма-облучения тканей организмов живой и неживой природы.

Распространение опасных химических веществ и происходящие в ходе этого процесса химические превращения с ними, не затрагивающие компонентов живой природы, изменяют условия обитания. В этом смысле распространение опасных химических веществ следует связывать с экологическими последствиями аварий и катастроф.

Зоны распространения радиоактивных и опасных химических веществ сковывают все виды деятельности человека, затрудняют, а в некоторых случаях и исключают использование природных ресурсов и таким образом фаза распространения становится экологически значимым фактором.

К вопросу о распространении загрязнений необходимо добавить, что транспортирующей средой вредных веществ при авариях и катастрофах явля-

<sup>1</sup> **Биогеоценоз** — однородный участок земной поверхности с определенным составом живых компонентов.

ется воздух или вода, а роль концентрирующей и депонирующей среды выполняют почвенные структуры и донные отложения.

Из транспортирующей среды вещества-загрязнители могут попадать непосредственно человеку, животным, растениям и другим живым организмам, а также в концентрирующие и депонирующие среды, из которых сначала растениям и животным, а затем через них человеку. Таким образом, фаза распространения загрязнителей переплетается с фазой включения этих веществ в биомассу живых организмов.

Общими для всех компонентов биосферы экологическими последствиями загрязнения окружающей среды при авариях и катастрофах являются включение загрязняющих веществ в биомассу и их биологическое накопление, а также последующее негативное воздействие на физиологию организмов, их репродуктивные функции, состав и структуру популяций и биогеоценоза в целом. В качестве экологических последствий загрязнений при авариях и катастрофах следует также рассматривать негативные изменения ландшафтов и нарушение естественных процессов, протекающих в экосистемах.

Важным в практическом отношении является определение характера, масштабов экологических последствий аварий и катастроф и экологического состояния территорий. Эта задача решается как в интересах принятия необходимых мер по обеспечению экологической безопасности населения, так и проведения работ по ликвидации последствий аварий и катастроф.

Одним из широко используемых понятий, с помощью которого принято характеризовать экологическое состояние той или иной территории на определенный момент или временной интервал, является экологическая обстановка. Исходя из анализа современных представлений об обеспечении экологической безопасности, под экологической обстановкой в общем случае понимается совокупность условий обитания, факторов абиотической и биотической природы, определяющих естественные процессы в окружающей среде, а также антропогенных воздействий, которые влияют на эти процессы и изменяют качество жизни.

В частном случае, когда речь идет об экологической обстановке, складывающейся после аварии (катастрофы), акцент делается на условия обитания, жизнедеятельности людей и качество жизни, определяемые воздействием на окружающую среду. При этом в полной мере учитываются факторы абиотической и биотической природы и те изменения, которые происходят в естественных процессах.

Для анализа и оценки экологической обстановки используется определенный набор параметров и характеристик, отражающих ее влияние на здоровье и жизнедеятельность людей, состояние экосистем и других элементов биосферы.

Интегральных измеряемых параметров, которые бы непосредственно отражали изменение здоровья, условий жизнедеятельности людей, состояние экосистем, тех или иных компонентов окружающей среды и т.п., к сожалению, пока не найдено, однако существует целый ряд так называемых производных

параметров и показателей, с помощью которых может быть дана количественная оценка указанным изменениям. К их числу следует прежде всего отнести: уровни физических полей (радиационного, электромагнитного, акустического, теплового и др.); концентрации радиоактивных и химических веществ; показатели, характеризующие общее состояние здоровья людей, структуру причин смертности; коэффициенты репродуктивности, прироста и смертности популяций, критических к изменениям экологической обстановки, а также наиболее важных представителей животного мира, обитателей водной среды; скорость увеличения той или иной популяции и т.д.

Оценка экологических последствий техногенного воздействия на природную среду производится по данным биологического и геофизического мониторинга, функциональные задачи которых включают наблюдение, оценку и прогноз реакции биотической и абиотической составляющих биосферы на техногенные и другие внешние воздействия. Программа биологического мониторинга обычно включает изучение состояния и динамики реагирования живых организмов различных природных сред на техногенные и иные нагрузки, а также изменений функций и структур признаков этих организмов. Геофизическими наблюдениями и оценками в интересах решения экологических проблем предусматривается мониторинг возобновимых ресурсов биосферы, состояние почвы, растительности, водных ресурсов и т.п.

При оценке экологических последствий аварий и катастроф главное внимание, как правило, уделяется сообществам живых организмов. Вместе с тем принимается во внимание то очевидное обстоятельство, что жизнедеятельность этих сообществ после техногенных воздействий в значительной мере определяется состоянием среды обитания, теми изменениями, которые в ней произошли в результате возникновения нагрузок негативного характера.

Заметим, что человек, являющийся наиболее важной составляющей живой природы, при оценке экологических последствий техногенных воздействий должен рассматриваться как структурный элемент сообщества живых организмов, объединенных определенными устойчивыми связями и условиями обитания на данной территории. Кстати, территория, выбираемая для анализа экологических последствий, по своим размерам должна быть представительной, с тем чтобы было возможным точное определение видового разнообразия рассматриваемого сообщества.

Обычно при анализе жизнеспособности и жизнедеятельности сообществ живых организмов принимаются во внимание изменения как в их составе, так и структуре связей между компонентами сообществ.

Состав сообщества обычно определяется его видовым разнообразием с учетом относительной значимости тех или иных видов живых организмов, в том числе представителей животного мира, птиц, рыб, микроорганизмов и растений. Значимость здесь выражается числом особей данного вида, биомассой и т.п. Она характеризует благополучие этого вида в сообществе.

Если состав сообщества живых организмов определяется числом и значимостью видов, то структуру сообщества принято определять числом и характером взаимодействий между элементами сообщества, а также относительной значимостью этих взаимодействий, т.е. долей общего потока энергии и вещества, которая переносится при том или ином виде взаимодействия.

Как известно, видовое разнообразие в сообществе живых организмов формируется в результате их приспособления к количеству и качеству поступающей энергии и питательных веществ. Под влиянием техногенных нагрузок, возникающих при авариях и катастрофах, видовой состав сообществ живых организмов может изменяться. Отмечается, что уже при относительно невысоких уровнях радиоактивного облучения изменения в видовом составе различных трофических уровней естественного сообщества могут быть значительными.

Значимость популяции живых организмов оценивается по величине средней энергии, остающейся у отдельной особи для удовлетворения ее нужд. Величина этой энергии характеризует возможность выживания в условиях имеющего место техногенного воздействия. В общем случае энергетический баланс определяется по формуле, приведенной в монографии Быкова А.А. и Мурзина Н.В., касающейся проблем анализа безопасности [11]:

$$G_i(E) = dE_i - dR_i - dK_i - dJ_i, \quad (1.3)$$

где:  $G_i(E)$  — средняя энергия, которой обладает особь живых организмов рассматриваемого вида, иначе называемая функцией значимости;

$dE_i$  — энергия, поступающая с пищей и из окружающей среды, с учетом тех изменений, которые произошли в результате техногенных воздействий;

$dR_i$  — прямые затраты энергии на поддержание нормального уровня жизнедеятельности;

$dK_i$  — потери энергии за счет внутривидовой конкуренции;

$dJ_i$  — потери энергии за счет межвидовой конкуренции.

Удельная значимость данного вида в сообществе определяется отношением:

$$P_i = \frac{G_i}{G}, \quad (1.4)$$

где:  $G$  — суммарная средняя энергия для всех видов организмов рассматриваемого сообщества.

В качестве показателей разнообразия видов в том или ином сообществе Быковым А.А. и Мурзиным Н.В. рассматриваются:

— показатель Симпсона  $D$ , который может быть найден по формуле:

$$D = 1 - \sum_i^n R_i^2, \quad (1.5)$$

где:  $n$  — число видов;

— показатель Шеннона  $H$ , определяемый по формуле:

$$H = -\sum_i^n P_i \lg P_i. \quad (1.6)$$

Важно отметить, что максимальное значение указанных показателей разнообразия соответствует тому благоприятному случаю, когда значимость всех видов рассматриваемого сообщества равна, т.е.

$$P_i = \frac{1}{n}.$$

Тогда

$$\max\{D\} = \frac{n-1}{n}, \quad (1.7)$$

$$\max\{H\} = \lg n. \quad (1.8)$$

Необходимо отметить следующее. В качестве сообществ часто рассматриваются виды живых организмов, находящихся на каком-то одном трофическом уровне.

В природе проявляется стремление к увеличению разнообразия сообщества. Однако это происходит до тех пор, пока не начинается снижение эффективности использования ресурсов и энергии.

Под влиянием техногенного воздействия на природную среду происходит негативное изменение разнообразия видов. Оценить степень этого изменения представляется возможным с помощью показателей Симпсона и Шеннона.

По данным ученых-биологов, в сообществах, деградирующих под влиянием радиоактивного загрязнения или химического заражения и характеризующихся в связи с этим низким разнообразием видов, показатель Симпсона лежит в пределах 0,05—0,2. О серьезной деградации сообществ живых организмов свидетельствует уменьшение величины показателя Шеннона до 1—2.

Изменение разнообразия видов на 25—50 % говорит об опасном техногенном воздействии. При этом 50-процентное снижение разнообразия является пределом, свидетельствующим о чрезвычайно опасном уровне внешнего воздействия.

Как уже отмечалось, при оценке экологических последствий техногенных воздействий на окружающую среду важное значение имеет определение тех изменений, которые происходят в структуре сообществ живых организмов. Заметим, что эта структура определяется взаимодействиями между элементами сообщества, а также изменением значимости этих взаимодействий. При изменении структуры сообщества происходит замена одних доминирующих видов другими, более приспособленными к внешнему воздействию.

Основным видом взаимодействия между живыми организмами являются взаимодействия, осуществляемые по трофическим (пищевым) цепям. Дело в том, что жизнеспособность сообщества в основном характеризуется откликом до-

минирующих на каждом трофическом уровне видов на изменения потока поступающей энергии и питательных веществ.

Количественная оценка влияния техногенных воздействий на структуру сообществ живых организмов делается с помощью безразмерного энергетического параметра  $pE$ , определяемого количеством утилизированной сообществом энергии, который описан в работе Быкова А.А. и Мурзина Н.В.

Возможные значения этого параметра лежат в пределах от 0 до 1. Определение конкретной величины  $pE$  основывается на обобщении результатов большого числа натуральных исследований и представляет собой далеко не простую задачу.

Считается, что значения параметра  $pE$  в диапазоне от 0 до 0,3 говорят о допустимых уровнях техногенного воздействия на структуру сообщества, от 0,3 до 0,5 — об опасном уровне этого воздействия, при  $pE > 0,5$  — имеют место чрезмерно высокие уровни техногенной нагрузки и тяжелые экологические последствия, выражающиеся в значительных изменениях структуры сообщества живых организмов.

Экологические последствия техногенных воздействий при радиационных и химических авариях и катастрофах сказываются не только на живых организмах, но и на среде их обитания, изменяя ландшафтно-геохимические условия. Здесь экологические последствия связываются прежде всего с загрязнением территорий вредными для биосферных объектов радиоактивными и химическими веществами.

Главную роль в оценке степени опасности радиоактивных и химических загрязнений для ландшафтов играет скорость их самоочищения. Применительно к почвам скорость самоочищения определяется так называемой персистентностью вещества, характеризующей время его выведения из почвы под влиянием процессов различной природы, в том числе разрушения.

Быков А.А. и Мурзин Н.В. последствия техногенного воздействия на ландшафт рассматривают состоящими из двух частей: последствий, которые могут быть скомпенсированы благодаря самоочищающим свойствам ландшафта; последствий, недоступных для процесса такой компенсации. Во втором случае компенсация может быть достигнута, если в системе провести некоторые преобразования некомпенсируемых веществ в другую, компенсируемую форму.

На рис. 1.3 приведена упрощенная схема процесса техногенного воздействия на почвы ландшафта и восстановления их свойств после этого воздействия.

Применительно к техногенному воздействию, заключающемуся в радиоактивном или химическом загрязнении, изменение экологического состояния ландшафта в упрощенном виде обычно описывается системой уравнений вида:

$$\frac{dC_{\kappa}}{dt} = \frac{C(T_{\phi} + T_m)}{T_{\phi}T_g} + \frac{C_{HK}}{T_a} + F_{\kappa}B(t), \quad (1.9)$$

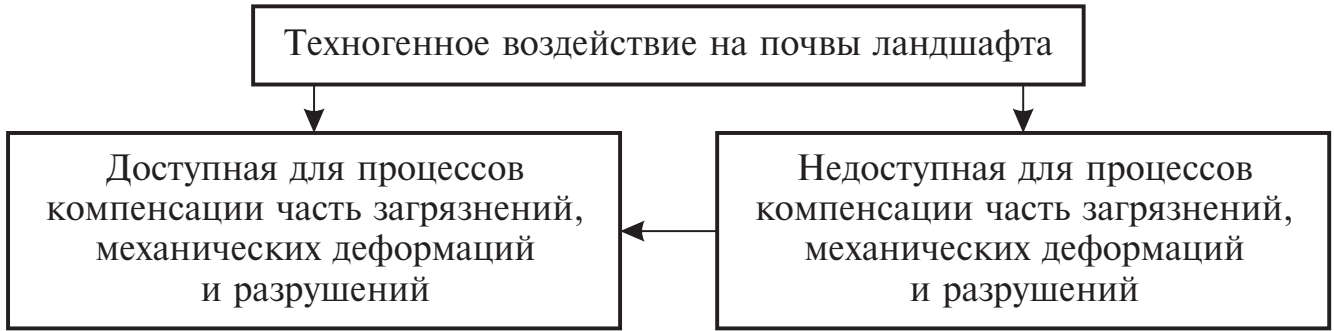


Рис. 1.3. Схема техногенного воздействия на почвы ландшафта и их восстановления

$$\frac{dC_{нк}}{dt} = \frac{C_k C_{нк}}{T_\phi T_a} + F_{нк} B(t), \quad (1.10)$$

где:  $C_k, C_{нк}$  — уровень загрязнения почв ландшафта компенсируемыми и некомпенсируемыми вредными веществами;  
 $B(t)$  — интенсивность техногенного воздействия;  
 $F_k, F_{нк}$  — доля воздействия, приходящаяся на загрязнение компенсируемыми и некомпенсируемыми веществами соответственно;  
 $T_g$  — характерное время процесса компенсации;  
 $T_\phi, T_m$  — соответственно характерное время преобразования компенсируемой части в некомпенсируемую и обратно.

Решение системы этих уравнений записывается в виде:

$$C = C_a(t) \exp(-at) + C_b(t) \exp(-bt). \quad (1.11)$$

Здесь:

$$C_i(t) = f_i \int_0^t B(t) \exp(it) dt, \quad i = a, b,$$

где:  $a, b$  — корни характеристического уравнения рассматриваемой системы уравнений;

$f_i$  — константы, зависящие от начального состояния ландшафта.

Заметим, что значения величин  $a$  и  $b$  зависят от геохимического типа ландшафта, характера техногенного воздействия, а также других факторов. Важен физический смысл их обратных величин, состоящий в том, что они представляют собой соответственно время реакции ландшафта на техногенные воздействия  $T_a = \frac{1}{a}$  и время восстановления после снятия техногенной нагрузки

$$T_b = \frac{1}{b}$$

В реальных условиях обычно  $T_a \gg T_b$ .

Указанные величины имеют важное практическое значение при оценке необходимого объема и содержания работ по ликвидации долгосрочных эколо-

гических последствий аварий и катастроф. Однако на этом их значение не ограничивается.

Дело в том, что все рассмотренные выше показатели и параметры могут быть использованы для оценки экологического риска. Они носят стохастический характер и являются функциями большого числа случайных величин. Например, показатели Симпсона и Шеннона зависят от случайных значений величины энергии, поступающей с пищей, затрат энергии на поддержание нормального уровня жизнедеятельности и т.д.

С учетом этого обстоятельства можно говорить не о строгих значениях этих показателей, а о вероятности того, что в конкретных условиях те или иные их значения будут иметь место. Для определения такой вероятности необходимо знать функцию распределения случайной величины показателя.

В общем виде рассматриваемая вероятностная величина может быть записана в виде формулы:

$$P = \int_a^b f(\Pi) d\Pi, \quad (1.12)$$

где:  $f(\Pi)$  — функция распределения показателя Симпсона, Шеннона,  $pE$ ,  $T_a$ ,  $T_b$  или иных вводимых в рассмотрение показателей;

$a$ ,  $b$  — пределы, в которых значения показателей соответствуют тому или иному экологическому состоянию сообщества живых организмов или среды их обитания.

По физическому смыслу величина  $P$  выражает количественную меру соответствия состояния рассматриваемых элементов биосферы тому или иному экологическому состоянию.

В том случае, когда рассматриваемая мера соответствует состоянию экологического неблагополучия, величина  $P$  приобретает физический смысл экологического риска.

Значения рассмотренных показателей и параметров являются основой для классификации экологической обстановки по степени ее неблагополучия.

При оценке экологической обстановки в регионе или на определенной территории во всех случаях, в том числе и тогда, когда ее формирование обусловлено техногенными факторами (радиационными, химическими и др.), в качестве «фона» принимается относительно удовлетворительное (благополучное) состояние окружающей среды.

Экологическое же неблагополучие оценивают с двух позиций: состояние природной среды и состояние среды обитания и здоровья населения.

Состояние природной среды характеризуется критериями загрязнения воздушной среды, воды, почв, истощения природных ресурсов, деградации экосистем и обычно оценивается исходя из общеэкологических и санитарно-гигиенических требований.

При оценке состояния среды обитания человека принимаются во внимание в первую очередь санитарно-гигиенические нормы. Кроме того, учитываются все нормы и требования по чистоте источников водоснабжения, рыбохозяйст-



венных водоемов, лесных угодий и т.п. Степень ухудшения здоровья населения характеризуется по медико-демографическим критериям.

Таким образом, существует достаточно большое количество критериев степени неблагополучия экологической обстановки. Считается, что в качестве интегрального критерия можно пользоваться величиной индекса концентрации. Под индексом концентрации понимается осредненная концентрация вредных веществ с учетом весовых коэффициентов, отражающих степень их токсичности. Значения этих индексов положены в основу классификации экологической обстановки, которая приведена в табл. 1.21

Таблица 1.21

Классификация экологической обстановки по степени ее неблагополучия

1	Относительно удовлетворительная	Индекс концентрации вредных веществ не превышает индекса ПДК
2	Напряженная	Индекс концентрации вредных веществ в пределах 10 индексов ПДК
3	Критическая	Индекс концентрации вредных веществ составляет 20-30 индексов ПДК
4	Кризисная (чрезвычайная экологическая ситуация)	Индекс концентрации вредных веществ превышает индекс ПДК в 50 раз и более. Устойчивые отрицательные изменения в окружающей природной среде. Исчезновение отдельных видов растений и животных, нарушение генофонда. Угроза здоровью людей. Необходимо обязательное принятие экстренных мер для устранения чрезвычайной ситуации
5	Катастрофическая (экологическое бедствие)	Глубокие необратимые изменения в окружающей природной среде. Нарушение природного равновесия, деградация флоры и фауны, потеря генофонда. Существенное ухудшение здоровья людей.

Наибольшую экологическую опасность представляют кризисная и катастрофическая экологические обстановки.

При этом кризисная экологическая обстановка связывается с зонами чрезвычайной экологической ситуации, катастрофическая — с зонами экологического бедствия.

В соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» (2002 г.) к зонам чрезвычайной экологической ситуации следует относить участки территории, где в результате хозяйственной и иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в природной среде, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетических фондов растений и животных.

В зонах чрезвычайной экологической ситуации может наблюдаться уменьшение видового разнообразия, исчезновение отдельных видов растений и животных. По этому же закону зонами экологического бедствия объявляются

участки территории, где в результате хозяйственной и иной деятельности произошли глубокие необратимые изменения природной среды, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природного равновесия, разрушение естественных экологических систем, деградацию флоры и фауны, потерю генофонда.

При определении указанных выше зон имеется в виду, что необратимые изменения происходят в течение относительно короткого промежутка времени, соответствующего продолжительности жизни одного поколения людей. Под существенным ухудшением здоровья населения прежде всего понимается увеличение числа нарушений здоровья, которые являются необратимыми и несовместимыми с жизнью людей. Показателями ухудшения здоровья населения являются также изменение структуры причин смерти и увеличение смертности за счет онкологических заболеваний, врожденных пороков развития, появление специфических заболеваний, вызванных загрязнением окружающей среды, отклонений физического и нервно-психического развития, нарушений течения и исходов беременности и родов, связанных с загрязнением окружающей среды.

Под угрозой здоровью населения понимается существенное увеличение частоты обратимых нарушений здоровья, (неспецифические заболевания, отклонения физического и нервно-психического развития, нарушения или осложнения течения и исходов беременности и родов и т. п.), связанных с загрязнением окружающей среды.

Таким образом, возникновение зон чрезвычайной экологической ситуации характеризуется определенными изменениями окружающей среды, состояния здоровья человека, а также деградацией естественных экосистем.

Согласно Федеральному закону «Об охране окружающей среды» оценка степени экологического неблагополучия территорий (акваторий) проводится по признакам, приведенным в табл. 1.22.

Приведенные в табл. 1.22 признаки позволяют рассматривать экологически неблагополучную ситуацию на территории как «свершившееся бедствие», либо как «надвигающуюся угрозу». При этом в обоих случаях имеются в виду лишь такие территории, где воздействие антропогенных факторов имеет длительный, хронический характер с периодом воздействия не менее года.

Изложенные общие взгляды на формирование экологической обстановки и среды обитания человека под воздействием антропогенных факторов, в том числе при радиационных и химических авариях и катастрофах, позволяют говорить о конкретных особенностях экологических последствий радиационных и химических аварий и катастроф.

Экологические последствия радиационных аварий и катастроф имеют существенные особенности, которые частично уже отмечались выше. Главными из них являются долгосрочный характер и непрерывное проявление в процессе возникновения, развития аварии, ликвидации ее последствий и восстановления качества окружающей среды.

Таблица 1.22

Признаки крайних степеней экологического неблагополучия территорий

Положения	Степень неблагополучия	
	Экологическое бедствие	Экологический кризис
Природная среда. Здоровье населения. Естественные экосистемы	Глубокие необратимые изменения. Существенное ухудшение здоровья населения. Разрушение естественных экосистем (нарушение природного равновесия, деградация флоры и фауны, потеря генофонда)	Устойчивые отрицательные изменения. Угроза здоровью населения. Устойчивые отрицательные изменения состояния естественных экосистем (уменьшение видового разнообразия, исчезновение отдельных видов растений и животных, нарушение генофонда)

Эти особенности обусловлены природой радиоактивных веществ, ядерных материалов и тех ядерных превращений и процессов, которые происходят при авариях и катастрофах.

Основными специфическими явлениями и факторами, обуславливающими экологические последствия при авариях и катастрофах рассматриваемого вида, являются: радиоактивные излучения из зоны аварии, а также из формирующегося при аварии и распространяющегося в приземном слое облака (облаков) загрязненного радионуклидами воздуха; радиоактивное загрязнение компонентов окружающей среды.

Причем наиболее важным экологическим последствием радиационной аварии будет, по-видимому, само по себе радиоактивное загрязнение окружающей среды как основной фактор, оказывающий влияние на состояние здоровья и условия жизнедеятельности людей на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Безусловно, во многих случаях при радиационных авариях возникают и поражающие факторы нерадиационной природы: термобарические, электромагнитные, тепловые поля и т.п., воздействие которых на окружающую среду также влечет за собой серьезные экологические последствия. Однако рассмотрение этих последствий выходит за рамки данной книги.

Как уже отмечалось, процесс формирования экологических последствий, обусловленных загрязнением окружающей среды, включает три фазы. При радиационных авариях на всех этих фазах экологические последствия возникают главным образом вследствие протекания под воздействием излучений процессов радиолиза в компонентах окружающей среды биотической и абиотической природы. Как известно, продукты радиолиза в организме человека и животных вызывают патологические явления.

Рассмотрим характер экологических последствий радиационных аварий и катастроф на примере аварии на Чернобыльской АЭС, которая является не только самой крупной по своим масштабам, но и классической по опасным радиоэкологическим последствиям [16].

Первичное парогозовое облако, образовавшееся в результате разрушения реактора 4-го блока Чернобыльской АЭС, содержало всю гамму радионукли-

дов, накопившихся в реакторе за время его работы, а также компоненты ядерного топлива.

Учитывая, что реактор находился в конце рабочей компании его активной зоны, для этого состава радионуклидов было характерно наличие большого количества образовавшихся биологически опасных изотопов плутония и других актинидов (нептуний-237, америций-242, -245, кюрий-242, -244 и другие), накопление долгоживущих продуктов деления урана-235 (стронций-90, цезий-137), а также наиболее опасных газообразных изотопов (ксенон-133, криптон-85, йод-131, -132).

При подъеме этого облака и его движении образовалось два явно просматриваемых радиоактивных следа: западный и северный. Это было обусловлено тем, что в день аварии приземный ветер в районе АЭС имел восточное направление, а на высоте 500—600 м и выше — юго-восточное. В результате наиболее тяжелые, быстро конденсирующиеся радионуклиды распространялись на запад, а основная масса более легких (радионуклиды йода и цезия), поднявшись выше 500—600 м (по оценке — до 1,5 км), была перенесена на северо-запад.

Согласно расчетам активность газов и аэрозолей первичного выброса, образовавших облако, составляла около  $10^5$  Ки. Внешнее облучение при прохождении этого облака над населенными пунктами составило около 4 мЗв на оси следа. Ингаляционная доза на щитовидную железу на расстоянии 3 км от реактора была равна примерно 10 Зв. К счастью, оси движения этого облака (облако имело 2 следа) легли одна южнее, другая восточнее г. Припять. В результате значение этих доз в городе соответственно составляло лишь 0,4 мЗв и 1 Зв.

Безусловно, что радиационному воздействию за счет прохождения первичного парогазового облака подверглись люди и окружающая среда. Причем на малых расстояниях от аварийного блока дозы облучения на следе облака были весьма значительными, о чем свидетельствует гибель хвойных пород леса (образование «рыжего леса») на западном следе первичного парогазового облака.

В дальнейшем значительные выбросы радионуклидов из разрушенного реактора, как уже ранее отмечалось, продолжались еще 9 суток.

Все эти выбросы радионуклидов при меняющихся в этот период метеорологических условиях и вызвали в целом неравномерное радиоактивное загрязнение огромных территорий.

Следует отметить, что выбросы радионуклидов представляли собой достаточно сложную аэродисперсную систему, состоящую из аэрозолей различной физико-химической природы. В этой аэродисперсной системе можно выделить две основные компоненты: диспергационную и конденсационную. При этом диспергационная компонента включала частицы диспергированного топлива, а конденсационная — аэрозоли, образовавшиеся путем конденсации паров радионуклидов в выбросах. Заметим, что средняя дисперсность аэрозолей, как отмечалось выше, была порядка 1 мкм, что впоследствии сказалось на характере радиоактивных загрязнений окружающей среды.

Значимые с точки зрения экологических последствий для населения и территорий выпадения диспергационной компоненты были ограничены расстояниями 100—200 км от аварийного энергоблока. На дальних же расстояниях преобладала конденсационная компонента выпадений, характерной особенностью которой является преимущественный вклад цезия-137 в суммарную активность загрязнения объектов окружающей среды после распада короткоживущих радионуклидов.

В развитии радиационной обстановки после аварии на Чернобыльской АЭС имело место два основных периода: период «йодовой опасности», продолжительностью до 2 месяцев, и «цезиевый» период, начавшийся спустя 2 месяца.

В «йодном периоде», как отмечалось выше, кроме внешнего облучения, за счет которого формировалось до 45 % дозы за первый год, основные проблемы были связаны со снижением уровней внутреннего облучения, которое определялось в основном употреблением молока — главного «поставщика» радионуклида йода в организм человека, и листовых овощей. Для примера отметим, что корова ежедневно съедает на пастбище корм с площади около 150 м<sup>2</sup> и является идеальным концентратором радиоактивности в молоке.

«Цезиевый» период, наступивший по прошествии 10 периодов полураспада йода-131 в конце июня 1986 года, будет продолжаться еще длительное время и цезий будет являться основной причиной радиационного воздействия на население и окружающую среду. Как известно, период полураспада цезия-137 составляет ~ 300 лет.

Все изложенное определяло характер экологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Анализ Чернобыльской аварии убедительно подтверждает, что радиоактивное загрязнение окружающей среды является наиболее важным экологическим последствием радиационных аварий и катастроф с выбросами радионуклидов, основным фактором, оказывающим влияние на состояние здоровья и условия жизнедеятельности людей на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Причем если на первом этапе, как отмечалось выше, радиационное воздействие на людей складывалась из внешнего и внутреннего облучений, обусловленных соответственно радиоактивными излучениями из облака выброса, от загрязненных радионуклидами объектов окружающей среды и вдыханием радионуклидов с загрязненным воздухом, то на втором этапе — облучением от загрязненных радионуклидами объектов окружающей среды и попаданием радионуклидов в организм человека с потребляемой пищей и водой, а в дальнейшем в основном за счет употребления населением загрязненных продуктов питания.

Необходимо заметить, что процессы радиоактивного загрязнения различных объектов, как подтвердил опыт Чернобыля, зависят от агрегатного состояния загрязняющих веществ, их химической природы, вида и состояния загрязняемых поверхностей, длительности контакта с ними радиоактивных веществ.

Радиоактивное загрязнение различных поверхностей при аварии на Чернобыльской АЭС происходило в основном за счет удержания радиоактивных частиц на поверхностях силами адгезии, сорбции и диффузии радиоактивных веществ вглубь загрязняемых поверхностей.

Время аварии на Чернобыльской АЭС (конец апреля) совпало с началом вегетационного периода. Это обусловило прежде всего поверхностное (внекорневое) загрязнение продуктов растениеводства. Весной и летом 1986 года уровни загрязнения растительной продукции определялись биологическими особенностями растений и фазой их развития в период загрязнения.

Начиная с 1987 года загрязнение уже происходило через корневые системы растений. Говоря о корневом поступлении радиоактивных загрязнений, следует отметить, что в «цезиевый» период корневое поступление загрязнений определяли стронций-90 и цезий-137. Являясь химическими аналогами соответственно кальция и калия, они отличаются высокой биологической подвижностью. Причем при внекорневом пути поступления наиболее подвижен цезий-137. Внекорневое поступление же стронция-90 происходит в десятки раз медленнее. И наоборот, при корневом пути поступления более подвижен стронций-90, который из почвы через корни легче поступает в растения.

Одним из наиболее важных видов экологических последствий Чернобыльской аварии является ухудшение состояния здоровья людей вследствие радиоактивного облучения на всех этапах аварии, включая острое облучение персонала и населения вблизи аварийного реактора.

Как известно, воздействие больших доз радиоактивного облучения на организм человека вызывает не только комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных изменений, протекающих на молекулярном, биоструктурном, физиологическом и генетическом уровнях живой клетки, но и приводит к их гибели. Так, острое кратковременное облучение человека дозой более 6 Гр вызывает, как правило, летальный исход, 4 Гр — крайне тяжелую степень лучевой болезни (погибает 50 % облученных). 1 Гр — нижний уровень развития легкой степени лучевой болезни, 0,5 Гр — кратковременное незначительное изменение состава крови. Лучевая болезнь возникает при воздействии на организм ионизирующего излучения в эффективных дозах, равных 1 Зв и более. У человека эта болезнь проявляется главным образом в поражении органов кроветворения, желудочно-кишечного тракта, нервной системы. Радиобиологические эффекты длительного облучения (хроническое облучение) на втором и последующих этапах радиационной аварии обычно бывают выражены несколько в меньшей степени. Это объясняется протеканием восстановительных процессов в организме.

В табл. 1.23 приведены значения эффективных доз облучения населения ряда областей России, пострадавших вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, без учета доз облучения щитовидной железы. Облучение населения после аварии носило, как правило, пролонгированный (хронический характер). Лучевые поражения, приведшие к острой лучевой болезни, имели место в 134 случаях.

Таблица 1.23

Данные по накопленным эффективным дозам после аварии  
на Чернобыльской АЭС

Область России	Число населенных пунктов, для которых проводилась оценка	За первый год, мЗв			За 9,7 лет, мЗв		
		Сред- няя	Мин.	Макс.	Сред- няя	Мин.	Макс.
Брянская	1091	11,4	2,4	80	23,5	4	167
Калужская	404	3,0	0,7	12	6,3	1,4	25
Тульская	1489	2,6	0,7	10,4	5,5	1,6	33
Орловская	1038	2,2	0,7	8,1	4,4	1,7	23
Рязанская	721	2,4	0,2	8,0	3,9	0,3	9,8
Липецкая	142	2,1	0,3	5,1	3,2	0,4	7,9

Следует подчеркнуть, что эффективная доза облучения, обусловленная чернобыльскими радиоактивными выпадениями и накопленная за 10 лет после аварии, не достигала 350 мЗв ни в одном населенном пункте.

Характерно, что экологические последствия облучения населения на поздних этапах после радиационных аварий имеют, как отмечалось выше, существенную особенность. Они проявляются в том, что главными эффектами облучения, негативно влияющими на состояние здоровья человека, являются: возникновение злокачественных новообразований определенных органов или тканей (соматические поражения); возникновение наследственных болезней у потомков облученных родителей (наследственные поражения). При этом биологический эффект малых доз облучения, как и следовало ожидать, носит стохастический характер.

Экологические последствия радиационных катастроф проявляются в существенном воздействии радиоактивных излучений на животный и растительный мир. Причем их радиочувствительность по видовому разнообразию весьма различна. Так, например, среди животных в зооценозах суши доминируют насекомые. Они обладают сравнительно высокой радиочувствительностью: доза облучения, вызывающая 100-процентный летальный исход, для большинства взрослых форм находится в пределах нескольких сотен Гр. При этом наиболее чувствительны к радиоактивному излучению эмбрионы ранних периодов развития (1—250 Гр), затем идут личинки (20—150Гр) и куколки (20—250 Гр). Внешнее облучение насекомых на любой фазе вызывает снижение способности самок откладывать яйца, приводит к замедлению развития и роста, нарушению процессов линьки. Доза 10—40 Гр, как правило, приводит к нарушениям в поведении многих насекомых, препятствует их нормальному размножению и жизни.

Высока радиочувствительность и у млекопитающих. Доза, при которой погибает 50 % особей на 30-й день, для большинства видов находится в пределах 2—13 Гр (у человека — 5, мыши — 7—8, кролика — 11, свиньи — 6). Нарушение воспроизводительных функций наблюдается при 0,25—1,5 Гр, стерилиза-

ция — при 1,5—4,0 Гр. Все это в значительной мере зависит от характера облучения (одноразовое, многократное, хроническое), возраста и физиологического состояния животных, других факторов.

Следует заметить, что у млекопитающих хорошо развиты восстановительные процессы, особенно после воздействия малых доз. Летальные дозы у диких млекопитающих находятся обычно в пределах 9 Гр.

Амфибии, рептилии, птицы более устойчивы к ионизирующим излучениям, чем млекопитающие.

У растений чувствительность к ионизирующим излучениям изменяется за время жизни. Как и у животных, у них имеются «критические» органы и ткани, наиболее остро реагирующие на облучение. Наиболее чувствительны к радиоактивным загрязнениям древостой, особенно хвойный (сосна, ель, кедр, лиственница). Хвойные деревья в 5—10 раз чувствительнее лиственных пород. Травянистые растения и большинство кустарников устойчивее древесных растений. К примеру, травянистые почти в 10 раз устойчивее древесных. Низшие растения (мхи, водоросли, лишайники) еще устойчивее к облучению. Однако мхи отличаются наибольшей концентрирующей способностью. Коэффициент накопления в них стронция и цезия в 5—10 раз выше, чем у травянистых растений. В древесном ярусе наибольшей загрязненностью отличаются кора деревьев и ассимилирующие органы (листья, хвоя), затем идут ветки, сначала мелкие, затем крупные. Больше всего загрязняется древесина березы, меньше — дуба, ольхи. Относительно чистой является сосновая древесина.

За период времени, прошедший с момента аварии на Чернобыльской АЭС, в результате радиоактивного распада, природных процессов и проводимых защитных мероприятий экологическая обстановка на загрязненных территориях, пострадавших вследствие аварии, существенно изменилась. Это проявилось как в снижении мощности дозы внешнего облучения, так и снижении концентрации радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, в том числе личных подсобных хозяйств, определяющей в основном дозы внутреннего облучения населения. Дело в том, что идет процесс очищения радиоактивно загрязненных почв. Следует заметить, что экологические периоды получищения предповерхностного слоя почвы 0—10 см (без учета радиоактивного распада) варьируются для цезия-137, в зависимости от типа почв, от 55 до 143 лет, а для стронция-90 — от 22 до 96 лет. Эффективные периоды получищения почв от цезия-137, с учетом радиоактивного распада, составляют от 10 до 25 лет. Для стронция-90 их значения в 1,2—3,0 раза меньше.

Ускорение природных процессов очищения почв от радионуклидов достигается также за счет дополнительных агротехнических мероприятий (глубокая вспашка, перевод радионуклидов в нерастворимые соединения, не усваиваемые растениями и другие), что позволяет ускорять возвращение загрязненных земель в сельскохозяйственный оборот.

Как и для травянистой растительности, доступность цезия-137 для корневого усвоения в лесах снижается. Эффективный период полуснижения концентрации цезия-137 в древесной растительности, в зависимости от типа почв, откуда он поступает в корни, составляет от 6 до 15 лет. Следовательно,



концентрация цезия-137 в основных видах лесной продукции должна в ближайшее время снизиться не менее чем в 2 раза.

Вместе с тем необходимо отметить, что радиационная обстановка в лесах на площади 27,5 тыс. га, где имеет место все еще высокая плотность загрязнения почвы цезием-137 (от 15 до 40 Кюри/кв. км), характеризуется мощностью дозы гамма-излучения от 0,7 до 2 мкЗв/с. В зоне отчуждения площади лесов, где мощность дозы составляет свыше 200 мкЗв/с, содержание радионуклидов в некоренной древесине достигает нескольких десятков тысяч Бк/кг. Особенно загрязнена кора лиственных пород (до 150 тыс. Бк/кг). Такие участки составляют 2,2 тыс. га. На этих участках запрещены все виды лесопользования.

Загрязнение воды, донных отложений и воздушного бассейна на сегодня, за редким исключением, опасности не представляет. Хотя имеется ряд озер, например, Кожановское в Брянской области, где количество цезия-137 составляет около 100 Ки при площади зеркала озера 6,5 км<sup>2</sup>, а содержание его в образцах рыбы из этого водоема многократно превосходит допустимые уровни.

Специфические экологические последствия аварий и катастроф на объектах с химической технологией главным образом определяются процессами распространения опасных химических веществ в окружающей среде, их миграцией в различных средообразующих компонентах и теми изменениями, которые являются результатом химических превращений, происходящих в биомассе растений и живых организмов.

Эти превращения вызывают изменения условий и характера тех или иных природных процессов, нарушения баланса энергии и веществ в определенных контурах экосистем или в экосистемах в целом и т.п.

При этом некоторые химические вещества не обладают устойчивостью и, в зависимости от условий внешней среды, в той или иной степени претерпевают химические превращения, прежде чем происходит их включение в биомассу и накопление в ней, а также после попадания в живой организм.

Весьма важными стадиями процесса распространения опасных химических веществ, также как и радиоактивных веществ, являются их перенос (транспорт) между различными природными средами (водой, почвой и воздухом), их потребление и накопление в организмах, а также перенос веществ в этих средах живыми организмами.

Необходимо отметить, что распределение химических соединений между природными средами и различными элементами биосферы (видами живых организмов) происходит в соответствии с физико-химическими свойствами этих соединений и существенно зависит от геофизических факторов.

Факторы, вызывающие превращения химических веществ в окружающей среде, по своей природе могут быть абиотическими и биотическими. Заметим, что биотические превращения, которые вызываются живыми органами или продуцируемыми ими ферментами, часто называют также метаболизмом вредных веществ, а продукты превращения — метаболитами.

Все эти превращения в конечном счете изменяют условия протекания естественных процессов, в большинстве случаев вызывают нарушение существующих

щих химических и биохимических цепочек в этих процессах, что ведет к дегармонизации связей и сдвигу динамических равновесий в экосистемах и природно-хозяйственных комплексах, вызывает долгосрочные экологические последствия. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть основные виды абиотических и биотических превращений.

В абиотических превращениях, в зависимости от характера протекающих процессов, принято выделять: окислительные и восстановительные реакции; гидролитические процессы; фотохимические реакции и фотофизические процессы.

Окислительные реакции могут интенсивно происходить, например, под воздействием такого химически опасного вещества и окислителя как хлор, восстановительные процессы — под воздействием гидразина.

Кроме того, в природных средах происходят окислительные и восстановительные процессы при взаимодействии опасных химических веществ с различными окислительно-восстановительными системами типа Fe(II)/Fe(III), кислородом, озоном, продуктами распада биологических материалов, представляющих собой восстановительный органический субстрат.

Окислительные реакции идут с молекулярным кислородом, а также с реакционно-способными кислородными радикалами, образующимися в условиях атмосферы и в водных средах за счет фотохимических процессов. Такого рода реакции идут главным образом с опасными химическими веществами органической природы по механизму автоокисления.

Гидролитическим превращениям в природных условиях подвергаются опасные химические вещества как неорганической, так и органической природы. Известно, что многие органические соединения очень легко гидролизуются до гидрофильных конечных продуктов. При этом во многих случаях экологическая опасность этих веществ значительно снижается. Например, омыление пестицидов в природных условиях приводит к потере ими токсических свойств.

Фотофизические и фотохимические процессы, инициируемые ультрафиолетовым излучением, с чисто химической точки зрения не приводят к какому-либо превращению вещества, а затрагивают лишь отдельные стадии сложных химических реакций. В качестве примера можно привести реакции дехлорирования хлорсодержащих углеводородов.

Под непосредственным воздействием опасных химических веществ на окружающую среду и по причине формирования под их влиянием иных, чем ранее, условий обитания могут происходить изменения видового состава сообществ животных, а также функций значимости входящих в них живых организмов.

Под влиянием конкретных ландшафтно-геохимических условий опасные химические вещества в одном случае могут сохраняться продолжительное время и накапливаться, в другом — быстро разрушаться и выводиться из рассматриваемой системы.

Как уже отмечалось, одна из особенностей в поведении химических веществ состоит в том, что многие из них не обладают устойчивостью и, в зави-

симости от условий внешней среды, в той или иной степени претерпевают химические превращения.

Так, например, выбрасываемые химическими предприятиями как при нормальной деятельности, так и при авариях диоксид серы и окислы азота при взаимодействии с влагой атмосферы, с водяными каплями облаков и выпадающего дождя образуют растворы кислот (серной, сернистой, азотистой и азотной). В результате выпадающие метеорологические осадки (дождь, снег, град, туман, дождь со снегом), имеют рН меньше, чем среднее значение рН дождевой воды ( $\text{pH}_{\text{среднее}} = 5,6$ ). Они именуются «кислотными дождями».

Кислотные дожди являются одной из причин гибели лесов, урожаев, растительности и жизни в водоемах. Кроме того, кислотные дожди разрушают здания и памятники культуры, трубопроводы, приводят в негодность автомобили, понижают плодородие почв и могут приводить к просачиванию токсичных металлов в водоносные слои почвы.

Попадая в водоемы (озера, реки, заливы, пруды), кислотный дождь повышает их кислотность до такого уровня, что в них погибает флора и фауна. Водяные растения лучше всего растут в воде со значениями рН между 7 и 9,2. С увеличением кислотности (с уменьшением показателя рН) водяные растения начинают погибать, лишая животных водоема пищи. При кислотности, когда  $\text{pH} = 6$ , погибают пресноводные креветки. Когда кислотность повышается и рН становится равным 5, погибают донные бактерии, которые разлагают органические вещества и листья, и органический мусор начинает скапливаться на дне. Затем гибнет планктон — крошечное животное, которое составляет основу пищевой цепи водоема и питается веществами, образующимися при разложении бактериями органических веществ. Когда кислотность еще повышается и рН достигает значения 4,5, погибает вся рыба, большинство лягушек и насекомых.

По мере накопления органических веществ на дне водоемов из них начинают выщелачиваться токсичные металлы. Повышенная кислотность воды способствует более высокой растворимости таких опасных металлов, как алюминий, кадмий, ртуть и свинец из донных отложений и почв. Эти токсичные металлы представляют опасность для здоровья человека. Люди, пьющие воду с высоким содержанием свинца или принимающие в пищу рыбу с высоким содержанием ртути, могут приобрести серьезные заболевания.

Кислотный дождь наносит вред не только водной флоре и фауне. Он также уничтожает растительность на суше. Ученые считают, что, хотя до сегодняшнего дня механизм до конца еще не изучен, сложная смесь загрязняющих веществ, включающая кислотные осадки и тяжелые металлы, в совокупности приводят к деградации лесов.

Наряду с кислотными дождями опасность представляют многие известные токсичные вещества, оказавшиеся в результате техногенных процессов во взвешенном состоянии в воздухе. Попадая в организм при вдыхании даже при малых концентрациях, они могут вызвать различные заболевания у людей, животных и птиц, а оседая на растения, их поражение.

В табл. 1.24 представлен перечень наиболее часто встречающихся загрязнителей воздуха, включая и упоминавшиеся ранее кислоты, которые вызывают вредное воздействие на человека.

Среди опасных химических веществ, загрязняющих (заражающих) окружающую среду при авариях и вызывающих в ней негативные экологические последствия, особое место занимают АХОВ.

Следует отметить, что АХОВ, попавшие на какую-либо поверхность в капельно-жидком виде, подвергаются влиянию процессов испарения, впитывания, гидролиза и с течением времени теряют свои поражающие свойства, то есть происходит процесс самодегазации (нейтрализации).

Большое влияние на скорость испарения оказывает температура. Чем выше температура, тем больше концентрация насыщенных паров и коэффициент диффузии веществ в воздухе, то есть выше скорость испарения.

В случае заражения поверхностей невпитывающих материалов с исчезновением жидкой фазы естественная дегазация заканчивается и объект становится безопасным. Для впитывающих материалов этого условия недостаточно, так как впитавшаяся часть АХОВ может служить источником поражения людей. В данном случае после исчезновения жидкой фазы естественная дегазация продолжается за счет десорбции и перераспределения веществ в материале объекта. В результате перехода молекул из поверхностного слоя в воздух в материале возникает градиент концентрации, приводящий к диффузии молекул из глубины к поверхности. Поэтому в глубине концентрация также изменяется.

Полную дегазацию (обеззараживание) пористых материалов можно наиболее эффективно обеспечить путем удаления зараженного слоя на глубину проникания АХОВ. В некоторой степени ее возможно осуществлять с помощью обеззараживающих (нейтрализующих) растворов. Применение растворителей для обеззараживания пористых материалов не рекомендуется, так как растворители, проникая в материал и растворяя АХОВ, способствуют их проникновению на еще большую глубину и в целом затрудняют обеззараживание.

Наряду с процессами проникания и испарения АХОВ с зараженных поверхностей может происходить процесс гидролиза, то есть разложения их водой. Скорость гидролиза зависит от природы вещества, поверхности соприкосновения его с водой и от температуры. Чем больше поверхность соприкосновения и чем выше температура, тем интенсивнее идет процесс гидролиза. Понижение температуры, наоборот, замедляет скорость гидролиза. Гидролиз АХОВ на сухих непористых материалах зависит от влажности воздуха, а гидролиз АХОВ в сухих пористых материалах и в почве — от их естественной влажности.

Таким образом, попадая на различные поверхности, АХОВ длительное время (часы, сутки) могут служить источником поражения людей.

Необходимо подчеркнуть, что химические и физико-химические превращения, происходящие с АХОВ при попадании их в окружающую среду, влекут за собой изменения их химической структуры.

Таблица 1.24

Наиболее распространенные химические вещества — загрязнители воздуха и их воздействие на человека

Химическое вещество	Источник поступления в атмосферу	Воздействие на человека
As (Мышьяк)	Угольные и нефтяные печи, стекольное производство	Вызывает разрушение вегетативной нервной системы, паралич кровеносной системы, нарушение обмена веществ. Воздействие на протяжении длительного времени может привести к раку легких и кожи.
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (Бензол)	Нефтеперерабатывающие заводы, автомобильные выхлопы	Длительное воздействие может вызвать лейкемию
Cd (Кадмий)	Металлургическое производство, сжигание мусора, угля и нефти	Длительное воздействие может вызвать поражение почек и легких, ослабление костей
Cl <sub>2</sub> (Хлор)	Химическое производство	Вызывает раздражение слизистых тканей, при больших концентрациях — отек легких
CO (Угарный газ)	Автомобильный транспорт, сжигание угля и нефти, сталеплавильное производство	Вызывает удушье, поражает сердечно-сосудистую систему, нарушает работу кровеносной системы
F (Ион фтора)	Сталеплавильное производство	Высокие концентрации приводят к флюорозу (разрушению зубов у детей)
H <sub>x</sub> , C <sub>x</sub> (Углеводороды)	Пары несгоревшего бензина	На солнечном свете вступают в реакцию с оксидами азота и образуют фотохимический смог
НСНО (Формальдегид)	Химическое производство, автомобильный транспорт	Раздражает слизистые оболочки глаз и носа
НСl (Хлористый водород)	Мусоросжигающие заводы, химическое производство	Раздражает слизистые оболочки глаз и легкие
HF (Фтористый водород)	Заводы по производству минеральных удобрений, сталеплавильное производство	Раздражает кожу, глаза, слизистые оболочки
Hg (Ртуть)	Сжигание угля и нефти, сталеплавильное производство	Вызывает тремор (дрожание рук) и психические расстройства, врожденные дефекты
HNO <sub>3</sub> (Азотная кислота)	Реакции диоксида азота (NO <sub>2</sub> ) в атмосфере	В высоких концентрациях приводит к возникновению кислотных дождей. Вызывает респираторные заболевания

Продолжение табл. 1.24

Химическое вещество	Источник поступления в атмосферу	Воздействие на человека
HONO (Азотистая кислота)	Химическое производство, реакция в атмосфере между диоксидом азота (NO <sub>2</sub> ) и парами воды	Вызывает респираторные заболевания
H <sub>2</sub> S (Сероводород)	Нефтеперерабатывающие заводы, очистные сооружения, целлюлозно-бумажное производство	Вызывает тошноту, раздражает глаза
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Серная кислота)	Химическое производство, реакция на солнечном свете диоксида серы и гидроксил ионов (ОН)	Вызывает респираторные заболевания
Mn (Марганец)	Металлургическое производство, электростанции	При длительном воздействии приводит к болезни Паркинсона
Ni (Никель)	Сталеплавильное производство, сжигание нефти и газа	В высоких концентрациях может вызывать рак легких
NO (Оксид азота)	Автотранспорт, сжигание угля и нефти, химическое производство	Легко переходит в диоксид азота (NO <sub>2</sub> )
NO <sub>2</sub> (Диоксид азота)	Образуется из оксида азота, химическое производство	Разрушает озоновый слой Земли, вызывает бронхит, понижает сопротивляемость организма к респираторным заболеваниям
OH (Радикал гидроксила)	Образуется на солнечном свете при реакции углеводородов и оксидов азота	Вступает в реакции с другими газами, образуя кислоты
O <sub>3</sub> (Озон)	Образуется на солнечном свете при взаимодействии оксидов азота и углеводородов	Раздражает слизистые глаз, обостряет астму
Pb (Свинец)	Автотранспорт, сталеплавильное производство	Поражает головной мозг, вызывает высокое кровяное давление, замедляет рост
SiF <sub>4</sub> (Тетрафторид кремния)	Химическое производство	Раздражает легкие
SO <sub>2</sub> (Диоксид серы)	Сжигание нефти и угля, сталеплавильное и химическое производство	Является причиной кислотных дождей. Понижает сопротивляемость к респираторным заболеваниям, раздражает слизистые глаз

Под непосредственным воздействием АХОВ на окружающую среду и по причине формирования под их влиянием иных, чем ранее условий обитания, могут происходить изменения видового состава сообществ животных, а также функций значимости входящих в них живых организмов.

Если состав сообщества живых организмов определяется числом и значимостью этих организмов, то структура сообщества — взаимодействиями между элементами сообщества и относительной значимостью взаимодействий. Наиболее важными взаимодействиями организмов в сообществе являются трофические. Устойчивость структуры характеризуется благополучием видов, доминирующих на каждом из его трофических уровней.

Как уже отмечалось, АХОВ в условиях окружающей среды претерпевают химические, физико-химические и иные превращения. Под влиянием конкретных ландшафтно-геохимических условий в одном случае они могут сохраняться продолжительное время и накапливаться, в другом — быстро разрушаться и выводиться из рассматриваемой системы. При этом ключевую роль в определении характера и опасности долгосрочных экологических последствий заражения окружающей среды АХОВ играет скорость самоочищения территорий, а применительно к почвам — персистентность опасного вещества, характеризующая временем его разрушения или выведения из почвы под влиянием процессов различной природы.

При оценке экологических последствий химического характера главное внимание, как и в случае радиационных аварий, уделяется сообществам живых организмов. Вместе с тем принимается во внимание то очевидное обстоятельство, что жизнедеятельность этих сообществ после техногенных воздействий в значительной мере определяется состоянием среды обитания, теми изменениями, которые в ней произошли в результате возникших нагрузок негативного характера.

Учитывая огромное количество потенциально опасных химических веществ, используемых сегодня на объектах в химических технологиях, большое разнообразие их свойств и воздействий на окружающую среду, представляется целесообразным конкретно рассмотреть опасности, возникающие при химических авариях, на примере некоторых АХОВ, в частности на диоксине и амиаке.

**Диоксин.** Представляет собой белые кристаллы с температурой плавления около 300 °С, почти не растворимые в воде, несколько лучше — в органических растворителях. Хорошо растворяется в хлорорганических растворителях, устойчив к воздействию кислот, щелочей. Термостабилен. Признаки его разложения появляются при нагревании свыше 800 °С. В природе период «полураспада» диоксина составляет 30 лет.

Несмотря на химическую и физическую инертность, диоксин проявляет высокую биологическую активность. По степени воздействия на живой организм он уступает только токсинам ботулизма и дифтерии.

Диоксин нарушает обмен веществ, вызывает тяжелые поражения кожи, печени, усиливает течение некоторых наследственных заболеваний, активизиру-

ет раковые клетки, является тератогенным агентом (вызывает аномалии развития плода).

Попадая в природную среду, диоксин включается в цепи питания, накапливается в организмах животных и человека, растениях. Период «полувыделения» его из организма человека равен примерно 7 годам.

Наибольшее внимание к диоксину привлекла авария в Севезо (Италия, 1976 г.), когда им были заражены несколько квадратных километров сельскохозяйственных угодий. Эти территории на несколько лет стали непригодными для использования.

Хотя в этой аварии не было погибших, но пострадало более 1 тыс. человек. У людей, подвергшихся воздействию диоксина, в течение нескольких месяцев развивались тяжелые поражения кожи: появлялись долго не заживающие язвы, трещины, чрезмерная пигментация, после выздоровления кожа обезображивалась рубцами, нарушались функции печени, терялся вес, наступали общая слабость и невропатия.

**Аммиак.** Бесцветный газ с резким запахом и температурой кипения минус 33,4 °С. Хорошо растворим в воде. Горит при наличии постоянного источника огня. Пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Относится к веществам, обладающим удушающим и нейротропным действием. Общетоксические эффекты в основном обусловлены его действием на нервную систему. Нарушается обмен глутаминовой и β-кето-глутаровой кислот в коре головного мозга. Резко снижается способность мозговой ткани усваивать кислород. Обладает курареподобным действием. Нарушает свертываемость крови в результате прямого действия на протромбин, поражает паренхиматозные органы. Последствиями тяжелой интоксикации является снижение интеллектуального уровня с выпадением памяти, неврологические симптомы: тремор, нарушение равновесия, тики, понижение болевой и тактильной чувствительности, головокружение, нистагм, гиперрефлексия. Последствиями острого отравления могут быть помутнение хрусталика, роговицы, даже ее прободение и потеря зрения, охриплость или полная потеря голоса и различные хронические заболевания (бронхит, эмфизема легких и др.). Смерть обычно наступает от сердечной слабости или остановки дыхания.



## Глава 2

# Радиационный и химический риски, основы их анализа и оценки

### 2.1. Характеристика радиационного и химического рисков, общие принципы установления приемлемых уровней

В соответствии с современными взглядами, риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся формированием и действием вредных факторов, и нанесенного при этом социального, экономического, экологического, а в ряде случаев и эстетического ущерба.

Вполне понятно, что риск является априорной величиной. Он может определяться до негативного события (аварии, катастрофы и т.п.) и после такого события. Но в любом случае величина риска имеет прогнозный характер.

При определении уровня риска его величина в общем случае представляется в виде произведения трех компонент:

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3, \quad (2.1)$$

где:  $R$  — уровень риска, то есть вероятность нанесения определенного ущерба человеку и окружающей среде;

$R_1$  — вероятность (в ретроспективе — частота) возникновения опасного события или явления, обуславливающего формирование и действие вредных (поражающих) факторов;

$R_2$  — вероятность формирования определенных уровней физических полей, ударных нагрузок, полей концентрации вредных веществ в различных средах и их дозовых нагрузок, воздействующих на людей и другие объекты биосферы;

$R_3$  — вероятность того, что указанные выше уровни полей и нагрузок приведут к определенному ущербу.

Заметим, что вероятности  $R_2$  и  $R_3$  носят условный характер, их реализация становится возможной, если произойдет опасное событие, характеризуемое вероятностью  $R_1$ .

В качестве ущерба могут рассматриваться как негативные последствия непосредственного воздействия поражающих факторов на объекты окружающей среды, так и долгосрочные последствия экологического характера.

Первый вид ущерба характеризуется разрушениями, повреждениями различного рода объектов, утратой материальных и культурных ценностей, поражением людей, в том числе с летальным исходом, ухудшением их здоровья, поражением животных и т.п.

Второй вид ущерба выражается в негативном изменении экологической обстановки — дегармонизации естественных процессов, ухудшении здоровья людей, в том числе по причине радиационных и химических поражений, а также по экологическим показателям, снижении их жизнедеятельности, уменьшении в природе видового разнообразия, исчезновении отдельных видов растений и животных и нарушении генофонда, в сдвигах экологических равновесий и разрушении экосистем, деградации флоры и фауны и т.д.

Таким образом, в зависимости от того, для какого вида ущерба проводятся вероятностные расчеты, определяется техногенный риск того или иного вида, в том числе радиационный, химический, термобарический и т.п., а также экологический риск.

К сожалению, зачастую не всегда проводится грань между двумя рассматриваемыми видами ущерба и в связи с этим возникают ошибочные толкования понятия «экологический риск».

Итак, один и тот же источник техногенной опасности может оцениваться двумя вероятностными показателями: техногенным риском и экологическим риском. При определении этих показателей общими являются вероятностные параметры  $R_1$  и  $R_2$ . Существенное различие в оценках риска обусловлено вкладываемым смыслом в величину  $R_3$  и методологией ее определения.

Необходимо заметить, что в настоящее время, к сожалению, нет методик вероятностных расчетов по оценке многих видов экологического риска. Основное внимание, несомненно, уделяется оценке риска ухудшения здоровья людей по причинам экологического характера. Что же касается оценки риска дегармонизации тех или иных естественных процессов, сдвигов экологических равновесий в конкретных экосистемах, здесь предстоит еще большая работа по поиску подходов к решению проблемы создания необходимого методического аппарата.

Кстати, из-за отсутствия соответствующей научно-методической базы для такого рода оценок, довольно часто происходит подмена понятия экологического риска понятием техногенного риска.

В структуре риска, выраженного формулой (2.1), важная роль принадлежит первому сомножителю.

Вероятность возникновения аварии или другого опасного события  $R_1$  во многих случаях рассматривается и анализируется отдельно и при оценке общего уровня риска  $R$  не учитывается. При этом для расчета уровня риска используется формула

$$R = R_2 \cdot R_3. \quad (2.2)$$

В качестве мотивов, оправдывающих такую схему расчетов, можно привести следующие.

В условиях нормальной эксплуатации объектов событиями, обуславливающими возникновение опасностей, являются выбросы и сливы продуктов, содержащих вредные вещества. Периодичность и объем этих выбросов и сливов продуктов, а также уровни физических людей (электромагнитного, акустического и др.), оказывающих негативное воздействие на объекты живой природы, носят детерминированный характер. Поэтому величина  $R_1$  в этом случае может быть принята равной единице. Следовательно, для условий регламентного функционирования объектов последняя формула является правомерной.

Для аварийных и других нештатных условий величина  $R_1$  определяется достаточно сложным образом, и зачастую проведение расчетов связано с методическими трудностями.

При определении риска как математического ожидания величины ущерба представляется целесообразным принимать во внимание все возможные виды опасных происшествий, аварий и катастроф применительно к данному объекту и оценку риска производить по сумме произведений вероятностей указанных событий на соответствующие ущербы. В этом случае:

$$R_{mo} = \sum_{i=1}^n R_i Y_i, \quad (2.3)$$

где:  $R_{mo}$  — уровень риска, выраженный через математическое ожидание ущерба;

$R_i$  — вероятность возникновения опасного события  $i$ -го вида или типа;

$Y_i$  — величина ущерба при  $i$ -м событии.

Необходимо иметь в виду, что оценка риска с помощью математического ожидания носит условный характер. При этой оценке условно полагают, что величина ущерба имеет детерминированное значение, его вероятностная природа не учитывается.

Сегодня понятие риск широко используется во многих областях науки и техники для оценки вероятности и объема событий, но каждая из этих областей, как правило, имеет свой предмет, свою направленность в исследовании риска и пользуется для этого собственными методами.

Достаточно широко понятие риска используется и в области радиационной и химической безопасности. В этой главе представляется целесообразным разобраться с понятиями радиационный и химический риски, которые достаточно полно характеризуют состояние радиационной и химической безопасности, являющуюся предметом нашего рассмотрения в данной книге.

Хотя понятия радиационный и химический риск являются признанными и широко используемыми, необходимо отметить, что под этими названиями авторы понимают техногенный и экологический риск соответственно радиационной и химической природы. Имеется в виду природа тех угроз и опасностей, которые вызывают риск.

Как известно, проявление угроз и опасностей радиационного и химического характера является весьма разнообразным. Эти угрозы и опасности, как от-

мечалось выше, возникают в условиях нормального функционирования радиационно и химически опасных объектов, но в наибольшей мере они проявляются при авариях и катастрофах на такого рода объектах. В этих случаях радиационный и химический риски, как правило, выражаются уже весьма высокими уровнями.

В связи с этим радиационный и химический риски представляется целесообразным систематизировать в зависимости от причин возникновения и природы угроз и опасностей, выделяя следующие их виды:

— радиационный и химический риски при нормальной деятельности радиационно и химически опасных объектов (объектов с ядерными и химическими технологиями), осуществляемой в рамках установленных технологических и других норм и правил;

— радиационный и химический риски аварий и катастроф на радиационно и химически опасных объектах;

— радиационный риск, связанный с наличием природных источников радиационной опасности, которой подвергаются в той или иной степени все категории населения;

— радиационный и химический риски, связанные с освоением и техногенным преобразованием недр в процессе горного производства, в частности, с добычей и переработкой урановых руд, добычей каменного угля, содержащего метан и другие газовые включения и т.п.

Необходимо также отметить, что определенный радиационный риск имеет место в медицинских учреждениях, где применяются источники ионизирующих излучений в лечебных целях. Этому риску в той или иной форме и степени подвергаются пациенты и медицинский персонал, работающий с источниками излучений. Аналогично химический риск имеет место на предприятиях и в лабораториях, где ведутся работы с опасными химическими веществами.

Анализ источников опасностей, обуславливающих возникновение приведенных выше видов радиационного и химического рисков, показывает, что второй и последний виды рисков следует отнести к техногенным рискам, имеющим соответственно радиационную и химическую природу. Первый же и третий виды рисков являются по своему смыслу экологическими. Также, как и в предыдущем случае, они имеют радиационную либо химическую природу.

Следует, однако, иметь в виду, что понятия техногенного и экологического рисков трактуются не всегда однозначно. В настоящее время значительное развитие получили теория и методы анализа и оценки риска возникновения техногенных аварий и катастроф, а также ущерба, обусловленного ими. При этом, к сожалению, понятие техногенного риска, зачастую без должных оснований, распространяется на экологический риск.

Такого рода основания имеются лишь в отдельных случаях. Например, это относится к риску, связанному с авариями и катастрофами на радиационно опасных объектах. Применительно к таким ситуациям принято говорить о радиационном риске, который включает элементы техногенного и экологического рисков. Разделить эти элементы не всегда представляется возможным. Однако иногда это делается. В этих случаях, в соответствии со сложившимися

взглядами, техногенную составляющую радиационного риска называют профессиональным радиационным риском, имея в виду, что такого рода риск касается персонала радиационно опасных объектов, экологическую же составляющую именуют радиоэкологическим риском.

В связи с этими замечаниями представляется целесообразным, прежде всего с учетом современных достижений в области теории риска, высказать некоторые соображения о том, что следует понимать под экологическим риском при техногенных воздействиях на природную среду.

Экологический риск при техногенных воздействиях аварийного характера отражает прежде всего прогнозную оценку возможного проявления долгосрочных последствий в экологической сфере, а не непосредственное воздействие на природную среду факторов радиационной и химической природы, которые формируются при экстремальных событиях, относящихся к предметной области анализа и оценки техногенного риска.

Непосредственное воздействие указанных поражающих факторов, безусловно, вызывает определенные, иногда очень существенные, изменения в окружающей среде и нарушение естественных процессов. Но эти изменения и нарушения на этапе воздействия поражающих факторов еще не проявляются в снижении уровня биотической саморегуляции естественных процессов, биологической продуктивности биоценозов и выходе экосистем из состояния экологического равновесия, уменьшении экологической емкости природных и природно-антропогенных образований и т.п.

В то же время под экологическим риском в широком смысле обычно понимается риск ухудшения качества компонентов окружающей среды, ее природных и природно-антропогенных образований, деградации флоры и фауны и уменьшения видового разнообразия, дегармонизации естественных процессов, нарушений биогеохимических циклов, процессов биотической саморегуляции и экологических равновесий, а также снижения адаптационных возможностей указанных природных, природно-антропогенных образований и экосистем по отношению к негативным воздействиям и истощения их экологического резерва (экологической емкости).

Все отмеченные в этом определении составляющие экологического риска, на наш взгляд, должны приниматься во внимание при анализе и оценке экологического риска техногенных воздействий любого характера, в том числе связанных с авариями, катастрофами и преобразованием недр в процессе горного производства. При этом в зависимости от характера окружающей среды, где рассматривается возможность возникновения и развития аварийных и иных техногенных воздействий, акцент может делаться на анализ и оценку экологического риска для тех или иных реципиентов этих воздействий. Условно могут быть названы по крайней мере пять возможных вариантов таких реципиентов:

— компоненты природной среды, имеющие наиболее важное значение в жизнедеятельности человека: атмосфера (воздушная среда), гидросфера (вода), литосфера (земля, почва), различные виды ресурсов;

— природные и природно-антропогенные образования, в том числе природно-территориальные комплексы, природные и природно-антропогенные ландшафты;

— геосистемы как целостные природно-технические системы;

— биоценозы и экосистемы различного характера и масштабов (также относящиеся к природным объектам);

— отдельные группы людей из числа населения и производственных коллективов, подвергающиеся воздействиям, которые влекут за собой ухудшение здоровья по экологическим причинам.

В каждом из этих вариантов могут быть выделены составные элементы и определена структура возможного экологического ущерба при техногенных воздействиях. Например, для биоценозов и экосистем экологический ущерб целесообразно выражать главным образом через снижение уровня биоразнообразия, нарушение процессов биотической саморегуляции и экологического равновесия; для такого компонента окружающей среды, как почва — через снижение способности почвы к ассимиляции загрязнителей и сопротивлению к неблагоприятным воздействиям, снижение плодородия почвы и ее способности к саморегуляции естественных процессов.

Следует заметить, что экологический риск может распространяться на весьма длительный период и на большие расстояния, его пространственно-временная сфера значительно больше, чем при техногенном риске. Прогнозирование и оценка экологического риска может сохранять свою актуальность даже спустя многие годы после техногенной аварии или катастрофы. Ярким примером этого является Чернобыльская катастрофа, имевшая место в 1986 году, прогнозная оценка отдельных видов радиоэкологического ущерба которой продолжается и по настоящее время. При этом безусловно учитываются фактические данные по имеющим место экологическим последствиям.

Радиационный и химический риски, в особенности связанные с прогнозной оценкой непосредственного воздействия техногенных поражающих факторов, в зависимости от возможного характера, масштабов и динамики развития аварийных событий могут иметь весьма широкий диапазон значений уровня риска, пространственно-временных параметров и других характеристик. Поле уровней риска, превышающих приемлемые и оправданные в социально-экономическом отношении значения, может охватывать территории отдельных объектов, промышленно-хозяйственных комплексов, социально-экономических систем различного уровня, включая региональный.

В последние годы получили развитие взгляды на широкомасштабные риски в тех или иных сферах, включая техногенную, природную, социальную и другие. Поскольку такого рода риски характеризуют угрозы и опасности национальной безопасности государства, то их по праву называют стратегическими рисками. Проблемам анализа и оценки стратегических рисков посвящен ряд трудов ученых и специалистов Российской академии наук, МЧС России и других ведомств [137]. Анализ крупных радиационных и химических аварий и катастроф, произошедших в мире в последние десятилетия двадцатого века (например, на АЭС в Три Майл Айленде, на Чернобыльской АЭС, на химических

заводах в Севезо и в Бхопале), показывает, что возникающие при них угрозы и опасности могут оцениваться на уровне так называемых дифференцированных стратегических рисков. А это дает все основания рассматривать диапазон возможных масштабов опасности и значимости радиационного и химического рисков от объектового и местного до регионального и даже федерального уровня.

Заметим, что в структуре стратегических рисков наряду с дифференцированными стратегическими рисками, которые возникают в определенных сферах деятельности, принято выделять: **интегральные стратегические риски**, представляющие собой проинтегрированные (просуммированные) риски первой группы и относящиеся к сфере безопасности регионов и отраслей; **системные стратегические риски** — риски регионально-федерального и федерального уровней. Таким образом, интегральные риски являются суммой дифференцированных рисков, а системные — суммой интегральных рисков, возникающих в тех или иных сферах деятельности.

По мнению авторов, стратегические радиационные и химические риски могут рассматриваться главным образом для отдельных сфер деятельности, отраслей и регионов. Федеральный масштаб этих рисков возможен, но маловероятен.

Следует отметить, что уровень техногенной и экологической безопасности, включая радиационную и химическую компоненты, удовлетворяющий общество, определяется и устанавливается с учетом путей и достижений в развитии экономики, инвестиционных намерений на тех или иных территориях и в регионах, а также некоторых принципов, вытекающих из международной и отечественной практики. К таким принципам могут быть отнесены:

- принцип безусловного примата безопасности и приоритета сохранения здоровья над любыми другими элементами качества жизни;
- принцип приемлемой опасности и риска, в соответствии с которым устанавливаются нижний допустимый и верхний желаемый уровни безопасности и в этом интервале, с учетом социально-экономических и других соображений, выбирается приемлемый уровень безопасности и риска;
- принцип минимальной опасности, в соответствии с которым уровень риска устанавливается настолько низким, насколько это реально достижимо, исходя из допущения, что любые затраты на защиту человека и окружающей среды являются оправданными;
- принцип последовательного приближения к абсолютной безопасности, то есть к нулевому риску, а также другие принципы, представляющие собой сочетание или развитие выше приведенных.

До недавнего времени в нашем государстве в основу концепции по обеспечению любого вида безопасности закладывался принцип нулевого риска. Чернобыльская авария показала неправомочность такого подхода ввиду невозможности достижения абсолютной безопасности. Концепция абсолютной безопасности сегодня признается [69, 70] неадекватной внутренним законам техносферы.

В России, как и в большинстве стран мирового сообщества, в настоящее время принята концепция приемлемого риска, иногда еще называемая концепцией ненулевого риска.

Установление приемлемых уровней техногенной и экологической безопасности и риска, в том числе их радиационной и химической компонент, представляет довольно сложную задачу. Для ее решения требуется проведение научного анализа экономических, социальных, экологических, демографических и других факторов, определяющих развитие общества, при их связи и взаимозависимости. Как известно, общество не может обеспечить удовлетворение своих материальных и духовных потребностей без увеличения масштабов общественного производства. А это влечет за собой увеличение техногенного воздействия на биосферу. Поэтому общество вынуждено большее количество средств расходовать на охрану биосферы, так как от ее состояния зависят и эффективность производства, и комфортабельность условий жизни людей, их здоровье, да и сама возможность существования человека на Земле.

При установлении целесообразного и приемлемого для общества уровня безопасности и риска возникает необходимость в проведении многокритериального анализа условий и путей устойчивого развития общества с учетом материальных и духовных стимулов и приоритетов.

Качественное проведение такого анализа представляется возможным лишь при наличии адекватных критериев выбора оптимального уровня безопасности в рамках тех требований, которые предъявляются к нему обществом.

В качестве таких критериев могут рассматриваться [69]:

- валовой национальный продукт (ВНП);
- качество жизни (КЖ);
- средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни (СОППЖ);
- стоимость увеличения ожидаемой продолжительности жизни (СОПЖ).

Валовой национальный продукт — это все материальные ценности, создаваемые обществом за определенный период (обычно за год), в денежном выражении. Исчисленный в деньгах и отнесенный к общему количеству людей, он составляет средний доход на душу населения. Величина валового национального продукта непосредственно влияет на такие важные показатели уровня жизни, как качество жизни и ожидаемая продолжительность жизни. Недостаток валового национального продукта как критерия безопасности — в том, что часть его, иногда значительная, идет на оборону, космические исследования, на борьбу с уголовными преступлениями и другие цели, не связанные с обеспечением безопасности от воздействия техногенных, природных и экологических факторов.

Качество жизни обычно характеризуется также наличием возможностей для отдыха, занятий спортом, искусством, получением образования и т.п. С качеством жизни также принято связывать возможность приобретения предметов не первой необходимости и роскоши, избыток услуг. Качество жизни как критерий безопасности не носит самостоятельного характера в силу недостаточной представительности. Он используется в совокупности с другими критериями.



Средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни в настоящее время считается [69, 123] наиболее приемлемым критерием для оптимизации уровня безопасности. Этот критерий обладает достаточной представительностью, поскольку именно на СОППЖ сказываются техногенные и природные воздействия. С другой стороны, СОППЖ зависит от среднего дохода на душу населения, а следовательно, от ВВП.

Создаваемая человеком инфраструктура вызывает изменение СОППЖ. Строительство жилья, медицинских учреждений, обеспечение населения продуктами и товарами, развитие транспорта, коммунальных объектов, иных услуг, оказываемых населению, обуславливают рост СОППЖ. С другой стороны, создание для этих целей необходимых народно-хозяйственных объектов ведет к загрязнению окружающей среды, авариям, истощению природных ресурсов, деградации природы и, как следствие, к сокращению СОППЖ. В связи с этим при установлении оптимальной величины СОППЖ стараются учитывать обе указанные тенденции.

Безусловно, что устойчивое развитие общества характеризуется постоянным ростом СОППЖ. При этом оптимизация темпов роста СОППЖ предусматривается, исходя из интересов как настоящего, так и будущего поколений, и проводится с учетом прогнозируемых техногенных, экологических и других нагрузок на объекты биосферы, а также социально-экономических соображений.

Стоимость же увеличения продолжительности жизни может использоваться в виде дополнительного критерия при оптимизации уровня безопасности.

СОППЖ определяется двумя основными видами расходов:

- расходами на медицину, питание, жилье, транспорт, отдых, культуру, разным образом влияющими на ожидаемую продолжительность жизни;
- расходами на предотвращение и компенсацию отрицательного влияния техногенной деятельности и опасных природных явлений на ожидаемую продолжительность жизни.

В первом случае расходы обычно называют затратами на увеличение СОППЖ и обозначают ЗУ, во втором — затратами на предотвращение — ЗП. При оптимизации уровня безопасности задача состоит в том, чтобы найти правильное соотношение между этими затратами. Считается, что ЗП составляют малую долю от валового национального продукта (10-15%) и растут примерно пропорционально увеличению ВВП. В качестве критерия правильного выбора соотношения между затратами принимается непревышение отношения ЗП к величине предотвращаемого сокращения СОППЖ над значением СОППЖ. Указанное выше отношение ЗП к предотвращенному сокращению СОППЖ называют предельной стоимостью снижения риска (ПССР).

Следует отметить определенные трудности в расчете СОППЖ с учетом внедрения новых безопасных технологий. Дело в том, что модернизация производства и внедрение новых технологий, являющихся более безопасными, чем прежде, вызывают не только повышение безопасности, но и, как правило, ведут к увеличению эффективности производства. Возникает некоторая неоднозначность в оценке долей затрат, которые могли бы быть отнесены к повыше-

нию безопасности и увеличению эффективности производства. Не без основания считается, что вторая часть затрат в значительной мере направлена на повышение безопасности будущих поколений. Имеется в виду, что высокая эффективность производства создает серьезные предпосылки для повышения уровня безопасности человека и окружающей среды.

## 2.2. Радиационный риск и нормирование радиационных воздействий при нормальном функционировании радиационно опасных объектов

С учетом определения риска, данного выше, как сочетания вероятности неблагоприятного события и его объема радиационный риск при нормальном функционировании радиационно опасных объектов, когда соблюдаются установленные регламентом технологические режимы, может быть интерпретирован и определен, во-первых, как вероятность превышения дозовых нагрузок ионизирующих излучений, падающих на те или иные категории людей (профессионалов, лиц из населения), научно обоснованных установленных дозовых пределов, во-вторых, как математическое ожидание радиационного ущерба человеку и окружающей среде. Поскольку речь идет о безаварийных режимах работы радиационно опасных объектов, то имеется в виду, что радиационный риск в данном случае имеет экологический характер.

В первом случае численная величина радиационного риска определяется по формуле:

$$R = \int_{D_n}^{\infty} f(D) dD, \quad (2.4)$$

где:  $R$  — радиационный риск;

$f(D)$  — дифференциальная функция распределения (плотность вероятности) случайной прогнозной величины дозовой нагрузки;

$D_n$  — научно обоснованный установленный дозовый предел.

Во втором случае, когда радиационный риск интерпретируется как математическое ожидание того или иного вида радиационного ущерба, например, выражающегося в ухудшении здоровья людей, увеличении вероятности возникновения онкологических заболеваний, в тех или иных негативных изменениях в природных системах и т.п., уровень риска может быть определен по формуле:

$$R_{mo} = \int_{-\infty}^{\infty} Y_p f(Y_p) dY_p, \quad (2.5)$$

где:  $R_{mo}$  — математическое ожидание радиационного ущерба;

- $Y_p$  — функция, выражающая изменение непрерывной случайной величины ущерба, того или иного вида, например, в зависимости от степени радиоактивного загрязнения или интенсивности ионизирующего излучения;
- $f(Y_p)$  — дифференциальная функция распределения случайной величины ущерба (плотность вероятности).

При рассматриваемом подходе к оценке радиационного риска необходимо проведение моделирования процессов распространения и воздействия на те или иные популяции радиоактивных веществ, при котором предусматривается определение возможных (ожидаемых) дозовых нагрузок. Прослеживается судьба радиоактивных веществ от разных источников, по разным цепочкам. Дозовые нагрузки определяются с учетом поступления радиоактивных веществ из всех сред. Их предельно допустимые величины для различных видов популяций составляют нормированные нагрузки для этих популяций.

Опираясь на научно обоснованные предельно допустимые дозовые нагрузки для различных видов популяций и других объектов окружающей среды, с помощью моделей можно произвести расчет нормированных производных величин, характеризующих уровень вредного воздействия. К числу таких производных величин относится концентрация радиоактивных веществ, а также интенсивность ионизирующих излучений. Указанные выше производные величины, рассчитанные для предельно допустимых дозовых нагрузок, являются радиоэкологическими нормами, наиболее приемлемыми для практического использования.

Обратимся к рассмотрению обобщенной модели, лежащей в основе расчетов по этому методу.

Окружающая среда представляется в виде ряда резервуаров (звеньев), в качестве которых могут выступать различные виды сред, элементы биосферы и т. п. Загрязняющее вещество антропогенного происхождения из источника выбрасывается в один из этих резервуаров и далее перетекает по той или иной схеме (цепочке) из одного резервуара в другой до тех пор, пока не выйдет из системы или не перейдет в такую среду, откуда его дальнейшая транспортировка практически исключается. Каждый из возможных переходов загрязняющего вещества характеризуется определенной величиной коэффициента переноса. В данной модели важными параметрами являются коэффициенты переноса или распределения радиоактивных веществ между средами и время их пребывания в том или ином резервуаре (скорость прохождения через резервуар).

В общем случае динамика перехода радиоактивных веществ из одного резервуара (звена внешней среды) в другой и обмена между резервуарами может быть выражена дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{dC_i}{dt} = C_{0,i} + \sum_n K_{ni} C_n - \sum_j K_{ij} C_j \quad (2.6)$$

где:  $C_i$  — концентрация радиоактивного вещества в  $i$ -м резервуаре;

- $C_{0,i}$  — скорость изменения концентрации в  $i$ -м резервуаре, обусловленная поступлением радиоактивного вещества в результате антропогенного воздействия на среду;
- $K_{ni}$  — коэффициент переноса радиоактивного вещества из  $n$ -го резервуара в  $i$ -й;
- $K_{ij}$  — коэффициент переноса из  $i$ -го резервуара в  $j$ -й.

Вместо концентраций в этом уравнении могут использоваться количества радиоактивного вещества в резервуарах, выраженные в соответствующих единицах. Тогда величина  $C_{0,i}$  получает смысл интенсивности поступления радиоактивного вещества в  $i$ -й резервуар.

С помощью приведенного уравнения представляется возможным определить концентрацию радиоактивного вещества в любом внешнем звене, а следовательно, и дозовую нагрузку в расчете на тот или иной временной интервал. Учитывая стохастический характер формирования этой нагрузки, можно найти и дифференциальную функцию распределения ее случайной величины. Следует, однако, заметить, что это является далеко не простой задачей.

В качестве примера приведена схема одного из известных вариантов системы резервуаров и распространения загрязнений в природных средах (рис. 2.1).

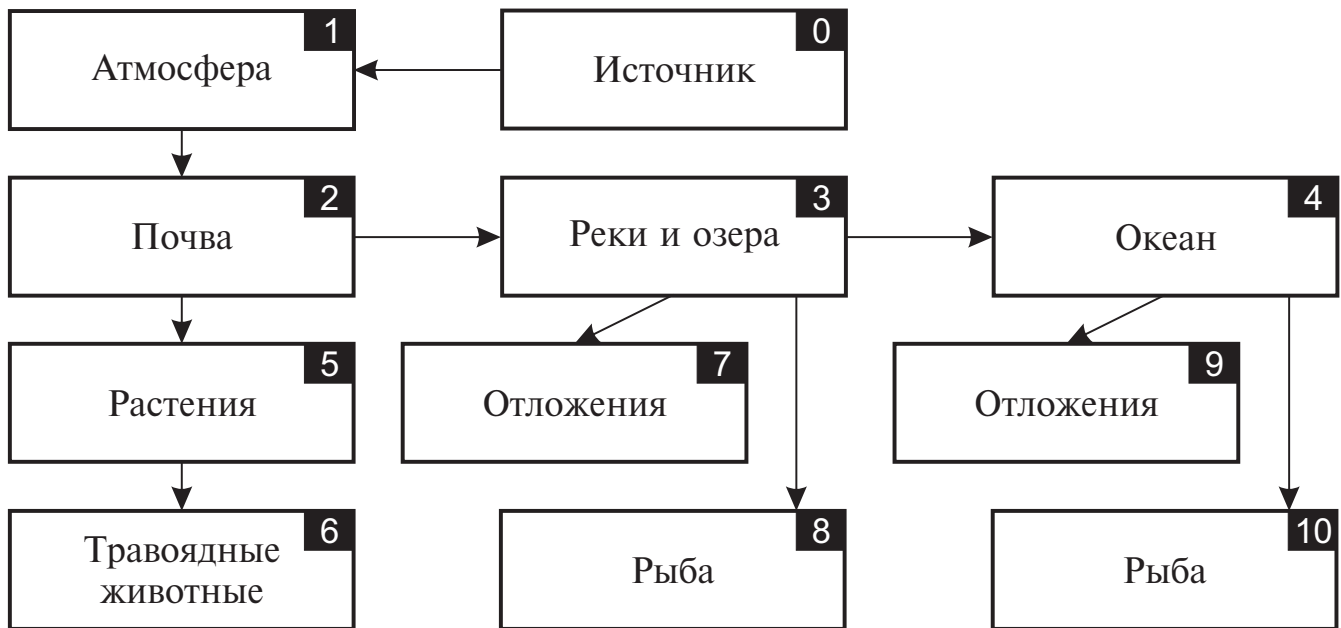


Рис 2.1. Схема путей распространения радиоактивного загрязнения (вариант)

При наличии данных о коэффициентах переноса нетрудно определить загрязнение любой из сред или биот. Например, при интенсивности источника загрязнения, равной  $I$ , загрязнение, поступающее в водоем, используемый для питьевого водоснабжения и рыболовецкого промысла, двумя путями [(0 → 1 → 2 → 3 → 4) и (0 → 1 → 4)], можно выразить суммой:

$$I \cdot P_{01} \cdot P_{12} \cdot P_{23} \cdot P_{34} + I \cdot P_{01} \cdot P_{14}, \quad (2.7)$$

где:  $P$  — коэффициенты переноса. Индексами показаны номера резервуаров, обозначенных на рис. 2.1.

Рассматриваемый метод в настоящее время получил достаточно широкое применение в теории и практике обеспечения радиационной безопасности человека. Основным параметром, по которому оцениваются радиационная антропогенная нагрузка и влияние радиационных факторов на здоровье и жизнедеятельность людей, является индивидуальная или коллективная (для тех или иных групп населения) эквивалентная доза облучения. Этот параметр в интегральной форме характеризует меру воздействия ионизирующих излучений любых видов на человека, то есть падающую на него антропогенную нагрузку по радиационным факторам. Прямое измерение этой нагрузки далеко не всегда возможно. Поэтому при экологическом нормировании нагрузки представляется целесообразным пользоваться некоторыми производными от дозы, измеряемыми или расчетными параметрами. К числу этих параметров следует отнести:

- мощность поглощенной дозы излучения;
- концентрации радионуклидов в воздухе, воде и других средах;
- степень поверхностного загрязнения объектов окружающей среды радионуклидами.

Заметим, что указанные производные параметры расчетным путем определяются в основном при прогнозировании радиационного воздействия на окружающую среду.

Расчеты проводятся с учетом всех возможных путей трансформации радиоактивных веществ из резервуара в резервуар. Подходы к проведению такого рода расчетов достаточно хорошо изучены. Они изложены, например, в справочнике «Радиоактивные вещества в биосфере», разработанном Н. Г. Гусевым и В. А. Беляевым [29]. При проведении расчетов предусматривается использование методов имитационного моделирования процессов распространения радиоактивных веществ в различных средах. В качестве моделей распространения радиоактивных веществ в воздушной среде, в которую главным образом происходят выбросы радиоактивных веществ, могут быть использованы [127]:

- модель локального масштаба (в зоне радиусом 10 км) Пасквилла-Гиффорда;
- мезомасштабная лагранжева модель, описывающая с достаточной точностью распространение радиоактивных веществ в атмосфере до расстояний в несколько десятков километров (разработана в Институте экспериментальной метеорологии — ИЭМ);
- региональная лагранжева модель, описывающая распространение радиоактивных веществ в атмосфере на большие расстояния (до 1000—1500 км), которая разработана также в ИЭМ.

Исходными данными для расчетов являются количественные характеристики антропогенных выбросов радиоактивных веществ в атмосферу и их сбросов в другие среды, осуществляемых радиационно опасными объектами, метеорологическая и синоптическая информация и др.

При экологическом нормировании радиационного воздействия вводится понятие о дозовых пределах. Значения этих пределов для человека обосновы-

ваются на основе медико-биологических исследований. Степень обоснованности определяется уровнем научных знаний в этой области. В настоящее время экологическое нормирование радиационного воздействия проводится главным образом для человека. Здесь достигнуты определенные успехи. Учитываются не только соматические эффекты воздействия радиоактивных излучений на человеческий организм, но и отдаленные наследственные.

К сожалению, экологическое нормирование по радиационным факторам не получило должного развития для других популяций и абиотической составляющей экосистем.

Обоснование допустимого антропогенного радиационного воздействия ведется дифференцированно для различных категорий людей, в зависимости от степени их участия в производственной деятельности, связанной с использованием ядерных и радиоактивных материалов. При этом считается, что некоторая часть населения, участвующая в указанной деятельности, может подвергаться повышенному облучению без риска воздействия этого облучения на наследственность популяции в целом.

Научно обоснованные дозовые пределы устанавливаются в законодательном порядке.

Нормами радиационной безопасности (НРБ-99) установлены следующие категории лиц, подвергающиеся облучению [42]:

— персонал, то есть лица, работающие с техногенными источниками (группа А), или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б);

— все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий производственной деятельности.

Дозовые пределы для этих категорий облучаемых лиц приведены в табл. 2.1

Таблица 2.1

Основные дозовые пределы

Нормируемые величины	Дозовые пределы	
	лица из персонала* (группа А)	Лица из населения
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике	150 мЗв	15 мЗв
коже**	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

\* Дозы облучения, как и все остальные допустимые производные уровни, персонала группы Б не должны превышать 1/4 значений для персонала группы А.

\*\* Относится к среднему значению в слое толщиной 5 мг/см<sup>2</sup> под покровным слоем толщиной 5 мг/см<sup>2</sup>. На ладонях толщина покровного слоя — 40 мг/см<sup>2</sup>.

Понятие предельно допустимой дозы (ПДД) интерпретируется как наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет неблагоприятных изменений в состоянии здоровья. Предел дозы (ПД) — предельная эквивалентная доза за год, регламентирующая в среднем облучение группы населения. ПД контролируется путем измерения радиоактивных выбросов, а также мощности дозы внешних потоков излучения и уровней радиоактивной загрязненности объектов окружающей среды. Следует отметить, что дозовый предел ПД несет в себе очень малую степень риска.

Облучение населения, проживающего вблизи радиационно опасных объектов, регламентируется ведомственными нормами радиационной безопасности, согласующимися с международными рекомендациями МКРЗ и национальными правилами. В частности, население, проживающее вблизи АЭС, в соответствии с Санитарными правилами СП АС—03 может быть облучено в дозе, не превышающей для действующих АЭС — 0,25 мЗв/год (для проектируемых и строящихся АЭС установлена квота — 0,1 мЗв/год).

Радиационное воздействие на население со стороны АЭС может формироваться за счет газоаэрозольных поступлений в атмосферу и радиоактивных веществ, попадающих с жидкими отходами в водоем-охладитель. Поэтому дозовая квота для населения делится на две составляющие: одна определяет допустимое радиационное воздействие от радионуклидов газоаэрозольного выброса (0,20 мЗв/год), вторая — от радионуклидов, попавших в воду (0,05 мЗв/год).

Поскольку организовать индивидуальный дозиметрический контроль населения (в отличие от персонала радиационно опасного объекта) практически трудно, то для того чтобы гарантировать радиационную безопасность (не превышать дозовую квоту ПД), ограничивают радиоактивные выбросы в атмосферу и слив в водоемы технологических сред. Структурная схема, на основе которой проводятся расчеты предельно допустимых выбросов (ПДВ) и допустимых сбросов в водоемы (ДС), приведена на рис. 2.2.

Для проведения расчетов по приведенной схеме необходимо знать пути миграции радионуклидов в элементах наземных экосистем и гидробиоценозе водоема, спектр питания населения, поведение его в районе радиационно опасного объекта и т. п. Расчет проводится, как правило, для критической группы населения ближайшего к радиационно опасному объекту населенного пункта, расположенного в направлении наиболее вероятного направления ветра.

Перечень указанных ранее измеряемых параметров радиационной обстановки, включающий мощность дозы излучения, концентрации радионуклидов в окружающей среде, поверхностное загрязнение объектов, с учетом приведенных соображений следует дополнить еще двумя контролируемыми параметрами: количеством выбрасываемых в атмосферу радиоактивных веществ за определенный промежуток времени, обычно за сутки, а также количеством сливаемых с радиоактивными отходами радиоактивных веществ в водоемы (также за сутки).

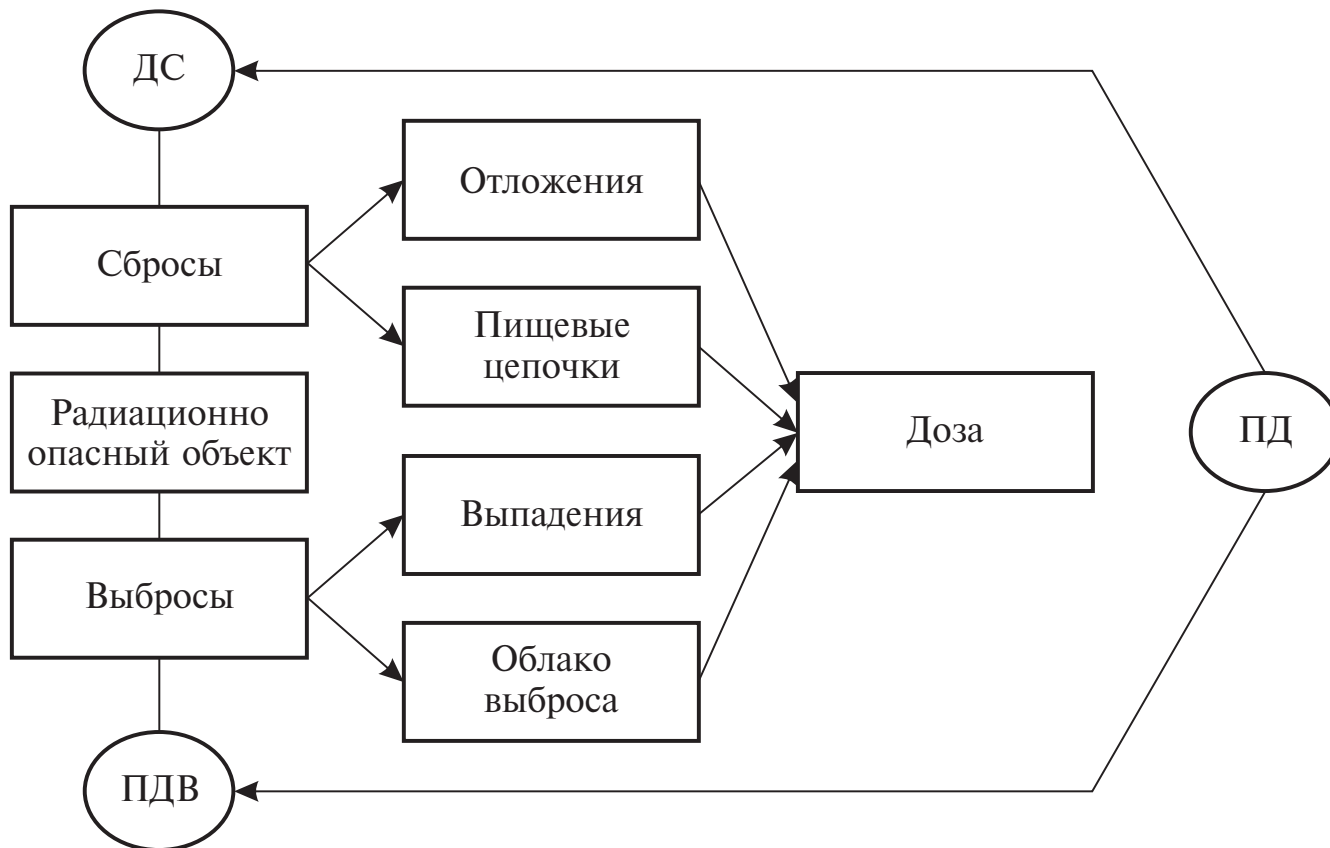


Рис. 2.2. Схема расчетов предельно допустимых выбросов в атмосферу и сбросов в водоем-охладитель

Оба эти параметра должны строго нормироваться. При этом принимаются во внимание характер используемой на радиационно опасном объекте технологии, состав выбросов и сбросов, а также другие факторы, о которых уже упоминалось.

Поскольку действующими нормами радиационной безопасности предусматривается реализация таких принципов радиационной безопасности, как не превышение установленного основного дозового предела, исключение необоснованного облучения и снижение дозы излучения до возможно низкого предела, то в отношении газоаэрозольных радиоактивных выбросов и сбросов радиоактивных веществ с жидкими отходами обычно для радиационно опасных объектов устанавливаются контрольные значения выброса и сброса меньшие, чем ПДВ и ДС.

Непосредственная задача контроля радиационно опасных объектов состоит в получении информации об активности газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов, на основании которой можно было бы сделать прогноз радиационной обстановки в окружающей среде.



### **2.3. Радиационный риск, обусловленный естественными и искусственными источниками ионизирующих излучений**

Как известно, источниками ионизирующих излучений, которые образуют естественный радиационный фон, являются [6 ]:

- внешние и внутренние источники земного происхождения;
- источники космического происхождения;
- технологически повышенный естественный радиационный фон.

При оценке радиационного риска в числе внешних источников, обуславливающих наружное радиационное воздействие, принято принимать во внимание радионуклиды, которые содержатся в горных породах, воде, воздухе, строительных материалах и т.д., в числе внутренних источников земного происхождения — радионуклиды, постоянно поступающие в организм человека из окружающей среды.

Природные радионуклиды, которые содержатся в земной коре, обычно называют примордиальными. Основными представителями этих радионуклидов являются: калий-40, рубидий-87, а также радионуклиды двух радиоактивных семейств, родоначальниками которых являются уран-238 и торий-232.

Из естественных радионуклидов следует обратить внимание на два изотопа радона: радон-222 из уранового ряда с периодом полураспада 3,8 суток и радон-220 из ториевого ряда, имеющий период полураспада 55 секунд. В организм человека радионуклиды этих инертных газов попадают через органы дыхания, что приводит к радиационному риску внутреннего альфа-облучения.

Естественные источники космического происхождения включают: первичные космические лучи, состоящие из галактических космических лучей (в основном протоны, около 6 % альфа-частиц и малая примесь других ядер вплоть до самых тяжелых ) с энергией от сотых долей ГэВ до ста и более ГэВ и солнечных космических лучей (главным образом протоны с небольшой примесью ядер с порядковым номером  $Z$ , равным или большим 2 ) со значительно меньшими энергиями (40—50 МэВ); вторичное космическое излучение (образующееся в результате взаимодействия первичного космического излучения с ядрами атомов, содержащихся в атмосфере, протоны, нейтроны, пионы, мюоны, электроны, а также так называемые космогенные нуклиды: тритий, бериллий-7, бериллий-10, углерод-14, натрий-22 и др., возникающие под действием нуклонов.

В табл. 2.2 приведены данные по годовым эффективным дозам облучения населения для районов Земли с усредненным нормальным фоном.

В табл. 2.3 приведены годовые значения поглощенной дозы внутреннего облучения органов человеческого тела. Как видно, суммарный вклад в годовую поглощенную дозу калия-40 значительно больше по сравнению с углеродом-14.

Таблица 2.2

Оценка годовых эффективных доз, обусловленных естественными источниками излучения, в районах с нормальным фоном

Источник	Годовая эффективная доза, мкЗв		
	Внешнее облучение	Внутреннее облучение	Итого
Космические лучи			
ионизирующий компонент	280	—	280
нейтронный компонент	20	—	20
Космогенные нуклиды	—	15	15
Примордиальные нуклиды			
калий-40	120	180	300
рубидий-87	—	6	6
нуклиды ряда урана-238	90	950	1 040
нуклиды ряда тория-232	140	190	330
Всего (округленно)	650	1 341	2 000

Таблица 2.3

Годовые тканевые поглощенные дозы внутреннего облучения органов человеческого тела ( $10^{-5}$  Гр)

Радионуклиды	Органы или ткани тела			
	Гонады	Легкие	Эндостальные клетки	Красный костный мозг
Калий-40	15	17	15	27
Углерод-14	0,5	0,6	2,0	2,2
Все радионуклиды земного и космогенного происхождения	17	52	25	31

Естественный фон ионизирующих излучений имеет тенденцию увеличения в связи с человеческой деятельностью в области развития технологий, улучшения бытовых удобств и пр. Такой фон принято называть технологически повышенным естественным радиационным фоном.

Обычно рассматривается несколько источников повышения фона и увеличения уровня радиационного риска. К их числу следует отнести [6]:

— работу угольных теплоэлектростанций, при которой в результате сгорания угля, всегда содержащего определенное количество природных радионуклидов, в атмосферу попадает огромное число радиоактивных аэрозольных частиц и остается шлак и зола, так же содержащие радионуклиды;

— промышленное использование продуктов переработки фосфоритов, содержащих в сравнительно немалой концентрации примеси урана-238, тория-232, продуктов их распада и калия-40;

— применение различных строительных материалов, содержащих природные радионуклиды, а также пользование некоторыми предметами широкого потребления, например, часами со светящимся циферблатом, изготовленного с помощью радия-226, изделиями из стекла с высоким содержанием урана или тория (например, оптическими линзами) и фарфора с примесью урана;

— полеты на самолетах на больших высотах, где фоновое облучение существенно выше, чем на поверхности Земли.

Представляют интерес некоторые данные, касающиеся количественных характеристик приведенных выше источников повышения естественного радиационного фона.

По ориентировочным оценкам, коллективная доза внутреннего облучения, обусловленная работой угольных электростанций и производством 1 МВт электроэнергии в год, за счет вдыхания радионуклидов, которые содержатся в аэрозолях и разносящейся ветром золе, составляет не более  $0,03 \cdot 10^{-2}$  чел. Гр.

Для фосфатных удобрений ожидаемая коллективная доза составляет  $3 \cdot 10^{-6}$  чел. Гр готовой продукции, а коллективная доза от применения в строительстве фосфогипса, который может быть получен из всей товарной фосфорной руды, может составить  $2 \cdot 10^{-2}$  чел. Гр/т руды.

В табл. 2.4 приведены ориентировочные максимальные значения мощности поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе внутри помещений от природных радионуклидов, содержащихся в наиболее распространенных строительных материалах [6].

Таблица 2.4

Мощность поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения  $P$  в воздухе в помещениях, обусловленная применением различных строительных материалов

Строительный материал	$P, \times 10^{-8}$ Гр/ч	Строительный материал	$P, \times 10^{-8}$ Гр/ч
Гранит	28—45	Известняк	5
Вулканический туф	24	Гипс	4
Кирпич	16—33	Дерево	< 0,4
Бетон	15—21		

Как видим, мощности поглощенной дозы от рассмотренных естественных источников излучений весьма малы, практического значения не имеют и подтверждают выводы, сделанные по этому поводу в главе 1.

В заключение коротко остановимся на риске облучения населения в медицинских целях. Для этого воспользуемся результатами анализа, выполненного в работе О.А. и К.А. Барсуковых [6].

Особенностью облучения в медицинских целях является применение ионизирующих излучений, создающих относительно высокие мощности дозы и большие дозы. Так, при рентгеновской диагностике отдельных органов тела пациента значение поглощенной дозы достигает долей грея. В радиотерапевтической практике используются еще большие дозы, правда, число пациентов, которые подвергаются столь высокому облучению, сравнительно невелико.

Развитие рентгеновской техники, предназначенной для диагностики, идет в направлении снижения уровня дозы, получаемых пациентами.

Число людей, проходящих рентгенодиагностические исследования, составляет большинство от общего числа пациентов, подвергающихся облучению в медицинских целях. В промышленно развитых странах годовые дозы рентгеновского излучения на душу населения достигают  $(5 \cdot 10^{-4} - 10^{-3})$  Гр, что соответствует годовой коллективной дозе от медицинского облучения населения, составляющей  $(5 \cdot 10^2 - 10^3)$  чел. Гр на 1 млн. человек.

По сравнению с приведенной оценкой облучения пациентов, облучение медицинского персонала, равное согласно расчету 1 чел. Гр на 1 млн. человек в год, является малой долей облучения населения в медицинских целях. Согласно оценкам НКДАР коллективная глобальная доза от медицинских процедур равна  $5 \cdot 10^5$  чел. Гр в год.

## 2.4. Химический риск и нормирование вредных воздействий при нормальном функционировании химически опасных объектов

Химический риск при нормальном функционировании химически опасных объектов, с учетом современных взглядов на анализ и оценку риска, по мнению авторов, так же, как и в случае анализа радиационного риска, может быть интерпретирован и определен, во-первых, как вероятность превышения объема технологических выбросов и сбросов в окружающую среду вредных химических веществ, их научно обоснованных и нормативно установленных значений, во-вторых, как вероятность превышения установленного дозового предела для вредного химического вещества, а также как математическое ожидание экологического ущерба для природной среды и ее экосистем, биоценозов и других природных и природно-антропогенных объектов. Расчетные формулы при этом аналогичны тем, которые используются для определения уровня радиационного риска. Однако физический смысл входящих в них величин несколько иной. В связи с этим представляется целесообразным привести эти формулы.

Первая формула может быть записана в двух вариантах:

**первый вариант**

$$R_{mo} = \int_{ndv}^{\infty} f(B)dB, \quad (2.8)$$

**второй вариант**

$$R = \int_{D_n}^{\infty} f(D)dD, \quad (2.9)$$

где:  $R$  — химический риск;

- $f(D)$  — дифференциальная функция распределения дозовой нагрузки;  
 $D_n$  — научно обоснованный установленный дозовый предел;  
 $R_{mo}$  — вероятность превышения нормативного объема технологических выбросов и сбросов вредных химических веществ в окружающую среду;  
 $f(B)$  — дифференциальная функция распределения (плотность вероятности) случайной величины выбросов и сбросов;  
 $ndv$  — предельно допустимый выброс.

Вторая формула:

$$R_{mo} = \int_{-\infty}^{\infty} Y_x f(Y_x) dY_x, \quad (2.10)$$

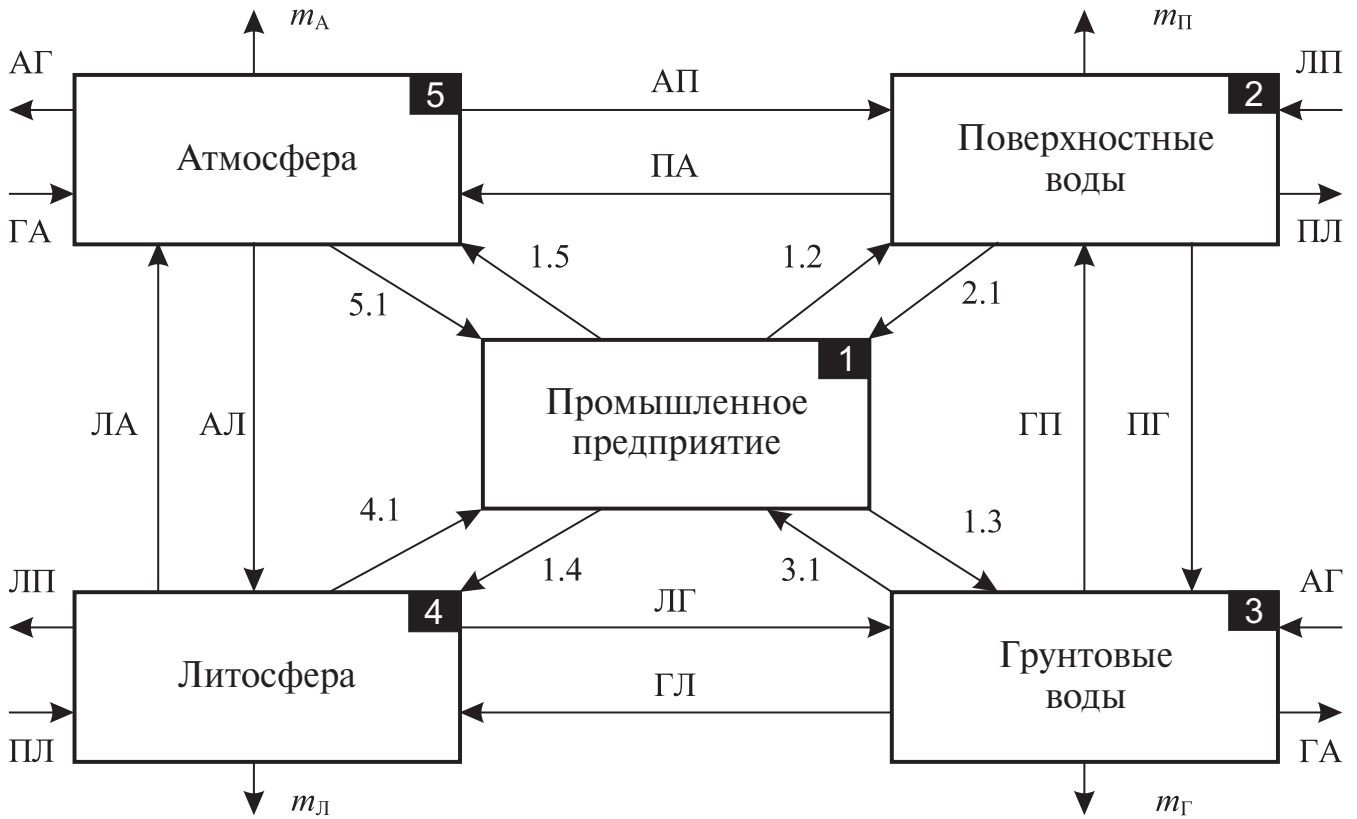
- где:  $R_{mo}$  — математическое ожидание ущерба, наносимого окружающей среде химическим заражением;  
 $Y_x$  — случайная величина того или иного вида ущерба;  
 $f(Y_x)$  — дифференциальная функция распределения (плотность вероятности) случайной величины ущерба.

Следует заметить, что в данном случае имеется в виду главным образом ущерб экологического характера, в том числе ухудшение здоровья людей по экологическим причинам. Как уже отмечалось ранее, одним из важных показателей уровня здоровья является средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни. Снижение ее величины можно рассматривать в качестве весьма представительного вида ущерба, обусловленного химическим заражением окружающей среды.

К числу основных источников техногенного заражения окружающей среды опасными химическими веществами следует отнести прежде всего промышленные и другие предприятия, где применяются технологии, включающие химические процессы. Кроме того, к такого рода источникам относятся любые народно-хозяйственные и коммунально-бытовые объекты, на которых хранятся или используются аварийно химически опасные вещества. Заметим, ради справедливости, что многие из них представляют опасность не только в аварийных условиях.

На рис. 2.3 приведена схема круговорота химических веществ в системе «промышленное предприятие — окружающая среда» [46], из которой видно, что деятельность предприятия даже при нормальных эксплуатационных режимах влечет за собой загрязнение химическими веществами, обладающими токсичностью, атмосферы, литосферы, поверхностных и грунтовых вод.

Руководствуясь приведенной схемой, представляется возможным составить систему дифференциальных уравнений, отражающих материальный баланс вредных химических веществ и скорость их накопления в различных средах. В общем случае эта система имеет вид:



- ПГ, ПЛ, ПА — процессы поступления загрязняющих токсических веществ из поверхностных вод и водоемов в грунтовые воды, литосферу, атмосферу;
- ГП, ГЛ, ГА — процессы поступления загрязняющих токсических веществ из грунтовых вод в поверхностные воды и водоемы, литосферу, атмосферу;
- ЛП, ЛГ, ЛА — процессы поступления загрязняющих токсических веществ из литосферы в поверхностные воды и водоемы, грунтовые воды, атмосферу;
- АП, АГ, АЛ — процессы поступления загрязняющих токсических веществ из атмосферы в поверхностные воды и водоемы, грунтовые воды, литосферу;
- $m_П, m_Г, m_Л, m_А$ , — массы токсических веществ в подсистемах поверхностных вод, грунтовых вод, литосферы и атмосферы.

Рис. 2.3. Система «промышленное предприятие — окружающая среда»

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dm_П}{dt} &= (V_{1.2} - V_{2.1}) + (V_{ЛП} - V_{ПЛ}) + (V_{АП} - V_{ПА}) + (V_{ГП} - V_{ПГ}) - Q_П \\ \frac{dm_Г}{dt} &= (V_{1.3} - V_{3.1}) + (V_{АГ} - V_{ГА}) + (V_{ЛГ} - V_{ГЛ}) + (V_{ПГ} - V_{ГП}) - Q_Г \\ \frac{dm_Л}{dt} &= (V_{1.4} - V_{4.1}) + (V_{АЛ} - V_{ЛА}) + (V_{ПЛ} - V_{ЛП}) + (V_{ГЛ} - V_{ЛГ}) - Q_Л \\ \frac{dm_А}{dt} &= (V_{1.5} - V_{5.1}) + (V_{ПА} - V_{АП}) + (V_{ГА} - V_{АГ}) + (V_{ЛА} - V_{АЛ}) - Q_А \end{aligned} \right. ,$$

где:  $V$  — скорость перехода химических веществ из одной подсистемы в другую при протекании процессов, обозначенных индексами;  
 $Q$  — скорость ассимиляции (разложения, распада) вещества.

Обозначения процессов обмена материальными средами объекта с атмосферой, литосферой, поверхностными и грунтовыми водами следующие:

1.2 — процесс слива сточных вод с объекта в поверхностные водоемы;

2.1 — процесс поступления воды из поверхностных водоемов на нужды объекта;

1.3 — процесс поступления сточных вод с объекта в подземные горизонты;

3.1 — процесс приема воды из подземных источников на нужды объекта;

1.4 — процесс сброса твердых отходов с объекта;

4.1 — процесс поступления минерального сырья на объект;

1.5 — газопыльные и газоаэрозольные технологические, вентиляционные, аспирационные и другие выбросы в воздушную среду;

5.1 — процесс поступления воздуха на технологические нужды, вентиляцию и аспирацию.

С помощью приведенной выше системы уравнений представляется возможным оценить массы токсических веществ, загрязняющих атмосферу, гидросферу и литосферу, создаваемые ими дозовые нагрузки в соответствующих средах для человека, фауны и флоры, и с учетом стохастического характера реальных процессов определить дифференциальные функции распределения выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую среду, а также их дозовых нагрузок.

Как и в случае определения радиационного риска, решение задачи связано с большими трудностями, обусловленными недостаточной изученностью стохастической природы рассматриваемых процессов.

Возможность и интенсивность протекания тех или иных процессов в конкретных условиях во многом зависят от физико-химических свойств веществ, происходящих изменений их химических форм и т.д. С учетом этих условий из рассмотрения исключаются те или иные процессы. В интересах получения исходных данных для разработки системы химического мониторинга основное внимание сосредоточивается на процессах поступления токсических веществ в атмосферу, поверхностные, грунтовые воды, а также в открытые водостоки и водоемы.

Химические вещества техногенного происхождения при попадании в том или ином состоянии в окружающую среду могут распространяться на значительные расстояния, что обуславливает формирование определенных зон загрязнения. Масштабы этих зон существенно зависят от характера среды, где происходит распространение поллютантов, их химической устойчивости.

Наибольшие размеры зон загрязнения возникают при выбросах в воздушную среду. Как известно, в этих случаях кроме атмосферы происходит загрязнение и других сред: литосферы и гидросферы. В первую очередь обратимся к рассмотрению загрязнения атмосферы.

Поле техногенного загрязнения воздушной среды формируется за счет следующих трех составляющих:

— глобальной, обусловленной наличием на Земле многочисленных источников загрязняющих веществ и их макромасштабным переносом в атмосфере

турбулентными воздушными потоками на большие расстояния, включая трансграничный;

— региональной, связанной с выбросами в атмосферу загрязняющих химических веществ предприятиями промышленных систем региона, транспортными средствами и т. п. (региональная составляющая, как и глобальная, формируется главным образом при макромасштабном переносе примесей; вносит вклад также мезомасштабный перенос);

— локальной, обусловленной выбросами химических веществ, в том числе утечкой и выбросами АХОВ, источниками которых являются объекты, расположенные на той или иной конкретной территории (имеется в виду, что эти выбросы локализуются в границах определенной территории).

Вклад каждой из этих составляющих определяется многими факторами. Существенное значение имеет режим функционирования химически опасных объектов. При нормальных эксплуатационных режимах работы объектов региона необходимо учитывать все составляющие и соответствующим образом организовывать химический мониторинг. В случае же аварий и катастроф на химически опасных объектах, где хранятся или используются АХОВ, главное значение приобретает локальная составляющая. При больших авариях и катастрофах зоны распространения химических загрязнений имеют региональный и даже глобальный масштабы. Заметим, что и в этом случае источник загрязнений является одиночным и условно может рассматриваться как локальный.

Глобальное и макромасштабное региональное загрязнение внешней среды поллютантами техногенного происхождения практически полностью определяется дальним атмосферным переносом и последующим поступлением загрязняющих веществ в другие среды: литосферу, поверхностные и грунтовые воды, а также в биоту. При таком загрязнении лишь определенное число химических веществ представляет угрозу окружающей среде. Это связано с тем, что опасность макромасштабного загрязнения лимитируется временем жизни вещества или продуктов его превращений в природных средах, способностью вызывать отрицательные эффекты.

При дальнем переносе скорость распространения воздушных масс обычно составляет от нескольких сотен до тысячи километров в сутки. Поэтому на большие расстояния могут распространяться только химические вещества, у которых время жизни в атмосфере более 0,5 суток. Для того чтобы происходило заметное накопление поллютантов в литосфере, поверхностных и подземных водах при их поступлении из облака загрязненного воздуха, время жизни химических веществ в указанных средах должно быть не менее года [65].

По времени жизни в атмосфере среди химических веществ техногенного происхождения принято выделять две группы [25]:

— вещества с временем жизни около года и более, куда относятся оксид углерода (IV)  $\text{CO}_2$ , фреоны и др.;

— вещества с временем жизни порядка 10 суток и менее, примерами которых являются оксид серы (IV)  $\text{SO}_2$ , оксид азота (II)  $\text{NO}$ , диоксид азота (IV)  $\text{NO}_2$ .



Важно заметить, что содержание веществ первой группы в атмосфере мало зависит от распределения источников выбросов этих веществ не только в региональном, но и глобальном масштабе. Средняя концентрация углекислого газа, рассчитанная по данным, относящимся на конец 70-х годов, составляет 0,034 %, а средняя концентрация фреонов в настоящее время равна  $0,4 \cdot 10^{-9}$  %.

Содержание в воздушной среде веществ второй группы существенно зависит от расстояний от источников выбросов, метеорологических и синоптических условий. Так, в промышленных районах концентрация  $\text{SO}_2$  обычно достигает 0,05—0,1 мг/м<sup>3</sup>, в то время как в сельских районах она в несколько раз меньше, а над океанами меньше в 10—100 раз.

На формирование техногенных загрязнений атмосферы большое влияние оказывает характер источников этих загрязнений.

При нормальных эксплуатационных режимах функционирования объектов энергетического, промышленного и других комплексов выбросы загрязнителей в атмосферу обычно подразделяются на:

- организованные;
- неорганизованные;
- распределенные.

К организованным относятся выбросы из стационарных источников, какими являются трубы предприятий. Эти выбросы характеризуются большими объемами и высокими концентрациями загрязняющих веществ. Организованные выбросы иногда еще называют высокими.

Под неорганизованными выбросами имеются в виду поступления загрязнителей в окружающую среду из производственных помещений. Концентрации загрязняющих веществ в этих выбросах, как правило, существенно меньше, чем при организованных.

Распределенные выбросы в атмосферу в основном связаны с работой транспортных средств.

Как известно, перечень химических веществ, выбрасываемых в атмосферу промышленными и другими объектами, достаточно велик и составляет сотни наименований. В число наиболее распространенных загрязнителей входят: пыль, двуокись серы, двуокись азота, окись азота, окись углерода, аммиак, хлористый водород, цианистый водород, окись кадмия, свинец, сероуглерод, бенз(а)пирен, фенол, формальдегид, фтористый водород, хлор, фтор и др.

Основными загрязнителями, содержащимися в выбросах большинства промышленных предприятий, являются: твердые мелкодисперсные вещества (пыль, сажа, металлы) и газообразные продукты (в частности, окись углерода, двуокись серы, окись азота, углеводороды). Как показывает анализ статистических данных по выбросам стационарными источниками бывшего СССР и США, 98 % промышленных выбросов составляют именно эти вещества [7].

В соответствии с рекомендациями Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), опытом Европейской экономической комиссии в области охраны атмосферы от загрязнений к числу примесей, которые должны контролироваться в первую очередь, относятся следующие: двуокись серы, окислы азота, окись углерода, общее содержание озона, общее содержание пыли, углеводо-

роды, в том числе бенз(а)пирен, кислотность атмосферных осадков, тяжелые металлы. Причинами выделения указанных примесей в группу основных являются их высокая токсичность, широкое распространение в атмосфере, относительно длительные сроки пребывания в ней, что обуславливает перенос этих примесей на большие расстояния от источников выбросов или накопление в объектах окружающей среды. Необходимо отметить, что большую опасность при загрязнении воздуха городов представляют канцерогенные полициклические углеводороды, в частности бенз(а)пирен. Бенз(а)пирен поступает в атмосферу с продуктами сгорания топлива. Он составляет 1—2 % массы выбрасываемой сажи.

Как следует из схемы, приведенной на рис. 2.3, антропогенное загрязнение территорий, поверхностных и грунтовых вод обусловлено различными процессами массообмена указанных сред между собой и атмосферой. Источниками загрязнения этих сред являются сливы в водоемы жидких отходов производства, сбросы твердых отходов в отведенные места и, что очень важно, осаждение химических веществ из облаков загрязненного воздуха, формирующегося при выбросах их в атмосферу.

В настоящее время наряду с загрязнением атмосферы большую озабоченность вызывает загрязнение водных ресурсов.

Загрязнение воды рек и водоемов городов может происходить главным образом за счет:

- промышленных сбросов сточных вод;
- коммунально-бытовых сбросов;
- сбросов нефтепродуктов, бытовых и других отходов с судов водного транспорта;
- стока дождевых и мочных вод с городской территории.

Кроме того, загрязненность городских рек и водоемов формируется за счет осаждения поллютантов из атмосферного воздуха. Вклад этой составляющей может быть особенно ощутимым в аварийных случаях.

В результате водные ресурсы городов загрязняются различного рода вредными химическими веществами. В число этих веществ в общем случае входят: соединения тяжелых металлов, таких как ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк, широко применяющиеся в различных промышленных производствах, а также отработанные масла и канцерогенные полициклические углеводороды, поверхностно-активные вещества и другие углеводороды.

В Российской Федерации наиболее распространенными загрязняющими веществами в поверхностных водах являются нефтепродукты, фенолы, легкоокисляемые органические вещества, соединения меди, цинка, а в отдельных регионах страны — аммонийный и нитритный азот, лигнин, ксантогенаты, анилин, метилмеркаптан, формальдегид и др.

В сельских районах в загрязнение рек и водоемов большой вклад вносят поверхностные стоки с сельскохозяйственных угодий, обработанных минеральными и органическими удобрениями и ядохимикатами, содержащие соединения азота, фосфора, калия и другие элементы питания растений, а также пес-

тициды, инсектициды, гербициды и др. Условно поллютанты, загрязняющие сельские реки и водоемы, могут быть подразделены на три группы:

— биогенные вещества, поступающие в результате вымывания удобрений из почвы;

— ядохимикаты, смываемые с полей или распыляемые с самолетов;

— продукты водной эрозии почв, включающие органические и неорганические вещества, а также ядохимикаты.

В настоящее время загрязнены важнейшие реки в промышленных районах страны. В результате сброса сточных вод в реки уменьшается их прозрачность, возрастает минерализация, увеличивается содержание меди, хрома, никеля, сероводорода, нефти, фенола и т.д. Измененный химический состав прослеживается часто на значительном расстоянии от источников загрязнения. С промышленными и сельскохозяйственными сточными водами в реки и водоемы попадают токсические вещества, в том числе обладающие кумулятивным действием на живые организмы.

К источникам загрязнения водных бассейнов морей обычно относят:

— сбросы промышленных и хозяйственно-бытовых вод непосредственно в море или с речными стоками;

— поступление с суши различных веществ, применяющихся в сельском и лесном хозяйстве;

— планомерное захоронение в море технологических сред, а также других веществ, являющихся отходами производства;

— утечки различных веществ в процессе нормальной эксплуатации и плавания кораблей и судов;

— аварийные выбросы с кораблей, судов, подводных трубопроводов или иных гидротехнических сооружений;

— разработка полезных ископаемых на морском дне;

— осаждение загрязняющих химических веществ из атмосферы.

Для определения уровня химического риска при нормальной работе объектов с химической технологией важно правильно выбрать количественные меры допустимых воздействий и нагрузок химического характера на объекты окружающей среды.

В качестве количественной меры допустимой экологической нагрузки при воздействии вредных химических веществ, как правило, используются предельно допустимые концентрации, устанавливаемые по токсикологическому признаку или биогеохимическим методом.

Заметим, что предельно допустимые концентрации, характеризующие антропогенное воздействие вредных веществ на человека, а не нагрузку, обосновываются исходя из санитарно-гигиенических соображений. В настоящее время разработана и действует система санитарно-гигиенических норм предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в природных средах в расчете на среднего человека. Установлены ПДК по химическим вредным веществам для воздушной среды рабочих помещений объектов, для атмосферы городов и других населенных пунктов, для воды открытых водоемов и т.д. [143]. Разработаны подходы к установлению максимально допустимых кон-

центраций (МДК) химических веществ для лиц, привлекаемых к ликвидации аварий на химически опасных объектах.

Все указанные нормы и разработки касаются предельно допустимых уровней антропогенных воздействий на человека. Установление же пределов допустимых нагрузок при антропогенном воздействии на популяции животных и растений, формирующих экосистемы, начато сравнительно недавно.

В настоящее время выработаны и установлены ПДК для рыбохозяйственных водоемов — для популяций рыб, имеющих промысловое значение, ведется обоснование ПДК для других гидробионтов. Эти ПДК определяются в основном по токсикологическому признаку вредности на уровне организмов и популяций.

Токсикологический метод установления ПДК основывается на результатах экспериментальных поисков границ между токсическими, пороговыми и недействующими концентрациями химических вредных веществ для различных видов, групп и стадий развития гидробионтов. При этом токсичной считается такая концентрация загрязняющих веществ, при которой относительные (по сравнению с контрольными опытами) показатели выживаемости, плодовитости, роста и биопродуцирования снижаются более чем на 50 %. Пороговой считают концентрацию, при которой снижение значений указанных показателей не превышает 50 %, максимальной недействующей (подпороговой) — при которой показатели жизнедеятельности гидробионтов отклоняются не более чем на 25 %.

Для обоснований ПДК химических вредных веществ в морской воде, относящихся к тяжелым и переходным металлам, которые являются одновременно антропогенными примесями и естественными микрокомпонентами в морской воде, применяется новый биогеохимический метод. Этот метод основывается на утверждении, что средние концентрации металлов в Мировом океане оптимальны для его биотического населения, а крайние пределы отражают критические уровни: нижний и верхний. Верхний уровень считается естественной, эволюционно обусловленной границей. Его значение принимается за максимально допустимое содержание металла для всего населения Мирового океана. При установлении морских ПДК используется и традиционный токсикологический метод.

Для оценки допустимой антропогенной нагрузки на почвенные структуры также устанавливается предельно допустимая концентрация загрязняющего почву химического вещества. Физический смысл ПДК в данном случае состоит в том, что это максимальная массовая доля загрязняющего вещества, не вызывающая прямого или косвенного влияния на окружающую среду и здоровье человека, включая отдаленные последствия. ПДК в почвах установлены для пестицидов, многих металлов, органических соединений и других ингредиентов.

Установлением научно обоснованных ПДК далеко не исчерпывается экологическое нормирование. Дело в том, что экологическое нормирование предполагает определение допустимой нагрузки загрязняющих веществ не только и даже не столько на отдельные виды популяций, сколько на их сообще-

ства, экосистемы, регион. Экологическим нормированием подразумевается также установление допустимой интенсивности поступления загрязняющих веществ в природную среду.

При экологическом нормировании не только применяются иные методы расчета ПДК, чем при обоснованиях санитарно-гигиенических норм, но и берутся за основу совершенно иные исходные посылки. Если при санитарно-гигиеническом подходе к определению норм исходят из недопущения никакого вредного воздействия и никакого ущерба даже по отношению к отдельному организму, то при экологическом нормировании потеря отдельной особи не считается опасной, при условии сохранения равновесного состояния экосистемой.

В настоящее время в основу экологических норм допустимых воздействий на ту или иную популяцию предлагается положить следующие соображения [11].

Для определения норм предлагается исходить из величины критического воздействия, приводящего к разрушению данной популяции. За эту величину в случае взрослой популяции может быть принята, например, концентрация загрязняющего вещества, при которой наблюдается гибель 50 % особей популяции.

При установлении экологической нормы на основе имеющихся научных данных для каждой популяции принимается коэффициент запаса, представляющий собой отношение допустимого воздействия к критическому:

$$K_{mi} = \frac{q_g}{q_k}, \quad (2.11)$$

где:  $K_{mi}$  — коэффициент запаса для  $m$ -й популяции в расчете на воздействие  $i$ -го ингредиента;

$q_g$  — допустимое воздействие;

$q_k$  — критическое воздействие.

Величина коэффициента запаса, например, для популяции ушастого окуня и загрязнения водоема соединениями меди принимается равной 0,02, для популяции радужной форели и ингредиента — соединений хрома — 0,003. Для некоторых популяций и ингредиентов коэффициент запаса принимается равным 0,05—0,1. В этом случае допустимые концентрации загрязняющих веществ должны быть в 10—20 раз ниже ЛК<sub>50</sub> (летальной для 50 % особей популяции).

При обоснованиях экологических норм учитывается, что реакции популяций различных видов на одни и те же воздействия могут существенно отличаться. Зачастую санитарно-гигиеническая норма, установленная для человека, например ПДК, при которой обеспечивается защита, является неприемлемой для некоторых видов животных и растений. Хотя бытует неверное мнение о том, что ПДК по тем или иным вредным веществам, выведенные для человека, автоматически являются ПДК и для других представителей биоты.

Необходимо отметить еще одно важное обстоятельство, касающееся ПДК. ПДК принято устанавливать для вполне определенной среды: атмосферного воздуха, воды открытых водоемов и т.п. При обоснованиях величин ПДК не учитываются совсем или учитываются лишь частично эффекты химического и биологического накопления вредных веществ в высоких концентрациях в результате их перехода из одной среды в другую, например, из воздуха в воду, из воды в биоту и т.д. Не учитывается накопление вредных веществ в пищевых цепочках, превращение при миграции в более токсические формы и т.д. Вместе с тем указанные процессы иногда приобретают решающее значение в определении критических звеньев экосистем, особенно если учесть накопление вредных веществ рыбами, птицами, млекопитающими, играющими важную роль в пищевых цепочках. Например, коэффициент накопления полихлорбифенилов, входящих в состав многих смазочных материалов, гидравлических жидкостей, синтетических смол, рыбами —  $10^3$ — $10^5$ , птицами и млекопитающими, связанными с водной средой,  $10^7$ — $10^8$  [45].

Современные взгляды на экологическое нормирование формулируются с учетом всех этих сложных процессов, структуры экосистем, возможных путей распространения химических вредных веществ антропогенного происхождения в окружающей среде, химических превращений, а также множественных путей поступления этих ингредиентов в живые организмы.

Отмеченные выше соображения могут быть материализованы при экологическом нормировании лишь при условии применения определенных методов количественной оценки.

Для экологического нормирования вредных химических веществ, особенно АХОВ, может применяться метод дозовых нагрузок.

Доза АХОВ, получаемая человеком при ингаляционном или кожно-резорбтивном пути его попадания в организм, является основным токсикологическим параметром. Производными параметрами, которые наряду с дозой могут применяться для характеристики токсикологического воздействия АХОВ и экологического нормирования, являются концентрации АХОВ в воздухе, воде, а также степень загрязнения АХОВ различных объектов окружающей среды.

Особенность экологического нормирования антропогенного воздействия АХОВ, на наш взгляд, состоит в том, что это нормирование осуществляется главным образом применительно к аварийным случаям — авариям на объектах, использующих, производящих и хранящих АХОВ. Тем не менее устанавливаемые при этом нормировании предельные значения доз имеют практическое значение при оценке химической обстановки, возникающей при технологически неизбежных случайных выбросах АХОВ на опасных объектах.

Понятие предельно допустимой дозовой нагрузки для АХОВ обычно трансформируется в понятия о неких токсических дозах, вызывающих определенную степень поражения у 50 % подвергшихся воздействию АХОВ. В частности, для оценки воздействия АХОВ на людей предусматривается пользоваться понятиями: средняя смертельная, средняя выводящая из строя и средняя пороговая токсодозы.

В качестве производных параметров для экологического нормирования АХОВ могут применяться пороговая концентрация и концентрация, соответствующая пределу переносимости.

Под пороговой концентрацией понимается минимальная эффективная концентрация, которая может вызвать ощутимый физиологический эффект. При этом пораженные ощущают лишь первичные признаки поражения и сохраняют работоспособность.

Предел переносимости — это минимальная концентрация, которую человек может выдержать определенное время без устойчивого поражения. Предел переносимости соответствует величине ПДК в пределах рабочей зоны и используется как критерий при оценке выполнимости требований безопасности в производстве.

Пределы переносимости (ПДКРЗ в воздухе) для АХОВ составляют:

- чрезвычайно опасных — менее 0,1 мг/м<sup>3</sup>;
- высокоопасных — 0,1—1 мг/м<sup>3</sup>;
- умеренно опасных — 1,1—10 мг/м<sup>3</sup>;
- малоопасных — более 10 мг/м<sup>3</sup>.

В качестве других вредных химических веществ, антропогенная нагрузка которых может быть определена методом оценки доз, можно назвать ртуть. В работе [45] рассматривается пример воздействия на человека ртути, накапливающейся в рыбе, которая используется затем в пищу. В качестве общей схемы распространения ртути антропогенного происхождения может быть принята схема природных резервуаров, для проведения экологического нормирования рассчитывается количество ртути, попадающей в организм человека различными путями. Критическим органом, на который главным образом воздействует ртуть, является кровь.

В расчетах на определенный путь поступления ртути в организм можно использовать выражение:

$$q(t) = \int_0^t IC(\tau) fR(t - \tau) d\tau, \quad (2.12)$$

где:  $q(t)$  — количество ртути, поступившее в критический орган;

$I$  — количество загрязненных ртутью воды, воздуха или пищи, употребляемых человеком в единицу времени;

$C(\tau)$  — концентрация ртути в употребляемой воде, пище или вдыхаемом воздухе как функция времени;

$f$  — коэффициент органотропности, показывающий долю количества ртути, которая поступает в кровь;

$R$  — доля количества ртути, остающаяся в организме в течение времени  $t$  после попадания в него.

Дозовая нагрузка, обусловленная расчетным количеством ртути, поступающей по одному из путей за время  $T$ , тогда определяется по формуле:

$$D_i(T) = \int_0^T \frac{q(t)}{m} dt, \quad (2.13)$$

где:  $m$  — масса критического органа.

Если ртуть в организм поступает несколькими путями, то производится суммирование дозовых нагрузок и тогда:

$$D(T) = \sum_{i=1}^n D_i(T), \quad (2.14)$$

где:  $n$  — число путей поступления ртути в организм.

Важнейшими природными резервуарами, где происходит перенос ртути и ее накопление в потребляемой человеком пище (рыбе), являются реки, озера, моря и океаны. При рассмотрении переноса ртути в этих резервуарах выделяются такие элементы, как вода, взвешенные и осажденные отложения, биота. При этом учитываются трансформация ртути беспозвоночными и высшими растениями, пути проникновения ртути в рыб (растительоядных и хищных). Небезынтересно отметить, что химической формой аккумулируемой рыбами ртути является метилртуть. Такая форма ртути образуется в результате микробной биологической метиляции. Основными продуктами биологической метиляции ртути являются монометилртуть и диметилртуть. Диметилртуть имеет низкую растворимость в воде и высокую летучесть, поэтому легко переходит в атмосферу. В атмосфере диметилртуть под действием ультрафиолетового излучения преобразуется в металлическую форму.

При моделировании переноса ртути в водоемах метилртуть как наиболее токсичная форма рассматривается отдельно, все остальные формы объединяются в неорганическую ртуть. Учитывается, что ртуть в водоеме переносится несколькими путями: с биомассой, на взвешенных частицах, где происходит ее сорбция и десорбция, и т.п. Среда водоема, по крайней мере, включает шесть компонентов: воду, взвешенные частицы, отложения, беспозвоночных, растения и рыбы, в каждом из которых прослеживаются путь биомассы и две химические формы ртути. Заметим, что под биомассой понимается количество живого вещества в единицах массы или энергии, содержащейся в единице массы, которое приходится на единицу площади или объема местообитания.

Для решения задачи составляются уравнения материального баланса ртути во всех компонентах среды, в частности водоема, с учетом значений коэффициентов переноса загрязнителя из компонента в компонент.

Путем решения этих уравнений определяется содержание ртути в этих компонентах, в частности в рыбе и воде, употребляемых человеком.

С учетом полученных данных рассчитываются количество ртути, поступающей в критический орган различными путями, и дозовые нагрузки. Расчетные дозовые нагрузки сопоставляются с предельно допустимыми их значениями, на основе чего делаются соответствующие выводы об уровне антропогенного воздействия.



При экологическом нормировании антропогенных выбросов ртути описанная задача может решаться в обратном порядке. В этом случае решение дает ответ на поставленный вопрос. Однако обратный путь решения значительно сложнее.

Для обоснований и установления уровня предельно допустимого химического загрязнения окружающей среды научный и практический интерес представляет метод, основанный на анализе материального баланса загрязнителей антропогенного происхождения. Ю.А. Израэлем [45] на основе разработок сотрудников Института прикладной геофизики рассмотрена математическая трактовка задачи. Ее суть состоит в следующем.

Рассматривается экосистема, состоящая из  $N$  компонентов, под которыми имеются в виду популяции и элементы среды.

Система характеризуется вектором состояний

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N), \quad (2.15)$$

где:  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N$  — состояния компонентов экосистемы.

Тогда состояние системы в целом характеризуется:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{21} & \dots & c_{i1} & \dots & c_{N1} \\ c_{12} & c_{22} & \dots & c_{i2} & \dots & c_{N2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{1j} & c_{2j} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{Nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{1M} & c_{2M} & \dots & c_{iM} & \dots & c_{NM} \end{pmatrix}, \quad (2.16)$$

где:  $i = 1 \dots N$  — компоненты системы;

$j = 1 \dots M$  — ингредиенты, загрязняющие среду.

Антропогенное поступление, то есть выбросы  $j$ -го ингредиента в  $i$ -й компонент экосистемы, характеризуется величиной  $E_{ij}$ , изменение концентрации ингредиента в  $i$ -м компоненте в расчете на единицу ингредиента выражается функцией  $\Phi_i(x_i)$ , вектор внешних воздействий (помимо загрязнений), существенно влияющих на состояние экосистемы (изменение температуры, влажности, площадей растительного покрова и т.п.), записывается в виде  $S(s_1, \dots, s_i, \dots, s_N)$ .

Тогда динамика состояния экосистемы может быть описана системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx_i}{dt} = F_i(X, C, S) \\ \frac{dC_{ij}}{dt} = \Phi_{ij}(X, C) + E_{ij}\beta_i(x_i) \end{cases}, \quad (2.17)$$

где:  $F_i(X, C, S)$  — функция, описывающая изменение состояния  $i$ -го компонента;

- $\Phi_{ij}(X, C)$  — функция изменения концентрации  $j$ -го ингредиента в  $i$ -м компоненте, обусловленного химическими, химико-биологическими и иными превращениями и переходами ингредиентов между средами (компонентами);
- $\beta_i$  — нормирующий множитель.

Второе из приведенных уравнений, по существу, представляет собой уравнение материального баланса загрязняющего вещества в экосистеме, выраженное в дифференциальной форме.

Решение этой системы дает возможность получить нормированные величины концентраций и интенсивности поступления того или иного загрязняющего химического вещества (ингредиента) для  $i$ -го компонента системы и для всей экосистемы, то есть  $C_i$  и  $E_i$ , а также  $C$  и  $E$ .

Однако для этого необходимо знать  $x_i$ ,  $S$ ,  $_{-i}$  и решение проводить для каждого компонента экосистемы с соблюдением условия

$$D_{ij}(x_i, c_{ij}) \leq D_{ij}^o, \quad (2.18)$$

где:  $D_{ij}(x_i, c_{ij})$  — ущерб, наносимый  $i$ -му компоненту системы при загрязнении тем или иным ингредиентом при данном состоянии компонента  $x_i$  и концентрации ингредиента;

$D_{ij}^o$  — предельно допустимое воздействие на  $i$ -й компонент экосистемы.

Величина  $D_{ij}^o$  при данном состоянии компонента должна соответствовать максимально допустимому значению концентрации  $C_i^o$  в  $i$ -й среде экосистемы. При этом должно иметь место условие:

$$0 \leq C_i \leq C_i^o(x_i). \quad (2.19)$$

Кроме этого условия, при решении рассматриваемой системы уравнений следует принимать во внимание функцию полезности того производства, которое обуславливает антропогенную нагрузку на данную экосистему. Аргументом этой функции является объем неизбежных выбросов вредных химических веществ в окружающую среду, выражающийся величиной  $E$ . Функция полезности зависит также от  $S$  и состояния экосистемы  $X$ . Требование максимизации полезного эффекта, учитываемое при решении системы, записывается в виде:

$$V(E, S, X)dt \rightarrow \max, \quad (2.20)$$

где:  $E$  — вектор поступления загрязняющих веществ в экосистему.

Необходимо отметить, что функция полезности производства является монотонно возрастающей до некоторых значений ее аргумента  $E_{ij}$ , затем, когда ущерб, наносимый окружающей среде, или расходы на очистку выбросов (сбросов) превышают полезность, начинается ее нисходящая ветвь.

Основываясь на приведенных выше общих соображениях по количественному обоснованию экологического нормирования, обратимся к рассмотрению наиболее простого частного случая, когда расчеты ведутся для одного

компонента экосистемы и загрязнение среды обуславливается лишь одним ингредиентом. При этом, предположим, что изменение концентрации этого ингредиента линейно связано с ее величиной. Этот частный случай является характерным для круговорота загрязняющих веществ в абиотических компонентах экосистемы и расчетов экологической нагрузки на лимитирующий компонент (среду) той или иной экосистемы. Он имеет практическую реализацию при наблюдении и оценке состояния экосистемы.

Итак, в рассматриваемом случае записывается одно уравнение

$$\frac{dC}{dt} = AC + E, \quad (2.21)$$

где:  $A = \|a_{ij}\|$  — матрица коэффициентов перехода ингредиента между средами.

Компонента вектора  $E$  для рассматриваемой  $i$ -й среды определяется по формуле:

$$E_i = k_i \beta_i E = K_i E, \quad (2.22)$$

где:  $E$  — общий выброс вредного химического вещества в окружающую среду;  
 $k_i$  — его доля, поступающая в  $i$ -ю среду;  
 $\beta_i$  — нормирующий множитель  $K_i = k_i \beta_i$ .

Требование максимизации полезного эффекта запишется в виде:

$$E \rightarrow \max.$$

Это условие записано исходя из того, что для достижения максимальной полезности производства неизбежно приходится увеличивать количество выбросов.

Ограничимся рассмотрением стационарного состояния экосистемы, тогда уравнение (2.21) запишется в виде

$$AC + E = 0. \quad (2.23)$$

Из последнего уравнения вытекает, что

$$C_i = \frac{k_i E}{A}. \quad (2.24)$$

Поскольку величина концентрации должна удовлетворять условию

$$0 \leq C_i \leq C_i^0,$$

то

$$-A^{-1} k_i E \leq C_i^0, \quad (2.25)$$

где:  $C_i^0$  — максимально допустимая концентрация ингредиента в рассматриваемой среде.

Далее задача состоит в определении оптимального значения общего выброса вредного химического вещества в окружающую среду  $E_{ОПТ}$  и допустимой концентрации ингредиента. Для этого анализируются кривая полезного эффекта с учетом затрат на компенсацию ущерба или очистку выбросов (сбросов) и соотношение (2.22). Решение задачи записывается в виде:

$$E_{ОПТ} = \min \left[ \frac{C_i^0}{-A^{-1}k_i} \right]. \quad (2.26)$$

Допустимая концентрация ингредиента в компоненте (среде) экосистемы определяется по формуле

$$C_i^0 = -A^{-1}k_i E_{ОПТ}. \quad (2.27)$$

С помощью приведенных выше соображений и расчетных формул представляется возможным не только найти  $C_i^0$  и  $E_{ОПТ}$ , но и определить лимитирующую, критическую в смысле экологических нагрузок среду.

Проиллюстрируем возможности рассмотренной методики на примере выбросов и эмиссии ртути в атмосферу, ее переноса, выпадений и дальнейшей миграции, заимствованном из монографии Ю.А. Израэля [45].

Соединения ртути, как известно, представляют серьезную опасность не только для человека, но и для многих других живых организмов. Антропогенный выброс ртути производится главным образом в атмосферу. В атмосферу ежегодно выбрасывается более 5 тыс. т ртути при сжигании твердого топлива и нефти и около 10 тыс. т при переработке минерального сырья ртути в виде ее паров и неорганических соединений. В гидросферу антропогенные выбросы ртути намного меньше.

Поступление ртути в окружающую среду за счет естественных причин, например, выветривания горных пород и почв, примерно на порядок меньше.

В природных средах ртуть находится в виде металлической ртути, неорганических и органических соединений.

Уравнение материального баланса ртути антропогенного и природного происхождения в  $i$ -й среде в дифференциальной форме записывается следующим образом:

$$\frac{dQ_i}{dt} = k_{iант} E_{ант} + k_{ie} E_e - \sum_l \frac{Q_i}{\tau_{li}}, \quad (2.28)$$

где:  $E_{ант}$ ,  $E_e$  — соответственно поступление ртути антропогенного и естественного происхождения в природные среды;

$k_{iант}$ ,  $k_{ie}$  — доли ртути антропогенного и естественного происхождения, поступающие в  $i$ -ю среду;  $l$  — любая природная среда, кроме  $i$ -й;

$Q_i$  — общее количество ртути в средах  $i$  и  $l$ , способное к миграции;

$\tau_{ij}$  — среднее время выведения ртути из одной среды в другую.

Обращаясь к рассмотрению равновесных условий, переходя от общих количеств ртути к их концентрациям, согласно формуле:

$$C_i = C_{0i} \frac{Q_i}{Q_{0i}}, \quad (2.29)$$

где:  $Q_{0i}, C_{0i}$  — природное содержание и природная концентрация ртути.

Тогда, руководствуясь описанным ранее подходом, можно записать формулы для оценки максимально допустимых выбросов ртути в ту или иную среду.

Если в качестве природных сред учесть атмосферу, почву и поверхностные воды, то формула для определения максимально допустимого выброса ртути будет иметь вид:

$$E_{ант} = \min \left[ \frac{\frac{C_{на} Q_{0а}}{C_{0а}} - a_{12} E_e}{a_{11} k_a + a_{12} k_n}; \frac{\frac{C_{нв} Q_{0в}}{C_{0а}} - a_{32} E_e}{a_{31} k_v + a_{32} k_n} \right], \quad (2.30)$$

- где:  $C_{0а}, C_{на}$  — природная и предельно допустимая концентрации ртути в атмосфере;  
 $C_{0в}, C_{нв}$  — природная и предельно допустимая концентрации ртути в воде;  
 $Q_{0а}, Q_{0в}$  — содержание ртути в атмосфере и воде соответственно, при отсутствии антропогенных источников;  
 $k_a, k_n$  — доли количества ртути антропогенного происхождения, поступающей в атмосферу и в почву;  
 $a_{11}, a_{12}, a_{31}, a_{32}$  — элементы матрицы  $A^{-1}$ , показывающие направление перехода ртути (индексом 1 обозначена атмосфера, индексом 2 — почва, индексом 3 — вода).

Расчеты по этой формуле проводятся дважды: для случая выброса ртути в атмосферу и для случая ее выброса в поверхностные воды. В качестве максимально допустимого выброса принимается меньшая из полученных в результате расчетов величин.

В рассматриваемом примере в качестве исходных данных для расчетов приняты следующие:

$$\begin{aligned} E_e &= 6,3 \cdot 10^3 \text{ т/год}; \\ Q_{0а} &= 3 \cdot 10^2 \text{ т}; \quad Q_{0н} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ т}; \quad Q_{0в} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ т}; \\ C_{0а} &= 10^{-9} \text{ г/м}^3; \\ C_{на} &= 3 \cdot 10^{-7} \text{ г/м}^3; \quad C_{нв} = 0,5 \text{ мг/л}. \end{aligned}$$

Как показывают расчеты, меньшая величина результата соответствует выбросу ртути в воду и составляет  $(3\div 4)10^4$  т/год. Она может быть принята за максимально допустимый выброс.

Воспользовавшись соотношением (2.27) и подставив в него полученную величину  $E_{ант} = (3\div 4)10^4$  т/год, можно найти концентрацию ртути в воздухе при таком выбросе. Она составляет  $10^{-8}$  г/м<sup>3</sup>, то есть в 30 раз меньше, чем ПДК

( $C_{na}$ ). Отсюда следует, что если бы выброс привел к установлению концентрации ртути в атмосфере, соответствующей ПДК, то в воде пресноводных водоемов концентрация ртути была бы в 30 раз выше, чем ПДК.

Лимитирующей средой загрязнения в рассмотренном случае является вода, а лимитирующая концентрация ртути в приземном слое атмосферы, при которой концентрация ртути в воде соответствует ПДК (0,5 г/л), составляет  $10^{-8}$  г/м<sup>3</sup>.

## **Глава 3**

# **Факторы, источники и методология оценки радиационного и химического рисков при авариях и катастрофах**

### **3.1. Факторы риска аварий и катастроф на радиационно опасных объектах**

Как отмечалось выше, в настоящее время общепризнанным является утверждение специалистов о том, что ядерная энергетика является одной из наиболее «чистых» отраслей производства. Вместе с тем не только в России, но и в мире проблема обеспечения радиационной безопасности является весьма актуальной, что обусловлено прежде всего весьма опасными последствиями радиационных аварий.

Обратимся к краткому анализу основных факторов, обуславливающих радиационную опасность радиационно опасных объектов.

Оценка радиационной опасности радиационно опасных объектов для их персонала и населения представляет собой сложную, трудоемкую и весьма многогранную задачу. Дело в том, что опасность любой технологии должна рассматриваться в совокупности с другими видами опасностей и в сравнении с ними. С технической точки зрения безопасность любого из радиационно опасных объектов является достижимой до любого заданного уровня. Основным мериллом здесь являются экономические затраты. Значительно сложнее оценить влияние на безопасность человеческого фактора. Именно человеческий фактор по официальной версии явился определяющим в причинах катастроф на АЭС в Три-Майл-Айленде (США) и в Чернобыле (Украина) [22]. Возможных причин возникновения повышенной радиационной опасности радиационно опасных объектов может быть названо достаточно много. Они обычно связываются с нарушениями технологических режимов, невыполнением тех или иных нормативов и т.п.

Из числа радиационно опасных объектов наиболее серьезную потенциальную радиационную опасность как для персонала, так и населения, как отмечалось в главе 1, представляют атомные электростанции. Несмотря на принятие самых жестких конструктивных и организационно-технических мер по обеспечению безопасности ядерных реакторов, независимо от их назначения и мощности, радиационный риск для персонала объектов с ядерными реакторами, населения и экосистем остается реальностью.

Основная потенциальная опасность ядерных реакторов, как отмечалось выше, связана с накоплением при их работе в больших количествах осколков деления урана в активной зоне. Например, радиоактивность суммы продуктов деления урана-235 в реакторе мощностью 1 ГВт (тепл.) в конце третьего года работы может составить  $4,4 \cdot 10^9$  Ки [37].

Осколки деления удерживаются внутри тепловыделяющих элементов (ТВЭлов). Однако даже при незначительных дефектах оболочек ТВЭлов продукты деления, в первую очередь газообразные и летучие изотопы криптона-85, ксенона-133 и йода-131, 132, проникают в теплоноситель или графитовую кладку реактора и далее в вентиляционные и канализационные системы. Регламентом допускается эксплуатация ядерных реакторов АЭС типа ВВЭР при 1 %-й газовой негерметичности оболочек ТВЭлов или при 0,1 % от числа ТВЭлов с частичной негерметичностью, когда возможен прямой контакт сердечника ТВЭла с теплоносителем. Для реакторов типа РБМК указанные нормы на порядок меньше.

При нормальной работе ядерного реактора, когда в активной зоне обеспечивается теплосъем, до 98 % осколков деления удерживается в ТВЭлах. Остальные 2 % осколков могут быть выброшены в окружающую среду, что при наличии тех или иных дефектов и неисправностей в системах, обеспечивающих работу реактора, уже создает определенную радиационную опасность для персонала АЭС и населения.

При эксплуатации АЭС в нормальном режиме и при высокой герметичности первого контура реактора радиоактивные продукты локализуются в реакторной установке и в системах спецгазоочистки и спецводоочистки. Однако даже при эксплуатации АЭС в безаварийном режиме всегда существуют неплотности и дефекты в системе трубопроводов, в результате чего возникают протечки теплоносителя как во второй контур, так и во внешнюю среду.

При испарении теплоносителя в воздушную среду поступают газообразные и аэрозольные радиоактивные вещества. Загрязненный воздух из помещений через систему вентиляции выбрасывается в окружающую среду. Эти выбросы состоят главным образом из радиоактивных благородных газов (РБГ), а также содержат некоторое количество других продуктов деления. Концентрация этих радиоактивных продуктов при нормальном эксплуатационном режиме АЭС за пределами санитарно-защитной зоны обычно ниже глобального уровня. Годовая суммарная радиоактивность выбросов РБГ для АЭС с реакторами типа ВВЭР составляет 3-6 МКи/МВт год, а для АЭС с реакторами РБМК — 30—300 МКи/Вт год.

В аварийных ситуациях радиоактивное облако выброса содержит большое количество продуктов деления урана и представляет чрезвычайно высокую опасность.

Наихудшая из возможных аварий — это разрыв первого контура реактора с истечением значительной части или всего теплоносителя. В случае обезвреживания первого контура активная зона может перегреться и оплавиться под действием остаточного тепловыделения. При такой аварии теплоноситель, соприкасаясь с перегретым контуром, переходит в парообразное состояние



и вместе с газообразными продуктами деления ядерного топлива вызывает повышение давления в помещениях локализации. В результате происходит разрушение защитного барьера и выход радиоактивных продуктов в окружающую среду.

Обеспечение безопасности объектов с ядерными энергетическими установками строится исходя из того, что вероятность аварии на объектах атомной энергетики не может быть уменьшена до нуля. Поэтому предусматриваются меры, гарантирующие, что последствия любой радиационно опасной аварии будут ограниченными. С учетом мирового опыта эксплуатации АЭС и других объектов с ядерной технологией, свидетельствующего о том, что проблема их безопасности связана с маловероятными авариями по причине отказа технических систем, ошибок персонала и внешних воздействий, основное внимание при построении системы безопасности сосредоточивается на предупреждении возможных аварий и катастроф и проведении защитных мероприятий.

Типовым радиационно опасным объектом является АЭС. Поэтому в большинстве случаев аварии на радиационно опасных объектах, сопровождающиеся выбросами радиоактивных веществ и формированием радиационных полей, рассматриваются, как указывалось выше, применительно к АЭС.

Как уже отмечалось, к числу факторов и явлений, обуславливающих формирование радиационной обстановки и вызывающих риск для персонала, населения и территорий при аварийных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу, следует отнести:

- образование и распространение в пограничном слое атмосферы газоаэрозольного радиоактивного облака;
- радиоактивное загрязнение территорий за счет выпадения из облака выброса радиоактивных продуктов;
- радиоактивное загрязнение открытых участков кожи и одежды людей;
- радиоактивное загрязнение открытых водоемов и источников водоснабжения;
- радиоактивное загрязнение пищевых продуктов;
- радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий, лесов и пастбищ.

Каждый из перечисленных факторов радиационной обстановки характеризуется, по крайней мере, одним или совокупностью нескольких измеряемых или вычисляемых параметров, с помощью которых можно оценить эквивалентную дозу облучения, получаемую теми или иными категориями персонала АЭС и населения.

Радиоактивные вещества, попавшие в атмосферу, распространяются под воздействием турбулентной диффузии. По пути переноса радиоактивных веществ в приземном слое атмосферы происходит внешнее облучение людей, попадающих в зону распространения радионуклидов, вследствие бета- и гамма-излучения из шлейфа, а также внутреннее облучение, если радиоактивное вещество попадает в организм ингаляционным путем и инкорпорируется в нем.

Радиоактивное загрязнение территории, открытых водоемов, источников водоснабжения, сельскохозяйственных угодий и людей происходит в результате выпадения радиоактивных осадков из шлейфа под действием силы тяжести, при соприкосновении шлейфа с поверхностью, при вымывании дождем. При этом возникают дополнительные пути переноса радионуклидов к человеку. Радиоактивные вещества, попадающие в водную среду при осаждении из облака выброса или при непосредственном сбросе, разносятся под влиянием течений и турбулентной диффузии. Они могут быть в ионной, молекулярной форме, в коллоидном состоянии и принимают участие в химических и физико-химических процессах, происходящих в водной среде. В частности, радиоактивные вещества могут адсорбироваться в донных отложениях. Как отмечалось выше, основным параметром, по которому оценивается в конечном счете радиационный ущерб, то есть степень снижения жизнедеятельности и здоровья людей, является эквивалентная эффективная доза облучения (индивидуальная, коллективная или ожидаемая коллективная). Этот параметр определяется через измеряемые или вычисляемые величины и в интегральной форме характеризует меру воздействия ионизирующих излучений на человека. Указанные измеряемые или вычисляемые величины (мощность дозы, концентрация радиоактивных веществ и др.) по аналогии с термином «производные уровни вмешательства для защиты населения», которые применяются МАГАТЭ [115, 118], могут быть названы производными параметрами радиационной обстановки. В данном случае подчеркивается, что существует основной параметр, которым является доза облучения.

При оперативном управлении радиационным риском на основе рассмотренных выше подходов и суждений расчетным путем определяются границы зон, внутри которых радиационный риск превышает определенные уровни, являющиеся критериями для принятия управленческих решений по мерам радиационной защиты, обеспечивающим снижение риска.

Стратегия и организация проведения предусмотренных мер радиационной защиты должны быть такими, чтобы новый уровень риска был приемлемым с учетом всех факторов, принимаемых во внимание при расчетах риска, в том числе затрат на выполнение защитных мероприятий.

К числу зон повышенного радиационного риска, для которых проводятся рассматриваемые обоснования и расчеты, исходя из рекомендаций МАГАТЭ по мерам защиты, относят:

- зоны риска, в которых для снижения уровня риска необходимо укрытие населения в зданиях и защитных сооружениях;
- зоны риска, где снижение уровня риска может быть достигнуто введением населению стабильного йода;
- зоны риска, из которых следует переселить население в зоны приемлемого риска;
- зоны риска, где снижение уровня риска может быть достигнуто проведением дезактивации.

Однако при таком довольно большом числе зон графо-аналитический метод оценки радиационной обстановки связан с определенными трудностями.

Было бы удобней пользоваться некоторыми обобщенными понятиями о зонах повышенного риска. Основываясь на установленных в нашей стране нормах и критериях для принятия управленческих решений и взглядах на планирование мероприятий по защите населения в случае аварии на атомной электростанции, представляется целесообразным ввести в рассмотрение следующие зоны повышенного радиационного риска.

**Первая зона повышенного радиационного риска** (зона риска проведения экстренных мер радиационной защиты) населения — территория, в пределах которой доза облучения всего тела человека за время формирования радиоактивного следа или доза внутреннего облучения отдельных органов может превысить верхний дозовый предел, установленный для эвакуации.

**Вторая зона повышенного радиационного риска** (зона риска проведения предупредительных мер радиационной защиты) населения — территория, в пределах которой доза облучения всего тела человека за время формирования радиоактивного следа или доза внутреннего облучения отдельных органов может превысить верхний дозовый предел, установленный для укрытия населения и проведения йодной профилактики.

**Третья зона повышенного радиационного риска** (зона риска введения ограничительных мер радиационной защиты) населения — территория, на которой доза облучения всего тела человека или отдельных органов за 1 год может превысить нижний предел для потребления пищевых продуктов.

Размеры и положение границ описанных зон повышенного радиационного риска зависят от многих факторов стохастической природы. Поэтому они могут быть определены вероятностными методами.

Граница зоны в этом случае будет интерпретироваться как геометрическое место точек, где с определенной вероятностью, например, равной 0,9, будет превышать соответствующий дозовый предел, а уровень риска проведения экстренных, предупредительных или ограничительных мер, в зависимости от характера зоны риска, составит величину, равную этой вероятности.

Как правило, границы зон повышенного риска для каждого радиационно опасного объекта должны определяться заранее, в расчете на возможную общую радиационную аварию или же с учетом всех возможных аварий, при которых происходит распространение радиоактивных продуктов за пределы санитарно-защитной зоны.

В число зон повышенного радиационного риска могут быть включены и другие зоны. В частности, зоны, в пределах которых возможны те или иные радиационные поражения людей, в том числе смертельные. Введение в рассмотрение такого рода зон может оказаться полезным при решении задач, связанных с оценкой санитарных потерь персонала аварийного объекта и населения, и планировании мер по оказанию медицинской помощи пострадавшим при радиационной аварии.

Для определения границ зон риска радиационных потерь персонала радиационно опасных объектов и населения необходимо проведение соответствующих расчетов с учетом характера радиационных поражений, а также их возможных ближайших и отдаленных последствий, возникающих при тех или

иных дозовых нагрузках. Методика этих расчетов составляет отдельную задачу, не рассматриваемую в данной работе.

Основным параметром, по которому оцениваются радиационная антропогенная нагрузка и влияние радиационных факторов на здоровье и жизнедеятельность людей, является, как отмечалось выше, индивидуальная или коллективная (для тех или иных групп населения) эквивалентная доза облучения. Этот параметр в интегральной форме характеризует меру воздействия радиоактивных излучений любых видов на человека, то есть падающую на него антропогенную нагрузку по радиационным факторам.

Радиационная нагрузка на человека и другие популяции экосистем в случае выброса радиоактивных веществ в атмосферу складывается из:

- доз внешнего гамма-облучения в облаке радиоактивных веществ;
- доз внешнего бета-облучения в облаке радиоактивных веществ;
- доз внутреннего бета-гамма-облучения за счет вдыхания воздуха, загрязненного радиоактивными веществами;
- доз внешнего бета-гамма-облучения от загрязненных радиоактивными веществами участков открытой кожи и одежды;
- доз внешнего бета-гамма-облучения от загрязненных радиоактивными веществами поверхностей земли, зданий, сооружений и т.п.;
- доз внутреннего бета-гамма-облучения за счет употребления загрязненных радиоактивными веществами воды и продуктов питания.

Как указывалось выше, в процессе развития аварии, связанной с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу, обычно различают четыре временные фазы: начальную, раннюю, промежуточную и позднюю (восстановительную).

На каждой из этих фаз при проведении расчетов антропогенных нагрузок имеются свои особенности, которые находят отражение в применяемых соотношениях, связывающих дозовые величины с уровнями полей и концентраций. Так, например, при оценке нагрузок на ранней фазе аварии используется такое понятие, как временной интеграл концентрации радионуклида в воздухе. Под ним понимается интеграл от функции, выражающей закономерности изменения концентрации радиоактивных веществ в рассматриваемой точке за тот или иной временной интервал (период облучения). Эта величина является мерой потенциально важных источников облучения от проходящего облака, а именно бета- и гамма-излучения, внутреннего облучения от вдыхания радиоактивных веществ и бета-облучения кожи веществом, осевшим на кожу и одежду.

Каждый из перечисленных путей облучения, кроме дозы от гамма-излучения из облака, может быть связан достаточно простой зависимостью с проинтегрированной по времени концентрацией радионуклида в воздухе.

Мощность же дозы гамма-излучения из облака, кроме временного интеграла концентрации, зависит от формы и высоты облака, интенсивности выброса радиоактивного вещества и других факторов.

Приведем расчетные соотношения для определения дозы облучения (D), полученные на основе анализа материалов МАГАТЭ.

**Для ранней фазы аварии:**

а) внешнее бета-облучение от облака выброса:

$$D = I_k P_\beta k, \quad (3.1)$$

где:  $I_k$  — интеграл концентрации радионуклида в воздухе, Бк·с·м<sup>-3</sup>;

$P_\beta$  — мощность дозы для кожи в расчете на единицу концентрации нуклида в воздухе, Зв·с<sup>-1</sup>/(Бк·м<sup>-3</sup>) (выбирается из таблицы);

$k$  — коэффициент экранирования, учитывающий эффективно защищенную часть кожи.

б) внутреннее бета-гамма-облучение от облака выброса:

$$D = I_k B D_{inh}, \quad (3.2)$$

где:  $B$  — интенсивность дыхания (м<sup>3</sup>/с);

$D_{inh}$  — ожидаемая эквивалентная доза на единицу поступления радионуклида в организм при вдыхании, Зв/Бк (выбирается из таблицы).

в) внешнее бета-облучение от радионуклидов, осевших на кожу или одежду:

$$D = I_k D_{sk} V_{sk} k, \quad (3.3)$$

где:  $D_{sk}$  — интегральная доза для кожи в расчете на единицу загрязнения на коже или одежде, Зв/(Бк·м<sup>-2</sup>) (выбирается из таблицы);

$V_{sk}$  — доля (коэффициент) радионуклидов, осаждающихся на кожу;

$k$  — коэффициент экранирования.

г) внешнее гамма-облучение от загрязненной земной поверхности:

$$D = S k \int_0^T P_\gamma(t) dt, \quad (3.4)$$

где:  $S$  — степень радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, Бк·м<sup>-2</sup>;

$\int_0^T P_\gamma(t) dt$  — временной интеграл от мощности эквивалентной дозы облучения для всего тела в расчете на единицу степени загрязненности при допущении о постоянном пребывании на открытом воздухе (выбирается из таблицы);

$T$  — время облучения.

Или:

$$D = P_\gamma \frac{1 - e^{-\lambda T}}{\lambda} k, \quad (3.5)$$

где:  $P_\gamma$  — мощность дозы внешнего гамма-облучения над землей;

$\lambda$  — константа радиоактивного распада радионуклида.

д) внутреннее бета-гамма-облучение за счет вдыхания поднявшейся радиоактивной пыли:

$$D = SBD_{inh} \int_0^T k(t) e^{-\lambda_R t} dt, \quad (3.6)$$

где:  $k(t)$  — коэффициент, показывающий долю радиоактивных продуктов, осевших на землю, которая вновь попадает в воздух и загрязняет его;

$\lambda_R$  — константа радиоактивного распада радионуклида.

**Для промежуточной фазы аварии:**

а) внешнее гамма-облучение:

$$D = Sk \int_0^{1 \text{ год}} P_\gamma(t) dt, \quad (3.7)$$

где:  $P_\gamma$  — мощность эквивалентной дозы для всего организма в расчете на единицу степени загрязнения поверхности земли (выбирается из таблицы).

Или:

$$D = P_\gamma \Theta k, \quad (3.8)$$

где:  $\Theta$  — интегральная мощность эквивалентной дозы на единицу мощности дозы в нулевой момент времени.

В свою очередь  $\Theta = \frac{\int_0^{1 \text{ год}} P_\gamma(t) dt}{P_\gamma(0)}$  (выбирается из таблицы).

б) внутреннее бета-гамма-облучение за счет вдыхания поднявшейся радиоактивной пыли:

$$D = SBD_{inh} \int_0^{1 \text{ год}} k(t) e^{-\lambda_R t} dt. \quad (3.9)$$

**При радиоактивном облучении за счет употребления загрязненных пищевых продуктов:**

а) радиоактивные вещества равномерно распределены в пищевом продукте:

$$D = CQ_G D_{inh} G_g, \quad (3.10)$$

где:  $C$  — концентрация радиоактивных веществ в пищевом продукте, Бк·кг<sup>-1</sup>;

$Q_G$  — годовое поступление в организм пищевого продукта, кг/год;

$D_{inh}$  — ожидаемая эффективная эквивалентная доза на единицу перорального поступления радионуклида, Зв·Бк<sup>-1</sup> (выбирается из таблиц);

$G_g$  — отношение интеграла концентрации радионуклида по временно-му интервалу в один год к концентрации в заданный момент времени ( $\text{Бк}\cdot\text{год}\cdot\text{кг}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ).

б) радиоактивным веществом загрязнено пастбище:

$$D = S'Q_{\Gamma}D_{inh}G_g, \quad (3.11)$$

где:  $G_g$  — интеграл концентрации радионуклида в пищевом продукте по интервалу 1 год на единицу начальной концентрации этого радионуклида на пастбище;

$S'$  — уровень загрязнения пастбища.

в) внутреннее бета-гамма-облучение за счет употребления питьевой воды:

$$D = CQ_{\Gamma}D_{inh} \frac{1 - e^{-\lambda_R T}}{\lambda_R}. \quad (3.12)$$

При экологическом нормировании радиационного воздействия используются понятия о дозовых пределах. Значения этих пределов для человека обосновываются на основе медико-биологических исследований. При этом учитываются не только соматические эффекты воздействия радиоактивных излучений на человеческий организм, но и отдаленные наследственные.

К сожалению, экологическое нормирование по радиационным факторам не получило пока должного развития для других популяций и абиотической составляющей экосистем.

Следует отметить, что обоснование допустимого антропогенного радиационного воздействия ведется дифференцированно для различных категорий людей, в зависимости от степени их участия в производственной деятельности, связанной с использованием ядерных и радиоактивных материалов. При этом считается, что некоторая часть населения, участвующая в указанной деятельности, может подвергаться повышенному облучению без риска воздействия этого облучения на наследственность популяции в целом.

Одной из важных особенностей радиационной опасности в широком смысле, и в частности, возникающей при техногенных авариях и катастрофах на радиационно опасных объектах, является ее долгосрочный характер. Это обусловлено тем, что радиоактивные вещества, загрязняющие окружающую среду, сохраняют свои свойства, независимо от того, какую химическую форму и агрегатное состояние они приобретают в процессе распространения и ассимиляции в среде. Единственным мерилom длительности их существования является период радиоактивного полураспада.

В качестве примера можно привести долгосрочный характер радиационных последствий после Чернобыльской катастрофы. Коллективная доза облучения населения радиоактивными веществами, находящимися во внешней среде, постоянно увеличивается. Это подтверждается данными, приведенными в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Увеличение коллективной дозы от внешнего облучения населения  
цезием-137 после катастрофы на ЧАЭС

Область	Значения $D_s$ до катастрофы на ЧАЭС, чел. Зв/год, 1985 г.	Значения $D_s$ после катастрофы на ЧАЭС, чел. Зв/год, 1992 г.	Увеличение дозы, число раз
Брянская	63,90	329,30	5,20
Тульская	57,50	211,20	3,70
Орловская	27,20	66,90	2,50
Белгородская	33,30	50,50	1,50
Калужская	44,0	60,50	1,40
Тамбовская	33,00	41,10	1,30
Воронежская	59,10	73,50	1,20
Курская	43,50	45,90	1,10
Липецкая	37,20	39,70	1,10
Пензенская	38,20	42,00	1,10
Рязанская	55,40	59,80	1,10
Мордовия	31,50	32,00	1,02

Вторая особенность, связанная с первой, состоит в том, что поражающие факторы радиационной природы могут рассматриваться одновременно как факторы техногенного риска и экологического или, как его еще называют, радиоэкологического риска. Например, радиоактивные излучения из газоаэрозольного радиоактивного облака, формирующегося во многих случаях при авариях на ядерных реакторах АЭС и других объектах, вызывают поражение человека, фауны и флоры, которое при определенных дозах может начать проявляться через сравнительно короткий промежуток времени. В этом случае принято говорить о радиационных последствиях непосредственного воздействия соответствующего поражающего фактора, сформировавшегося при аварии.

Радиационные последствия как при больших, так и малых дозах облучения имеют и долгосрочный характер. Диапазон признаков проявления этих последствий довольно широкий.

Важно заметить, что значительная часть долгосрочных последствий воздействия на объекты биосферы как излучений из радиоактивных облаков, так и распространяющихся при авариях радиоактивных веществ связана с экологическими изменениями, происходящими в природных и природно-антропогенных образованиях, биоценозах и экосистемах.



## 3.2. Факторы риска аварий и катастроф на химически опасных объектах

Химически опасными являются практически все объекты, на которых в той или иной мере применяются химические технологии. Это прежде всего химические, нефтехимические и подобные им заводы и предприятия, хранилища опасных химических веществ<sup>1</sup> и склады нефтепродуктов.

К объектам с химической технологией следует отнести и значительную часть объектов нехимических отраслей промышленности, где в технологических процессах применяются опасные вещества и имеют место химические превращения.

В силу того, что объекты с химической технологией являются потенциальными источниками опасных веществ и загрязнения окружающей среды, они могут быть названы объектами химического риска.

По меткому определению академика В.А. Легасова, при аварии любого промышленного объекта, процесс разрушительного высвобождения его собственного энергозапаса, при котором сырье, промежуточные продукты, продукция предприятия и отходы производства, вовлекаясь в аварийный процесс, создают поражающие факторы для населения и окружающей среды, уровень химического риска характеризуется довольно высокими значениями.

В дальнейшем в понятие объекта с химической технологией (объекта химического риска) будем включать объекты, которые производят, перерабатывают, используют, транспортируют, обрабатывают, хранят или удаляют опасные вещества.

Заметим, что под опасными веществами обычно понимаются индивидуальные вещества (соединения) природного или искусственного происхождения, способные в условиях производства, применения, транспортировки, переработки, а также в бытовых условиях оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающую природную среду. Эти вещества могут иметь не только химическую, но и биологическую природу.

Опасность объектов с химической технологией для человека и окружающей среды может проявляться при нормальном их функционировании. Это связано с технологическими выбросами, сбросами, а также утечками опасных веществ.

Вместе с тем, как и в случае с радиационными авариями и катастрофами, безусловно, наиболее масштабны и опасны техногенные загрязнения при авариях и катастрофах на объектах, использующих химические технологии, особенно на химически опасных объектах, где производятся, перерабатываются, используются, транспортируются, хранятся или удаляются аварийно химически опасные вещества, аварийные выбросы и сбросы (разливы) которых нередко приводят к катастрофическим последствиям.

<sup>1</sup> Согласно ГОСТам [26, 27] к опасным химическим веществам относятся отравляющие вещества (БОВ), аварийно химически опасные вещества (АХОВ), а также вещества, вызывающие преимущественно хронические заболевания.

Безопасность функционирования химически опасных объектов, как отмечалось выше, зависит от многих факторов: физико-химических свойств сырья, продуктов производства, характера технологического процесса, конструкции и надежности оборудования, условий хранения и транспортирования химических веществ, наличия и состояния контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, эффективности средств противоаварийной защиты и т.д. Кроме того, безопасность производства, использования, хранения и перевозок АХОВ в значительной степени зависит от уровня организации профилактической работы, своевременности и качества планово-предупредительных ремонтных работ, подготовленности и практических навыков персонала, наличия системы надзора за состоянием технических средств противоаварийной защиты.

Наличие большого количества факторов, от которых зависит безопасность функционирования химически опасных объектов, определяет сложность решения проблемы предупреждения химических аварий и катастроф.

И все же прежде всего безопасность функционирования химически опасных объектов зависит от токсичности используемых в производстве веществ.

В настоящее время принято в качестве количественной меры токсичности АХОВ использовать величины их концентраций и доз вещества. Причем наиболее часто пользуются такими характеристиками, как пороговая концентрация, предел переносимости, смертельная концентрация, значения токсических доз, соответствующих определенному эффекту поражения.

Под пороговой понимается минимальная концентрация, при которой возникает ощутимый физиологический эффект и наблюдаются первые признаки поражения. Предел переносимости — это концентрация, которую человек может выдержать определенное время, не получив устойчивого поражения. Аналогией для предела переносимости является предельно допустимая концентрация). Токсическая доза (токсодоза) выражается количеством вещества, вызывающим определенный токсический эффект.

При анализе и оценке химической обстановки, возникающей при распространении в окружающей среде АХОВ, принято величину токсодозы определять как произведение средней за время воздействия концентрации АХОВ в воздухе на время пребывания в зараженной атмосфере ( $Ct$ ) — в случае ингаляционных поражений, и как величину массы жидкого или твердого АХОВ, попавшей на кожные покровы человека — при кожно-резорбтивных поражениях.

В практике проведения расчетов по анализу, оценке и прогнозированию поражающего воздействия АХОВ используют следующую градацию токсодоз в зависимости от возникающих последствий:

— средняя смертельная токсодоза, вызывающая поражение со смертельным исходом у 50 % подвергшихся воздействию АХОВ (обозначается: в случае ингаляционного воздействия  $LCt_{50}$ , при кожно-резорбтивном воздействии —  $LDt_{50}$ );

— средняя выводящая из строя токсодоза, вызывающая поражение не ниже средней степени тяжести у 50 % подвергшихся воздействию АХОВ

людей (обозначается: в случае ингаляционного воздействия  $J\text{Ct}_{50}$ , при кожно-резорбтивном воздействии —  $J\text{Dt}_{50}$ );

— средняя пороговая токсодоза, вызывающая начальные симптомы у 50 % подвергшихся воздействию АХОВ людей (обозначается: в случае ингаляционного воздействия —  $\text{PCt}_{50}$ , при кожно-резорбтивном воздействии —  $\text{PDt}_{50}$ ).

Кроме токсодоз, для оценки поражающего действия АХОВ может использоваться такой критерий, как наибольшее значение концентрации в облаке токсического вещества, при которой нахождение в облаке не более 30 мин. не приводит к необратимым изменениям в организме человека. Этот критерий принято обозначать  $\text{JDLH}$ . Численные значения токсодоз некоторых АХОВ иллюстрируются данными табл. 3.2.

Таблица 3.2

Пороги поражения человека АХОВ

АХОВ	Порговые токсикодозы		
	$\text{LDt}_{50}$ , мг/кг	$\text{LCt}_{50}$ , (мг·мин)/м <sup>3</sup>	$\text{JDLH}$ , мг/м <sup>3</sup>
Аммиак	21	—	350
Фосген	0,3	3 200	8,36
Оксид углерода	94	3 817	1 650
Метилизоцианат	—	2 900	48,2
Цианистый водород	37	(проверено на крысах) 1 000	57,2

Необходимо иметь в виду, что значения токсодоз являются постоянными лишь для сравнительно кратковременных экспозиций, не превышающих 40—60 минут. При более продолжительных воздействиях или при малых концентрациях имеют большее значение величины пороговых токсодоз.

Следует отметить, что продолжительность поражающего действия АХОВ также определяется многими факторами. Она зависит от физико-химических свойств вещества, метеорологических условий, характера подстилающей поверхности и т.п.

Пространственно-временные параметры химической обстановки, складывающейся при авариях на объектах с АХОВ, оказывают влияние на функциональную структуру химического мониторинга и учитываются при его разработке.

Как отмечалось выше, к числу основных параметров, характеризующих факторы техногенного риска при авариях и катастрофах на химически опасных объектах, относятся: концентрации АХОВ в распространяющихся первичном и вторичном облаках при прохождении их через точку воздействия на человека и объекты окружающей среды; интеграл концентрации или дозовая нагрузка. Кроме того, принимаются во внимание пространственно-временные параметры: размеры и глубина распространения первичного и вторичного облаков АХОВ; время воздействия на рассматриваемый реципиент этих облаков.

Наиболее важным из числа этих параметров является дозовая нагрузка. По этому параметру обычно производится оценка риска поражения человека и объектов окружающей среды.

Указанные выше параметры, при некотором их уточнении, могут рассматриваться по отношению к экологическому риску в качестве факторов, обуславливающих изменения в окружающей среде экологического характера и экологический риск.

Уточнения сводятся к тому, что при оценке экологического ущерба необходимо учитывать наличие реципиентов вредного воздействия на определенной территории, а не в точке (ограниченном районе). В данном случае реципиенты, если так можно выразиться, имеют площадный характер. В связи с этим факторы экологического риска в более значительной мере связаны с пространственно-временными характеристиками химического заражения территорий.

С учетом сделанных замечаний, в числе факторов, влияющих на формирование экологических угроз и опасностей и их характер, т.е. факторов экологического риска, следует назвать: загрязнение территорий вредными химическими веществами, в том числе ксенобиотиками — веществами, не участвующими в циклах естественного круговорота и чуждыми биогеоценозам; пространственно-временные характеристики полей химического заражения, атмосферы, гидросферы и почвы; характер и кинетика процессов включения загрязняющих среду химических веществ в биомассу растений и живых организмов, а также происходящих при этом биохимических превращений; биологическое накопление загрязняющих веществ и формирование дозовых нагрузок.

Рассматриваемые факторы связаны между собой, особенно это касается второго и третьего факторов.

Основным и как бы замыкающим цепочку и результирующим фактором является биологическое накопление вредных химических веществ в живых организмах и формирование испытываемых ими дозовых нагрузок. Дозовые нагрузки в конечном счете определяют экологический ущерб, который выражается в степени деградации флоры и фауны и уменьшении видового разнообразия, дегармонизации естественных процессов, нарушении биотической саморегуляции и экологических равновесий, биогеохимических циклов, ухудшении здоровья людей по экологическим показателям, снижении их жизнедеятельности, а также снижении адаптационных возможностей природных, природно-антропогенных образований и экосистем по отношению к негативным воздействиям.

Каждый из упомянутых видов экологического ущерба характеризуется определенными показателями. Например, уменьшение биоразнообразия имеет такие показатели, как удельную значимость того или иного вида в сообществе, структуру сообщества живых организмов.

Необходимо отметить, что роль и значение первого из рассматриваемых факторов экологического риска не сводится только к формированию дозовых нагрузок на живые организмы, химическое заражение территорий, особенно веществами, не участвующими в биогеохимических циклах, чуждыми биогео-

ценозам и не адаптируемыми ими, ведет к изменению состава компонентов окружающей среды и влияет на условия существования живых организмов и процессы биотической регуляции.

### **3.3. Единый методический подход к оценке риска при авариях и катастрофах на радиационно и химически опасных объектах**

Риск поражения при авариях и катастрофах в соответствии с рассмотренными ранее общими подходами к его количественной интерпретации обычно рассматривается как вероятность нанесения определенного ущерба человеку и окружающей среде или математическое ожидание ущерба. При этом величина указанной вероятности выражается в виде произведения трех компонент.

Данный параграф как раз и посвящен рассмотрению единого методического подхода к определению третьей компоненты в общем выражении риска (формула 2.1), т.е.  $R_3$ , выражающей вероятность того, что действие техногенных и опасных экологических факторов радиационной и химической природы приводит к определенному ущербу. Следует заметить, что в оценке величины именно этой компоненты зачастую возникают самые большие трудности.

Анализ поражающих факторов, возникающих при авариях и катастрофах на радиационно и химически опасных объектах, показывает, что негативное воздействие на человека при этих авариях и катастрофах обусловлено главным образом радиационными и токсическими эффектами.

Конкретные параметры, характеризующие указанные воздействия, а также возникающие при них физиологические эффекты и патологические проявления поражения людей, имеют вероятностный характер. Поэтому и степень поражения человека или число пораженных людей той или иной рассматриваемой группы является случайной функцией, зависящей от случайных параметров. Сказанное относится и к другим объектам живой природы и окружающей среды.

В общем случае, включающем рассматриваемые виды воздействия поражающих факторов на человека при авариях на радиационно и химически опасных объектах, риск поражения людей той или иной степени, а также и объектов окружающей среды может быть выражен одной и той же функцией. Это важное суждение вытекает из анализа и рассмотрения под определенным углом зрения материалов, изложенных в Руководстве [136], а также в монографии и методическом пособии по моделированию опасных процессов в техносфере, разработанных П.Г. Беловым [90, 91].

Функция для оценки риска может быть представлена в виде определенного интеграла, известного под названием функции Гаусса (функции ошибок):

$$R_{nop} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (3.13)$$

где:  $R_{nop}$  — риск поражения.

Верхний предел интегрирования отражает связь между количественной мерой вредного воздействия, например, поглощенной дозой радиоактивного излучения, дозой вредного химического вещества, оказавшим воздействие на человека, и вероятностью поражения объекта.

Эта связь выражается в виде так называемой пробит-функции [16]:

$$Pr = a + b \ln D, \quad (3.14)$$

где:  $a$  и  $b$  — константы, характеризующие специфику и меру опасности воздействия того или иного поражающего фактора, вредного вещества или процесса;

$D$  — количественная мера негативного воздействия, воспринятая субъектом (количество или доза негативного воздействия).

Наряду с формулой (3.14) для определения риска поражения может использоваться и другое соотношение, а именно:

$$R_{nop} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (3.15)$$

Отмечается [136], что такого рода формула применяется рядом западных исследователей для вероятной оценки поражений.

Обычно по формулам вида (3.13) и (3.15) составляются таблицы вероятностей поражения при определенных значениях пробит-функции, позволяющие с применением метода интерполяции достаточно точно находить искомую величину. Приведенная ниже табл. 3.3 является тому примером. Ее содержание заимствовано из источника [136].

В настоящее время определение вероятности поражения людей с использованием пробит-функции наиболее полно изучено применительно к токсическому ингаляционному воздействию опасных химических веществ.

В этом случае достаточно просто определяется доза вредного воздействия, которая имеет характер токсической нагрузки на организм.

Расчет этой нагрузки ведется исходя из концентрации токсиканта во вдыхаемом воздухе, объема легочной вентиляции, природы токсиканта и механизма его воздействия на организм. Обычно влияние указанных факторов отражается через коэффициент, вводимый в расчетную формулу как показатель степени величины концентрации.

В общем случае, когда концентрация опасного химического вещества ( $C$ ) за время воздействия ( $T$ ) не остается постоянной, а изменяется по определенному закону, токсическая нагрузка ( $D$ ) выражается соотношением:

$$D = \int_0^T C(t) dt. \quad (3.16)$$

Таблица 3.3

Риск поражения при негативных воздействиях  
в зависимости от значения пробит-функции

$R_{пор}, \%$	Значения функции $Pr - 5$				
	0	2	4	6	8
0	—	2,95	3,25	3,45	3,59
10	3,72	3,82	3,92	4,01	4,08
20	4,16	4,23	4,29	4,36	4,42
30	4,48	4,53	4,59	4,64	4,69
40	4,75	4,80	4,85	4,90	4,95
50	5,00	5,05	5,10	5,15	5,20
60	5,25	5,31	5,36	5,41	5,47
70	5,52	5,58	5,64	5,71	5,77
80	5,84	5,92	5,99	6,08	6,18
90	6,28	6,41	6,55	6,75	7,05
99	7,33	7,41	7,46	7,65	7,88

При условии, что произошел разовый аварийный выброс опасного химического вещества, сформировалось определенное поле концентрации, а затем происходит снижение концентрации за счет вентилирования помещения или самораспада вещества, очистки воздуха, формуле (3.16) может быть придан более конкретный вид:

$$D = C_0 \int_0^T e^{-(\lambda_v + \lambda_o + \lambda_{cp})t} dt, \quad (3.17)$$

где:  $\lambda_v, \lambda_o, \lambda_{cp}$  — константы вентилирования, очистки и самораспада вещества соответственно.

В простейшем случае, когда величину концентрации можно принять постоянной:

$$Pr = a + b \ln(C^n T) \quad (3.18)$$

Для определения  $a, b$  и  $n$  для каждого опасного химического вещества требуется проведение специальных медико-биологических исследований. В работе [136] приведены значения этих величин для целого ряда веществ по данным Центра изучения безопасности химических процессов Американского института инженеров-химиков.

В табл. 3.4 приведены константы для вычисления пробит-функции для некоторых веществ.

Таблица 3.4

Константы для вычисления пробит-функции  
летального поражения персонала опасных объектов

Опасное химическое вещество	Значения констант		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>n</i>
Хлор	-8,29	0,92	2
Аммиак	-35,90	1,85	2
Угарный газ	-37,98	3,7	1
Толуол	-6,794	0,408	2,5
Метилизоцианат	-5,642	1,637	0,653
Бензол	-109,78	5,3	2
Четыреххлористый углерод	-6,29	0,408	2,5

При определении пробит-функции для населения необходимо учитывать его возрастные категории, состояние здоровья отдельных групп и другие факторы.

В работе [136], по данным зарубежной печати, приводятся пробит-функции для случая воздействия паров хлора на различные группы населения. Формулы этих функций имеют вид:

а) для взрослых и подростков

$$Pr = -8,29 + 0,92 \ln(C^2 T); \quad (3.19)$$

б) для детей и стариков

$$Pr = -6,61 + 0,92 \ln(C^2 T). \quad (3.20)$$

Существуют и другие конкретные формулы для определения пробит-функции для оценки степени поражения хлором, а также сероводородом и двуокисью серы. Получены выражения пробит-функций для других видов воздействий при авариях [136].

К сожалению, в доступной авторам литературе не содержится информации о пробит-функциях для оценки вероятности радиационных поражений. Это снижает возможности заблаговременного прогнозирования радиационного ущерба до того, как произойдет авария. Вместе с тем необходимо отметить, что разработано немало формул, позволяющих оценить частоту раковых заболеваний или их форм, характерных для тех или иных органов, при различных дозах облучения. Эти формулы имеют вид линейно-квадратичных или других более сложных зависимостей.

Таким образом, на основе рассмотренного методического подхода представляется возможным проводить оценку риска различных негативных воздействий.

В заключение следует отметить, что при прогнозировании возможной аварийной обстановки может возникнуть необходимость оценки вероятности по-



ражения людей и объектов окружающей среды с учетом совместного воздействия нескольких поражающих факторов.

В случае когда эти виды воздействия могут считаться независимыми и накопление ущерба не принимается во внимание, риск поражения от совместного воздействия нескольких факторов, например, факторов радиационной и химической природы, может быть определен по формуле:

$$R_{nop} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_{nop}^i), \quad (3.21)$$

где:  $R_{nop}^i$  — вероятность поражения от воздействия  $i$ -го фактора;  
 $n$  — число принимаемых во внимание факторов.

Рассмотренный методический подход может быть применен при оценке риска не только любых видов поражений, но и любой их степени.

При решении практических задач с использованием результатов оценки радиационного и химического рисков возникает необходимость в построении и картировании вероятностных полей опасности и риска.

При этом должны приниматься во внимание все без исключения факторы техногенного воздействия. Однако в практике чаще обращаются к построению полей радиационной и химической опасности и риска для наиболее характерных сценариев развития техногенных аварий и катастроф.

Определенные соображения по поводу построения такого рода полей приведены, например, в Отраслевом руководстве РАО «Газпром» [136], в методике, использовавшейся при оценке воздействия на окружающую среду в процессе проектирования гатчинского исследовательского реактора «Пик».

Смысл построения и картирования вероятностных полей потенциальной опасности техногенных аварий и катастроф состоит в определении расчетным путем вероятности появления того или иного вида ущерба, обусловленного распространением при аварии радиоактивных, опасных химических веществ или иных субстанций, для всех точек на рассматриваемой территории.

За начало координат могут последовательно выбираться анализируемые источники опасности. Анализ показывает, что удобнее всего пользоваться полярной системой координат  $(r, \Theta)$ , где  $r$  — радиус-вектор,  $\Theta$  — полярный угол.

При проведении расчетов необходимо опираться на определенные заранее, с учетом законов турбулентной диффузии в атмосфере, зоны ущерба для различных ее состояний устойчивости и скорости ветра, исходить из вероятностной природы параметров ветра и обусловленной этим вероятностной картины формирования зон загрязнения территории.

Основная формула для расчетов вероятности нанесения ущерба рассматриваемого вида при техногенном воздействии одного источника (при аварии определенного вида на одном объекте) имеет вид:

$$R_{r, \Theta} = R \sum_{m=1}^M \left\{ \sum_{n=1}^N P_{mn} \left[ \sum_{q=1}^Q P_q(u) \frac{F_{mn}(r, \Theta)}{III_m(r)} \right] \frac{M}{2\pi} \right\} \quad (3.22)$$

где: $R$	— вероятность того, что рассматриваемая техногенная авария или катастрофа произойдет;
$M, m$	— количество секторов (румбов), на которое разбита плоскость, и номер этого сектора (румба) соответственно;
$N, n$	— количество интервалов величины скорости ветра, на которое разбивается шкала скорости, и номер этого интервала соответственно;
$P_{mn}$	— вероятность реализации (частота, повторяемость) величины скорости ветра в интервале $n$ в секторе $m$ ;
$P_q(u)$	— вероятность реализации того или иного класса устойчивости атмосферы по Паскуиллу;
$Q, q$	— количество классов устойчивости атмосферы и номер этого класса соответственно. (Заметим, что номер класса присваивается по порядку следования букв А, В, С..., как их расположил Паскуилл);
$F_{mn}(r, \Theta)$	— ширина зоны ущерба в точке $(r, \Theta)$ , рассчитанная для интервала скоростей ветра $n$ и сектора $m$ ;
$Ш_m(r)$	— ширина сектора $m$ на расстоянии $r$ от центра аварийного объекта.

При проведении расчетов суммирование проводится вначале по классам устойчивости атмосферы при заданной скорости ветра, затем по градациям скорости ветра и в конце по секторам.

По изложенной методологии могут быть проведены расчеты для всех возможных сценариев развития аварий на опасных в радиационном, химическом и других отношениях объектах, которые находятся как на рассматриваемой территории, так и за ее пределами.

Некоторые трудности здесь могут быть с определением размеров и конфигураций зон различных видов ущерба: гибели и ухудшения здоровья людей, разрушений и крупных повреждений, материальных потерь, ухудшения до той или иной степени экологической обстановки и т.д.

Поля потенциальных ущербов различного вида для данной территории с учетом всех возможных источников опасности характеризуют интегральные вероятности тех или иных негативных воздействий. Они наносятся на карту территории, которая используется в практической деятельности.

Заметим, что суммирование одинаковых по физическому смыслу зон ущерба вполне оправдано в силу их независимости. По причине независимости полей ущерба для каждого объекта можно получить оценку влияния аварий на одном объекте — на другие. Это особенно важно для сценариев со взрывами и пожарами, поскольку для этих случаев весьма вероятно развитие аварии по принципу «домино», то есть каскадное развитие аварий.

Применительно к оценке риска, когда в качестве ущерба рассматривается гибель людей, величину риска, которому подвергается человек в конкретной точке, принято называть индивидуальным риском.

Величина индивидуального риска не зависит от распределения населения на рассматриваемой территории. Она отражает лишь уровень потенциальной опасности.

Для того чтобы определить абсолютный риск для населения, проживающего на данной территории, и провести дифференцированную оценку опасности, необходимо знать пространственно-временное распределение людей.

В этом случае возможно также оценить величину коллективного техногенного риска для всего населения территории или отдельных его групп.

Нами высказаны лишь соображения методологического характера. Безусловно, они нуждаются в развитии с учетом конкретных сфер применения. Дело в том, что подходы к построению полей потенциальной опасности и риска не всегда будут одинаковыми. Например, при оценке возможности и целесообразности развития той или иной хозяйственной деятельности будет один подход, при решении задачи в интересах обоснований по строительству опасного объекта — другой.

### **3.4. Методология обоснования приемлемых уровней риска**

При проведении расчетов и обоснований, связанных с анализом, оценкой риска и выработкой мер по обеспечению безопасности, необходимо опираться на научно обоснованные, приемлемые уровни радиационного и химического рисков.

Для практической реализации принятого в России принципа оценки безопасности необходимы анализ и научное обоснование целесообразных, приемлемых для общества, с учетом социально-экономических, психологических и других факторов, уровней риска.

В программе проведения такого рода анализа и обоснований предусматривается выполнение соответствующих специальных исследований, а также гуманитарная экспертиза социальной приемлемости техногенных опасностей всех видов, в особенности опасностей радиационной, а также и химической природы.

Из всех видов риска, возникающих при техногенных нагрузках на окружающую среду, обычно главное внимание сосредоточивается на риске для здоровья и жизнедеятельности людей. При этом рассматриваются индивидуальный, коллективный и социальный риски.

Как уже отмечалось, риски воздействия и нанесения ущерба, связанные с функционированием объектов, опасных в радиационном отношении, принято называть радиационными.

Индивидуальный радиационный риск, как правило, выражается вероятностью радиационных поражений людей, которые влекут за собой ухудшение здоровья, в том числе онкологические заболевания. При этом имеются в виду заболевания со смертельным исходом, то есть гибель людей. Чаще всего определяется вероятность смертельного поражения (гибели) одного человека

за определенный срок, например, за год. В табл. 3.5 [6] приведены данные по индивидуальному радиационному риску.

Таблица 3.5

Риск смертельных радиационных воздействий искусственной среды обитания (на человека в год)

Виды воздействия	Риск смерти	Примечание
Глобальное выпадение радиоактивных веществ	$(2-5) \cdot 10^{-7}$	При годовой популяционной дозе $(1-2) \cdot 10^4$ чел. Зв
Выбросы и отходы АЭС	$5 \cdot 10^{-8} - 3 \cdot 10^{-7}$	При дозе $(1-5) \cdot 10^{-2}$ мЗв в год на границе зоны АЭС
Медицинские процедуры с применением излучений	$5 \cdot 10^{-6}$	При годовой популяционной дозе $1,5 \cdot 10^5$ чел. Зв
Все виды воздействия искусственных источников ионизирующего излучения	$(3-6) \cdot 10^{-6}$	Исключая профессиональное облучение
Прочие воздействия ионизирующего излучения на население	$(1-2) \cdot 10^{-7}$	Радиоактивные вещества в товарах широкого потребления, облучение при полетах на самолетах

Понятие коллективного (группового) риска введено для оценки риска определенных категорий населения, персонала радиационно опасных объектов, а также в целом населения отдельного региона, страны и даже всей Земли. Величина коллективного риска представляет собой вероятность радиационных поражений определенного количества людей. При определении этой величины учитывается, что различные категории людей обладают неодинаковой восприимчивостью к воздействию радиационных факторов. В этом смысле рассматриваемый вид риска имеет социальную окраску. В табл. 3.6 иллюстрируются данные по уровням коллективного риска, обусловленным искусственными источниками облучения, заимствованные в работе С.Г. Чухина [131].

Таблица 3.6

Уровни коллективного радиационного риска (число случаев переоблучения в год)

Источник радиационного риска	Население бывшего СССР	Население Земли
Ядерная энергетика	7	50
Испытания ядерного оружия (выпадение радиоактивных веществ)	48	820
Медицинское облучение	6 600	33 000—82 000

Социальный радиационный риск, так же как и коллективный, оценивается количеством людей, которые могут оказаться подвержены радиационному ущербу. Однако сходство этих понятий в определенной мере является форма-

льным. По сути, социальный риск имеет существенные особенности. Главная особенность вытекает из того, что приемлемые уровни этого вида риска определяются с учетом отношения общества к радиационной опасности, обусловленной наличием в районе радиационно опасного объекта.

Количественно он выражается вероятностью того, что при радиационной аварии или другом событии число людей, подвергшихся радиационному ущербу (ухудшению здоровья, смертельным поражениям и т.п.), будет не менее определенной величины. Численное значение социального риска относится к единичному событию (катастрофе, аварии, происшествию) или к совокупности такого рода событий, развивающихся по различным сценариям. Во втором случае в число учитываемых при оценке социального риска событий включаются лишь те, при которых радиационный ущерб будет не ниже определенного значения.

Взгляды на расчет уровней социального риска, нашедшие отражение в работах отечественных и зарубежных авторов [67, 89, 131], страдают неоднозначностью. Основываясь на анализе этих взглядов, представляется возможным высказать следующие соображения по содержанию и порядку расчетов.

При оценке социального риска для единичного события прежде всего необходимо провести расчет усредненного количества людей ( $N$ ), подвергающихся рассматриваемому виду радиационного ущерба в случае возникновения радиационной аварии, катастрофы или происшествия, по формуле:

$$N = R_2(\tau)R_3(\tau)\sum_{i=1}^k P_{0i}(\tau)n_i(\tau), \quad (3.23)$$

где:  $R_2(\tau)$  — вероятность формирования дозовых нагрузок определенного уровня;

$R_3(\tau)$  — вероятность того, что дозовые нагрузки вызовут рассматриваемый радиационный ущерб;

$P_{0i}(\tau)$  — вероятность того, что в том месте, где проявляется радиационное воздействие, окажется  $i$ -ая группа людей с одинаковыми условиями облучения;

$n_i(\tau)$  — количество людей в группе;

$\tau$  — расчетный момент времени;

$k$  — количество расчетных групп.

Суммирование производится по всем группам людей, характеризующимся в среднем одинаковыми условиями облучения. В расчет принимаются средние для каждой группы дозовые нагрузки.

Далее логико-вероятностным или иным методом находится вероятность возникновения радиационно опасного события. Полученная величина интерпретируется как вероятность того, что определенное количество людей, не меньшее чем  $N$ , может быть подвержено радиационному ущербу:

$$R(n > N) = R_1, \quad (3.24)$$

где:  $R(n > N)$  — значение социального риска при рассматриваемом радиационно опасном событии (катастрофе, аварии, происшествии);

$R_1$  — вероятность (частота) возникновения радиационно опасного события.

В том случае, когда при определении уровня социального риска целесообразно учесть ряд событий, развивающихся по различным сценариям и влекущих за собой радиационный ущерб, следует провести расчеты по приведенной схеме для каждого события. Затем, проанализировав полученные результаты, необходимо обосновать социально значимый радиационный ущерб, который выражается числом  $N$ . Далее следует провести ранжировку всех радиационно опасных событий, выделить те из них, для которых  $n > N$ , просуммировать для этих событий вероятности возникновения и таким образом найти:

$$R(n > N) = \sum_{i=1}^m R_{1i}, \quad (3.25)$$

где:  $m$  — число учитываемых при расчете социального риска событий.

Расчеты уровня социального риска могут быть проведены и иным путем, если ввести в рассмотрение некую случайную величину  $n'$ , включающую в себя все параметры стохастической природы, от которых зависит количество людей, подвергающихся радиационному ущербу, в том числе изменчивость направления и скорости ветра и других метеофакторов. При этом условия несколько иное содержание и значение приобретут величины  $R_2$  и  $R_3$ . С учетом указанных замечаний:

$$R(n > N) = n(\tau) R_1 R_2(\tau) R_3(\tau) \int_N^{\infty} f(n') dn', \quad (3.26)$$

где:  $f(n')$  — функция распределения случайной величины  $n'$ .

Как уже отмечалось ранее, количественная мера риска может быть выражена через математическое ожидание ущерба. Пользуясь такого рода подходом, В.К. Сухоручкин и А.Н. Гавришин [142] величину социального риска предлагают определять по формуле, которая в общем виде выражается:

$$R_{mo} = R_1^n Y^m, \quad (3.27)$$

где:  $R_1$  и  $Y$  — в прежних обозначениях;

$n$  и  $m$  — показатели, отражающие отношение общества к различным величинам вероятностей и ущербов.

В том случае, когда при оценке риска принимаются во внимание все возможные сценарии развития аварий, формула приобретает вид:

$$R_{mo} = \sum_{i=1}^k R_{1i}^n Y_i^m. \quad (3.28)$$

Практически любое воздействие ионизирующих излучений связано с некоторой степенью риска. Поэтому основным принципом, которым руководствуется Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) при выработке рекомендаций по обеспечению радиационной безопасности, состоит в том, чтобы доза облучения находилась на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических и социальных факторов. В соответствии с этим принципом оценка радиационного риска производится через дозу облучения, являющуюся основным параметром, отражающим вредное воздействие всех факторов радиационной природы. При этом анализируются индивидуальные эффективные дозы облучения, отражающие суммарный эффект облучения организма, и коллективные эффективные эквивалентные дозы, получаемые группами людей и определяемые путем суммирования индивидуальных доз (коллективные дозы измеряются в чел-Зв.). Коллективную эффективную эквивалентную дозу, которую получает поколение людей от какого-либо радиоактивного источника за все время его дальнейшего существования, называют ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозой.

При обосновании уровня приемлемого радиационного риска исходят из общепринятых принципов МКРЗ, которые являются основой для принятия решений по радиационной защите. Главный смысл этих принципов состоит в целесообразности обеспечения максимально возможной безопасности, в стремлении к тому, чтобы дозы облучения были настолько низкими, насколько этого можно достичь техническими и организационными мерами с учетом экономических и социальных факторов в ограничении эквивалентной дозы облучения рекомендуемыми пределами.

Пределами являются уровни доз облучения и соответствующие им уровни рисков, которые не должны превышать ни при каких обстоятельствах.

Возможность реализации требований радиационной защиты по пределам доз и рисков не вызывает особых опасений и гарантируется, когда население и персонал радиационно опасных объектов подвергаются контролируемому облучению. Заметим, что под контролируемым облучением в данном случае, в соответствии с терминологией, используемой в документах МКРЗ, понимается облучение, имеющее место при нормальных эксплуатационных режимах функционирования радиационно опасных объектов, когда уровни радиационных полей и концентраций радиоактивных веществ регламентированы и постоянно контролируются системой радиационного мониторинга. В отличие от контролируемого, под неконтролируемым облучением имеется в виду облучение в аварийных условиях, когда уровни полей и концентраций выходят из-под контроля, что влечет за собой возможность существенного изменения радиационной обстановки.

В аварийных случаях на уровни доз облучения и радиационного риска значительное влияние оказывает стохастический характер многих факторов развития аварии, а также параметров метеобстановки, определяющих закономерности распространения радиоактивных веществ в окружающей среде. Фактические величины уровней риска могут быть оценены только с определенными, иногда достаточно большими, ошибками. В связи с этим при анали-

зе и оценке риска представляется целесообразным наряду с пределом риска пользоваться еще одной величиной риска, при совпадении с которой расчетное значение риска для аварийных условий с определенной гарантированной вероятностью не превышало бы предела риска. Эту величину назовем условным пределом риска.

При известном законе распределения плотности вероятности случайной величины риска в зависимости от изменения факторов аварии, условный предел риска может быть легко найден. Однако указанный закон распределения неизвестен. Во всяком случае, данные по этому поводу в доступных нам публикациях отсутствуют. В связи с этим в большинстве государств, занимающихся использованием ядерной энергии наряду с пределом риска устанавливается некая величина уровня риска, называемая целью риска. Смысл этой величины практически совпадает с введенным выше понятием — условным пределом риска. Определение же величины цели риска предусматривается главным образом на основе опытных данных и интуиции методом экспертных оценок.

Как уже отмечалось, уровень предельного риска не должен превышать ни при каких обстоятельствах. Превышение же цели риска допускается. При этом риск, превышающий цель риска, считается приемлемым, если он мал настолько, насколько это достижимо.

Расчет и установление пределов и целей риска обычно проводится для определенных категорий персонала радиационно опасных объектов и населения. В соответствии с рекомендациями МКРЗ, при анализе и оценке радиационной опасности вводится понятие о «критической группе» облучения. В качестве «критической группы» облучения рассматриваются лица из населения, находящегося у границ площадки объекта. По принятой у нас терминологии, это ограниченная часть населения, принадлежащая к категории Б облучаемых лиц, которые находятся на внутренней границе наблюдаемой зоны. Выбор этой части населения в качестве критической группы облучения обусловлен тем, что она (после персонала объекта) испытывает наибольшую радиационную нагрузку как при контролируемом, так и неконтролируемом облучении.

В табл. 3.7 приведены значения предела и цели индивидуального риска ранних и отдаленных смертей, принятые МКРЗ и органами надзора за безопасностью ряда стран.

Данные, приведенные в табл. 3.7, свидетельствуют о неоднозначности взглядов специалистов различных стран на уровни предела и цели риска. Тем не менее на основе этих данных сформулированы [131] рекомендации по уровням индивидуального риска смерти, связанного с функционированием АЭС. В частности, уровень предела риска считается целесообразным принимать равным  $10^{-5}$  на человека в год. Значительное превышение этого предела недопустимо. Отмечается, что из-за присущих показателю риска неопределенностей использование указанного предела имеет некоторые ограничения. Уровень цели риска рекомендуется принимать равным  $10^{-6}$  на человека в год. Смертельные риски, которые имеют значения ниже этого уровня, считаются несущественными.



Таблица 3.7

Критерии для оценки индивидуального риска смерти от аварий  
на границе площадки АЭС, 1/чел. год

Источник	Ранние смерти		Отдаленные смерти	
	предел	цель	предел	цель
МКРЗ	$10^{-5}$		$10^{-5}$	
Аргентина (критерий для ядерного регулирования)	$10^{-6}$		$10^{-6}$	
Австралия (правила для новых промышленных установок):				
— Управление планирования Нового Южного Уэльса		$10^{-6}$		
— Управление по защите окружающей среды Западной Австралии	$10^{-5}$	$10^{-6}$		
Нидерланды	$10^{-6}$	$10^{-8}$		
Великобритания:				
— Управление по надзору за ядерными установками	$10^{-4}$	$10^{-6}$		$10^{-6}$
— Исследовательская группа Королевского общества	$10^{-4}$	$10^{-6}$		
США (Комиссия по ядерному регулированию)		$5 \cdot 10^{-7}$		$5 \cdot 10^{-5}$

Как известно, аварии, происходящие на радиационно опасных объектах, различаются по своему характеру и степени возникающей радиационной опасности. В связи с этим полный уровень риска при такого рода авариях целесообразно расчленять на отдельные риски, обусловленные различными путями развития аварии, характеризующимися определенными вероятностями реализации. Полный (общий) уровень риска при таком условии может быть вычислен как сумма произведений вероятностей реализации принимаемых во внимание путей развития аварий на соответствующие вероятности нанесения радиационного ущерба со смертельным исходом.

Понятие риска от аварии определенного типа (пути развития аварии) оказывается не только полезным, но и необходимым при оценке безопасности тех или иных технических систем радиационно опасных объектов.

Изложенные выше соображения принимаются во внимание при установлении критериальных уровней риска. При этом считается весьма полезным учитывать возможные типы аварий (пути развития аварии) и выражать количественной мерой их вклад в уровень предела и цели риска. При отсутствии необходимой информации для проведения расчетов предел и цель для определен-

ного пути развития аварии могут быть приняты равными 10 % от их полного значения [131]. В соответствии с этим уровень цели риска в расчете на отдельный путь развития аварии рекомендуется принимать равным  $10^{-7}$  на человека в год.

Обоснования уровней риска могут проводиться и в соответствии с методологией, основывающейся на концепции «польза—вред» («оправданность деятельности»), которая рекомендована Международной комиссией по радиологической защите и нашла отражение в наших национальных нормах радиационной безопасности.

Суть этого подхода состоит в следующем.

В формализованном виде записываются решения по основным принципам ограничения облучения персонала радиационно опасных объектов и населения (оправданность деятельности; оптимизация защиты; непревышение дозовых пределов):

$$W = V - (G + B) > 0, \quad (3.29)$$

$$D < D_{дон}, \quad (3.30)$$

$$W \rightarrow \max, \quad (G + B) \rightarrow \min, \quad (3.31)$$

где:  $W$  — чистая польза (доход), приносимая функционированием радиационно опасного объекта;  
 $V$  — общая польза, приносимая объектом;  
 $D, D_{дон}$  — доза облучения и дозовый предел соответственно;  
 $G, B$  — в прежних обозначениях и стоимостном выражении.

Условие социально-экономической оправданности той или иной технологии и приемлемости радиационного риска вытекает из соотношения (3.31), когда  $W = 0$ , и записывается в виде:

$$B < V - C. \quad (3.32)$$

Любой выбранный уровень безопасности характеризуется соответствующим уровнем радиационного воздействия, в качестве которого в проводимом анализе целесообразно принять коллективную дозу облучения ( $C_k$ ):

$$C_k = \int_0^{\infty} DN(D)dD. \quad (3.33)$$

Чем больше  $C_k$ , тем меньше степень защищенности. С увеличением  $C_k$  затраты на соответствующее предотвращение ущерба (снижение уровня риска) или, иначе говоря, достижение уровня защиты  $G$  уменьшаются. При уменьшении  $C_k$ , то есть при повышении требований к обеспечению радиационной безопасности, затраты возрастают.

Далее проводится дифференциальный анализ «польза—вред», целью которого является определение условий, когда чистая польза имеет максимальное значение. Для проведения этого анализа дифференцируется по переменной  $\sigma$

равенство, вытекающее из соотношения (3.29). При дифференцировании этого соотношения получаем:

$$\frac{dW}{d\sigma} = \frac{dV}{d\sigma} - \left( \frac{dG}{d\sigma} + \frac{dB}{d\sigma} \right). \quad (3.34)$$

Максимальная польза, то есть  $W = \max$ , соответствует равенству нулю производной  $\frac{dW}{d\sigma}$ . Таким образом, условие максимальной полезности запишется в виде:

$$\frac{dV}{d\sigma} - \left( \frac{dG}{d\sigma} + \frac{dB}{d\sigma} \right) = 0. \quad (3.35)$$

Поскольку для определенного вида и режима функционирования любого объекта, в том числе радиационно опасного, общая польза может считаться величиной постоянной, не зависящей от  $\sigma$ , то последнее условие приобретает вид:

$$\left( \frac{dG}{d\sigma} \right)_{\sigma^*} = - \left( \frac{dB}{d\sigma} \right)_{\sigma^*}. \quad (3.36)$$

А это означает, что оптимальный вариант с точки зрения «затрат—пользы» соответствует тому случаю, когда увеличение стоимости за счет затрат, обеспечивающих снижение коллективной эквивалентной дозы облучения на одну единицу ее стоимости, уравнивается снижением стоимости вреда (наносимого ущерба, риска) на ту же величину.

Существенный недостаток рассмотренного подхода к обоснованию приемлемого уровня индивидуального радиационного риска — в том, что здесь упор делается на экономические соображения и не учитывается в явном виде социальный и психологический факторы.

При анализе результатов обоснований уровня приемлемого риска закономерно возникает вопрос о выработке стратегии перехода от существующего состояния к более совершенному, характеризующемуся приемлемым риском. Этот переход является, по существу, одним из элементов управления риском. Однако его уместно рассмотреть в данном параграфе.

Выбор стратегии перехода, как это следует из рассмотренных выше подходов к обоснованию риска, должен осуществляться с учетом возможностей внедрения перспективных технологических процессов и других методов снижения риска, а также экономических критериев.

Опираясь на методологические принципы регулирования качества природной среды, которых придерживается Ю.А. Израэль [45], для выбора стратегии перехода можно ввести понятие экономического оптимума при переходе к приемлемому радиационному риску, вкладывая в него смысл состояния перехода, при котором достигается минимум экономических затрат на предотвращение риска, а также компенсацию последствий выбросов радиоактивных

веществ (экономического ущерба, то есть радиационного риска в стоимостном выражении).

Этот оптимум имеет место в том случае, когда прирост издержек предотвращения риска при переходе системы в новое состояние (к приемлемому риску) становится равным снижению радиационного риска, то есть когда имеет место равенство (по модулю):

$$\frac{dG(t)}{dt} = \frac{dB(t)}{dt}. \quad (3.37)$$

В том случае, когда представляется возможным учесть изменение «значимости» затрат и радиационного ущерба, исходя из растущих возможностей общества, основываясь на введенном понятии экономического оптимума, можно найти функцию  $G^*(t)$ , при которой достигается минимальная сумма затрат и ущерба, и момент начала этих минимальных затрат  $t_1^*$ .

Это можно сделать исходя из условия:

$$\int_{t_1^*}^T G^*(t)C(t)dt + \int_{t_0}^T B(t)g(t)dt = \min \left\{ \int_{t_1}^{\infty} G(t)C(t)dt + \int_{t_0}^T B(t)g(t)dt \right\}, \quad (3.38)$$

где:  $C(t)$ ,  $g(t)$  — монотонно убывающие функции, которые характеризуют изменение «значимости» затрат и ущерба во времени;

$t_0$ ,  $t_1$  — моменты начала воздействия радиационных факторов и начала вложения затрат на предотвращение риска;

$T$  — момент достижения уровня приемлемого риска.

Предполагается, что вид функции  $B(t)$  определен, а минимум суммарных экономических затрат на предотвращение риска и его компенсацию в расчете на переходный процесс обоснован.

Приемлемый уровень социального риска определяется с учетом отношения общества к радиационной опасности в данном районе. При этом принимается во внимание степень психологического благополучия индивидуума в соответствии с его пониманием риска и меры воздействия радиационных факторов на людей. При определении приемлемого уровня социального радиационного риска учитывается, что облучение, связанное с функционированием объектов ядерного топливного цикла, соединяет в глазах общественности все негативное, что связано вообще с каким бы то ни было риском. Следует заметить, что по результатам исследований, приведенных в работе Э.Дж. Хенли и Х. Кумамото [153], частота благоприятного отношения общественности к ядерной энергии выражается законом распределения, близким к нормальному. При этом математическое ожидание частоты сдвинуто от нулевой отметки в сторону положительных значений.

Широко известно, что общественность по-разному реагирует на риск. Приемлемый уровень смертельного риска при добровольном участии людей в том или ином опасном мероприятии на три порядка выше, чем при вынужденном. Точно так же хорошо известно, что общество считает одиночные, но с тяже-

лыми последствиями события менее приемлемыми, чем большое количество малых происшествий при той же степени риска.

Для определения уровня приемлемого социального риска обычно проводится графоаналитический расчет с использованием критериальных кривых риска, построенных на основе интерпретации для этого случая метода Фармера [153].

Построение критериальных кривых не составляет особого труда при наличии информации о частоте возникновения возможных радиационных аварий различного типа, характеризующихся соответствующим количеством и характером выброса радиоактивных веществ, а также радиационным ущербом, выраженным числом смертельных поражений людей. По этим данным находятся графические зависимости  $f(>N)$  от  $N$ , где  $N$  — число смертей, а  $f(>N)$  — частота событий при числе смертей больше  $N$ , для установленных уровней предела и цели риска с учетом соображений социального характера (рис. 3.1).

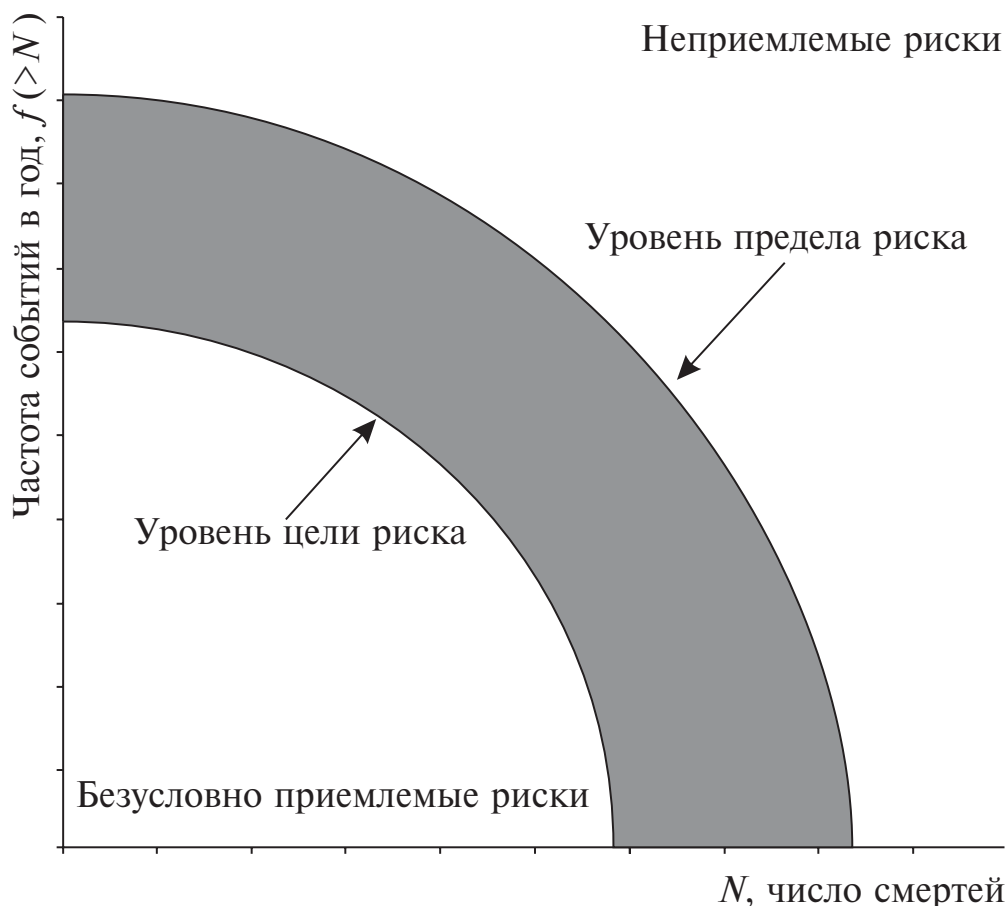


Рис. 3.1. Критерии социального риска

Кривые уровней предела и цели риска на рис. 3.1 называют кумулятивными функциями распределения. Они могут иметь различный характер. В частности, это могут быть прямые линии.

Наклон прямой линии (прямого участка функции распределения), характеризующийся тангенсом угла наклона, равным  $-1$ , свидетельствует о постоянной величине уровня риска. Такое положение имеет место в области небольших аварий (левая часть графиков на рис. 3.1).

Для крупных аварий, которым соответствует большое количество смертельных радиационных поражений, наклон линии больше. Это является отражением высокой значимости риска в восприятии населением. Для предельных последствий, связанных с полным выбросом радиоактивности и наиболее неблагоприятными условиями в течение всего выброса, линия приближается к вертикальному положению. Это связано с крайне малой вероятностью возникновения такого события.

Выбор уровней приемлемого социального риска производится внутри заштрихованной области или области, расположенной ниже ее. Так же, как и при выборе уровня индивидуального риска, риски, находящиеся ниже целевой линии, рассматриваются как незначительные и безусловно приемлемые.

При проведении графо-аналитического расчета, наряду с предельной и целевой линиями риска, может наноситься на график и использоваться для анализа линия условного уровня предела риска. Эта линия отстоит от предельной линии на расстоянии, соответствующем определенному количеству средних вероятных отклонений величины риска от его математического ожидания, при котором с заданной гарантированной вероятностью уровень условного риска не превысит уровень предельного риска. Следует, однако, еще раз заметить, что определение условного уровня предела риска связано с большими трудностями. Практическое применение находит главным образом анализ риска с помощью целевой линии риска.

Для проведения обоснований приемлемого радиационного риска весьма полезными могут оказаться данные по уровням риска, полученные различными авторами расчетным путем и на основе экспертных оценок.

Заслуживают внимания расчетные уровни индивидуального радиационного риска, соответствующие установленным нормами радиационной безопасности пределам доз облучения (табл. 3.8).

Приведенные в табл. 3.8 величины являются условными вероятностями ухудшения здоровья людей при детерминированных значениях доз. Иными словами, это значения биологического риска (третьей составляющей риска).

Представляют практический интерес уровни радиационного риска, обусловленного естественным фоном и некоторыми искусственными источниками облучения (табл. 3.9).

При оценке потенциальной опасности и риска атомных электростанций и других объектов с реакторными установками большая роль отводится определению вероятности большого выброса радиоактивных веществ. Указанная вероятность принимается в качестве критерия риска АЭС.

Правда, в настоящее время нет еще однозначного толкования понятия большого выброса. За меру большого выброса принимают и общую активность в выбросе, и долю вышедшей активности от полного количества радиоактивных веществ в активной зоне, и другие характеристики. К большим выбросам относят выбросы, приводящие хотя бы к одной ранней смерти за пределами площадки АЭС, выбросы, вызывающие необходимость эвакуации населения.

Таблица 3.8

Уровни индивидуального радиационного риска, соответствующие установленным пределам доз

Категория лиц, подвергающихся облучению	Уровень дозы	Риск соматико-стохастических последствий в год	Риск генетических последствий в год	Общий риск в год
Лица из персонала, группа А	Предел дозы 0,05 Зв в год	$6,25 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$8,25 \cdot 10^{-4}$
	Средняя доза при установленном пределе 0,005 Зв в год	$6,25 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$8,25 \cdot 10^{-5}$
Лица из персонала, группа Б	Предел дозы 0,005 Зв в год	$6,25 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$8,25 \cdot 10^{-4}$
	Средняя доза при установленном пределе 0,005 Зв в год	$6,25 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$8,25 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3.9

Средний индивидуальный риск облучения населения Земли и бывшего СССР

Источник облучения	Население Земли	Население бывшего СССР
Естественный фон	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Техногенный естественный фон, в том числе:		
— радон и торон в помещениях	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
— удобрения в с/х	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
— пользование автотранспортом	—	$3,3 \cdot 10^{-8}$
— употребление радиолуминесцентных товаров	$1,6 \cdot 10^{-8}$	—
Искусственные источники облучения, в том числе:	$6,6 \cdot 10^{-6} - 1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
— медицинское облучение	$6,6 \cdot 10^{-6} - 1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
— радиоактивные выпадения от испытаний ядерного оружия	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
— ядерная энергетика	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$

В США, где, как и во многих других странах, нет установившейся однозначной характеристики большого выброса, тем не менее принято значение предельной вероятности большого выброса, которую нельзя превышать. Эта вероятность равна  $10^{-6}$  на один реактор в год.

Во Франции для АЭС установлена величина вероятности неприемлемых последствий, равная  $10^{-6}$ . Под неприемлемыми последствиями в данном случае понимается выброс радиоактивных веществ, связанный с разрушением защитной оболочки реактора в результате падения самолета или с длительным обезвоживанием активной зоны реактора из-за полного обесточивания и т. п.

В нашей стране к большому выбросу принято относить такой выброс, который приводит к необходимости эвакуации населения за пределы так называемой планируемой зоны. Под планируемой понимается зона в радиусе не менее 25 км, на границе которой эквивалентные дозы облучения в течение года не должны превышать 0,1 Зв на все тело и 0,3 Зв при тех же условиях на щитовидную железу ребенка, в расчете на ингаляционное поступление в организм радиоактивного йода.

Предельное значение вероятности большого (предельного) выброса у нас установлено равным  $10^{-7}$  на реактор в год [40]. При этом рекомендуется, чтобы оценочное значение вероятности тяжелого повреждения или расплавления активной зоны реактора при запроектных авариях не превышало  $10^{-5}$  на реактор в год.

Картина с уровнями риска была бы неполной, если не привести так называемые естественные границы риска.

По данным Ю.А. Израэля [45], естественными границами риска для человека является диапазон между  $10^{-2}$ , что соответствует вероятности заболеваемости на душу населения, и  $10^{-6}$ , что соответствует нижнему уровню риска природной катастрофы или другой серьезной опасности.

Нижний уровень риска согласуется с приведенными ранее уровнями радиационного риска.

В настоящее время еще нет жестких требований по установлению уровней риска. Можно лишь сослаться на нормативный документ временного характера, разработанный Методологической группой при Главгосэкоэкспертизе под руководством профессора Е.Е. Ковалева. В соответствии с Временными требованиями и критериями оценки регионального экологического риска, являющимися содержанием этого документа, при нормальной эксплуатации и авариях промышленных объектов приняты следующие нормативные значения уровня риска в расчете на человека в год:

- персонал предприятий —  $10^{-5}$ ;
- люди, находящиеся в буферной (санитарно-защитной) зоне —  $10^{-6}$ ;
- население региона —  $10^{-6}$ .

Уровень риска экологических последствий для населения за пределами региона, включая трансграничные и глобальные эффекты, установлен равным  $10^{-8}$ .

При оценке риска определенные трудности возникают при наличии в регионе большого числа источников опасности. В частном случае, когда этими ис-



точниками являются радиационно опасные объекты, задача несколько упрощается ввиду того, что механизм воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду может считаться одинаковым, независимо от вида и физико-химического состояния радионуклидов. Хотя и здесь можно увидеть некоторые особенности, связанные с характером облучения, видом излучения и т. п. Тем не менее для группы разнородных радиационно опасных объектов представляется возможным произвести оценку кумулятивного радиационного риска, полагая, что радиационные факторы обладают свойством аддитивности.

В ряде случаев при оценке риска, обусловленного совместным действием различных по своей природе или характеру воздействия факторов, требуется тщательный анализ вклада каждого из этих факторов в конечный эффект.



## **Раздел II**

---

# **ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ**

---



## **Глава 4**

# **Требования к радиационно и химически опасным объектам, предъявляемые при их создании и эксплуатации**

### **4.1. Инженерно-конструкторские и медико-санитарные требования при создании радиационно опасных объектов**

Радиационная безопасность при использовании различных источников ионизирующих излучений, в том числе ядерных энергетических установок, достигается прежде всего проведением инженерно-конструкторских мероприятий, которые включают в себя разумное размещение источников и их конструктивное оформление, предусматривающее герметизацию источников с целью предотвращения распространения радиоактивных веществ и создание экранирующей защиты от проникающих излучений.

Решение этой проблемы начинается с проектирования радиационно опасных объектов.

Проектная документация на радиационно опасные объекты должна содержать обоснование мер безопасности при конструировании, строительстве, реконструкции, выводе из эксплуатации объекта, а также в случае его аварии. Утверждение этой документации допускается при наличии санитарно-эпидемиологического заключения органов санитарно-эпидемиологического надзора.

В проектной документации радиационно опасного объекта для каждого помещения (участка, территории) должно быть указано [86]:

— при работе с открытыми источниками излучения: радионуклид, соединение, агрегатное состояние, активность на рабочем месте, годовое потребление, вид и характер планируемых работ, класс работ;

— при работе с закрытыми источниками излучения: радионуклид, его вид, активность, допустимое количество источников на рабочем месте и их суммарная активность, характер планируемых работ;

— при работе с устройствами, генерирующими ионизирующее излучение: тип устройства, вид, энергия и интенсивность генерируемого излучения и (или) анодное напряжение, сила тока, мощность и т.п., максимально допустимое число одновременно работающих устройств, размещенных в одном помещении (на участке, территории);

— при работах с ядерными реакторами, генераторами радионуклидов, радиоактивными отходами и с другими источниками излучения со сложной радиационной характеристикой: вид источника излучения и его радиационные характеристики (радионуклидный состав, активность, энергия и интенсивность излучения и т.п.).

Для всех работ указываются их характер и ограничительные условия.

При этом проектирование защиты от внешнего облучения персонала и населения проводится с коэффициентом запаса по годовой эффективной дозе равным 2, с учетом наличия других источников ионизирующих излучений и возможности в перспективе увеличения их мощности. Оно выполняется также с учетом назначения помещений и в зависимости от категории облучаемых лиц и длительности облучения. При расчете защиты с коэффициентом запаса равным 2 проектная мощность эквивалентной дозы излучения  $H$  на поверхности защиты определяется по формуле:

$$H = 500 D / t, \text{ мкЗв/ч,} \quad (4.1)$$

где:  $D$  — предел дозы для персонала или населения, мЗв в год;

$t$  — продолжительность облучения, часов в год.

Значения проектной мощности эквивалентной дозы для стандартной продолжительности пребывания в помещениях и на территориях персонала и населения с коэффициентом запаса 2 приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Мощность эквивалентной дозы, используемая при проектировании защиты от внешнего ионизирующего излучения

Категория облучаемых лиц		Назначение помещений и территорий	Продолжительность облучения, ч/год	Проектная мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч
Персонал	группа А	Помещения постоянного пребывания персонала	1 700	6,0
		Помещения временного пребывания персонала	850	12
	группа Б	Помещения организации и территория санитарно-защитной зоны, где находится персонал группы Б	2 000	1,2
Население		Любые другие помещения и территории	8 800	0,06

**Примечания.** 1. В таблице приводятся значения мощности дозы от техногенных источников излучения, имеющих в организации.

2. Переход от измеряемых значений эквивалентной дозы к эффективной зоне осуществляется по специальным методическим рекомендациям.

При проектировании радиационно опасных объектов учитываются объемы и активность предполагаемых выбросов и сбросов радионуклидов.

Расчет допустимых выбросов и сбросов проводится, исходя из требования, чтобы эффективная доза для населения за 70 лет жизни, обусловленная годовым выбросом и сбросом, не превышала установленного значения квоты<sup>1</sup> предела дозы.

Следует подчеркнуть, что при установлении для атомных электростанций годовых допустимых выбросов радиоактивных газов и аэрозолей в атмосферу учитывается тот факт, что основной вклад (свыше 98 %) в дозу облучения населения в режиме нормальной эксплуатации станции вносят инертные радиоактивные газы — ИРГ (аргон, криптон, ксенон) и радионуклиды йод-131, кобальт-60, цезий-134, цезий-137 (натрий-24 — для реакторов типа БН-600). Нормирование и контроль активности других радионуклидов, обнаруживаемых в выбросах АЭС, не учитывается ввиду их пренебрежимого вклада в дозу облучения.

Значения годовых допустимых выбросов радионуклидов для АЭС с реакторными установками различных типов с учетом их особенностей в части соотношения активностей нуклидов в выбросе и условий выброса приведены в табл. 4.2 [135].

Таблица 4.2

Годовые допустимые выбросы радиоактивных газов и аэрозолей атомными электростанциями в атмосферу

Радионуклид	АЭС с РБМК	АЭС с ВВЭР и БН	АЭС с ЭГП-6
ИРГ, ТБк	3 700	690	2 000
Йод-131 (газовая+ аэрозольная формы), ГБк	93	18	18
Кобальт-60, ГБк	2,5	7,4	7,4
Цезий-134, ГБк	1,4	0,9	0,9
Цезий-137, ГБк	4,0	2,0	2,0

**Примечание.** 1 ТБк =  $10^{12}$  Бк = 27 Ки, 1 ГБк =  $10^9$  Бк = 27 мКи.

При проектировании радиационно опасных объектов и выборе технологических схем работ должны обеспечиваться:

- минимальное облучение персонала;
- максимальная автоматизация и механизация операций;
- автоматизированный и визуальный контроль за ходом технологического процесса;
- применение наименее токсичных и вредных веществ;
- минимальные уровни шума, вибрации и других вредных факторов;

<sup>1</sup> **Квота** — это часть предела дозы, установленная для ограничения облучения населения от конкретного техногенного источника излучения, и пути облучения (внешнее, поступление с водой, пищей и воздухом).

- минимальные выбросы и сбросы радиоактивных веществ;
- минимальное количество радиоактивных отходов с простыми, надежными способами их временного хранения и переработки;
- звуковая и/или световая сигнализация о нарушениях технологического процесса;
- блокировки.

Причем технологическое оборудование для работ с радиоактивными веществами должно удовлетворять следующим требованиям:

- конструкция должна быть надежной и удобной в эксплуатации, обладать необходимой герметичностью, обеспечивать возможность применения дистанционных методов управления и контроля за ходом работы оборудования;
- изготавливаться из прочных коррозионно- и радиационно стойких материалов, легко поддающихся дезактивации;
- наружные и внутренние поверхности оборудования должны быть доступными для проведения дезактивации.

Важное значение в интересах обеспечения радиационной безопасности радиационно опасных объектов имеет их размещение.

При выборе места строительства радиационно опасного объекта должны учитываться категория объекта, его потенциальная радиационная, химическая и пожарная опасность для населения и окружающей среды, в том числе:

- влияние на радиационно опасный объект природных явлений, процессов и внешних событий, включая антропогенного происхождения;
- характеристики окружающей среды района размещения, которые могут оказать влияние на перенос и накопление радиоактивных веществ;
- медико-демографические показатели и характеристики района размещения, важные для обеспечения мер по защите населения.

Известно, что радиационно опасные объекты в зависимости от потенциальной радиационной опасности делятся на 4 категории [86]:

I категория — радиационно опасные объекты, при аварии на которых возможно их радиационное воздействие на население и могут потребоваться меры по его защите;

II категория — радиационно опасные объекты, радиационное воздействие которых при аварии ограничивается территорией санитарно-защитной зоны;

III категория — радиационно опасные объекты, радиационное воздействие при аварии которых ограничивается территорией объекта;

IV категория — радиационно опасные объекты, радиационное воздействие от которых при аварии ограничивается помещениями, где проводятся работы с источниками излучения.

Так вот при выборе места размещения радиационно опасных объектов I и II категорий должны быть оценены метеорологические, гидрологические, геологические и сейсмические факторы при нормальной эксплуатации и при возможных авариях.

При выборе площадки для строительства этих радиационно опасных объектов отдается предпочтение следующим участкам:

- расположенным на малонаселенных незатопленных территориях;



- имеющим устойчивый ветровой режим;
- ограничивающим возможность распространения радиоактивных веществ за пределы промышленной площадки объекта благодаря своим топографическим и гидрогеологическим условиям.

При этом радиационно опасные объекты I и II категорий должны располагаться с учетом розы ветров преимущественно с подветренной стороны по отношению к жилой территории, лечебно-профилактическим и детским учреждениям, а также к местам отдыха и спортивным сооружениям.

Генеральный план радиационно опасного объекта должен разрабатываться с учетом развития производства, прогноза радиационной обстановки на объекте и вокруг него и возможности возникновения радиационных аварий, а само размещение радиационно опасного объекта должно быть согласовано с органами санитарно-эпидемиологического надзора с учетом перспектив развития как самого объекта, так и района его размещения.

Не должно допускаться размещение радиационно опасного объекта или его подразделений, осуществляющих работы с источниками ионизирующих излучений, в жилом здании или детском учреждении, кроме рентгеновских установок, применяемых в стоматологической практике, решение о возможности размещения которых в жилых зданиях принимается при наличии санитарно-эпидемиологического заключения органов санитарно-эпидемиологического надзора.

Большое внимание при проектировании радиационно опасных объектов уделяется санитарно-техническим системам обеспечения работ, особенно для работ с открытыми источниками ионизирующих излучений.

При работе с открытыми источниками ионизирующих излучений вентиляционные и воздухоочистные устройства должны обеспечивать защиту от радиоактивного загрязнения воздуха рабочих помещений и атмосферного воздуха. Рабочие помещения, вытяжные шкафы, боксы, каньоны и другое технологическое оборудование устраиваются так, чтобы поток воздуха был направлен из менее загрязненных пространств к более загрязненным.

Удаляемый из укрытий, боксов, камер, шкафов и другого оборудования загрязненный воздух перед выбросом в атмосферу должен подвергаться очистке. Не разрешается разбавление этого воздуха до его очистки.

В организациях, где проводятся работы I-го, а при необходимости и II-го классов предусматриваются вытяжные трубы, высота которых должна обеспечивать снижение объемной активности радиоактивных веществ в атмосферном воздухе в месте приземления факела до значений, обеспечивающих не превышение установленной квоты предела дозы для населения.

Класс работ с открытыми источниками излучения представлен в табл. 4.3 [86].

Проектирование вентиляции и кондиционирования воздуха в производственных зданиях и сооружениях радиационно опасных объектов, а также выбросов вентиляционного воздуха в атмосферу и очистки его перед выбросом производится в соответствии с требованиями ОСПОРБ-99 и строительных норм и правил. Для объектов, у которых выбросы радиоактивных веществ

Таблица 4.3

Класс работ с открытыми источниками излучения

Класс работ	Суммарная активность на рабочем месте, приведенная к группе А*, Бк
I	более $10^8$
II	от $10^5$ до $10^8$
III	от $10^3$ до $10^5$

\* Группа А — радионуклиды с минимально значимой активностью  $10^3$  Бк.

в атмосферу могут создавать дозу у критической группы населения более 10 мкЗв/год, предельно допустимые выбросы утверждаются при наличии санитарно-эпидемиологического заключения органов санитарно-эпидемиологического надзора.

К основным требованиям, предъявленным при выборе и устройстве систем и установок пылегазоочистки при работах с радиоактивными веществами I и II классов, относятся:

- минимальное число единиц пылегазоочистного оборудования;
- механизация и автоматизация процессов обслуживания, ремонта и замены пылегазоочистного оборудования, а в необходимых случаях — дистанционное производство этих работ;
- наличие систем контроля и сигнализации за эффективностью работы очистных аппаратов и фильтров, а в случае многоступенчатой системы пылегазоочистки должны осуществляться автоматизированный контроль и сигнализация как за работой всей системы, так и отдельных ее частей (ступеней);
- надежная изоляция пылегазоочистного оборудования как источника излучения, обеспечение безопасности персонала при его осмотре и обслуживании.

Система специальной канализации на рассматриваемых объектах должна предусматривать дезактивацию сточных вод.

В проекте любого радиационно опасного объекта должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по обеспечению радиационной безопасности населения при проведении ремонтных работ, в том числе:

- наличие комплекта специальной оснастки и приспособлений для комплексной механизации работ;
- свободный доступ к оборудованию, возможность его демонтажа и транспортирования с использованием защитных кабин и экранов для снижения мощности дозы;
- возможность поузлового и поагрегатного ремонта оборудования, требующего значительных дозо- и трудозатрат персонала;
- дистанционное извлечение и перемещение внутриреакторных устройств, других источников ионизирующих излучений;
- размещение выгружаемых из активной зоны реактора предметов в специальных боксах, шахтах, бассейнах;

— использование защитных кабин и переносных защитных экранов для осмотра и ремонта корпусов реакторов, технологического оборудования радиохимических производств и др.;

— наличие, при необходимости, специальных цехов и участков для дезактивации оборудования;

— наличие максимально возможного количества стационарных площадок обслуживания и переходных лестниц;

— наличие легкосъёмных элементов теплоизоляции.

В проектах радиационно опасных объектов в обязательном порядке должны быть отражены вопросы защиты персонала и населения при радиационных авариях. Так, например, в соответствии с СП АС-03 в проекте атомных электростанций должны быть предусмотрены меры по управлению запроектными авариями, в том числе:

— мероприятия, позволяющие предотвратить повреждение активной зоны реактора;

— мероприятия, направленные на локализацию и ограничение радиационных последствий повреждения активной зоны реактора.

Кроме того, для локализации и ограничения радиационных последствий аварий проектом должно быть обеспечено:

— сохранность и герметичность защитной оболочки реактора;

— очистка воздушной среды защитной оболочки реактора;

— защита рабочих мест оперативного персонала;

— возможность длительного пребывания персонала в помещениях щитов управления;

— возможность использования защитных сооружений гражданской обороны, производственных, общественных и жилых зданий и сооружений для первоначального укрытия персонала атомной электростанции, а также населения города энергетиков.

В проекте радиационно опасного объекта должны быть предусмотрены также противоаварийные мероприятия на случай стихийных бедствий, внешних воздействий и пожаров.

Определенные меры радиационной безопасности предусматриваются на случай продления срока эксплуатации радиационно опасного объекта и особенно при выводе объекта из эксплуатации.

Решение о продлении срока эксплуатации или выводе радиационно опасного объекта из эксплуатации, а также выбор его варианта принимаются после комплексного обследования радиационного и технического состояния технологических систем и оборудования, строительных конструкций и прилегающей территории.

На радиационно опасных объектах I категории не позднее чем за 5 лет до назначенного срока окончания эксплуатации должен быть разработан детальный проект вывода из эксплуатации всего объекта или отдельной его части, согласованный с органами государственного надзора за радиационной безопасностью. Для объектов II категории проект вывода из эксплуатации должен

быть разработан не позднее, чем за 3 года до окончания срока эксплуатации, а для объектов III категории — за 1 год.

В проекте вывода радиационно опасного объекта из эксплуатации должны быть предусмотрены мероприятия по обеспечению безопасности на различных этапах вывода его из эксплуатации: остановке, консервации, демонтаже, перепрофилировании, ликвидации или захоронении, а также при проведении ремонтных работ.

Проект вывода из эксплуатации радиационно опасного объекта должен содержать:

- подготовку необходимого оборудования для проведения демонтажных работ;
- методы и средства дезактивации демонтируемого оборудования;
- порядок утилизации радиоактивных отходов.

При выводе объекта из эксплуатации осуществляется оценка ожидаемых индивидуальных и коллективных доз облучения персонала и населения.

Радиационно опасный объект (источник ионизирующего излучения) до начала его эксплуатации должен быть принят комиссией в составе представителей заинтересованной организации, органов государственного надзора за радиационной безопасностью, а для объектов I и II категорий — также и органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации. Комиссия должна установить соответствие принимаемого объекта проекту, требованиям действующих норм и правил, необходимым условиям сохранности источников излучения, на основе чего принимается решение о возможности эксплуатации объекта.

Функционирование радиационно опасного объекта начинается после получения лицензии, выдаваемой в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Важное значение в вопросах обеспечения радиационной безопасности при использовании различных источников ионизирующих излучений имеют мероприятия медико-санитарного и радиоэкологического характера, которые предусматриваются или имеются в виду уже при проектировании и строительстве радиационно опасных объектов.

Медицинское обеспечение радиационной безопасности персонала и населения, подвергающихся облучению, на стадии проектирования объекта предусматривает необходимость медицинских обследований (медосмотров), профилактики заболеваний, а в случае необходимости лечение и реабилитацию лиц, у которых выявлены отклонения в состоянии здоровья.

За проведением работ с источниками ионизирующих излучений планируется строгий санитарно-эпидемиологический контроль. Получение, хранение источников излучения и проведение с ними работ должно разрешаться только при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы с источниками физических факторов воздействия на человека санитарным правилам, которое выдает орган санитарно-эпидемиологического надзора по запросу организации. Основанием для выдачи санитарно-эпидемиологического заключения является акт приемки в эксплуатацию постро-

енного (реконструированного) объекта или акт санитарного обследования действующего объекта.

Санитарно-эпидемиологическое заключение о соответствии условий работы с источниками физических факторов воздействия на человека санитарным правилам действительно на срок не более пяти лет. По истечении срока действия санитарно-эпидемиологического заключения орган санитарно-эпидемиологического надзора по запросу администрации организации решает вопрос о продлении срока его действия.

Порядок проведения санитарно-эпидемиологических экспертиз (обследований) устанавливается федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным осуществлять санитарно-эпидемиологический надзор. На основании результатов санитарно-эпидемиологических экспертиз выдаются санитарно-эпидемиологические заключения.

Работа с источниками излучения разрешается только в помещениях, указанных в санитарно-эпидемиологическом заключении. Проведение работ, не связанных с применением источников излучения, в этих помещениях должно допускаться только в случае, если они вызваны производственной необходимостью.

Следует подчеркнуть, что транспортные средства, специально предназначенные для перевозки радиоактивных веществ и ядерных материалов, также должны иметь санитарно-эпидемиологическое заключение. Причем уровни радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств не должны превышать значений, приведенных в табл. 4.4. [84].

Таблица 4.4

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств, част/(кв.см. х мин)

Объект загрязнения	Вид загрязнения			
	Снимаемое (нефиксированное)		Неснимаемое (фиксированное)	
	Альфа-активные радионуклиды	Бета-активные радионуклиды	Альфа-активные радионуклиды	Бета-активные радионуклиды
Наружная поверхность охранной тары контейнера	Не допускается	Не допускается	Не регламентируется	200
Наружная поверхность вагона-контейнера	Не допускается	Не допускается	Не регламентируется	200
Внутренняя поверхность охранной тары контейнера	1,0	100	Не регламентируется	2 000
Наружная поверхность транспортного контейнера	1,0	100	Не регламентируется	2 000

При нарушении требований ОСПОРБ-99 органы санитарно-эпидемиологического надзора могут в установленном законодательством порядке полностью или частично приостановить в организации работу с источниками излучения, имеют право отозвать санитарно-эпидемиологическое заключение до истечения срока его действия, а в случае крайне необходимости поставить перед органом, выдавшим лицензию на проведение работ с источниками ионизирующих излучений, вопрос о приостановке ее действия или отзыве.

## **4.2. Инженерно-конструкторские и медико-санитарные требования при создании химически опасных объектов**

Как и в случае радиационно опасных объектов, состояние защищенности человека и окружающей среды от техногенного воздействия химически опасных объектов обеспечивается путем осуществления определенного комплекса инженерно-конструкторских и медико-санитарных мероприятий.

Эти мероприятия, учитывающие требования по безопасности, осуществляются прежде всего при проектировании и строительстве химически опасных объектов. Следует отметить, что понятие «безопасность» в контексте рассматриваемых вопросов охватывает охрану здоровья, защиту окружающей среды, включая защиту собственности, предотвращение аварий, локализацию и ликвидацию их последствий. При этом за основу принимается посылка, что все химически опасные объекты должны отвечать одним и тем же общим требованиям по безопасности — на них должен обеспечиваться одинаковый уровень безопасности, независимо от характера объекта, его принадлежности (государственной или частной), месторасположения и т.п. Полагается также, что уровень опасности не должен выходить за пределы приемлемого риска.

Уже при разработке проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию химически опасного объекта в соответствующих разделах проектной документации на всех этапах проектирования должны учитываться требования и предусматриваться мероприятия по обеспечению безопасности, предупреждению аварий, локализации и ликвидации их последствий с необходимыми обоснованиями и расчетами. Причем в проектной документации должны предусматриваться мероприятия по предупреждению аварий, локализации и ликвидации их последствий как на самом проектируемом объекте, так и в результате аварий на других объектах в районе размещения проектируемого объекта [32].

При разработке данных мероприятий должны учитываться источники опасности, факторы риска, условия возникновения аварий и их сценарии, численность и размещение производственного персонала.

В проектной документации должны предусматриваться обоснованные и достаточные решения по обеспечению безопасности, учитывающие особо

сложные геологические и гидрогеологические условия строительства, сейсмичность, оползневые и другие явления.

Для всех проектируемых химически опасных объектов разрабатываются планы действий по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий и планы локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС). Последние являются приложениями к первым.

Для химически опасного объекта, для которого установлена обязательность разработки декларации промышленной безопасности, в составе проектной документации разрабатывается декларация промышленной безопасности.

Проектная документация и изменения, вносимые в нее, подлежат экспертизе промышленной безопасности в соответствии с правилами проведения экспертизы промышленной безопасности, установленными Ростехнадзором. Заключение экспертизы промышленной безопасности, представленное в Ростехнадзор, рассматривается и утверждается в установленном порядке. На основании утвержденного заключения экспертизы промышленной безопасности проектной документации принимается решение о начале строительства, расширения, реконструкции, технического перевооружения, консервации и ликвидации химически опасного объекта.

В процессе строительства не должны допускаться отклонения от проектной документации, должен обеспечиваться контроль качества строительных и монтажных работ, а также контроль состояния технической базы и технических средств строительства и монтажа.

По окончании строительства производится приемка химически опасного объекта в эксплуатацию. В ходе приемки объекта в эксплуатацию должно контролироваться: соответствие выполненных работ проектным решениям по обеспечению безопасности; проведение испытаний технических средств и оборудования, обеспечивающих предупреждение аварий и локализацию их последствий; соответствие испытаний утвержденной программе; готовность персонала и аварийно-спасательных служб к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий.

Необходимо подчеркнуть, что все проектируемые и строящиеся промышленные здания и сооружения химически опасных объектов крайне разнообразны по своей конструкции и защищенности от возможного проникновения в них паров АХОВ в случае аварии с их проливом или выбросом в окружающую атмосферу. Это обусловлено главным образом особенностями технического оборудования.

Условно эти объекты можно разделить на три группы.

К первой группе относятся предприятия с преобладанием химических технологических процессов.

Вторая группа — это предприятия с преобладанием механических технологических процессов.

К третьей группе можно отнести предприятия, на которых осуществляется как добыча, так и химическая переработка сырья.

Наиболее сложным и крупногабаритным является оборудование первой группы предприятий. Характерным для этой группы предприятий является

наличие высоких реакционных и ректификационных колонных аппаратов высотой 50 м и более, многоэтажных этажерок с размещенным на них различным теплообменным и емкостным оборудованием.

Производственные корпуса крупнотоннажных агрегатов и других производств выполняются в основном из сборного железобетона, усиленного каркасами из железобетонных, металлических колонн и балок. Междуэтажные перекрытия выполняются из железобетонных плит, монолитного железобетона, кровля — из облегченных бетонных плит с огнестойким рулонным покрытием.

Типичным для этой группы предприятий являются многоэтажные здания высотой 5—6 этажей. Значительная часть зданий и сооружений, как правило, имеет крупногабаритные оконные и дверные проемы.

Все это обеспечивает слабую защищенность от проникновения внутрь помещений воздуха, загрязненного АХОВ.

Для проектируемых и строящихся промышленных зданий и сооружений второй группы химически опасных объектов наиболее характерными являются одно- и двухэтажные здания. На первых этажах сооружений и зданий обычно размещается различное тяжелое оборудование (дробильные, литьевые и прессовые машины), на вторых этажах — легкое вспомогательное оборудование. В отдельных случаях, при наличии крупногабаритного оборудования, а также для различного подъемно-шахтного оборудования возводятся трех- и более этажные здания. Часть технологического оборудования этой группы предприятий размещается под землей — в горных разработках. Здания и сооружения так же, как объекты первой группы, имеют, как правило, большое количество крупногабаритных оконных и дверных проемов, которые по своей конструкции не обеспечивают герметизации от затекания газообразных АХОВ. Подвальные и полуподвальные помещения, а также горные выработки и карьеры длительное время могут быть очагами застоя паров и аэрозолей АХОВ.

Промышленные здания и сооружения третьей группы объектов отличаются большим разнообразием как по этажности, так и по конструктивным особенностям. Однако так же, как здания и сооружения первой и второй групп, они не герметичны.

В целях защиты всех этих зданий и сооружений от возможного проникновения в них воздуха, загрязненного АХОВ, проектируется и монтируется вентиляция.

Наличие мощной приточно-вытяжной вентиляции в производственных зданиях и сооружениях всех трех групп, особенно в цехах по производству АХОВ, должно обеспечивать постоянный подпор воздуха в рабочих помещениях, предотвращать попадание наружного воздуха в эти помещения. В случае прекращения работы вентиляционных систем большинство производственных зданий и сооружений могут сравнительно легко заполниться воздухом, загрязненным АХОВ, с поражающими концентрациями.

Вместе с тем при проектировании, строительстве и эксплуатации химически опасных объектов необходимо иметь в виду, что при крупномасштабных



авариях с выбросом АХОВ в атмосферу и распространении облака загрязненного воздуха по территории предприятия работа приточно-вытяжной системы может способствовать более быстрому заполнению помещений парами и аэрозолями АХОВ.

Говоря об отдельных элементах обеспечения безопасности на химически опасных объектах, которые должны быть предусмотрены при их проектировании и строительстве, необходимо отметить следующее.

Химически опасные объекты должны располагаться на значительной территории, вблизи магистральных автомобильных и железных дорог с учетом господствующих ветров в данном районе. Наличие большой территории позволяет разместить отдельные производства с учетом их взрывопожароопасности и химической опасности, что имеет существенное значение для осуществления мероприятий защиты персонала.

Так, например, площадь, занимаемая предприятиями азотной промышленности, на практике составляет от 200 до 500 га, предприятиями основной химии — до 400 га, химических средств защиты растений — до 180 га и т.д. [84].

С целью уменьшения вероятности воздействия АХОВ на персонал предприятий объекты хранения, такие как газгольдеры, склады сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, рекомендуется размещать, как правило, по периферии территории предприятия или выносить за ее пределы. При этом производства, имеющие вредные выделения и склады с АХОВ, должны располагаться с подветренной стороны от других производств с учетом розы ветров.

Для уменьшения опасности взрывов и пожаров, а также воздействия АХОВ на персонал предприятия производственные объекты и административные здания должны располагаться с соблюдением противопожарных разрывов, при этом плотность застройки на территории не должна превышать 30—40 % общей площади предприятия.

Повышенные требования предъявляются к аппаратуре, приборам, используемым на химически опасных объектах, по механической прочности, жесткости конструкций, долговечности и герметичности.

Основные рабочие приборы и аппараты рассчитываются и конструируются с повышенным запасом прочности. К технологическому оборудованию предприятий, которое обычно работает в условиях высоких температур, давления и коррозии, предъявляются повышенные требования по герметичности. В мирное время оно может быть разрушено с выбросом АХОВ только при достаточно сильных землетрясениях или взрывах отдельных узлов в результате нарушения технологических режимов работы или применения некачественных материалов при воздействии конструкций.

На нефтеперерабатывающих производствах сбросы газов от предохранительных клапанов, установленных на сосудах и аппаратах с взрывоопасными и вредными веществами, должны осуществляться в факельные системы, а сброс нейтральных газов и паров из технологической аппаратуры в атмосферу должен отводиться в безопасное место.

Технологические процессы для химически опасных объектов должны разрабатываться на основании исходных данных на технологическое проектирование в соответствии с требованиями обеспечения безопасности.

Для всех вновь вводимых в эксплуатацию производств, да и действующих должны разрабатываться и утверждаться в установленном порядке технологические регламенты.

Характерной особенностью химически опасных предприятий является наличие на них крупнотоннажных складов хранения сырья и готовой продукции с большими количествами АХОВ, которые при возгорании образуют токсичные продукты.

Количество АХОВ, хранящихся на складах предприятий, различно и может составлять от нескольких тонн до нескольких десятков тысяч тонн. Так, на предприятиях азотной промышленности в отдельные периоды времени на хранении может находиться более 100 тысяч тонн жидкого аммиака, на предприятиях по производству средств химической защиты растений более 300 тонн хлора. На складах серной промышленности запасы комовой серы могут достигать 40—50 тысяч тонн, а на складах фосфорной промышленности — 6—10 тысяч тонн жидкого фосфора, при возгорании которых образуются смеси окислов в газообразном состоянии, которые по мере охлаждения в атмосфере конденсируются и образуют аэрозоли.

Опасность хранения таких больших количеств АХОВ предьявляет проектированию и строительству складской базы химически опасных предприятий ряд специфических требований.

В зависимости от физико-химических свойств АХОВ они могут храниться в газообразном, жидком и твердом состоянии.

Для АХОВ, находящихся в жидком состоянии, чаще всего предусматриваются резервуары цилиндрической, сигарообразной или шаровой формы.

Хранение твердых и сыпучих продуктов и полупродуктов веществ, способных при возгорании образовать АХОВ, предусматривается в открытых железобетонных приямках или полузаглубленных резервуарах.

Хранение АХОВ в газообразном состоянии планируется и осуществляется в баллонах, резервуарах и газгольдерах различной конструкции и емкости.

В зависимости от физико-химических свойств АХОВ и объема производства для их хранения предусматривается применение резервуаров различной емкости. Например, для хлора емкости объемом от 1 до 1000 т, аммиака — от 3 до 30 тыс. т, синильной кислоты — от 1 до 200 т, окиси этилена — в шаровых резервуарах объемом от 800 м<sup>3</sup> и более, окиси углерода, двуокиси серы, сероуглерода и ряда других — в емкостях от 1 до 100 т.

Хранение жидких и газообразных АХОВ осуществляется как при обычном атмосферном, так и повышенном давлениях. Жидкий аммиак в изотермических хранилищах объемом 10 тыс. т и 30 тыс. т хранится под давлением, близким к атмосферному, а в сферических — емкостью 2 000 т и 1 000 т — под давлением до 10 атм, в емкостях 250 и 500 т — до 20 атм. Хранилища на трассе аммиакопровода емкостью 50 т находятся под давлением 20 атм. Жидкий хлор хранится также под давлением от 2 до 12 атм.

На складской территории хранилища (танки, резервуары, баллоны и др.) располагаются группами. В каждой группе может быть несколько резервуаров одинаковой или различной емкости, однако общие запасы АХОВ, хранящихся на одном складе, не должны превышать объемов хранения, установленных правилами техники безопасности для данного вещества.

На складах хранения жидкого аммиака резервуары располагаются отдельно стоящими или группами, составленными только из горизонтальных, шаровых или вертикальных резервуаров; из вертикальных и шаровых или из шаровых и горизонтальных резервуаров. Резервуары в группе располагаются в один или не более чем в два ряда.

Каждый отдельно стоящий резервуар и каждая группа таких резервуаров огораживаются сплошным земляным валом или железобетонными ограждающими стенками (стаканами).

При хранении аммиака в горизонтальных резервуарах их общая емкость в одном ограждении не должна превышать 2 500 т, количество резервуаров не больше 20; общая емкость шаровых резервуаров — не более 8 тыс. т, а их количество не более 5; вертикальных — не более 60 тыс. т с общим количеством резервуаров — не более четырех.

При совместном расположении в одном ограждении горизонтальных и шаровых резервуаров их емкость не должна превышать более 8 тыс. т, а шаровых и вертикальных — не более 60 тыс.т.

Между горизонтальными резервуарами и шаровыми, а также между шаровыми и вертикальными резервуарами устанавливаются сплошные перегородки.

Высота обваловки резервуаров землей должна быть не больше 3,5 м, но не меньше 1 м, а для резервуаров емкостью 10 тыс. т и больше — не меньше 1,5 м. Ширина верха земляного вала — не менее 1 м.

Территория в ограждении резервуаров выравнивается и делается с уклоном 0,3—1,5 %.

Для перекачки аммиака в случае его пролива на территории склада устанавливаются резервные емкости или используется резервный объем имеющихся емкостей.

На предприятиях химической промышленности для хранения соляной и азотной кислот применяются различные резервуары цилиндрической и шаровой формы.

Вертикальные цилиндрические резервуары выполняются емкостью до 2 000 м<sup>3</sup>. Горизонтальные цилиндрические резервуары изготавливаются объемом 90—450 м<sup>3</sup>.

Хлор хранится в баллонах различной емкости.

Жидкий фосфор хранится в подземных резервуарах в количестве до 10 тыс. т и наземных — до 5 тыс. т под слоем воды не менее 0,3 м. Небольшие количества фосфора хранятся в бочках.

При хранении фосфора в подземных резервуарах его наивысший уровень должен находиться ниже планировочной отметки прилегающей территории не менее чем на 0,2 м.

Полуподземные резервуары заглубляются на уровень, обеспечивающий вместимость не менее 50 % хранящегося фосфора и возможность залива его слоем воды высотой не менее 0,3 м.

Наземные резервуары устанавливаются в поддонах, емкость которых должна быть не менее емкости наибольшего резервуара и слоя воды высотой 0,2 м. Поддоны имеют усиленную гидроизоляцию и уклон в сторону приямка для сброса возможных проливов фосфора и воды. Резервуары устанавливаются не более чем в два раза.

Склад для хранения фосфора в бочках разделяется противопожарными стенками на отсеки. Емкость отсека не должна превышать 100 т. Бочки с фосфором устанавливаются в один ярус не более 15 бочек.

Хранение фосфорной кислоты производится в хранилищах различной емкости.

На предприятиях серной промышленности комовая сера складировается в железобетонных приямках площадью в несколько гектаров. Вся площадь склада разбивается на секции. Одни секции заполняются расплавленной серой, поступающей по серопроводам с сероплавильного завода. С других секций производится отгрузка остывшей и разрыхленной серы на отправку. Неснижаемый запас серы на открытых складах предприятий может составлять несколько десятков тысяч тонн.

Жидкую серу хранят в специальных резервуарах емкостью 1 000 т каждый, оснащенных обогревательными устройствами и вытяжными вентиляционными трубами. Для исключения загорания жидкой серы над резервуарами устанавливаются железобетонные конструкции и съемочные люки. Возгорание жидкой серы в закрытых резервуарах маловероятно.

Для хранения АХОВ на предприятиях химических средств защиты растений применяются резервуары различной формы емкостью от 40 до 2 000 т.

Способы и условия хранения АХОВ на химически опасных объектах приведены в табл. 4.5.

Важное значение в вопросах обеспечения химической безопасности при эксплуатации химически опасных объектов имеют **мероприятия медико-санитарного характера**, которые предусматриваются или имеются в виду при проектировании и строительстве химически опасных объектов.

Медицинское обеспечение химической безопасности персонала химически опасного объекта и населения, проживающего вблизи него, на стадии проектирования объекта предусматривает необходимость медицинских обследований (недосмотров), профилактики возможных заболеваний, а в случае необходимости лечение и реабилитацию лиц, у которых выявлены отклонения в состоянии здоровья.

За проведением работ с АХОВ планируется строгий санитарно-эпидемиологический контроль. Проведение работ должно разрешаться только при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы предъявляемым требованиям, которое выдает орган санитарно-эпидемиологического надзора по запросу химически опасного объекта. Основанием для выдачи санитарно-эпидемиологического заключения является акт прием-

Таблица 4.5

## Способы и условия хранения АХОВ на химически опасных объектах

Агрегатное состояние	Условия хранения	Способы хранения АХОВ	Характеристика резервуаров, используемых для хранения АХОВ		
			Вид (форма)	Типовые объемы, м <sup>3</sup>	Нормативный коэффициент заполнения
Сжиженные газы	При температуре окружающей среды под давлением собственных паров	Наземное, реже заглубленное	Цилиндрические	40, 50, 100, 200	0,85
			горизонтальные		
	6—18 кгс/см <sup>2</sup>	Наземное	Шаровые (сферические)	900, 1 550, 3 350	0,85
Газы	При температуре окружающей среды и давлении до 0,7 кгс/см <sup>2</sup>	Наземное	Вертикальные	10 000	0,93 (по нормам)
			цилиндрические	10 000	
	При температуре окружающей среды	Наземное	Газгольдеры	2 700, 6 000	—
Жидкости	При атмосферном давлении и температуре окружающей среды	Наземное, реже заглубленное	Горизонтальные	5, 10, 25, 50, 75, 100	0,9
			цилиндрические		
		Наземное	Вертикальные	50, 100, 150, 200, 300, 400, 700, 1 000, 2 000, 5 000	0,9
			цилиндрические		

ки в эксплуатацию построенного (реконструированного) объекта или акт санитарного обследования действующего объекта.

Порядок проведения санитарно-эпидемиологических экспертиз (обследований), на основании результатов которых выдается санитарно-эпидемиологическое заключение, устанавливается федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным осуществлять санитарно-эпидемиологический надзор.

При санитарно-эпидемиологическом обследовании особое внимание уделяется степени опасности загрязнения окружающей среды и поражения людей, основными параметрами которой являются: масса, агрегатное состояние и токсичность выбрасываемых веществ, метеорологические условия, рельеф местности в районе объекта, плотность застройки и проживания, наличие мест массового пребывания людей и т.п.

В качестве критериев гигиенической оценки загрязнения воздуха используются предельно-допустимые концентрации для рабочей зоны, максимально разовые (экстремально высокие уровни) и среднесуточные концентрации веществ для населенных мест.

В соответствии с «Временным положением о порядке взаимодействия органов исполнительной власти при аварийных выбросах и сбросах загрязняющих веществ и экстремально высоком загрязнении окружающей природной среды» (1996 г.) под экстремально высокими уровнями загрязнения атмосферного воздуха понимается содержание одного или нескольких веществ, превышающее ПДК более чем в 50 раз на срок не менее 8 часов, в 30—49 раз — на 8—24 часа и 20—29 раз — на 1—2 суток.

Для поверхностных и морских вод экстремально высоким загрязнением считается превышение ПДК для веществ 1—2-го класса в 5 и более раз, а для веществ 3—4-го класса — в 50 и более раз.

Для почв и земель экстремально высоким считается содержание загрязняющих веществ в 50 и более раз превышающее ПДК. [98]

### **4.3. Общие положения по информированию населения и общественности о радиационной и химической опасности**

С развитием промышленного производства, концентрирующего в себе огромные запасы энергии и опасных для здоровья человека и окружающей среды различного рода веществ и материалов, все более явно видна прямая зависимость уровня безопасности общества от его осведомленности о возможных опасностях и психологической подготовленности к адекватному реагированию на складывающуюся аварийную обстановку.

Важным шагом в решении проблемы обеспечения осведомленности населения и его безопасности играет создание по Программе ООН по окружающей

среде (ЮНЕП) системы АПЕЛЛ — «Осведомленность и подготовленность к чрезвычайным ситуациям на местном уровне».

Система АПЕЛЛ в своей основе направлена на осведомление населения района о потенциальной опасности промышленных объектов и включает в себя конкретные процедуры учета мнения населения при принятии как стратегических, так и тактических решений.

АПЕЛЛ ставит перед собой две основные цели:

— обеспечить или повысить осведомленность населения о возможных опасностях, связанных с производством, транспортировкой и использованием опасных веществ, и выработать меры, которые следует предпринять местным властям или представителям промышленности для защиты населения от их негативного воздействия;

— разработать на основе этой информации (в сотрудничестве с представителями общественности) планы реагирования на чрезвычайные ситуации, которые в случае возникновения чрезвычайной обстановки вовлекли бы в работу все местное население.

Система АПЕЛЛ состоит из подсистем обеспечения населения информацией («осведомленность населения») и планирования мер для его защиты («реагирование на чрезвычайную ситуацию»).

АПЕЛЛ в своей основе нацелена на технологические опасности и связанные с ними возможные воздействия опасных веществ на территорию прилегающих к предприятию жилых районов.

Решению указанной проблемы в значительной мере также способствует разработка Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) руководящих принципов по предотвращению, готовности к действиям и действиям при химических авариях.

В соответствии с этими принципами считается необходимым, чтобы население, проживающее в потенциально опасных районах:

— имело общую информацию о характере, масштабах и возможных последствиях для здоровья человека и окружающей среды, в том числе объектов и материальных ценностей всех форм собственности, в результате возможных крупных аварий на планируемых для строительства, проектируемых и функционирующих объектах;

— располагало своевременной и исчерпывающей информацией о принимаемых мерах по обеспечению безопасности в случае аварий, связанных с распространением и воздействием опасных веществ и рекомендациями соответствующих органов по правилам поведения;

— имело доступ к информации, необходимой для понимания характера возможных последствий аварий;

— имело возможность участия в той или иной доступной форме в принятии решений относительно планов строительства, модернизации или вывода из эксплуатации опасных объектов, а также в создании планов подготовки к действиям в чрезвычайных ситуациях.

Для обеспечения реализации указанных выше положений государственными органами разрабатываются соответствующие законодательные акты и процедуры.

Информационная деятельность руководителей промышленных объектов и прежде всего потенциально опасных, в значительной мере регламентируется системой АПЕЛЛ, ориентированной на осведомление населения о потенциальной опасности этих объектов и включающей конкретные процедуры учета мнения населения при принятии управленческих решений. Необходимо заметить, что, несмотря на предоставление возможности населению участвовать в принятии решений, руководители объектов несут единоличную ответственность за эти решения.

На руководителей опасных объектов в рамках системы АПЕЛЛ возлагается ответственность за создание программ для удовлетворения потребностей населения и общественности в информации, обеспечение условий их активного участия в программах реагирования на чрезвычайные ситуации, установление тесных связей и рабочих отношений с учреждениями и формированиями, привлекаемыми для оказания помощи объекту в обеспечении безопасности при чрезвычайных ситуациях, а также с лидерами общественности.

Информация о возможном вредном воздействии на здоровье населения и окружающую среду должна распространяться активно и открыто. По своему содержанию она должна быть исчерпывающей, корректной, ясной, последовательной, вызывающей доверие. Вместе с тем учитывается необходимость нераспространения некоторой информации, включающей частные сведения, которые защищаются в соответствии с законодательством в интересах национальной безопасности.

При информировании населения не следует недооценивать его способности к восприятию информации, касающейся опасных объектов. Необходимо предоставлять существенную информацию, которая позволит понять и обрести доверие к органам, гарантирующим безопасную эксплуатацию объектов повышенного риска. Информация об опасности должна быть объективной. Информационное поле должно строиться на основе анализа и прогнозирования социально-психологических условий приемлемости опасностей и взаимодействия администрации опасного объекта с населением. Определенные рекомендации по социальным технологиям такого анализа содержатся в работе [126]. Эти рекомендации содержат методологию диагностики и изучения различных аспектов социально-психологической ситуации, информационной связи с населением, нормативно-правового обеспечения. На основе указанных рекомендаций представляется возможным проведение гуманитарной экспертной оценки социальной приемлемости техногенных опасностей и выработка предложений по выходу из кризисной ситуации, с учетом реальной структуры общественных потребностей в их развитии и динамике.

Информацию о потенциальной опасности объекта принято [46, 52] подразделять на две категории: информацию, предоставляемую населению и общественности без предварительного запроса о ней; информацию, предоставляемую по запросу.



Первая категория информации включает в себя определенные рекомендации по действиям населения в случае аварии, в том числе:

- подробное описание способов предупреждения населения о произошедшей аварии и возникших опасностях;
- подробное описание действий и поведения, в соответствии с которым следует поступать населению потенциально опасных районов в случае аварии;
- источники получения информации об аварии, ее последствиях и предпринимаемых действиях по защите и обеспечению безопасности населения.

Без предварительного запроса населения также дается информация о характере опасных веществ, производящихся, хранящихся и используемых на объекте, о факторах опасностей, возникающих при авариях, ущербе, который может быть нанесен здоровью человека и окружающей среде. Население должно уведомляться о планировании строительства опасного объекта и выборе площадки для его расположения, а также о лицензировании деятельности объекта.

В тех случаях, когда объект расположен в приграничном районе и существует реальная возможность трансграничного переноса опасных веществ, предусматривается передача страной — владельцем опасного объекта всей указанной выше информации другой стране. Страна — получатель этой информации должна предоставить информацию населению, находящемуся под ее юрисдикцией и потенциально подверженному антропогенному воздействию в случае аварии.

Вторая категория информации имеет своей целью дать возможность населению глубже понять характер опасностей, связанных с эксплуатацией объекта, смысл полученных от государственных органов и администрации опасного объекта рекомендаций. Эта информация должна также способствовать более эффективному участию населения в процессах управления безопасностью.

Информация, предоставляемая по запросу, по своему содержанию отличается большим разнообразием. Она, например, может включать:

- дополнительные сведения по оценке воздействия на здоровье человека и окружающую среду функционирования объекта;
- данные о экологической паспортизации объекта, лицензировании и разрешении на его эксплуатацию;
- отчеты об обеспечении безопасности и некоторые документы, касающиеся инспекторских и других проверок объекта;
- дополнительные рекомендации о действиях, предпринимаемых населением для сохранения здоровья и защиты окружающей среды, включая собственность, в случае аварии, а также обоснования этих рекомендаций.

В обеспечении осведомленности населения об опасностях весьма важная роль принадлежит средствам массовой информации, представляющим, по существу, главный канал связи с широкой общественностью. В связи с этим государственные органы и администрация опасных объектов должны предоставлять средствам массовой информации все необходимые сведения об опасных объектах и мерах по обеспечению безопасности населения.

Важное значение имеет информирование сопредельных государств о техногенных опасностях радиационного, химического и иного характера в трансграничном контексте.

Как известно, большое количество объектов, обладающих потенциальной опасностью выбросов в окружающую среду вредных веществ, расположено в районах, откуда эти вещества могут распространяться за пределы государственных границ. В связи с этой объективной реальностью возникает необходимость в оценке трансграничных переносов опасностей и информирования об этом населения и общественности сопредельных государств. В настоящее время вопросы, связанные с оценкой воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте и соответствующим информационным обеспечением, нашли отражение в ряде международных документов, в частности, в Конвенции ООН, составленной в Эспо (Финляндия) в феврале 1991 г., в Решении Совета ОЭСР по обмену информацией об авариях, способных причинить трансграничный ущерб.

В соответствии с указанной Конвенцией, страны, под юрисдикцией которых намечается создание или осуществляется функционирование опасных объектов, принимают все надлежащие эффективные меры по предотвращению вредного трансграничного воздействия, а также по его уменьшению и контролю за трансграничным переносом веществ. Каждое государство, планирующее строительство опасного в трансграничном контексте объекта, принимает необходимые законодательные, административные или другие меры по установлению процедур оценки воздействия на окружающую среду, предусматривающих возможность участия общественности. Заметим, что к числу объектов, представляющих опасность в трансграничном контексте, прежде всего относятся:

- атомные электростанции и другие объекты с ядерными реакторами, включая исследовательские установки для производства и конверсии расщепляющихся и воспроизводящих материалов с максимальной мощностью не более 1 кВт постоянной тепловой нагрузки;
- предприятия ядерного топливного цикла, предназначенные для производства или обогащения ядерного топлива, регенерации отработанного ядерного топлива, сбора, удаления и переработки радиоактивных отходов;
- тепловые электростанции и другие объекты с тепловой мощностью 300 МВт и более;
- химические комбинаты;
- нефтеочистительные заводы (за исключением предприятий, производящих только смазочные материалы из сырой нефти) и установки для газификации и сжигания угля или битуминозных сланцев производительностью 500 тонн в день или более;
- крупные установки для доменного и мартеновского производства и предприятия цветной металлургии;
- установки для сжигания, химической переработки и захоронения токсичных отходов;

— объекты по производству целлюлозы и бумаги, дневной производительностью 200 и более тонн продукции, а также другие объекты, рекомендованные Конвенцией ООН.

Учет трансграничного переноса опасностей для объектов, упомянутых в Конвенции, является обязательным. В перечень такого рода объектов дополнительно включаются также любые другие объекты, если их деятельность характеризуется определенными негативными последствиями. Критериями здесь являются масштабы деятельности, характер района местонахождения объекта, его воздействие на окружающую среду.

Следует считать необходимым учет трансграничных эффектов, если строительство объекта планируется в особо чувствительном или важном с экологической точки зрения районе, например, вблизи заповедника, национального парка, в зоне увлажненных земель, а также если вредное воздействие объекта влечет за собой серьезные последствия для людей, ценных видов флоры и фауны, ставит под сомнение возможность сохранения экологического равновесия в данном районе.

Государство, планирующее создание на своей территории объекта, подпадающего под действие Конвенции, в целях обеспечения проведения соответствующих консультаций и согласований, должно уведомить все другие государства, на которые может распространяться в той или иной мере воздействие объекта, не позднее сроков начала информационной деятельности по отношению к своему населению и общественности.

В этом уведомлении должна содержаться информация о намерениях по строительству объекта, характере его предстоящей деятельности и возможном воздействии на здоровье человека и окружающую среду, с учетом трансграничных переносов вредных веществ. В частности, эта информация включает: данные о местоположении и описание опасного объекта; химические, товарные и иные названия веществ, могущих вызвать трансграничное воздействие; законодательные, нормативные и административные требования, при выполнении которых допустима эксплуатация объекта; информацию о возможных масштабах воздействия объекта на население и окружающую среду в случаях крупных аварий, а также планах по обеспечению безопасности вне площадки, с учетом трансграничного переноса вредных веществ. В уведомлении также указываются желаемый срок получения ответа о принятии уведомления и отклики на него, с учетом установленного планового задания по завершению экологической экспертизы проектной документации и срока выдачи санкции на его строительство или функционирование.

Государственные органы стран, чьи территории затрагиваются трансграничным воздействием, обеспечивают информирование своего населения и общественности о возможных опасностях, предоставляют им возможность для подачи замечаний или возражений по планируемой деятельности и сообщают об этих замечаниях и возражениях компетентным органам государства, которому принадлежит опасный объект.

Одновременно государство, подвергающееся трансграничному воздействию, дает информацию: о распределении населения в районах национальной

юрисдикции; о характере и местоположении объектов, материальных и иных ценностей различных форм собственности, которые могут подвергнуться воздействию, а также о местонахождении природных ресурсов, уязвимых и чувствительных экосистемах, заповедниках, исторических и культурных памятниках, которым может быть нанесен ущерб.

В процессе функционирования объектов, представляющих опасность в трансграничном контексте, предусматривается обмен соответствующей информацией между заинтересованными государствами. Государство, которому принадлежит опасный объект, должно передавать всем другим государствам, подвергающимся воздействию, копии информационных документов, инструкций и рекомендаций, предоставляемых своему населению и общественности. Должно предусматриваться проведение взаимных консультаций всех заинтересованных стран с целью координации планов обеспечения безопасности и защиты населения, с учетом трансграничных эффектов.

В случае аварии или непосредственной угрозы аварии, способной вызвать трансграничный ущерб, государство, где находится аварийный объект, должно немедленно передать предупреждение о складывающейся ситуации. Для этого в распоряжении всех заинтересованных государств должны быть заранее выработанные согласованные процедуры и системы передачи информации и распоряжений в аварийных обстоятельствах.

## Глава 5

# Обеспечение радиационной и химической безопасности персонала радиационно и химически опасных объектов

### 5.1. Обеспечение радиационной безопасности персонала радиационно опасных объектов

Обеспечение радиационной безопасности персонала при эксплуатации радиационно опасных объектов (использовании ионизирующих излучений), а также при радиационных авариях на них осуществляется в основном проведением медико-санитарных, организационных и организационно-технических мероприятий.

#### *Медико-санитарные мероприятия*

Охрана здоровья персонала радиационно опасных объектов, как и всего населения, от вредного воздействия ионизирующего излучения достигается путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности, которые устанавливаются федеральным органом санитарно-эпидемиологического надзора.

Нормами радиационной безопасности [83] определены следующие основные принципы обеспечения радиационной безопасности при эксплуатации радиационно опасных объектов:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующих излучений (принцип нормирования);
- запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующих излучений, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);
- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующих излучений (принцип оптимизации).

Следует отметить, что принцип нормирования должен соблюдаться всеми организациями и лицами, от которых зависит уровень облучения людей, на всех этапах существования радиационно опасных объектов (проектирова-

ния, строительства, эксплуатации, радиационной аварии, ремонта, вывода из эксплуатации). Принцип обоснования применяется на стадии принятия решения уполномоченными органами при проектировании радиационно опасных объектов, выдаче лицензий и утверждении нормативно-технической документации на использование источников излучения, а также при изменении условий их эксплуатации. В условиях радиационной аварии этот принцип относится не к источникам излучения и условиям облучения, а к защитным мероприятиям. При этом в качестве величины пользы оценивается предотвращенная данными мероприятиями доза. Особенностью принципа оптимизации является то, что в условиях радиационной аварии, когда вместо пределов доз действуют более высокие уровни вмешательства, он применяется к защитным мероприятиям с учетом предотвращаемой дозы облучения и ущерба, связанного с вмешательством.

Кроме того, при радиационной аварии система обеспечения радиационной безопасности дополнительно должна основываться на таких принципах, как [150]:

- предполагаемые мероприятия по ликвидации последствий радиационной аварии должны приносить больше пользы, чем вреда;

- виды и масштаб деятельности по ликвидации последствий радиационной аварии должны быть реализованы таким образом, чтобы польза от снижения дозы ионизирующего излучения, за исключением вреда, причиненного указанной деятельностью, была максимальной.

Известно, что ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

Выше, в главе 2, указывалось, что НРБ-99 установлены категории облучаемых лиц (персонал<sup>1</sup> и население), для которых определены следующие три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД), приведенные в табл. 2.1;

- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие;

- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

<sup>1</sup> **Персонал** — лица, работающие с техногенными источниками ионизирующего излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).

Следует подчеркнуть, что при одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, приведенных в табл. 2.1.

При этом НРБ-99 предусмотрены определенные ограничения допуска персонала к работам с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям.

Так, например, к работам с источниками ионизирующих излучений не допускаются люди моложе 18 лет, а также имеющие медицинские противопоказания к допуску на работу, связанную с источниками излучений, вредными веществами и неблагоприятными производственными факторами. Студенты и учащиеся старше 16 лет, проходящие профессиональное обучение с использованием источников излучения, могут допускаться к этим работам, но годовые дозы их облучения не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками ионизирующих излучений, введены следующие ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала. В этих условиях эквивалентная доза облучения плода за 2 месяца невыявленной беременности не превышает 1 мЗв.

При установлении беременности женщина обязана информировать об этом администрацию и должна переводиться на работу, не связанную с источниками излучения, на периоды беременности и грудного вскармливания ребенка.

Необходимо отметить, что дозы облучения персонала, получаемые при радиационных авариях, не предусматриваются основными пределами доз облучения, приведенными в табл. 2.1. При ликвидации последствий радиационных аварий в соответствии с НРБ-99 и СП АС-03 допускается планируемое облучение персонала, участвующего в выполнении аварийных, аварийно-спасательных и ремонтно-восстановительных работ, выше установленных пределов доз, но при этом установлены достаточно строгие ограничения.

Планируемое облучение персонала группы А выше установленных пределов доз (табл. 2.1) при ликвидации или предотвращении аварии разрешается только в случае необходимости спасения людей и (или) предотвращения их облучения. Причем планируемое повышенное облучение допускается только для мужчин старше 30 лет лишь при их добровольном письменном согласии, после информирования о возможных дозах облучения и риске для здоровья.

Планируемое облучение экипажей, находящихся в море судов и кораблей с ядерными энергетическими установками, личного состава аварийно-спасательных и других специальных формирований выше установленных пределов доз при ликвидации или предотвращении аварии регламентируется ведомственными документами, согласованными с Минздравсоцразвития России.

При этом планируемое повышенное облучение в эффективной дозе до 100 мЗв в год и эквивалентных дозах не более двухкратных значений, при-

веденных в табл. 2.1, допускается с разрешения территориальных органов санэпиднадзора, а облучение в эффективной дозе до 2 000 мЗв в год и четырехкратных значений эквивалентных доз только с разрешения федерального органа санэпиднадзора.

Повышенное облучение не допускается:

— для работников, ранее уже облученных в течение года в результате аварии или запланированного повышенного облучения с эффективной дозой 200 мЗв или с эквивалентной дозой, превышающей в четыре раза соответствующие пределы доз, приведенных в табл. 2.1;

— для лиц, имеющих медицинские противопоказания для работы с источниками излучения.

Лица, подвергшиеся облучению в эффективной зоне, превышающей 100 мЗв в течение года, при дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв в год.

Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в течение года рассматривается как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование. Последующая работа с источниками ионизирующих излучений этим лицам может быть разрешена только в индивидуальном порядке с учетом их согласия по решению компетентной медицинской комиссии.

Лица, не относящиеся к персоналу, привлекаемые для проведения аварийных и спасательных работ, приравниваются к персоналу группы А. Эти лица должны быть обучены (с проверкой знаний) для работы в зоне радиационной аварии и пройти медицинский осмотр.

Обеспечение радиационной безопасности персонала достигается также выполнением требований различных санитарных правил, учитывающих специфику используемых источников ионизирующих излучений (ОСПОРБ-99, СПОРО-2002, СП-АС-03 и другие).

Так, например, в соответствии с ОСПОРБ-99 при работе с закрытыми источниками излучения мощность дозы излучения от переносных, передвижных, стационарных дефектоскопических, терапевтических аппаратов и других установок, действие которых основано на использовании радионуклидных источников излучения, не должна превышать 20 мкГр/ч на расстоянии 1 м от поверхности защитного блока с источником излучения.

Для радиоизотопных приборов, предназначенных для использования в производственных условиях, мощность дозы излучения у поверхности блока с источником излучения не должна превышать 100 мкГр/ч, а на расстоянии 1 м от нее — 3 мкГр/ч.

Причем при работе с закрытыми источниками излучения специальные требования к отделке помещений не предъявляются. Исключение составляют помещения, в которых проводится перезарядка, ремонт и временное хранение демонтированных приборов и установок, которые должны быть оборудованы в соответствии с требованиями для работ с открытыми источниками излучения III класса.



При работе с открытыми источниками излучения требуется учитывать, что радионуклиды как потенциальные источники внутреннего облучения разделяются по степени радиационной опасности на четыре группы в зависимости от минимально значимой активности (МЗА) [86]:

- группа А — радионуклиды с минимально значимой активностью  $10^3$  Бк;
- группа Б — радионуклиды с минимально значимой активностью  $10^4$  Бк и  $10^5$  Бк;
- группа В — радионуклиды с минимально значимой активностью  $10^6$  Бк и  $10^7$  Бк;
- группа Г — радионуклиды с минимально значимой активностью  $10^8$  Бк и более.

Принадлежность радионуклида к группе радиационной опасности устанавливается в соответствии с приложением П-4 НРБ-99. Короткоживущие радионуклиды с периодом полураспада менее 24 часов, не приведенные в этом приложении, относятся к группе Г. Степень радиационной опасности (группа) определяет перечень мер по обеспечению радиационной безопасности. Причем комплекс мероприятий по радиационной безопасности должен обеспечивать защиту персонала от внутреннего и внешнего облучения, ограничивать загрязнение воздуха и поверхностей рабочих помещений, кожных покровов и одежды персонала, а также объектов окружающей среды — воздуха, почвы, растительности и др. как при нормальной эксплуатации, так и при проведении работ по ликвидации последствий радиационной аварии.

Следует подчеркнуть, что все работы с использованием открытых источников ионизирующих излучений разделяются на три класса. Класс работ устанавливается по табл. 4.4, приведенной выше, в зависимости от группы радиационной опасности радионуклида и его активности на рабочем месте, при условии, что удельная активность превышает значение, приведенное в приложении П-4 НРБ-99.

В случае нахождения на рабочем месте радионуклидов разных групп радиационной опасности их активность приводится к группе А радиационной опасности по формуле:

$$C_9 = CA + MZAA \sum C_i / MPA_i, \quad (5.1)$$

- где:  $C_9$  — суммарная активность, приведенная к активности группы А, Бк;
- $CA$  — суммарная активность радионуклидов группы А, Бк;
- $MZAA$  — минимально значимая активность для группы А, Бк;
- $C_i$  — активность отдельных радионуклидов, не относящихся к группе А;
- $MPA_i$  — минимально значимая активность отдельных радионуклидов, приведенная в приложении П-4 НРБ-99, Бк.

Классом работ определяются требования к размещению и оборудованию помещений, в которых проводятся работы с открытыми источниками ионизирующих излучений.

Работы III класса должны проводиться в отдельных помещениях, соответствующих требованиям, предъявляемым к химическим лабораториям. В составе этих помещений предусматривается устройство приточно-вытяжной вентиляции и душевой. Работы, связанные с возможностью радиоактивного загрязнения воздуха (операции с порошками, упаривание растворов, работа с эмаллирующими и летучими веществами и др.), должны проводиться в вытяжных шкафах.

Работы II класса должны проводиться в помещениях, скомпонованных в отдельной части здания изолированно от других помещений. При проведении в одной организации работ II и III классов, связанных единой технологией, можно выделить общий блок помещений, оборудованных в соответствии с требованиями, предъявляемыми к работам II класса.

Определенную специфику имеет обеспечение радиационной безопасности персонала при обращении с радиоактивными отходами (РАО).

При обращении с РАО в целях обеспечения радиационной безопасности должно учитываться следующее [134].

По агрегатному состоянию РАО подразделяются на жидкие, твердые и газообразные.

К жидким РАО относятся не подлежащие дальнейшему использованию любые радиоактивные жидкости, растворы органических и неорганических веществ, пульпы и др. Жидкие отходы считаются радиоактивными, если в них удельная активность радионуклидов более чем в 10 раз превышает значения уровней вмешательства, приведенные в приложении П-2 НРБ-99.

К твердым РАО относятся отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, загрязненные объекты внешней среды, отвержденные жидкие отходы, в которых удельная активность радионуклидов превышает значения минимально значимой удельной активности, приведенной в приложении П-4 НРБ-99.

При известном радионуклидном составе в отходах они считаются радиоактивными, если сумма отношений удельной активности радионуклидов к их минимально значимой активности превышает 1.

При неизвестном радионуклидном составе твердые отходы считаются радиоактивными, если их удельная активность больше:

- 100 кБк/кг — для бета-излучающих радионуклидов;
- 10кБк/кг — для источников альфа-излучающих радионуклидов;
- 1 кБк/кг — для трансураниевых радионуклидов.

Гамма-излучающие отходы неизвестного состава считаются радиоактивными, если мощность поглощенной дозы у их поверхности (0,1 м) превышает 0,001 мГр/ч над фоном при соблюдении условий измерения в соответствии с утвержденными методиками.

Следует отметить, что жидкие и твердые РАО подразделяются по удельной активности на три категории (табл. 5.1). В случае когда по приведенным характеристикам радионуклидов в табл. 5.1 отходы относятся к разным категориям, для них устанавливается наиболее высокое значение категории отходов.

Таблица 5.1

Классификация жидких и твердых радиоактивных отходов  
по удельной радиоактивности

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг		
	Бета-излучающие радионуклиды	Альфа-излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды
Низкоактивные	менее $10^3$	менее $10^2$	менее $10^1$
Среднеактивные	от $10^3$ до $10^7$	от $10^2$ до $10^6$	от $10^1$ до $10^3$
Высокоактивные	более $10^7$	более $10^6$	более $10^5$

Для предварительной сортировки твердых отходов рекомендуется использование критериев по уровню радиоактивного загрязнения (табл. 5.2) и по мощности дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности при соблюдении условий измерения в соответствии с утвержденными методиками:

- низкоактивные — от 0,001 мГр/ч до 0,3 мГр/ч;
- среднеактивные — от 0,3 мГр/ч до 10 мГр/ч;
- высокоактивные — более 10 мГр/ч.

Таблица 5.2

Классификация твердых радиоактивных отходов  
по уровню радиоактивного загрязнения

Категория отходов	Уровень радиоактивного загрязнения, част./(см <sup>2</sup> ·мин)		
	Бета-излучающие радионуклиды	Альфа-излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды
Низкоактивные	от $5 \cdot 10^2$ до $10^4$	от $5 \cdot 10^1$ до $10^3$	от $5 \cdot 10^2$
Среднеактивные	от $10^4$ до $10^7$	от $10^3$ до $10^6$	от $10^2$ до $10^5$
Высокоактивные	более $10^7$	более $10^6$	более $10^5$

Установлено, что облучение лиц, занятых обращением с РАО, не должно превышать дозовых пределов, установленных для персонала.

Необходимо подчеркнуть, что основные пределы доз облучения (табл. 2.1) не включают в себя также дозы от природного и медицинского облучения. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения. Вот, например, как трактуют ОСПОРБ-99 вопросы радиационной безопасности при воздействии природных источников излучения на работников.

Требования по обеспечению радиационной безопасности при воздействии природных источников излучения в производственных условиях должны предъявляться к любым организациям, в которых облучение работников от природных радионуклидов превышает 1 мЗв/год. К ним, в частности, относятся организации, осуществляющие работы в подземных условиях (неурано-

вые рудники, шахты и др.), а также добывающие и перерабатывающие минеральное и органическое сырье с повышенным содержанием природных радионуклидов. В проектной документации неурановых рудников и других подземных сооружений должны отражаться вопросы радиационной безопасности.

В организациях, где не проводятся работы с техногенными источниками излучения, средние значения радиационных факторов в течение года, соответствующие при монофакторном воздействии эффективной дозе 5 мЗв за год при продолжительности работы 2 000 ч/год, средней скорости дыхания 1,2 м<sup>3</sup>/ч и радиоактивном равновесии радионуклидов уранового и ториевого рядов в производственной пыли, не должны превышать:

- мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте — 2,5 мкЗв/ч;
- ЭРОА<sub>Rn</sub> в воздухе зоны дыхания — 31 Бк/м<sup>3</sup>;
- ЭРОА<sub>Tn</sub> в воздухе зоны дыхания — 68 Бк/м<sup>3</sup>;
- удельная активность в производственной пыли тория-232, находящегося в радиоактивном равновесии с членами своего ряда — 27 кБк/кг.

При многофакторном воздействии должно выполняться условие: сумма отношений воздействующих факторов к значениям, приведенным выше, не должна превышать 1.

При изменении продолжительности работы, нарушении радиоактивного равновесия природных радионуклидов в производственной пыли, определяющих уровень радиационного воздействия, администрации организации следует установить контрольные уровни радиационного воздействия, на которые необходимо иметь санитарно-эпидемиологическое заключение органов санитарно-эпидемиологического надзора.

Для составления перечня действующих организаций, цехов или отдельных рабочих мест, на которых должен осуществляться контроль радиационной обстановки, обусловленной природными источниками излучения, должно проводиться их первичное обследование.

Если в результате обследования в организации не обнаружено случаев превышения дозы облучения работников в 1 мЗв/год, то дальнейший радиационный контроль в ней не является обязательным. Однако при существенных изменениях технологии производства, которые могут привести к увеличению облучения работников, следует проводить повторное обследование.

В организациях, в которых установлено превышение дозы 1 мЗв/год, но нет превышения дозы в 2 мЗв/год, следует проводить выборочный радиационный контроль рабочих мест с наибольшими уровнями облучения работников.

В организациях, в которых дозы облучения работников превышают 2 мЗв/год, должны, кроме того, осуществляться постоянный контроль доз облучения и проводиться мероприятия по их снижению.

В случае обнаружения превышения установленного норматива (5 мЗв/год) администрация организации должна принять все необходимые меры по снижению облучения работников. При невозможности соблюдения указанного норматива допускается приравнивание соответствующих работников по условиям труда к персоналу, работающему с техногенными источниками излуче-

ния. О принятом решении администрация организации информирует органы санитарно-эпидемиологического надзора.

На лиц, приравненных по условиям труда к персоналу, работающему с техногенными источниками излучения, распространяются все требования по обеспечению радиационной безопасности, установленные для персонала группы А.

Меры по снижению доз облучения персонала, обеспечению его радиационной безопасности принимаются и при всех видах медицинского облучения.

Медицинское обеспечение радиационной безопасности персонала, подвергающегося облучению, как отмечалось выше, включает медицинские обследования, профилактику заболеваний, а в случае необходимости лечение и реабилитацию лиц, у которых выявлены отклонения в состоянии здоровья.

Все работающие с источниками ионизирующего излучения (персонал группы А) должны проходить предварительные (при поступлении на работу) и периодические профилактические медицинские осмотры в соответствии со ст. 34 Федерального закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» в порядке, определяемом Минздравсоцразвития России.

При проведении периодических медицинских осмотров вопрос допуска на работу персонала решается индивидуально, с учетом особенностей функционального состояния организма, характера и выраженности патологического процесса, возраста и условий труда.

Работники, отказывающиеся от прохождения профилактических медицинских осмотров, не допускаются к работе.

При выполнении определенных видов деятельности в области использования атомной энергии в соответствии со ст. 27 Федерального закона «Об использовании атомной энергии» требования к проведению медицинских осмотров и психофизиологических обследований, перечень медицинских противопоказаний и перечень должностей, на которые распространены данные противопоказания, определяются Правительством Российской Федерации.

Так, например, в соответствии с СП АС-03 обязательному медицинскому обследованию подлежат лица:

- принимаемые на работу в подразделения атомной электростанции с источниками излучения;
- привлекаемые к ликвидации последствий радиационных аварий, не относящиеся к персоналу группы А;
- с превышением дозы облучения 200 мЗв/год.

Ежегодным медицинским обследованиям подлежит персонал группы А и лица, приравненные к ним по условиям труда.

При выявлении в состоянии здоровья лиц из персонала отклонений, препятствующих продолжению работы с источниками излучения, вопрос о временном или постоянном переводе этих лиц на работу вне контакта с ионизирующим излучением должен решаться в каждом конкретном случае индивидуально, с учетом санитарно-гигиенической характеристики условий труда, стойкости и тяжести выявленной патологии, а также социальных мотивов.

Периодическим медицинским обследованиям по специальным программам пожизненно подлежат лица следующих категорий:

- персонал группы А после прекращения работ с источниками излучения, если эта работа выполнялась им не менее 7,5 лет;
- любое лицо, подвергшееся радиационному воздействию в эффективной дозе более 200 мЗв за год;
- любое лицо, у которого накопленная эффективная доза составляет от одного из основных видов облучения более 500 мЗв или более 1 000 мЗв от всех видов радиационного воздействия.

При периодических медицинских осмотрах должны выявляться лица, требующие лечения, лица с высокой степенью риска возникновения радиационно зависимых заболеваний, в отношении которых должна осуществляться система мер профилактики. Лица с выявленными заболеваниями должны быть направлены на амбулаторное или стационарное лечение, а при необходимости и на реабилитацию.

Периодическое медицинское обследование лиц из персонала группы А после прекращения ими работы с источниками излучения проводится в том же медицинском учреждении, что и во время указанных работ, или в другом медицинском учреждении ведомства, в котором они работали с источниками излучения.

### ***Организационные и организационно-технические мероприятия***

Комплекс организационных и организационно-технических мероприятий, осуществляемых в целях обеспечения радиационной безопасности персонала радиационно опасных объектов, включает:

- определение задач и планирование мероприятий по обеспечению радиационной безопасности на радиационно опасном объекте;
- формирование организационных основ обеспечения радиационной безопасности на радиационно опасном объекте;
- оповещение и информирование персонала;
- зонирование радиационно опасных объектов;
- организацию радиационного контроля;
- использование средств индивидуальной и коллективной защиты;
- нормализацию радиационной обстановки при ее ухудшении.

Содержание, объем и организация осуществления перечисленных мероприятий зависит от типа радиационно опасного объекта, радиационной обстановки как при нормальной эксплуатации объекта, так и при радиационной аварии на нем.

#### ***Определение задач и планирование мероприятий по обеспечению радиационной безопасности***

Планирование мероприятий по обеспечению радиационной безопасности на радиационно опасных объектах является одним из важнейших направлений успешного решения данной проблемы как при нормальной эксплуатации этих объектов, так и при радиационных авариях на них.

Исходя из опыта и требований нормативных документов [86, 112], оно заключается в разработке планов и инструкций по обеспечению радиационной безопасности на радиационно опасных объектах и планов мероприятий по защите персонала и населения при радиационных авариях. Как правило, планы обеспечения радиационной безопасности разрабатываются для объектов, где эксплуатируются ядерные реакторы, инструкции — для объектов, использующих радиоизотопные установки и приборы, проводящих работы с радиоактивными веществами.

В планах и инструкциях обеспечения радиационной безопасности на радиационно опасных объектах дается характеристика используемых источников ионизирующих излучений, излагается порядок проведения работ с ними, объем, организация и порядок проведения мероприятий по обеспечению радиационной безопасности, состав сил и средств, привлекаемых к обеспечению радиационной безопасности.

Так, например, План обеспечения радиационной безопасности объектов Минобороны России, на которых эксплуатируются ядерные реакторы (за исключением кораблей с ЯЭУ), обычно разрабатывается на карте. Он включает:

- задачи по обеспечению радиационной безопасности;
- расположение радиационно опасных объектов;
- зонирование в районе расположения объектов с ядерными энергетическими установками;
- расположение специальных сооружений обеспечения радиационной безопасности;
- дислокацию сил и средств обеспечения радиационной безопасности;
- точки контроля за радиоактивностью внешней среды;
- маршруты передвижения личного состава и транспортирования радиоактивных отходов;
- схему организации управления силами, участвующими в обеспечении радиационной безопасности;
- таблицу распределения сил и средств по задачам обеспечения радиационной безопасности.

В пояснительной записке к Плану обеспечения радиационной безопасности излагаются:

- задачи по обеспечению радиационной безопасности;
- выводы из оценки обстановки;
- замысел решения задач обеспечения радиационной безопасности;
- задачи силам, участвующим в обеспечении радиационной безопасности;
- организация взаимодействия сил при решении задач обеспечения радиационной безопасности;
- организация управления силами, принимающими участие в обеспечении радиационной безопасности.

На кораблях ВМФ с ядерными энергетическими установками разрабатываются инструкции обеспечения радиационной безопасности с изложением перечисленных выше вопросов.

Планы мероприятий по защите персонала и населения при радиационных авариях разрабатываются для радиационно опасных объектов I и II категорий. В соответствии с ОСПОРБ-99 план должен содержать следующие основные разделы:

- прогноз возможных аварий на радиационно опасном объекте с учетом вероятных причин, типов и сценариев развития аварии, а также прогнозируемой радиационной обстановки при авариях разного типа;
- критерии для принятия решений о проведении защитных мероприятий;
- перечень организаций, с которыми осуществляется взаимодействие при ликвидации аварии и ее последствий;
- организация аварийного радиационного контроля;
- оценка характера и размеров радиационной аварии;
- порядок введения аварийного плана в действие;
- порядок оповещения и информирования;
- поведение персонала при аварии;
- обязанности должностных лиц при проведении аварийных работ;
- меры защиты персонала при проведении аварийных работ;
- противопожарные мероприятия;
- мероприятия по защите населения и окружающей среды;
- оказание медицинской помощи пострадавшим;
- меры по локализации и ликвидации очагов (участков) радиоактивного загрязнения;
- подготовка и тренировка персонала к действиям в случае аварии.

Объектовый план мероприятий по защите персонала и населения при радиационных авариях, согласно рекомендациям МЧС России, должен иметь, например, следующее содержание.

План должен состоять из текстуальной части и приложений. При этом текстуальная часть включает два раздела.

В первом разделе излагаются:

1. Краткая характеристика возможной обстановки на территории радиационно опасного объекта и прилегающей территории при возникновении радиационной аварии. Количество и типы блоков атомной электростанции, промышленных и исследовательских реакторов, характеристика радиоактивных отходов и их количество и т.д.

Численность персонала радиационно опасного объекта, рабочих и служащих других предприятий, обеспечивающих функционирование объекта, население поселка (города) предприятия. Возможные потери (ориентировочно) среди персонала и населения при аварии (в рабочее и нерабочее время).

2. Предстоящие мероприятия и их ориентировочный объем по предупреждению или снижению последствий радиационных аварий, по защите персонала, рабочих и служащих предприятий, обеспечивающих функционирование радиационно опасного объекта, и населения поселка (города) данного объекта, а также проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ при их возникновении.



Во втором разделе излагается порядок выполнения мероприятий при угрозе и возникновении радиационных аварий.

1. При угрозе возникновения радиационной аварии (режим повышенной готовности):

а) порядок оповещения персонала радиационно опасного объекта, рабочих и служащих других предприятий, населения поселка (города) данного объекта об угрозе возникновения аварии. Ограничение числа людей, находящихся на территории объекта;

б) оперативное информирование диспетчерской службы отраслевого органа и Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации, на территории которого размещается радиационно опасный объект, об обстановке;

в) объем, сроки, привлекаемые силы и средства, порядок осуществления мероприятий по предупреждению или снижению воздействия аварии:

— приведение в готовность необходимых сил, имеющихся защитных сооружений, других заглубленных помещений, герметизация наземных зданий и сооружений, в т.ч. жилых домов и квартир, укрытие в них населения;

— подготовка к выдаче и выдача рабочим, служащим и остальному населению средств индивидуальной защиты, препарата йодистого калия;

— приведение в готовность автотранспорта и загородной зоны на случай эвакуации или отселения людей;

— проведение мероприятий по медицинской защите населения;

— проведение профилактических противопожарных мероприятий и подготовка к безаварийной остановке производства.

2. При возникновении радиационной аварии (чрезвычайный режим):

а) порядок оповещения персонала радиационно опасного объекта, рабочих и служащих других предприятий, населения поселка (города) радиационно опасного объекта о возникновении аварии, рекомендациях по действиям людей в условиях радиоактивного загрязнения;

б) оперативное информирование диспетчерской службы отрасли и Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации об аварии;

в) эвакуация персонала работающей смены радиационно опасного объекта, а также рабочих и служащих предприятий, обеспечивающих функционирование радиационно опасного объекта с его территории (кроме занятых в работе по ликвидации последствий аварии и дежурной смены);

г) организация защиты дежурной смены объекта;

д) приведение в готовность и развертывание сил и средств, привлекаемых к аварийно-спасательным и другим неотложным работам, их состав. Сроки готовности и предназначение, организация работ;

е) защита персонала радиационно опасного объекта и населения: укрытие в защитных сооружениях и других заглубленных помещениях, а также в наземных зданиях, сооружениях, в т.ч. и жилых домах с учетом герметизации оконных и дверных проемов, вентиляционных отверстий; ограничение нахождения людей на открытой территории, обеспечение их средствами индивидуальной защиты; организация радиационного контроля; принятие населением

йодистого препарата; эвакуация (отселение) населения, объем, сроки, порядок проведения и привлекаемые для этого силы и средства;

ж) проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ по устранению непосредственной опасности для жизни и здоровья людей, восстановление жизнеобеспечения населения;

з) взаимодействие с отраслевым органом (группой ОПАС, представителями Росатома, концерна «Росэнергоатом» и т.д.), территориальными органами РСЧС и военным командованием;

и) управление мероприятиями по ликвидации аварии: порядок занятия КЧС объекта пункта управления (или откуда будет осуществляться управление), организация оповещения и информация об обстановке, действиях и правилах поведения в условиях радиоактивного загрязнения персонала радиационно опасного объекта, рабочих и служащих других предприятий, населения поселка (города) объекта, организация связи с подчиненными силами, структурными подразделениями, отраслевыми, территориальными и взаимодействующими органами.

В качестве приложения к Плану разрабатываются:

— календарный план основных мероприятий радиационно опасного объекта при угрозе и возникновении радиационных аварий;

— решение руководителя работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий (карта района размещения объекта и прилегающей к нему территории, включая поселок (город) объекта, основного и запасного районов эвакуации); план объекта;

— расчет сил и средств объекта, а также выделяемых по планам взаимодействия (территориальных формирований, ведомственных формирований, подразделений и частей войск гражданской обороны и Минобороны России) для выполнения мероприятий при угрозе и возникновении радиационных аварий;

— организация управления, оповещения и связи объекта при угрозе и возникновении чрезвычайной аварии (схема).

На радиационно опасных объектах III и IV категории разрабатываются инструкции по защите персонала и населения при радиационных авариях с изложением выше перечисленных вопросов, имеющих непосредственное отношение к этим объектам.

Кроме того, на всех радиационно опасных объектах должны быть инструкции по действиям персонала в аварийных ситуациях.

«План мероприятий по защите персонала и населения при радиационных авариях» вводится в действие одновременно с объявлением состояния «аварийная обстановка» при достижении показателей радиационной обстановки в помещениях постоянного пребывания персонала зоны контролируемого доступа, на территории промплощадки или санитарно-защитной зоны (в любом месте, по любому из нормируемых показателей) до установленных значений.

В случае ухудшения радиационной обстановки в необслуживаемых помещениях и помещениях периодического пребывания персонала зоны контролируемого доступа меры защиты персонала (ограждение аварийной зоны, удаление персонала) осуществляются в соответствии со специальными инструк-

циями без ввода в действие «Плана мероприятий по защите персонала и населения в случае аварии».

В каждом помещении постоянного пребывания персонала должна быть вывешена «Памятка на случай радиационной аварии», в которой должны быть определены основные действия персонала при возникновении радиационной аварии, указано на применение и использование защитных сооружений, средств индивидуальной защиты, даны рекомендации по приему медицинских препаратов.

### *Формирование организационных основ обеспечения радиационной безопасности на радиационно опасном объекте*

Организация любой деятельности предусматривает ответственность соответствующих должностных лиц за выполнение возложенных на них функций, наличие необходимых сил и средств и согласованность их действий по решению стоящих перед ними задач.

Говоря об ответственности лиц, участвующих в обеспечении радиационной безопасности на радиационно опасном объекте, необходимо отметить следующее.

В соответствии с нормативными правовыми актами [86, 112, 135] эксплуатирующая радиационно опасный объект организация несет ответственность за радиационную безопасность и обеспечивает:

- соблюдение требований Федерального закона «О радиационной безопасности населения», законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности, НРБ-99 и ОСПОРБ-99;

- получение лицензии на проведение работ с источниками излучения и санитарно-эпидемиологического заключения на выпускаемую продукцию, содержащую источники излучения;

- разработку контрольных уровней воздействия радиационных факторов в организации и зоне наблюдения с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности, а также инструкции по радиационной безопасности;

- перечень лиц, относящихся к персоналу групп А и Б;

- создание условий работы с источниками излучения, соответствующих ОСПОРБ-99, правилам по охране труда, технике безопасности, другим санитарным нормам и правилам, действие которых распространяется на данную организацию;

- планирование и осуществление мероприятий по обеспечению и совершенствованию радиационной безопасности в организации;

- систематический контроль радиационной обстановки на рабочих местах, в помещениях, на территории организации, в санитарно-защитной зоне и в зоне наблюдения, а также за выбросом и сбросом радиоактивных веществ;

- контроль и учет индивидуальных доз облучения персонала;

- регулярное информирование персонала об уровнях излучения на рабочих местах и о величине полученных им индивидуальных доз облучения;

- подготовку и аттестацию по вопросам обеспечения радиационной безопасности руководителей и исполнителей работ, специалистов служб радиационной безопасности, других лиц, постоянно или временно выполняющих работы с источниками излучения;
- проведение инструктажа и проверку знаний персонала в области радиационной безопасности;
- проведение предварительных (при поступлении на работу) и периодических медицинских осмотров персонала;
- ежегодное в установленные сроки представление заполненного радиационно-гигиенического паспорта организации;
- своевременное информирование органов исполнительной власти, уполномоченных осуществлять государственное управление, государственный надзор и контроль в области радиационной безопасности, о возникновении аварийной ситуации или аварии;
- выполнение постановлений и предписаний должностных лиц органов исполнительной власти, осуществляющих государственное управление, государственный надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности.

При этом общее руководство работой по обеспечению радиационной безопасности осуществляет руководитель радиационно опасного объекта. Там, где есть главный инженер, на него возлагается организация работ и выполнение технических мероприятий по радиационной безопасности.

Так, например, на военных объектах (в воинских частях) командир части организует:

- обеспечение радиационной безопасности при работах с источниками ионизирующих излучений;
- допуск личного состава (персонала) к работам в условиях воздействия ионизирующих излучений;
- обучение (подготовку) личного состава (персонала) правилам радиационной безопасности и действиям в условиях сложной радиационной обстановки;
- подготовку сил и средств;
- создание запасов средств для ликвидации последствий возможных радиационных аварий;
- использование средств;
- руководство силами;
- повседневный контроль за выполнением режима радиационной безопасности и правил работы с источниками ионизирующих излучений, создание безопасных условий труда при работе с источниками ионизирующих излучений;
- контроль за радиационной обстановкой и облучением личного состава (персонала) при работах с источниками ионизирующих излучений;
- проведение необходимых мероприятий по защите окружающей среды от радиоактивных загрязнений, руководство сбором и удалением радиоактивных отходов.

Персональную ответственность за обеспечение радиационной безопасности в своих подразделениях несут руководители структурных подразделений радиационно опасных объектов. Например, руководители структурных подразделений атомных электростанций обязаны [112]:

- при планировании, подготовке и выполнении радиационно опасных работ стремиться к максимальному использованию методологии ALARA;

- определить для каждой категории работников объем знаний по радиационной безопасности, организовать обучение работников практическим приемам правильного и безопасного выполнения работ, прививать им дисциплинированность и аккуратность;

- знать и постоянно следить за состоянием радиационной обстановки в закрепленных помещениях;

- осуществлять контроль за дозами облучения, полученными подчиненным персоналом, регулярно информировать его о состоянии радиационной обстановки на рабочих местах и индивидуальных дозах облучения;

- обеспечивать разработку и внедрение мероприятий по улучшению радиационной обстановки в закрепленных за подразделением производственных помещениях, снижение доз внешнего и внутреннего облучения персонала;

- принимать меры по снижению выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду;

- организовывать ремонтные зоны при работе с загрязненным оборудованием и при необходимости переносные саншлюзы, обеспечивать применение дисциплинарных барьеров для обозначения радиационно опасных зон, а также предупредительных плакатов и знаков радиационной опасности;

- организовывать работу персонала сторонних организаций, прикомандированного к подразделению, в соответствии с требованиями СП АС-03;

- перед проведением особо радиационно опасной работы официально уведомить службу радиационной безопасности о планируемой работе, сообщить объем работы и начало ее проведения, подготовить и согласовать в порядке, установленном СП АС-03, программу обеспечения радиационной безопасности при проведении этой работы.

В свою очередь начальники смен атомных электростанций, энергоблоков, других радиационно опасных объектов несут ответственность за обеспечение радиационной безопасности в закрепленных помещениях, зданиях и сооружениях и обязаны:

- организовать ведение технологических процессов и эксплуатацию оборудования в соответствии с действующим регламентом, принимать своевременные меры при повышении значений параметров радиационной обстановки, являющихся критериями для оценки состояния оборудования, по предотвращению ухудшения радиационной обстановки в закрепленных помещениях и выхода радиоактивных веществ на территорию и в окружающую среду;

- быть в курсе всех выполняемых в течение смены работ, организовывать подготовку рабочих мест для безопасного выполнения работ по дозиметрическим нарядам и распоряжениям, осуществлять контроль за работами;

- обеспечивать выполнение мероприятий по улучшению радиационной обстановки и снижению доз внешнего и внутреннего облучения персонала;
- обеспечивать выполнение мероприятий по улучшению радиационной обстановки и снижению доз внешнего и внутреннего облучения персонала;
- организовывать контроль за выбросами и сбросами радиоактивных веществ в окружающую среду и принимать меры по их снижению;
- немедленно докладывать вышестоящему руководству об отклонениях от регламентных режимов эксплуатации оборудования и связанных с этим ухудшением радиационной обстановки и увеличением выхода радиоактивных веществ в окружающую среду.

Определенные требования по обеспечению радиационной безопасности на радиационно опасных объектах предъявляются и к персоналу этих объектов. В соответствии с ОСПОРБ-99 персоналу, работающему с источниками излучения (группа А), следует:

- знать и строго выполнять требования по обеспечению радиационной безопасности, установленные данными правилами, инструкциями по радиационной безопасности и должностными инструкциями;
- использовать в предусмотренных случаях средства индивидуальной защиты;
- выполнять установленные требования по предупреждению радиационной аварии и правила поведения в случае ее возникновения;
- своевременно проходить периодические медицинские осмотры и выполнять рекомендации медицинской комиссии;
- обо всех обнаруженных неисправностях в работе установок, приборов и аппаратов, являющихся источниками излучения, немедленно ставить в известность руководителя (цеха, участка, лаборатории и т.п.) и службу радиационной безопасности (лицо, ответственное за радиационную безопасность);
- выполнять указания службы радиационной безопасности, касающиеся обеспечения радиационной безопасности при выполнении работ;
- по окончании смены покинуть свои рабочие места, если дальнейшее пребывание там не диктуется производственной необходимостью.

Дополняя эти требования ПРБ АС-99 трактуют, что персонал атомных электростанций должен знать свои действия в случае возникновения радиационной аварии и быть готовым к проведению аварийно-восстановительных работ. При проведении работ в зоне контролируемого доступа персонал обязан выполнять следующие основные требования:

- быть предельно внимательным к звуковым, световым и другим сигналам, знать их назначение;
- выполнять требования плакатов и знаков безопасности;
- следовать к месту выполнения работ безопасными маршрутами, исключая пересечение ремонтных зон;
- выполнять требования, касающиеся условий и времени проведения работ по дозиметрическим нарядам и распоряжениям;
- заранее определять порядок выполнения предстоящей работы в зоне с повышенными уровнями излучений, выполнять ее быстро и четко;

— рабочие операции проводить по возможности механизированными или автоматизированными способами. Обеспечить полную работоспособность и достаточное для работы количество инструментов, приспособлений и измерительных приборов;

— следить за загрязнением рабочих инструментов и своевременно проводить их дезактивацию;

— при работах в необслуживаемых и периодически обслуживаемых помещениях в случае необходимости пользоваться дополнительными средствами индивидуальной защиты;

— следить за тем, чтобы на рабочих местах находились только лица, непосредственно выполняющие работы в данный момент;

— отдых, обсуждение результатов работы проводить в местах с минимальным уровнем ионизирующего излучения;

— не допускать радиоактивного загрязнения средств индивидуального дозиметрического контроля, их повреждения или утери. В случае их утери, повреждения или загрязнения необходимо немедленно прекратить работу и поставить в известность непосредственного руководителя и оперативный персонал службы радиационной безопасности.

Основной обязанностью работника, выполняющего работы с источниками ионизирующего излучения, является поддержание своего уровня облучения и окружающих лиц на таком низком уровне, насколько это достижимо.

Общее методическое руководство и оказание практической помощи подразделениям радиационно опасных объектов в организации работы по обеспечению радиационной безопасности осуществляют создаваемые на этих объектах службы (группы, команды, отделы, цеха) радиационной безопасности, организационная структура и численность которых определяются перечнем и объемом выполняемых работ. Подчиняются службы радиационной безопасности, как правило, непосредственно руководителям радиационно опасных объектов.

Организационная структура типовой службы радиационной безопасности объектов, где осуществляется эксплуатация ядерных реакторов, представлена на рис. 5.1.

На службу радиационной безопасности возлагаются следующие основные задачи:

— установление и поддержание режима радиационной безопасности;

— контроль за состоянием источников ионизирующих излучений по радиационным факторам;

— проведение технической проверки и ремонта дозиметрических приборов и аппаратуры радиационного контроля.

В содержание первых двух основных задач входят следующие мероприятия:

1. Установление и поддержание режима радиационной безопасности:

— планирование и организация обеспечения радиационной безопасности;

— организация подготовки персонала по радиационной безопасности и его допуска к работам с источниками ионизирующих излучений;

— зонирование территории и помещений радиационно опасного объекта;

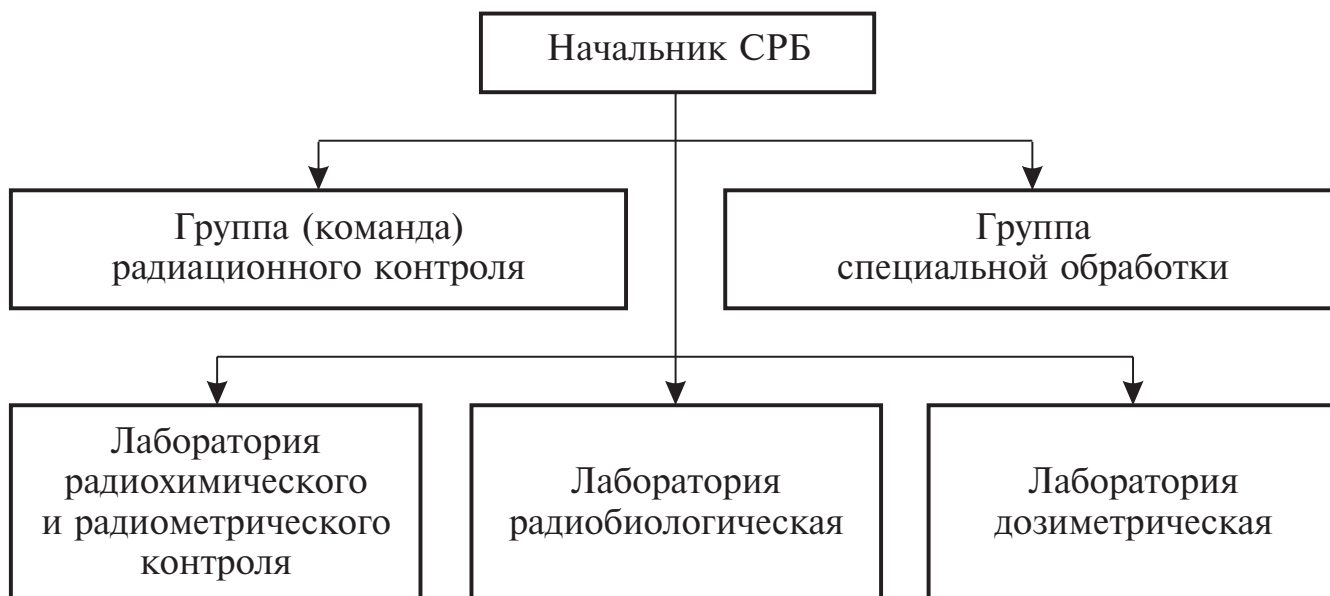


Рис. 5.1. Организационная структура типовой службы радиационной безопасности

- организация радиационного контроля;
- использование спецодежды и средств индивидуальной защиты;
- организация контроля за состоянием режима радиационной безопасности.

2. Контроль за состоянием источников ионизирующих излучений по радиационным факторам:

- прогноз состояния активных зон реакторов в зависимости от степени негерметичности оболочек ТВЭЛ;

- определение эффективности биологической защиты ядерных реакторов, радиоизотопных установок, радиоизотопных приборов, а также оценка защитных свойств емкостей, хранилищ, защитных контейнеров, колодцев, ниш, сейфов и т.д., предназначенных для хранения открытых и закрытых источников излучений, в том числе отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов;

- определение герметичности систем и узлов ядерных реакторов, радиоизотопных установок, радиоизотопных приборов, а также емкостей, хранилищ, сосудов, контейнеров, ампул, подложек и т.п., содержащих источники ионизирующих излучений.

При этом на начальника службы радиационной безопасности возлагается: поддержание службы в готовности к выполнению возложенных на нее задач; руководство проведением мероприятий по обеспечению радиационной безопасности; осуществление постоянного контроля за выполнением требований режима радиационной безопасности и правил работы с источниками ионизирующих излучений; личное руководство проведением мероприятий по обеспечению радиационной безопасности при возникновении аварий и неисправностей, сопровождающихся ухудшением радиационной обстановки, создающих угрозу загрязнения радиоактивными веществами или переоблучения персонала.



Подразделения службы радиационной безопасности предназначены:

**группа радиационного контроля** — для проведения дозиметрического контроля облучения персонала, радиометрического контроля загрязнения персонала, оборудования, имущества и транспорта, поддержания установленного режима радиационной безопасности;

**группа специальной обработки** — для дезактивационных работ на объекте в случае радиоактивного загрязнения его зданий, помещений и оборудования выше допустимых уровней, осуществления сбора, временного хранения и передачи на захоронение радиоактивных отходов;

**лаборатория радиохимического и радиометрического контроля** — для оценки и прогнозирования состояния активной зоны реакторов и контроля состояния технологических сред контуров реакторов путем проведения радиохимических, физико-химических и химических анализов, радиометрических и спектрометрических измерений проб этих сред;

**радиобиологическая лаборатория** — для оценки эффективности мероприятий по обеспечению радиационной безопасности и осуществления контроля за радиоактивностью объектов внешней среды и внутренним облучением персонала;

**дозиметрическая лаборатория** — для проверки технического состояния и проведения ремонта приборов и установок радиационного контроля.

В случае необходимости при радиационных авариях личный состав службы радиационной безопасности привлекается к работам по нормализации радиационной обстановки и обеспечению радиационной безопасности при этих работах.

Кроме того, на радиационно опасных объектах для ликвидации последствий возможных радиационных аварий создаются нештатные сводные отряды (команды), на которые возлагаются следующие задачи:

— разведка очага аварии, определение зон радиоактивного загрязнения, значений радиационных факторов;

— локализация и экранизация источников радиоактивных загрязнений и ионизирующих излучений;

— дезактивация помещений, оборудования и отдельных участков загрязненной местности;

— санитарная обработка персонала.

При необходимости к ликвидации последствий радиационных аварий на радиационно опасных объектах по решению федеральных органов исполнительной власти могут привлекаться воинские части и подразделения войск гражданской обороны, а также Минобороны России, а по решению органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления — местные аварийно-спасательные формирования (подразделения).

Схема управления при ликвидации объектовой чрезвычайной ситуации радиационного характера представлена на рис. 5.2.

Управление при ликвидации чрезвычайной ситуации радиационного характера (последствий радиационной аварии) заключается в руководстве



Рис. 5.2. Схема управления при ликвидации объектовой чрезвычайной ситуации радиационного характера

силами и средствами при проведении работ по нормализации радиационной обстановки при ее ухудшении. В состав этих работ входят следующие мероприятия:

- прогнозирование и оценка возможных последствий радиационных аварий;
- радиационная разведка (обследование) очагов аварий, определение размеров зон радиоактивного загрязнения и скорости его распространения, значений радиационных факторов;
- оценка масштабов последствий радиационных аварий, планирование мероприятий по нормализации радиационной обстановки;
- локализация радиоактивных загрязнений и экранизация источников ионизирующих излучений;
- ликвидация радиоактивных загрязнений воздуха, оборудования, спец-одежды, средств индивидуальной защиты и различных поверхностей;
- санитарная обработка персонала;
- сбор, временное хранение, транспортировка, переработка и захоронение радиоактивных отходов.

Главной целью управления является обеспечение эффективного использования сил и средств, в результате чего работы по ликвидации последствий радиационных аварий должны быть выполнены в полном объеме, в кратчайшие сроки, с минимальными потерями людей и материальных средств.

При объектовой чрезвычайной ситуации руководитель по ее ликвидации назначается руководителем радиационно опасного объекта.

Управление работами начинается с момента возникновения чрезвычайной ситуации радиационного характера и завершается после ее ликвидации.

Аварийные работы на объекте в случае радиационной аварии осуществляются в два этапа: первоочередные аварийные работы и ликвидация последствий аварий (в том числе ремонтно-восстановительные работы на объекте и его территории).

Основными задачами, решаемыми в ходе первоочередных аварийных работ на радиационно опасном объекте, являются:

- установление контроля над аварийной ядерно-технической установкой (реактором);

- оценка обстановки и принятие решений по снижению тяжести аварии и ее последствий;
- проведение аварийно-спасательных работ;
- тушение пожаров;
- подавление выбросов радиоактивных веществ и предотвращение распространения радиоактивного облака;
- дезактивация путей подхода людей и техники к местам проведения работ;
- мероприятия по радиационной защите.

Ликвидация же последствий аварии направлена прежде всего на предотвращение распространения радиоактивных веществ за пределы загрязненной территории и включает в себя: локализацию и ликвидацию источников радиоактивного загрязнения; дезактивацию (реабилитацию) самой этой загрязненной территории и объектов; сбор и захоронение (размещение) образующихся в ходе работ радиоактивных отходов, а также ремонтно-восстановительные работы на объекте и его территории, объем и содержание которых определяется степенью тяжести аварии и планами их дальнейшего использования по прямому назначению или в иных целях.

Конкретный перечень работ и порядок их планирования определяется уровнем радиоактивного загрязнения территории, реальной загрязненности и техническим состоянием восстанавливаемого объекта.

Основным в планировании работ по локализации источников излучений и загрязнений и ликвидации последствий аварии являются:

- объективная оценка состава и основных форм нахождения источников излучений и загрязнения;
- учет свойств основных поверхностей территории и объектов;
- оценка предполагаемого характера (прочности) фиксации радиоактивного загрязнения на различных поверхностях;
- определение приоритетов (очередности) проведения работ по локализации и ликвидации загрязнений на различных объектах (участках) в зависимости от их влияние на формирование радиационной обстановки;
- выбор наиболее эффективных и реально осуществимых способов локализации и ликвидации радиоактивного загрязнения объектов, исходя из имеющихся в распоряжении сил и технических средств.

При этом приоритетной целью ликвидации последствий радиационных аварий (ЛПА) является обеспечение требуемого уровня мер защиты населения.

Принятие решений по ликвидации последствий аварий зависит от целей и задач, определяемых каждой конкретной стадией работ.

На **ранней стадии** решаются следующие задачи ЛПА:

- локализация источника аварии, т.е. прекращение выброса радиоактивных веществ в окружающую среду;
- выявление и оценка складывающейся радиационной обстановки;
- снижение миграции первичного загрязнения на менее загрязненные или незагрязненные участки путем локализации или удаления загрязненных фраг-

ментов технологического оборудования, зданий и сооружений, просыпей и проливов радиоактивных веществ;

— создание временных площадок складирования радиоактивных отходов.

Характерной особенностью ранней стадии аварии является высокая вероятность возникновения вторичных загрязнений за счет переноса нефиксированных, первично выпавших радиоактивных веществ на менее загрязненные или незагрязненные поверхности.

С течением времени происходит увеличение прочности фиксации загрязнения на поверхностях, приводящее к необходимости применения более сложных и дорогостоящих методов его ликвидации, увеличению объемов образующихся радиоактивных отходов, продолжительности и стоимости работ по обеспечению требуемого уровня защиты населения. Поэтому эффективность и оперативность принятия решений по ликвидации выявленных нефиксированных загрязнений на ранней фазе имеет первостепенное значение. Эти решения принимаются по наиболее критическим объектам загрязнения.

На **промежуточной стадии** решаются следующие задачи ЛПА:

— стабилизация радиационной обстановки и обеспечение перехода к плановым работам по ЛПА;

— организация постоянного контроля радиационной обстановки;

— принятие решения о методах и технических средствах ЛПА;

— проведение плановых мероприятий по ЛПА до достижения установленных контрольных уровней радиоактивного загрязнения;

— создание временной или стационарной системы безопасного обращения с радиоактивными отходами (локализация и ликвидация объектов первичного и вторичного загрязнений, удаление образующихся радиоактивных отходов на временные или стационарные площадки и т.д.).

В этот период на поверхностях объектов радионуклиды находятся в нефиксированных или слабо фиксированных формах. Методы ЛПА на этой фазе должны исключить возможность возникновения вторичных загрязнений, предотвратить процесс фиксации радиоактивных веществ на поверхности и проникновение их вглубь объема.

На **поздней стадии** решаются следующие задачи ЛПА:

— завершение плановых работ по ЛПА и доведение радиоактивного загрязнения до предусмотренных Нормами радиационной безопасности уровней;

— ликвидация временных площадок складирования радиоактивных отходов или организация радиационного контроля безопасности хранения на весь период потенциальной опасности.

Работы на поздней стадии ЛПА наиболее трудоемки и продолжительны. Радионуклиды, определяющие радиационную обстановку на загрязненных объектах, в этот период находятся преимущественно в фиксированных и трудно удаляемых известными методами дезактивации формах. Выбор наиболее эффективных методов может быть сделан только по данным детальных исследований нуклидного состава и физико-химических форм радиоактивного загрязнения.

### *Оповещение и информирование персонала*

Оповещение и информирование персонала радиационно опасных объектов о радиационной обстановке на объекте, в отдельных его зданиях и сооружениях, о предпосылках и возникновении радиационной аварии осуществляется с помощью различных средств оповещения объекта, используя линии городской и местной телефонных станций, диспетчерскую связь, радиосвязь, радиотрансляционную сеть и другие.

Кроме того, используются сигнальные средства, в качестве которых используются различного типа электросирены (С-40, С-28 и др.).

Мощность устанавливаемых сигнальных средств оповещения на большинстве объектов подбирается таким образом, чтобы подавляемые звуковые сигналы перекрывали площадь территории, занимаемой объектами, и обеспечивали надежную слышимость сигналов на объектах, в которых находится производственный персонал.

В районах размещения радиационно опасных объектов создаются локальные системы оповещения, зона действия которых определяется, например, для АЭС в радиусе 5 км вокруг станции, с обязательным включением в нее поселка (городка) станции.

Решение на оповещение персонала и при необходимости населения принимается руководством радиационно опасного объекта, в его отсутствие — начальником смены, как правило, первого энергоблока АЭС, на других объектах — начальником дежурной смены диспетчерской службы.

### *Зонирование радиационно опасных объектов*

Зонирование радиационно опасных объектов осуществляется в целях организации режима радиационной безопасности и заключается в установлении на объекте специальных режимных зон, в которых организуется особый санитарно-пропускной режим, вводится ряд ограничений по допуску и пребыванию в них людей, устанавливаются определенные правила поведения, обязательные для выполнения всеми посещающими эти зоны, обеспечивается принудительное выполнение требований установленного в целом режима радиационной безопасности. Состав и количество режимных зон определяются в зависимости от характера радиационной обстановки при повседневной безаварийной работе радиационно опасных объектов и степени радиационной опасности при возникновении аварийных ситуаций.

На радиационно опасных объектах устанавливаются два типа режимных зон: санитарно-гигиенические и организационно-технические.

К санитарно-гигиеническим зонам относятся санитарно-защитная зона и зона наблюдения, которые определены и устанавливаются в соответствии с требованиями ОСПОРБ-99 [86].

Как отмечалось выше, по потенциальной радиационной опасности установлены 4 категории объектов.

Эти категории устанавливаются на этапе проектирования объектов по согласованию с органами государственного надзора в области обеспечения радиационной безопасности, а для действующих объектов они устанавливаются

администрацией по согласованию с органами санитарно-эпидемиологического надзора.

Так вот, санитарно-защитные зоны устанавливаются вокруг радиационно опасных объектов 1-й и 2-й категорий, а зона наблюдения — вокруг радиационно опасных объектов 1-й категории. Санитарно-защитная зона для радиационно опасных объектов 3-й категории ограничивается территорией объекта, а для радиационно опасных объектов 4-й категории установление санитарно-гигиенических зон не предусмотрено.

Размеры санитарно-защитной зоны определяются на основе расчета дозы внешнего облучения и распространения радиоактивных выбросов в атмосферу и сбросов в водоемы с учетом метеорологических, гидрологических и экологических факторов. В эту зону включается территория вокруг радиационно опасного объекта, на которой уровень облучения населения может превысить установленный предел дозы.

В санитарно-защитной зоне запрещается размещение жилых зданий, детских учреждений, больниц, госпиталей, санаториев и других учреждений общего пользования, а также промышленных и подсобных помещений, не относящихся к объекту, для которого установлена санитарно-защитная зона. Использование земель санитарно-защитной зоны для сельскохозяйственных целей возможно только с разрешения органов санитарно-эпидемиологического надзора. Вся вырабатываемая продукция при этом должна подлежать санитарно-эпидемиологической оценке и радиационному контролю.

Следует отметить, что в отдельных случаях по согласованию с федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным осуществлять санитарно-эпидемиологический надзор, санитарно-защитная зона радиационно опасных объектов 1-й и 2-й категорий, также как и для объектов 3-й категории может быть ограничена пределами территории объекта.

Санитарно-защитная зона, как правило, не имеет ограждения и не обозначается. В ней проводится радиационный контроль, который заключается в систематическом измерении уровней ионизирующих излучений и радиоактивных загрязнений в установленных точках контроля.

В зону наблюдения включается территория (акватория) за пределами санитарно-защитной зоны, где возможно влияние выбросов и сбросов радиоактивных веществ и где уровень облучения проживающего населения может достигать установленного предела дозы.

Следовательно, на границе санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения радиационное воздействие на население при безаварийном функционировании радиационно опасного объекта не должно превышать установленного предела дозы для населения (табл. 2.1) [86].

Необходимо подчеркнуть, что радиационное воздействие на население, проживающее в зоне наблюдения радиационно опасного объекта I категории, при нормальной его эксплуатации ограничивается, как отмечалось выше, размером квоты для данного объекта, о чем более подробно будет сказано ниже.

В зоне наблюдения определяются точки контроля за радиоактивностью внешней среды, в которых с установленной периодичностью производятся из-

мерения уровней ионизирующих излучений и радиоактивных загрязнений, а также производится отбор проб объектов внешней среды для проведения анализов на содержание в них радиоактивных веществ. Размеры зоны наблюдения при нормальной работе радиационно опасного объекта, как правило, в 3—4 раза больше размеров санитарно-защитной зоны.

В зоне наблюдения органами санитарно-эпидемиологического надзора могут вводиться определенные ограничения на хозяйственную деятельность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Границы санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения каждого радиационно опасного объекта согласовываются с органами санитарно-эпидемиологического надзора.

В целях создания на радиационно опасных объектах всех 4 категорий условий для организации и эффективного осуществления режима радиационной безопасности<sup>1</sup> и контроля за выполнением его требований, с учетом уже многолетнего опыта обеспечения радиационной безопасности, кроме санитарно-гигиенических зон, как правило, устанавливаются **организационно-технические зоны**.

Количество этих зон, требования к ним определяются ведомственными нормативными правовыми документами.

Так, например, в соответствии с СП АС-03 в основу проектирования и эксплуатации помещений, зданий и сооружений атомных электростанций положен принцип деления их на зоны в зависимости от характера технологических процессов, размещенного оборудования, характера и возможной степени загрязнения радиоактивными веществами.

Территория, здания и сооружения атомной электростанции делятся на две зоны:

- зону контролируемого доступа, где при нормальной эксплуатации возможно воздействие на персонал радиационных факторов;
- зону свободного режима, где при нормальной эксплуатации атомной электростанции практически исключается воздействие на персонал радиационных факторов.

Кроме того, в зависимости от степени возможного радиационного воздействия на персонал все помещения зоны контролируемого доступа подразделяются на три категории:

- необслуживаемые помещения — помещения, где размещаются технологическое оборудование и коммуникации, условия эксплуатации которых и радиационная обстановка при работе атомной электростанции на мощности не допускают пребывания в них персонала;
- периодически обслуживаемые помещения — помещения, в которых условия эксплуатации и радиационная обстановка при работе атомной электростанции на мощности допускают ограниченное во времени пребывание в них персонала;

<sup>1</sup> **Режим радиационной безопасности** — это комплекс обязательных организационных и технических мероприятий, обеспечивающих выполнение установленных норм радиационной безопасности при работах с источниками ионизирующих излучений.

— помещения постоянного пребывания — помещения, радиационная обстановка в которых допускает возможность постоянного пребывания персонала в течение всего рабочего дня.

Уже в проектах атомных электростанций четко определяется, к какой категории помещений зоны контролируемого доступа относится конкретное помещение. На действующих атомных электростанциях все помещения зоны контролируемого доступа имеют на двери обозначения категории помещения.

Вход в комплекс помещений зоны контролируемого доступа атомной электростанции организуется через санитарные пропускники с обязательным переодеванием персонала.

Проход персонала в необслуживаемые помещения при неработающем технологическом оборудовании организуется через стационарные или временные саншлюзы. В проектах атомных электростанций предусматриваются соответствующие места или площадки, оборудованные трапами спецканализации, подводкой горячей и холодной воды и дезактивирующих растворов.

Следует заметить, что щиты управления (центральный, блочный, резервный и т.п.), кроме щита радиационного контроля, на всех атомных электростанциях, за исключением АЭС с РБМК, размещаются в зоне свободного режима.

Для доставки и удаления оборудования и материалов в помещения и из помещений зоны контролируемого доступа предусматриваются специальные входы и транспортные въезды. Транспортные въезды оборудуются воздушными завесами, специальной канализацией и средствами обмывки транспорта, осуществляется радиационный контроль мощности дозы гамма-излучения.

В помещениях зоны контролируемого доступа (кроме помещений, где находится оборудование и коммуникации с жидкометаллическим натрием) предусматриваются коммуникации для подачи воды и моющих растворов, а также средства для механизированной уборки и дезактивации.

Основной и аварийный проходы (шлюзы) гермообъема реакторной установки оборудуются герметичными дверями.

На радиационно опасных объектах Минобороны России введено несколько иное зонирование внутри санитарно-защитной зоны, хотя по сути своей оно мало чем отличается от зонирования на атомных электростанциях. На объектах Минобороны России к организационно-техническим зонам отнесены зона радиационной безопасности с зонами строгого режима внутри нее.

В зону радиационной безопасности выделяется территория радиационно опасного объекта, на которой размещаются здания и сооружения, непосредственно обеспечивающие работы с источниками ионизирующих излучений и где уровень облучения людей при безаварийной работе объекта может достигать предела дозы для лиц, которые непосредственно не работают с источниками ионизирующих излучений (персонал группы Б). Предел дозы для этой категории лиц установлен равным, как известно,  $1/4$  предела дозы для персонала группы А. (табл. 2.1). Зона радиационной безопасности должна иметь сплошное ограждение. Для обозначения зоны на ее границе устанавливаются (вывешиваются) таблички с надписью «Зона радиационной безопасности»



и знаки радиационной опасности с предупредительной надписью: «Радиоактивность!».

Допуск персонала объекта в зону радиационной безопасности ограничивается. С этой целью на границе зоны устанавливаются контрольно-пропускные пункты. В условиях безаварийной работы радиационно опасных объектов персоналу объекта разрешается находиться в зоне радиационной безопасности в повседневной одежде и без индивидуальных дозиметров. При ухудшении радиационной обстановки в зоне радиационной безопасности на ее границе, в местах выхода персонала и выезда транспорта развертываются временные посты радиационного контроля, которые обеспечивают проведение дозиметрического контроля облучения персонала и контроль радиоактивного загрязнения людей, выносимого имущества и выезжающего транспорта. Для контроля за радиационной обстановкой в зоне радиационной безопасности на ее территории периодически проводится радиационное обследование.

В зоны строгого режима выделяются участки территории, сооружения и помещения, расположенные в зоне радиационной безопасности, где при безаварийной работе доза облучения персонала может достигать предела дозы, установленного для персонала группы А.

Зоны строгого режима должны иметь такое ограждение, которое полностью предотвращало бы бесконтрольный вход и выход из нее персонала, вынос имущества и выезд любого вида транспорта. Персонал должен допускаться в зону строгого режима только в специальной одежде и обуви и при наличии индивидуальных дозиметров. Вход в зону строгого режима и выход из нее осуществляются через пункт радиационного контроля или временный пост радиационного контроля, расположенный на границе зоны, на которых персонал получает индивидуальные дозиметры, информируется о радиационной обстановке в зоне, допустимом времени работы и назначенных средствах защиты органов дыхания и кожи. Переодевание в специальную одежду и обувь производится вне зоны строгого режима в гардеробных помещениях санитарных пропускников.

При выходе из зоны строгого режима личный состав (персонал) сдает на пунктах радиационного контроля индивидуальные дозиметры и в обязательном (принудительном) порядке проходит радиометрический контроль загрязнения кожных покровов, специальной одежды и обуви. Выносимое из зоны строгого режима имущество и выезжающий автотранспорт также подвергаются обязательному радиометрическому контролю на загрязнение радиоактивными веществами.

В зонах строгого режима проводится систематический радиационный контроль, который должен обеспечивать постоянную информацию о всех изменениях радиационной обстановки в зоне. Зоны строгого режима обозначаются табличками с надписью «Зона строгого режима» и знаком радиационной опасности с предупредительной надписью «Радиоактивность!».

Отдельные места, площадки, помещения в зонах строгого режима, где уровни ионизирующих излучений превышают допустимые значения и где пребывание персонала связано с явной опасностью его переоблучения, выде-

ляются в опасные участки. Допуск персонала на опасный участок производится после контроля радиационной обстановки на нем и только с разрешения лица, ответственного за обеспечение радиационной безопасности на объекте. На всю продолжительность работ на границе опасного участка выставляется пост радиационного контроля, который обеспечивает на опасном участке режим радиационной безопасности и контроль за радиационной обстановкой. Опасные участки ограждаются и обозначаются табличкой с надписью «Опасный участок» и знаком радиационной опасности с предупредительной надписью «Радиоактивность!». Вход (въезд) на опасный участок должен быть постоянно закрыт и опечатан.

В ряде случаев при работах с источниками ионизирующих излучений бывает, что необходимость в организации зоны радиационной безопасности отсутствует. Тогда зоны строгого режима и опасные участки для отдельных радиационно опасных объектов (спецхранилищ источников ионизирующих излучений, лабораторий для работы с радиоактивными веществами, площадок и емкостей для радиоактивных отходов и др.) могут устанавливаться автономно.

Принципиальные схемы установления организационно-технических зон в лабораториях для работы с радиоактивными веществами, спецхранилищах источников ионизирующих излучений, ремонтно-градуировочных мастерских представлены на рис. 5.3, 5.4 и 5.5.

В соответствии с ОСПОРБ-99 специальное зонирование с образованием организационно-технических зон применяется для помещений (лабораторий), где проводятся работы 1-го класса (примерная активность на рабочем месте, приведенная к группе А, более  $10^8$  Бк) с открытыми источниками<sup>1</sup>. Такие помещения (лаборатории) размещаются в отдельном здании или изолированной части здания с отдельным входом и разделяются на три зоны: I, II и III.

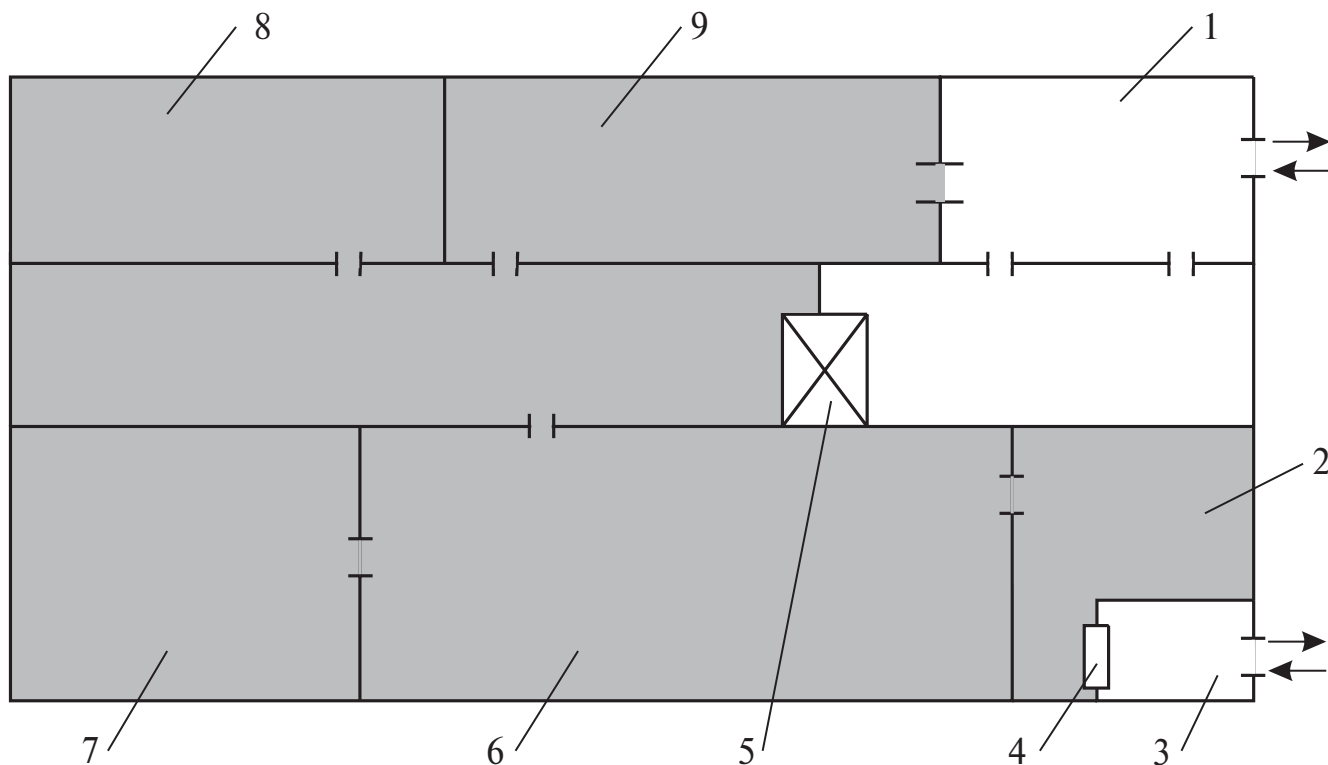
В I зону включаются камеры, боксы и другие герметичные устройства, не обслуживаемые помещения, где размещаются технологическое оборудование и коммуникации, являющиеся основными источниками радиоактивного загрязнения. Все помещения, отнесенные к I зоне, как правило, являются опасными участками.

Ко II зоне относятся периодически обслуживаемые ремонтно-транспортные помещения для проведения ремонта оборудования и других работ, связанных с вскрытием технологического оборудования; узлы загрузки и выгрузки радиоактивных материалов, временного хранения и удаления радиоактивных отходов.

Остальные помещения, предназначенные для постоянного пребывания персонала, операторские, пульта управления и т.п. относятся к III зоне.

Помещения II и III зон являются зонами строгого режима. Отдельные помещения II зоны могут выделяться в опасные участки. Для исключения выно-

<sup>1</sup> **Открытый источник** — источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду.



Условные обозначения:

 — зона радиационной безопасности

 — зона строгого режима

1 — санпропускник с гардеробными помещениями;

2, 6, 7, 8, 9 — лабораторные помещения;

3 — помещения приема радиоактивных проб;

4 — шкаф хранения радиоактивных проб;

5 — установка для контроля радиоактивного загрязнения персонала.

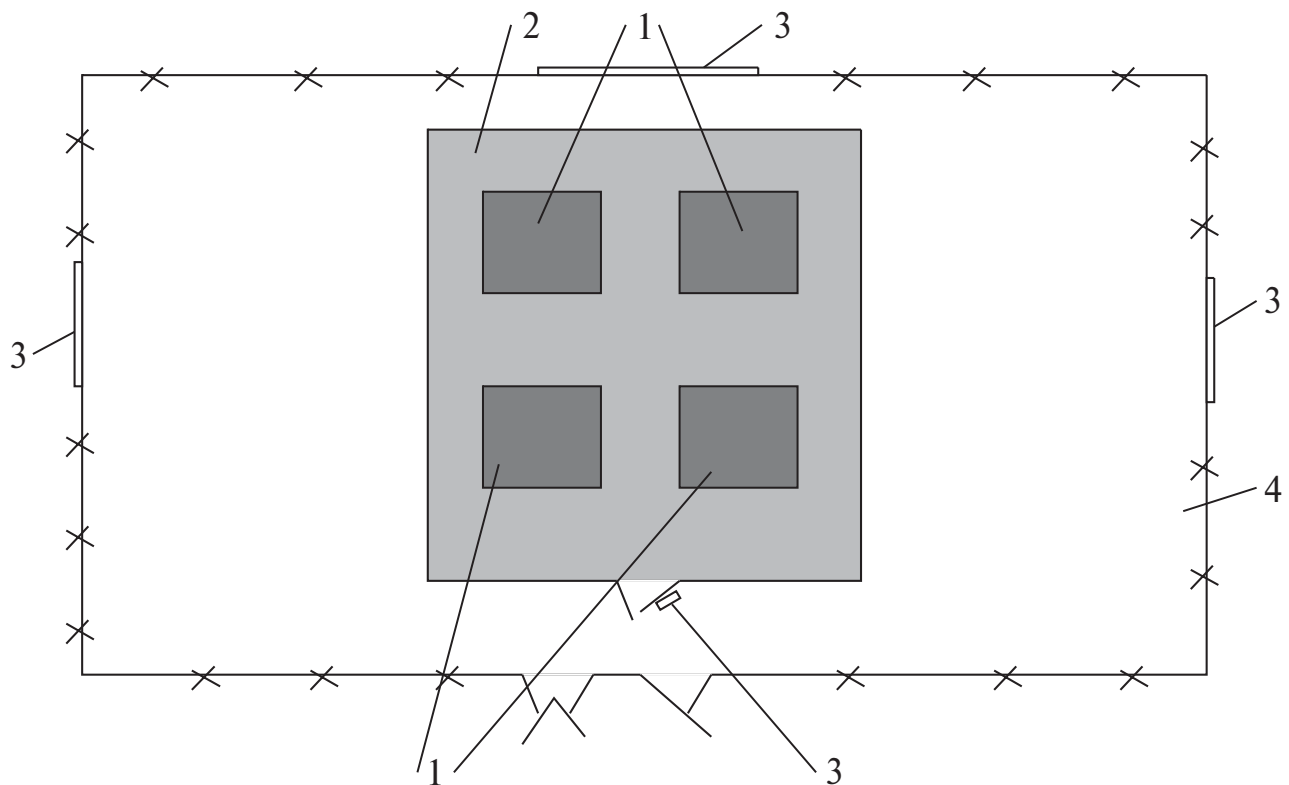
Рис. 5.3. Принципиальная схема установления режимных зон в лаборатории для работы с радиоактивными веществами

са радиоактивных загрязнений из помещений II зоны в помещения III зоны на границе между ними оборудуется санитарный шлюз.

Вход в помещения (лаборатории) для работ I класса и выход из них осуществляются только через санитарный пропускник, оборудованный пунктом радиационного контроля.

Помещения (лаборатории) для работ II класса (суммарная активность на рабочем месте от  $10^5$  до  $10^8$  Бк) размещаются в отдельной части здания. В составе этих помещений должны быть санитарный пропускник (саншлюз) или душевая и пункт радиационного контроля. Помещения для работ II класса выделяются в зону строгого режима. При этом отдельные помещения могут выделяться в опасные участки.

Специальных требований к размещению помещений для работ III класса (суммарная активность на рабочем месте от  $10^3$  до  $10^5$  Бк) не предъявляется. Как правило, такие помещения относятся к зоне радиационной безопасности.



Условные обозначения:


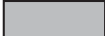


- |                                                                                     |                                             |                                                                                      |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|   | — зона радиационной безопасности            |   | — зона строгого режима |
|  | — ограждение зоны радиационной безопасности |  | — опасные участки      |
- 1 — колодцы с ИИИ;  
 2 — специальное хранилище ИИИ;  
 3 — места вывешивания табличек со знаком радиационной опасности;  
 4 — ограждаемый участок территории.

Рис. 5.4. Принципиальная схема установления режимных зон в хранилище источников ионизирующих излучений

### Организация радиационного контроля

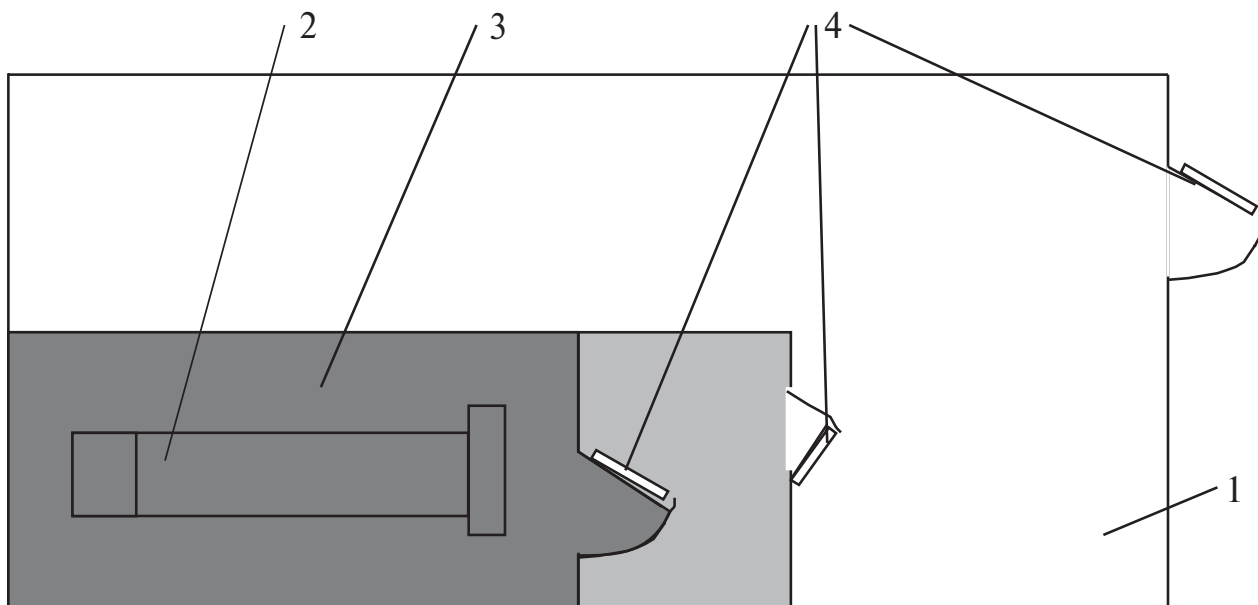
Радиационный контроль организуется в целях получения систематической информации о радиационной обстановке для своевременного принятия мер по предотвращению переоблучения персонала и выявлению радиоактивных загрязнений окружающей среды.

Он проводится в основном персоналом службы (группы, команды и т.п.) радиационной безопасности радиационно опасного объекта. В некоторых случаях допускается проведение отдельных видов радиационного контроля персоналом других подразделений объекта при методическом руководстве службы радиационной безопасности.

Радиационный контроль осуществляется за всеми основными радиационными показателями, определяющими уровни облучения персонала и радиоактивную загрязненность окружающей среды.

Основными контролируруемыми параметрами являются:

- годовая эффективная и эквивалентная дозы;



Условные обозначения:

- зона радиационной безопасности
- зона строгого режима
- опасный участок

- 1 — ремонтное помещение;
- 2 — комплект измерительных стендов;
- 3 — градуировочная;
- 4 — места вывешивания табличек со знаком радиационной опасности

Рис. 5.5. Принципиальная схема установления режимных зон в ремонтно-градуировочной мастерской

- поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме для оценки годового поступления;
- объемная или удельная активность радионуклидов в воздухе, воде, продуктах питания, строительных материалах и др.;
- радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви, рабочих поверхностей;
- доза и мощность дозы внешнего излучения;
- плотность потока частиц и фотонов.

С целью оперативного контроля для всех перечисленных контролируемых параметров устанавливаются контрольные уровни.

При установлении контрольных уровней исходят из принципа оптимизации с учетом:

- неравномерности радиационного воздействия во времени;
- целесообразности сохранения уже достигнутого уровня радиационного воздействия на данном объекте ниже допустимого;
- эффективности мероприятий по улучшению радиационной обстановки.

При изменении характера работ перечень и числовые значения контрольных уровней уточняются.

Следует отметить, что при установлении контрольных уровней объемной и удельной активности радионуклидов в атмосферном воздухе и в воде водоемов учитывается возможное поступление их по пищевым цепочкам и внешнее излучение радионуклидов, накопившихся на местности.

Во всех случаях для установления контрольных уровней радиационных факторов в режимных зонах, помещениях и т.д. используются статистические данные за несколько последних лет по радиационной обстановке в этих местах. Из них выбираются средние значения, которые и принимаются за контрольные уровни. При этом значения установленных контрольных уровней сравниваются с предельно допустимыми уровнями. Как правило, они должны быть ниже их.

Основными этапами разработки контрольных уровней являются:

— сбор и обобщение фактических данных о радиационной обстановке и дозах облучения;

— проведение специального радиометрического обследования помещений и объектов;

— определение перечня устанавливаемых контрольных уровней. В такой перечень включаются: контрольные уровни загрязнения поверхностей, контрольные уровни радиоактивных газов и аэрозолей в воздухе помещений, контрольные уровни мощности дозы гамма- и нейтронного излучения, контрольные годовые дозы внешнего облучения;

— определение типичных вариантов радиационной обстановки и основных радиационных факторов в зависимости от характера радиационно опасного объекта;

— определение рабочих мест, помещений и участков, для которых устанавливаются контрольные уровни радиационных факторов;

— уточнение фактического и планируемого времени работы персонала в условиях воздействия радиационных факторов;

— анализ данных о радиационной обстановке и дозах облучения;

— определение, согласование и утверждение контрольных уровней радиационных факторов.

Следует отметить, что установление некоторых контрольных уровней имеет определенную специфику.

Контрольные годовые дозы внешнего облучения персонала определяются на основании данных о фактических и расчетных дозах облучения. При этом фактические дозы облучения определяются с помощью индивидуальных измерителей дозы, а затем проверяются расчетным путем методом умножения средней фактической мощности дозы гамма-нейтронного излучения на время работы. Значение контрольной годовой дозы облучения персонала определяется умножением контрольных мощностей доз на планируемое время работы.

Контрольные годовые дозы облучения устанавливаются в зависимости от категории персонала и условий его работы.

Уже на стадии проектирования радиационно опасного объекта регламентируются:

- объекты радиационного контроля;
- виды радиационного контроля;
- контролируемые параметры;
- допустимые уровни контролируемых параметров;
- сеть точек радиационного контроля;
- периодичность радиационного контроля;
- технические средства и методическое обеспечение радиационного контроля;
- состав необходимых помещений и штат работников, осуществляющих радиационный контроль.

При этом предусматриваются автоматизированные системы радиационного контроля, действующие:

- на радиационно опасном объекте;
- за пределами радиационно опасного объекта.

Автоматизированные системы радиационного контроля при нормальной эксплуатации радиационно опасных объектов, ожидаемых отклонениях от эксплуатационных параметров, проектных и запроектных авариях должны обеспечивать получение и обработку информации о радиационной обстановке как в помещениях радиационно опасного объекта, так и в окружающей среде, эффективности защитных барьеров, об активности радионуклидов, поступивших за пределы объекта, а также информации, необходимой для прогнозирования изменений радиационной обстановки со временем и выработки рекомендаций по мерам защиты персонала и населения.

Для получения информации о состоянии радиационной обстановки на радиационно опасном объекте и в окружающей среде как при нормальной его эксплуатации, так и в случае радиационной аварии создаваемая на объекте система радиационного контроля в целом должна находиться в режиме, обеспечивающем измерения параметров радиационной обстановки по следующим направлениям:

- дозиметрический контроль облучения персонала;
- радиометрический контроль загрязнения кожных покровов персонала, имущества и транспорта на границах режимных зон;
- контроль за радиационной обстановкой в местах работы персонала с источниками излучений, в том числе за радиоактивными загрязнениями;
- технологический контроль;
- радиационный контроль окружающей среды.

**Дозиметрический контроль** охватывает персонал, работающий в зоне контролируемого доступа (зоне строгого режима), а также лиц, привлекаемых для работ в ней (принимающих участие в ликвидации последствий радиационных аварий) и осуществляется путем контроля доз внешнего и внутреннего облучения персонала. С этой целью перечисленный персонал обеспечивается индивидуальными дозиметрами для оценки доз внешнего облучения в условиях нормальной эксплуатации и в случае радиационной аварии.

Основные характеристики некоторых индивидуальных дозиметров, используемых для оценки доз внешнего облучения, представлены в табл. 5.3.

При нормальной эксплуатации (радиационной обстановке) измерение и регистрация индивидуальных доз внешнего облучения персонала, как правило, производятся один раз в сутки (за смену), что позволяет контролировать не только дозы облучения, но и радиационную обстановку в местах работы персонала. При аварийной радиационной обстановке измерение и регистрация индивидуальных доз внешнего облучения персонала производятся сразу же после окончания аварийных работ (выхода из района аварии).

Следует подчеркнуть, что при проведении аварийных работ в целях повышения достоверности измеряемых доз облучения рекомендуется выдавать персоналу, участвующему в работах, не менее двух индивидуальных дозиметров.

Оценка доз внутреннего облучения осуществляется, как правило, путем измерений на счетчике излучения человека (СИЧ):

- при поступлении на работу — весь персонал (группа А);
- в ходе работы — контрольные и критические группы персонала не реже 1 раза в год.

Сбор и обработка информации индивидуального дозиметрического контроля проводятся с учетом характерных периодов в работе с источниками ионизирующих излучений. Например, на атомной электростанции: работа энергоблока на мощности, ремонт оборудования и перегрузка ядерного топлива, устранение массовых дефектов оборудования, ликвидация последствий радиационной аварии. Полученные данные учитываются при планировании дозовых нагрузок и разработке мероприятий по снижению доз облучения персонала.

Хранение данных о дозах внешнего и внутреннего облучения персонала радиационно опасных объектов и прикомандированных лиц должно осуществляться на надежных носителях информации, которые должны храниться не менее 50 лет со дня увольнения работника.

**Радиометрический контроль загрязнения кожных покровов персонала, имущества и транспорта на границах режимных зон** осуществляется в целях недопущения распространения радиоактивных загрязнений. Оно проводится с помощью стационарных и переносных приборов (установок) контроля радиоактивных загрязнений, установленных в санпропускниках, саншлюзах, в спецпрачечной, на контрольно-пропускных пунктах при выходе персонала и выезде транспорта с территории режимных зон и радиационно опасного объекта.

Приборы и установки контроля за радиоактивным загрязнением кожных покровов и одежды персонала, имущества и транспорта должны иметь световую и звуковую автоматическую сигнализацию превышения установленных значений и быть постоянно в рабочем состоянии. На случай выхода из строя отдельных приборов и установок должно быть предусмотрено наличие резервных.



Таблица 5.3

Основные характеристики индивидуальных дозиметров, используемых для оценки доз внешнего облучения

сокращенное наименование	Наименование		Назначение	Предел измерения	Диапазон измерения энергии	Погрешность измерений	Температурный режим работы, °С	Масса, кг
	полное							
КДТ-02	Комплект дозиметров термolumи- минесцентных	Измерение дозы рентгеновского и гамма-излучений	ДПГ-02 1—1000 р ДПГ-03 0,005—1000 р ДПС-11 1—1000 р	0,06—1,25 МэВ	±10%	+10—35	34	
СИГ-РМ-1207	Сигнализатор-индикатор гамма-излучения	Измерение, регистрация и индикация МЭД и ЭД гамма-излучения	0,1—4000 мкЗв/г 0,001—9999 мЗв	0,06—1,5 МэВ	±20	0—+45	0,06	
СИГ-РМ-1208	Сигнализатор-индикатор гамма-излучения	Контроль радиационной обстановки, индикация МЭД и ЭД, накопление ЭД	0,1 мкЗв/г — 4 мЗв/г 0,001—9999 мЗв	0,06—1,5 МэВ	±30% ±25%	0—+45	0,095	

В табл. 5.4 представлены основные характеристики некоторых радиометрических установок и приборов, используемых для контроля за радиоактивным загрязнением кожных покровов, одежды, имущества и транспорта.

Периодически, выборочно, в местах хранения личной одежды персонала проводится контроль ее загрязнения.

**Контроль за радиационной обстановкой в местах работы персонала с источниками излучений, в том числе за радиоактивными загрязнениями** в зависимости от характера проводимых работ включает:

— измерение мощности дозы рентгеновского, гамма- и нейтронного излучений, плотности потоков частиц ионизирующего излучения на рабочих местах, в смежных помещениях, на территории организации, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения;

— определение объемной активности выбросов и сбросов радиоактивных веществ;

— определение уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

В системе радиационного контроля объектов I и II категорий используются следующие технические средства:

— непрерывного контроля — на основе стационарных автоматизированных технических средств;

— оперативного контроля — на основе носимых и передвижных технических средств;

— лабораторного анализа — на основе стационарной лабораторной аппаратуры, средств отбора и подготовки проб для анализа.

Причем автоматизированные системы, используемые для радиационного контроля, как правило, должны обеспечивать контроль, регистрацию, отображение, сбор, обработку, хранение и выдачу информации.

В помещениях, где ведутся работы с делящимися материалами в количествах, при которых возможно возникновение самопроизвольной цепной реакции деления, а также на ядерных реакторах и критических сборках и при других работах I класса, где радиационная обстановка при проведении работ может существенно изменяться, устанавливаются приборы радиационного контроля со звуковыми и световыми сигнализирующими устройствами, а персонал обеспечивается аварийными дозиметрами.

При проведении работ, опасных в радиационном отношении, перечень контролируемых параметров радиационной обстановки, периодичность и объем контроля могут существенно меняться. Так, например, при проведении ремонтных работ радиационный контроль проводится, как правило, по следующим параметрам радиационной обстановки: мощность дозы от оборудования в реперных точках с замерами при каждом вскрытии и снятии оборудования или его отдельных частей, объемная активность газов и аэрозолей в воздухе помещений, радиоактивное загрязнение поверхностей оборудования и помещений, а при необходимости радионуклидный состав отложений на внутренних поверхностях вскрытого оборудования.

Таблица 5.4

Основные характеристики радиометрических установок и приборов, используемых для контроля за радиоактивным загрязнением кожных покровов, одежды, имущества и транспорта

сокращенное наименование	Наименование		Назначение	Предел измерения	Диапазон измерения энергии	Погрешность измерений	Температурный режим работы, °С	Масса, кг
	сокращенное	полное						
РЗБ-05	Установка контроля	полная	Контроль загрязненности рук, ног, одежды бета-активными радионуклидами	10—2 000 частиц/ (мин.·см <sup>2</sup> )	—	±10 %	+10—+35	~65
СЗБ-0,4	Сигнализатор загрязненности рук бета-активными веществами		Сигнализация о превышении заданных значений загрязненности поверхности рук	10—600 частиц/ (мин.·см <sup>2</sup> )	0,15—2,87 МэВ	±20 %	+5—+35	~11
РКС-20.03	Радиометр		Контроль загрязненности поверхности	10—20 000 частиц/ (мин.·см <sup>2</sup> )	0,05—3,0 МэВ	±25 %	-20—+40	0,3

Основные характеристики некоторых приборов, используемых для контроля радиационной обстановки, представлены в табл. 5.5.

Порядок радиационного контроля определяется с учетом особенностей и условий выполняемых работ и согласовывается с органами, осуществляющими государственный надзор в области обеспечения радиационной безопасности.

В случае радиационной аварии радиационная разведка в очаге аварии организуется на основе данных прогнозирования возможной радиационной обстановки.

Руководство разведкой в очаге аварии осуществляется с командного пункта руководителя работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий.

Разведка очага аварии, как правило, организуется с разных направлений, на каждом из которых определяются рубежи ввода разведывательных групп (дозоров) в очаг аварии. На рубежах ввода выставляются контрольные пункты. Старшие контрольных пунктов организуют ввод разведывательных групп в очаг аварии с данного направления, обеспечение безопасности их действий, обобщают и докладывают результаты руководителю разведки в очаге аварии.

Необходимое количество разведывательных групп (дозоров) на каждом направлении определяется с учетом обстановки и объема задач. В целях обеспечения безопасности личного состава при ведении разведки в составе разведывательных групп (дозоров) должно быть не менее двух человек.

С личным составом разведывательных групп (дозоров), действующим в очаге аварии, организуется и поддерживается постоянная радио-, проводная или сигнальная связь (ракетами и т.п.).

Результаты радиационного контроля (радиационной разведки) должны сопоставляться со значениями пределов доз и контрольными уровнями. Превышения контрольных уровней анализируются администрацией организации. О случаях превышения пределов доз для персонала, установленных НРБ-99 или квот облучения населения, администрация организации информирует органы санитарно-эпидемиологического надзора.

**Радиационный технологический контроль** осуществляется с целью определения степени радиационной опасности эксплуатации (использования) источников ионизирующих излучений. Прежде всего эта опасность зависит от состояния конструктивного оформления источников, т.е. их экранирующей защиты и герметизации.

Контроль за эффективностью экранирующей защиты и герметичностью источников ионизирующих излучений с достаточной оперативностью, информативностью и достоверностью осуществляется по радиационным факторам путем измерений мощностей доз излучения и сравнения их значений с первоначальными, указанными в формулярах на источники ионизирующих излучений, или со значениями установленных допустимых мощностей доз излучения.

В некоторых случаях (при контроле герметичности) радиационный технологический контроль может осуществляться путем отбора проб газов или аэрозолей и их радиохимического анализа.

Таблица 5.5  
Основные характеристики дозиметрических приборов, используемых для контроля радиационной обстановки

Наименование		Назначение	Предел измерения	Диапазон измерения энергии	Погрешность измерений	Температурный режим работы, °С	Масса, кг
сокращенное	полное						
ИМД-12	Измеритель мощности дозы	Измерение мощности дозы ионизирующих излучений	1—10 000 Р/ч	0,08—2,6 МэВ	±25 %	±50	7
ИДМ-1	Измеритель мощности дозы	Ведение радиационной разведки местности и определение уровней загрязнения	0,01 мР/ч — 999 Р/ч	—	±25 %	±50	0,8
МКС-АТ-1117	Радиометр-спектрометр гамма-, альфа- и бета-излучения	Измерение мощности дозы гамма-излучения, плотности потока альфа- и бета-излучения	5—99 990 мкР/ч 1—99 990 бета-частиц/ (мин.·см <sup>2</sup> ) 0,1—99 990 альфа-частиц/ (мин.·см <sup>2</sup> )	—	±15 %  ±50 %	—10—+40	~5 кг
МКС-АТ-1125	Дозиметр-радиометр	Для контроля МЭД, ЭД гамма-излучения, поиска источников, а также экспрессной оценки удельной активности цезия-137	30 нЗв/ч — 300 мкЗв/ч	0,05—3 МэВ	±15 % ±20 %	—20—+50	~20

В случае ядерных реакторов, когда степень радиационной опасности во многом зависит от состояния активной зоны реактора, которое в свою очередь определяется степенью герметичности твэлов, радиационный технологический контроль осуществляется, кроме того, с помощью измерений объемной активности:

- реперных радионуклидов или их групп в теплоносителе основного циркуляционного контура, характеризующей герметичность оболочек твэлов;
- реперных радионуклидов или их групп в технологических средах или в воздухе производственных помещений, связанных с оборудованием основного циркуляционного контура, характеризующей его герметичность;
- технологических сред, в том числе до и после фильтров спецводоочистки и спецгазоочистки;
- аэрозолей и инертных радиоактивных газов в необслуживаемых помещениях, вентиляционных и локализирующих системах;
- реперных радионуклидов или их групп, поступающих за пределы радиационно опасного объекта, характеризующей герметичность последнего барьера.

В этом случае величина объемной активности реперных радионуклидов определяется путем взятия проб теплоносителя и их анализа радиохимическими и спектрометрическими методами. По величине объемной активности судят о степени герметичности оболочек твэлов.

Кроме того, о степени герметичности оболочек твэлов судят и по величинам мощностей доз гамма- и нейтронного излучения с помощью аппаратурного технологического контроля.

По скорости роста объемной активности реперных радионуклидов в теплоносителе и величин мощностей доз излучений осуществляется прогнозирование состояния активных зон реакторов, определяется их остаточный энергоресурс.

**Радиационный контроль окружающей среды** является весьма актуальной повседневной задачей, особенно при эксплуатации ядерных реакторов, ибо, как указывалось выше, даже при их нормальной работе производится выброс (сброс) во внешнюю среду радионуклидов, количество которых, как правило, значительно возрастает при проведении радиационно опасных работ и особенно при радиационных авариях.

Организация контроля за радиоактивным загрязнением внешней среды строится дифференцированно, то есть как и весь радиационный контроль проводится дифференцированно применительно к условиям повседневной безаварийной эксплуатации источников ионизирующих излучений, проведения радиационно опасных работ и к случаям радиационных аварий.

Контроль за радиоактивным загрязнением внешней среды подразделяется на два вида: информационный и исследовательский.

Информационный контроль проводится в целях своевременного обнаружения поступления радионуклидов во внешнюю среду и получения необходимых данных для оценки радиационной обстановки. Исследовательский конт-

роль организуется в целях выявления радионуклидного состава и характера радиоактивного загрязнения внешней среды.

Информационный контроль должен обеспечивать оперативное получение сведений об уровнях радиоактивного загрязнения внешней среды и проводиться постоянно путем определения общей активности с использованием автоматизированных систем контроля на территории радиационно опасного объекта, в его санитарно-защитной зоне, а также лабораторными методами в пробах объектов внешней среды, определения качественного и количественного состава загрязнений с использованием преимущественно экспрессных методов анализа. Лабораторному анализу подвергаются в основном пробы тех объектов внешней среды, радиоактивное загрязнение которых наиболее вероятно (вода, атмосферный воздух, поверхности объектов и сооружений).

Для проведения радиационного контроля окружающей среды на радиационно опасных объектах предусматриваются передвижные радиометрические лаборатории и соответствующие плавсредства.

Основным методическим принципом при проведении этого вида контроля является принцип контроля за объектом, то есть выбор мест (контрольных точек) как измерений с помощью аппаратуры, так и отбора проб осуществляется с учетом наличия и расположения потенциальных источников загрязнения.

Основной задачей информационного контроля при проведении радиационно опасных работ является своевременное обнаружение выброса радиоактивных веществ во внешнюю среду. Организация такого контроля отражается в специальном разделе плана обеспечения радиационной безопасности при проведении работ. Контроль газоаэрозольных выбросов радиационно опасных объектов в атмосферу должен обеспечивать возможность получения информации о непревышении установленных допустимых выбросов и соответствующих контрольных уровней.

Объем контроля, где проводятся радиационно опасные работы, как правило, увеличивается как за счет установления дополнительных точек контроля, так и за счет увеличения частоты отбора проб.

При радиационных авариях контроль направлен в первую очередь на оперативное выявление интенсивности и масштабов загрязнения, а затем на выявление динамики изменения радиационной обстановки.

Основное внимание при планировании и осуществлении контроля обращается на уровни загрязнения объектов внешней среды, представляющие наибольшую опасность для персонала и населения (атмосферный воздух, продукты питания местного производства, питьевая вода из открытых источников), а также на уровни мощностей доз гамма-излучения на территории и в помещениях зданий и сооружений.

Исследовательский контроль проводится путем периодического определения содержания биологически опасных радионуклидов (стронция-90, цезия-137, цезия-134, кобальта-60, марганца-54, плутония-239) в объектах внешней среды.

Исследовательский контроль планируется и проводится один раз в год. В отличие от информационного контроля, при котором радиохимические

и гамма-спектрометрические анализы проб проводятся только по показаниям, при исследовательском контроле эти анализы проводятся в обязательном порядке.

По результатам радиационного контроля производится оценка радиационной обстановки на радиационно опасном объекте. Радиационная обстановка оценивается как:

**нормальная**, если радиационные факторы на объекте не превышают установленных значений их контрольных уровней;

**неблагоприятная**, если на объекте превышены установленные значения контрольных уровней радиационных факторов, но с помощью организационно-технических мероприятий обеспечивается непревышение допустимых уровней воздействия на персонал и население;

**опасная**, если на объекте в результате радиационной аварии или ликвидации ее последствий возможно превышение основных пределов доз облучения персонала и населения (до 100 мЗв), при этом прогнозируемые уровни облучения населения не требуют срочного вмешательства;

**чрезвычайно опасная**, если в результате радиационной аварии не удастся восстановить управление источником ионизирующих излучений, а в ходе ликвидации аварии и ее последствий возможно аварийное облучение персонала (группа А) в эффективной дозе до 200 мЗв и более или прогнозируемые уровни облучения персонала группы Б и населения требуют срочного вмешательства.

### *Использование средств индивидуальной и коллективной защиты*

Весь персонал радиационно опасных объектов и прикомандированные лица, работающие в зоне контролируемого доступа (зоне строгого режима) должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты, применяемым на радиационно опасных объектах, относятся:

— специальная одежда основная (спецбелье, носки, шапочка или шлем, комбинезоны, костюмы, халаты) и дополнительная (пленочные фартуки, нарукавники, халаты, полукомбинезоны и т.п.);

— средства индивидуальной защиты органов дыхания (респираторы, пневмошлемы, пневмокостюмы, противогазы, изолирующие противогазы, шланговые противогазы и др.);

— изолирующие костюмы (пневмокостюмы, костюмы из прорезиненной ткани и др.);

— спецобувь основная и дополнительная (резиновые сапоги, пластиковые чулки, следы, бахилы и др.);

— средства защиты рук (резиновые, пленочные и хлопчатобумажные перчатки, рукавицы);

— средства защиты органов слуха (противошумовые вкладыши и др.);

— предохранительные приспособления (ручные захваты, пояса и др.).

В табл. 5.6 представлены основные характеристики некоторых респираторов, используемых для защиты органов дыхания от радиоактивных веществ.



Таблица 5.6

Основные характеристики респираторов,  
используемых для защиты органов дыхания от радиоактивных веществ

Показатели	Типы респираторов	
	Лепесток-Апан	РМ-2
Масса, г	18	250
Сопротивление постоянному потоку воздуха, Па, не более	45	—
Коэффициент проницаемости по масляному туману, %	0,8	—
Обеспечивает защиту при концентрациях не более допустимых в	100 раз	100 раз
Рабочий температурный диапазон, °С	более 0	±40

Кроме того, в санпропускниках на границе режимных зон всем работающим должны выдаваться сандалии, полотенца, носовые платки разового пользования из марли или отбеленной бязи, мыло общего пользования (банное), мочалки из синтетических материалов.

Персонал зоны свободного режима (зоны радиационной безопасности) должен обеспечиваться рабочей спецодеждой в соответствии с отраслевыми нормами бесплатной выдачи спецодежды.

Необходимость применения средств индивидуальной защиты на радиационно опасных объектах в соответствии с требованиями ОСПОРБ-99 обусловлена наличием вредных производственных факторов, основными из которых являются загрязнение поверхностей и воздуха ряда производственных помещений радиоактивными веществами и наличие повышенной температуры, шума и других неблагоприятных факторов условий труда.

Выбор средств индивидуальной защиты должен основываться на результатах обследований условий труда персонала радиационно опасных объектов, включающих определение уровней радиоактивного микроклимата и характера выполняемой работы на всех основных производственных участках, особенно при выполнении ремонтных операций. При этом обращается особое внимание на определение концентраций радиоактивных веществ непосредственно в зоне дыхания (в радиусе до 50 см от лица работающего), так как эти концентрации могут в десятки, сотни, а иногда и в тысячи раз превышать среднемесячные концентрации, определяемые по данным стационарного пробоотбора.

В тех случаях, когда из-за повышенных уровней загрязнения воздуха применение фильтрующих респираторов (в некоторых случаях фильтрующих противогазов) не обеспечивает радиационную безопасность персонала, когда возможно загрязнение воздуха помещений радиоактивными газами или парами (ликвидация аварий, ремонтные работы и т.п.), а также имеется возможность контакта с сильно загрязненными поверхностями оборудования либо облива активным теплоносителем, применяются изолирующие средства индивидуальной защиты (изолирующие противогазы и аппараты, пневмокостюмы

и пневмошлемы и т.п.), в том числе шланговые средства защиты органов дыхания.

Для этих целей предусматривается стационарная система воздухообеспечения, обеспечивающая подачу чистого воздуха для шланговых средств индивидуальной защиты.

В табл. 5.7—5.11 представлены основные характеристики некоторых изолирующих средств индивидуальной защиты.

Таблица 5.7

Основные характеристики изолирующих противогазов

Показатели	Типы изолирующих противогазов			
	ИП-4МК	ИП-5	РТ-4	ПДА
Время защитного действия, мин., не менее:				
в покое	150	200	240	60
при нагрузке	40	75	45	15
Сопротивление дыханию при 30 л/мин, Па, не более	790	780	100 — для регенеративного патрона	
Температурный диапазон эксплуатации, °С	−20...+50	−40...+40	−20...+40	0...+50
Масса, кг, не более	3,6	5,3	9,0	1,8
Наличие переговорного устройства	есть	есть	—	есть

Таблица 5.8

Основные характеристики противогазов шланговых промышленных

Показатели	Типы шланговых промышленных противогазов					
	ПШ-1	ПШ-1Б	ПШ-20	ПШ-2	ПШ-20РВ	ПШ-40РВ
Сопротивление дыханию, Па, не более:						
на вдохе	196	127	127	отсутс.	отсутс.	отсутс.
на выдохе	101	127	127	101	127	127
Длина воздухопроводящего шланга, м	10	10	10	20	20	40
Масса противогаза, кг, не более	8,0	16,0	23,0	46,7	16,5	24
Количество воздуха, подаваемого под лицевую часть, л/мин., не менее	—	—	—	50	50	60

Таблица 5.9

## Основные характеристики шланговых дыхательных аппаратов

Показатели	Типы шланговых дыхательных аппаратов	
	ШДА	ДША-99
Время защитного действия, мин.: от резервного баллона от транспортного баллона	6,0 200	12,0 —
Сопротивление дыханию, Па, на выходе	450	350
Рабочий температурный диапазон, °С	−30...+45	−50...+25
Масса аппарата, кг	5,5	6,2
Коэффициент подсоса по масляному туману в подмасочное пространство, %	0,001	0,001

Таблица 5.10

## Основные характеристики пневмокостюмов

Показатели	Типы пневмокостюмов			
	Шланговые		Автономные	
	ЛГ-4а	ЛГ-5а	4 — 20	КИХ-4, КИХ-5
Масса костюма, кг	~ 3	~ 3	10	8
Время защитного действия, час.	6	6	4—6	10
Рабочий температурный диапазон, °С	−20...+50	−20...+50	−8...+35	±40

Таблица 5.11

## Основные характеристики защитной одежды

Показатели	Типы защитной одежды	
	Одежда защитная АРК-1	Защитный костюм Л-1
Ослабление: альфа-излучения бета-излучения гамма-излучения	полностью в 40—50 раз в 2—3 раза	полностью — —
Время непрерывного выполнения работ, час: средней тяжести в сочетании с: рабочей одеждой  изолирующим костюмом	8  1,5	0,3—1,5 в зависимости от температуры воздуха  —
Масса, кг	~ 14	3—3,7

Выбор комплектов спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты осуществляется (определяется) заранее для персонала всех подразделений радиационно опасных объектов, а при необходимости — для конкретных производственных участков. Предпочтение при выборе средств индивидуальной защиты отдается образцам, которые обеспечивают необходимую защиту от вредных производственных факторов и оказывают наименьшее влияние на функциональное состояние организма человека и его работоспособность.

Особое внимание обращается на выбор и создание аварийных комплектов средств индивидуальной защиты. Выбор этих комплектов должен основываться на прогнозировании радиационной обстановки и микроклимата в условиях вероятных аварийных ситуаций и необходимости проведения работ по ликвидации аварии и ее последствий.

На всех этапах, видах работ должен обеспечиваться контроль за загрязнением средств индивидуальной защиты и кожных покровов персонала, которое не должно превышать допустимых уровней, установленных НРБ-99.

При выходе из ремонтной зоны все работающие должны снять дополнительные средства индивидуальной защиты, пройти предварительную санобработку кожных покровов рук.

После выполнения работ с использованием изолирующего костюма необходимо произвести его предварительную дезактивацию в санитарном шлюзе до его снятия.

Санитарная обработка кожных покровов тела и рук должна производиться теплой водой с туалетным мылом. В тех случаях, когда 2—3-кратная обработка не дает эффекта и на коже остаются радиоактивные загрязнения, следует применять специальные моющие препараты (например, препарат «Защита»). Применение органических растворителей для мытья кожных покровов не допускается, так как это увеличивает проницаемость кожи.

После санобработки кожные покровы не должны иметь радиоактивного загрязнения.

Загрязнения спецодежды и дополнительные средства индивидуальной защиты, а также спецобувь должны систематически подвергаться дезактивации.

Спецодежда, загрязненная радиоактивными веществами в пределах установленных допустимых уровней, по гигиеническим соображениям должна направляться на дезактивацию 1 раз в неделю. Спецодежда, уровни загрязнения которой превышают допустимые величины, должна сразу же после использования направляться на дезактивацию. Дезактивация спецодежды должна производиться в спецпрачечной в соответствии со специальными санитарными правилами.

Дополнительные средства индивидуальной защиты из пленочных материалов или материалов с полимерным покрытием, резины и прорезиненной ткани, включая дополнительную спецобувь, должны после каждого использования сразу подвергаться дезактивации в спецпрачечной или на специальных

участках дезактивации, расположенных на выходе из загрязненных зон в районе санитарных шлюзов.

В случае загрязнения радиоактивными веществами личной одежды и обуви должно быть проведено расследование обстоятельств происшествия и устранены его причины. Загрязненные личная одежда и обувь подлежат дезактивации под контролем службы радиационной безопасности в спецпрачечной или отделении специальной химической чистки. В случае невозможности дезактивации они подлежат захоронению как радиоактивные отходы.

Надежным средством защиты персонала радиационно опасных объектов являются коллективные средства защиты. Надежность защиты обеспечивается за счет: надежной герметичности защитных сооружений; обеспеченности их фильтровентиляционными установками; средствами регенерации воздуха; постоянной готовности сооружений к приему укрываемых.

Убежища, возводимые на территории радиационно опасных объектов, классифицируются по защитным свойствам, вместимости, месту расположения, обеспечению фильтровентиляционным оборудованием и средствами регенерации воздуха. По месту расположения они могут быть встроенными или отдельно стоящими.

Наиболее распространенными являются, особенно на АЭС, встроенные убежища. Они обычно сооружаются под административными и производственными зданиями. Отдельно стоящие убежища так же, как и встроенные, заглубляются в грунт.

Убежища могут быть с фильтровентиляционным оборудованием и без него. Защита в последних обеспечивается использованием режима полной изоляции.

Убежища состоят: из основных помещений, предназначенных для размещения укрываемых людей; шлюзовых камер и вспомогательных помещений — входов; фильтровентиляционной камеры; санитарно-бытовых отсеков, а также в ряде случаев и помещений для регенеративной аппаратуры; защищенной дизельной установки и артезианской скважины. В убежищах большой вместимости выделяются помещения под кладовую для продуктов питания и под медицинскую комнату.

Входы в убежище оборудуются наружной защитно-герметической и одной-двумя герметическими дверями. Входов должно быть не менее двух, во встроенном убежище, кроме того, создается запасный аварийный выход. Герметизация дверей достигается установкой резиновых прокладок и устройством специальных клиновых затворов. Аварийный выход представляет собой подземную галерею с выходом на незаваливаемую территорию нередко через вертикальную шахту, которая заканчивается оголовком. Расстояние от оголовка до окружающих зданий должно составлять не менее высоты здания плюс 3 м.

Убежища обычно размещаются в непосредственной близости от мест постоянного пребывания производственного персонала, подлежащего укрытию. Радиус сбора людей в убежище не должен превышать нескольких сотен метров.

При принятии решения на использование убежищ для защиты людей в случае внезапно возникающих радиационных аварий, кроме времени на оповещение персонала и его перехода к убежищу, учитывается также время, затрачиваемое на остановку технологического оборудования цехов или перевод управления им в защищенные сооружения.

Для того чтобы в помещения, где располагаются укрываемые, не проникал загрязненный воздух, они хорошо герметизируются. Это достигается повышенной плотностью стен и перекрытий, заделкой всех технологических отверстий и др., а также соответствующим оборудованием входов.

Для подачи воздуха в убежище в специально отведенном помещении — вентиляционной камере располагается фильтровентиляционная установка.

Эта установка может работать: в режиме чистой вентиляции (режим 1), когда воздух, поступающий в убежище, очищается только от обычной пыли; в режиме фильтровентиляции (режим 2), который позволяет очищать воздух от радиоактивной пыли; в режиме с полной изоляцией от наружного воздуха и регенерацией воздуха, находящегося внутри убежища (режим 3).

В каждом убежище размещаются также аварийные запасы воды и приемники фекальных вод, работающие независимо от состояния внешних сетей в случае их повреждений. Аварийных запасов воды может храниться в проточных напорных резервуарах или в безнапорных баках, оборудованных съемными крышками, шаровыми клапанами и указателями уровня воды. Запас воды для питья и санитарно-гигиенических нужд в проточных емкостях должен быть не менее 10 л на каждого человека на время пребывания в убежище. При отсутствии водопровода запас питьевой воды в переносных баках создается из расчета не менее 3 л в сутки на одного человека. Проточные емкости монтируются в санитарных узлах, а переносные баки устанавливаются в специальных помещениях. Предусматривается также создание запасов хлорной извести из расчета 10 г на 1 м<sup>3</sup> воды на случай возникновения необходимости обеззараживания ее при повреждениях водопроводной сети.

Отопление убежищ предусматривается от производственной или городской теплоцентрали. Температурный режим поддерживается с помощью установленной для регулирования запорной аппаратуры.

Энергоснабжение убежищ осуществляется от внешней электросети объекта или от автономных дизель-генераторов. На случай повреждения энергосети предусматриваются также переносные источники освещения (аккумуляторные и карманные фонари и т.д.). Пользоваться свечами и керосиновыми лампами допускается ограниченно при условии хорошей вентиляции.

Убежище оборудуется телефонной и радиосвязью, а на АЭС — средствами управления энергоблоками.

Кроме различного оборудования в убежище размещаются: комплект средств для ведения разведки, защитная одежда, средства тушения пожара, аварийный запас инструментов, запас продовольствия, документация на убежище и др.

Убежища на радиационно опасных объектах постоянно находятся в готовности к принятию укрываемых.

### *Нормализация радиационной обстановки при ее ухудшении*

Нормализация радиационной обстановки при ее ухудшении предусматривает осуществление следующих мероприятий:

- прогнозирование и оценку возможных последствий радиационных аварий;
- радиационную разведку (обследование) очагов радиационных аварий, определение размеров зон радиоактивного загрязнения;
- локализацию радиоактивных загрязнений и экранирование источников ионизирующих излучений;
- ликвидацию радиоактивных загрязнений;
- сбор, временное хранение, транспортирование, переработку и захоронение радиоактивных отходов;
- санитарную обработку персонала.

**Прогнозирование и оценка возможных последствий радиационных аварий**, осуществляемые на основе данных об источнике ионизирующих излучений и характере радиационной аварии и уточняемые по результатам радиационной разведки, позволяют определить состав сил и средств, необходимый для ликвидации последствий аварии, наметить основные направления и тактику действий этих сил и средств, спланировать и осуществить их подготовку, предусмотреть меры защиты персонала и населения, о чем еще будет сказано ниже.

**Радиационная разведка** проводится в целях своевременного обнаружения радиоактивных загрязнений, выявления их фактических масштабов, скорости распространения, значений радиационных факторов и позволяет, как указывалось выше, уточнить прогнозируемые последствия радиационных аварий, направления и тактику действий этих сил и средств, принять конкретные меры по защите персонала и населения.

На основе данных оценки последствий радиационных аварий, полученных в результате их прогнозирования и уточненных в ходе радиационной разведки, осуществляется планирование мероприятий по ликвидации последствий радиационных аварий, предусматривающее определение конкретных действий по ликвидации прежде всего радиоактивных загрязнений и защите персонала и населения.

**Локализация радиоактивных загрязнений** проводится в целях ограничения их распространения, миграции, что должно сократить объемы работ по ликвидации радиоактивных загрязнений.

Одновременно, как правило, в целях снижения дозовых нагрузок персонала осуществляется экранирование наиболее высокоактивных источников ионизирующих излучений путем установки защитных экранов, засыпки или покрытия источников экранирующими материалами (песком, землей, свинцовыми листами, железобетонными плитами и т.п.).

Главным мероприятием нормализации радиационной обстановки при ее ухудшении является **ликвидация радиоактивных загрязнений**. Она осуществляется с использованием целого комплекса специальных методов и средств, с учетом характера аварии (с выбросом, проливом радионуклидов), характера

и степени радиоактивного загрязнения (локальное или общее загрязнение оборудования и помещений), типа загрязненных поверхностей (бетон, битум, лакокрасочные покрытия и т.п.), времени, прошедшего после загрязнения, и т.д.

По опыту работ, например, при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, дезактивация территории АЭС проводилась путем снятия слоя грунта толщиной 10-15 см, сбора его в контейнеры с последующим вывозом в могильник. Очищенная территория закладывалась бетонными плитами. В результате уровни радиации были снижены в десятки и сотни раз.

Обработка оборудования и внутренних помещений Чернобыльской АЭС в основном осуществлялась помывкой вручную с помощью ветоши и моющих растворов. В последующем для подачи растворов на обрабатываемые поверхности применялись специальные приборы (ДКВ-1), а для сбора использованных растворов — гидропылесосы (универсальные моечно-дезактивационные установки). Окрашенные поверхности помещений обрабатывались специальными растворами на основе СФ-2у и СФ-3к (0,3 % СФ-2у, СФ-3к).

Пластиковые полы, металлические поверхности, как правило, обрабатывались в несколько этапов: вначале водным раствором 2—3 % щелочи и 0,5 % перманганата калия, а через час раствор смывался водой и поверхности обрабатывались 2—3 % раствором щавелевой кислоты. Через 30 мин. производилась окончательная обработка поверхностей водой. Общий расход растворов составлял 2—3 л/м<sup>2</sup>. Коэффициент дезактивации равнялся в среднем 3—5.

Достаточно широко для дезактивации использовались полимерные покрытия на основе поливинилацетатных дисперсий, поливинилбутираля, а также французский состав «Peladle» и другие. В целом применение полимерных покрытий обеспечивало снижение уровней загрязнения в 10 и более раз. Наибольшая их эффективность проявлялась при обработке запыленных поверхностей.

Основным способом дезактивации наружных поверхностей зданий и сооружений АЭС являлся способ, основанный на применении моющих растворов из авторазливочных станций и пожарных машин. Эффективность данного способа была невысокая (коэффициент дезактивации 1,2—1,5) и, как правило, требовала неоднократной обработки для снижения степени радиоактивного загрязнения в 2—3 раза.

Особую сложность представляла дезактивация крыш зданий и сооружений АЭС. Покрытые битумом, способным хорошо сорбировать радиоактивные вещества, крыши не поддавались дезактивации традиционными способами (с помощью дезактивирующих растворов). Наиболее эффективно при дезактивации крыш — механическое удаление битумных покрытий, что сопряжено с низкой производительностью, особенно в условиях высокого внешнего гамма-фона.

Данные по эффективности методов, примененных при дезактивации промплощадки и помещений Чернобыльской АЭС, представлены в табл. 5.12 — табл. 5.14.



Таблица 5.12

Эффективность обработки дезактивирующими пленками некоторых материалов, окрашенных масляной краской

Материал	Загрязненность, кБк/м <sup>2</sup>		Коэффициент дезактивации	Коэффициент переноса
	до дезактивации	после дезактивации		
Древесно-стружечная плита	1,5	0,45	3	0,66
Штукатурка, дерево, фанера	1,0	0,33	3	0,66
Бетон, кирпич	1,5	0,33	4	0,75
Керамическая плитка	200	20	10	0,90

Таблица 5.13

Эффективность дезактивирующих пленок на основе поливинилбутираля

Поверхность	Степень начального загрязнения, МБк/м <sup>2</sup>	После дезактивации	
		1-го цикла	3-го цикла
Нержавеющая сталь	3,2	25/128*	1,6/2000
Титан	2,3	380/	23/100
Алюминий	2,2	41/54	10/220
Стекло	2,2	55/40	13/169
Пластикат 57-40	1,7	26/65	—
Эпоксидная эмаль	1,8	23/78	—

\* в числителе — степень остаточного загрязнения в кБк/м<sup>2</sup>, в знаменателе — коэффициент дезактивации.

Таблица 5.14

Показатели эффективности методов, примененных при дезактивации промплощадки и помещений Чернобыльской АЭС

Объект дезактивации	Метод	Коэффициент дезактивации
Кровля 3-го энергоблока и некоторых помещений других блоков	Удаление в развал аварийного блока радиоактивных материалов с помощью роботов, механических приспособлений и лопат вручную	От 20 до 50 в зависимости от величины МЭД
Внутренние помещения АЭС	Обработка дезактивирующими растворами с помощью приборов ДКВ-1 и гидропылесосов. Механическая очистка шлифовальным инструментом	3—5
Территория АЭС	Изоляция железобетонными плитами толщиной 20 см	10—20
Территория без покрытия	Изоляция слоем песка толщиной 10 см	4—5

Работы по ликвидации радиоактивных загрязнений, как правило, сопровождаются сбором, временным хранением, транспортированием, при необходимости переработкой и захоронением радиоактивных отходов.

Работы по сбору высокоактивных источников радиации, например, в районе аварийного 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС вначале осуществлялись с помощью инженерных машин разграждения (ИМР-1, ИМР-2), а затем — радиоуправляемых средств (роботов). Все источники сгребались в завал аварийного блока, либо собирались в контейнеры и вывозились в хранилище твердых отходов или могильники. Точно также в контейнеры собирались отходы дезактивации и вывозились в могильники.

Завершаются работы по ликвидации радиоактивных загрязнений **санитарной обработкой персонала**, принимающего участие в работах, после каждой рабочей смены.

## 5.2. Обеспечение химической безопасности персонала химически опасных объектов

Обеспечение химической безопасности персонала химически опасных объектов при их эксплуатации, а также при химических авариях осуществляется в основном, проведением медико-санитарных, организационных и организационно-технических мероприятий

### *Медико-санитарные мероприятия*

Охрана здоровья персонала химически опасных объектов достигается соблюдением санитарно-гигиенических норм, устанавливаемых федеральным органом санитарно-эпидемиологического надзора, и выполнением комплекса организационных мероприятий.

Говоря о санитарно-гигиенических нормах, необходимо прежде всего подчеркнуть, что охрана здоровья персонала достигается ограничением допуска к работам на химически опасных объектах по возрасту и состоянию здоровья. К работам на этих объектах не допускаются люди моложе 18 лет, а также имеющие медицинские противопоказания к допуску на работу, связанную с вредными веществами.

Кроме того, в интересах соблюдения техники безопасности на химически опасных объектах широко используются такие понятия, как предельно допустимая концентрация и токсическая доза.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) — это концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Контроль за поддержанием в рабочих помещениях химически опасных объектов установленных количественных величин ПДК ведется постоянно с помощью приборов химического контроля и в случае их превышения perso-

нал использует средства индивидуальной защиты, если производство непрерывное, либо выводится из загрязненных помещений. Принимаются срочные меры к нормализации обстановки. В табл. 1.14, приведенной выше, указаны ПДК для большого количества АХОВ в случае их ингаляционных воздействий. В табл. 5.15 приведены предельно допустимые уровни загрязнения кожных покровов АХОВ — количества вредного вещества для кожного покрова, которые при кожно-резорбтивных воздействиях также не должны вызывать заболеваний людей или отклонений в состоянии их здоровья.

Вместе с тем ПДК и ПДУ не могут использоваться для оценки опасности в аварийных ситуациях в связи со значительным интервалом времени воздействия АХОВ.

В этих случаях более полную характеристику токсичности вещества дает понятие токсической дозы.

Под токсической дозой понимается количество вещества, вызывающее определенный токсический эффект. Она соответствует определенному эффекту поражения и принимается равной:

- в случае ингаляционных поражений — произведению усредненной концентрации АХОВ в воздухе на время воздействия;
- в случае кожно-резорбтивных поражений — массе жидкого АХОВ, вызывающей определенный эффект поражения при попадании на кожу.

Для характеристики токсичности АХОВ при их воздействии на человека через органы дыхания применяются токсодозы: средняя смертельная, средняя выводящая из строя и средняя пороговая.

Под средней смертельной токсодозой понимается доза, вызывающая смертельный исход у 50 % пораженных. Средняя выводящая из строя токсодоза вызывает поражения 50 % пораженных с утратой трудоспособности. Средняя пороговая токсодоза вызывает начальные симптомы поражения у 50 % пораженных.

В качестве единицы ингаляционных токсических доз используются величины: г·мин/м<sup>3</sup>, г·сек/м<sup>3</sup>, мг·мин/л.

Степень токсичности АХОВ, обладающих кожно-резорбтивным действием, оценивается также величинами средней смертельной, средневыводящей и пороговой дозами. В качестве единиц измерения применяется количество вещества (в мг, г, кг), приходящегося на единицу поверхности (см<sup>2</sup>, м<sup>2</sup>) тела человека или на единицу его веса (кг).

Значения токсодоз некоторых АХОВ приведены в табл. 5.16. При пользовании данными, приведенными в табл. 5.16, необходимо иметь в виду, что значения токсодоз являются постоянной величиной лишь для сравнительно кратковременных экспозиций, не превышающих 40—60 минут. При более продолжительных воздействиях или при малых концентрациях АХОВ значения токсодоз могут быть значительно выше, особенно для АХОВ, которые быстро выводятся из организма. В случае, когда АХОВ практически не выводятся или слабо выводятся из организма, отравления усиливаются, поражающее действие усиливается по мере их вдыхания (кумулятивное действие).

Таблица 5.15

## Перечень ПДУ загрязнения кожных покровов вредными веществами

Наименование вещества	Номер CAS	ПДУ, мг/см <sup>2</sup>	Класс опасности	Особенности действия на организм
Акриловой кислоты нитрил (акрилонитрил)	107-13-1	0,001	III	A
Гидрокортизон ацетат	50-03-3	0,01	IV	
S-Бензил-диизопропилтиофосфат (рицид 11, китацин)	13286-32-3	0,15	IV	
Бензол	71-43-2	0,05	IV	K
14-Гидроксирубоминцин* (доксорубинин)	25316-40-6	—	I	
Триамцинолона ацетонид	76-25-5	0,0005	III	
0,0-Диметил-S[2-(N—метиламино)-2-оксоэтил]-дифосфат (рогор, фосфамид)	60-51-5	0,02	IV	
1,5-Диазабицикло (3,1.) гексан		0,0003	III	
Диэтиламид м-толуиловой кислоты (ДЭТА)	134-62-3	2	IV	
Жирные спирты фракции C <sub>3</sub> -C <sub>10</sub>		0,2	IV	
Ксилитин (смесь изомеров)	1300-73-8	0,08	IV	
Ксилол (смесь изомеров)	1330-20-7	1,75	IV	
Лития хлорид	7447-41-8	0,05	IV	

Продолжение табл. 5.15

Наименование вещества	Номер CAS	ПДУ, мг/см <sup>2</sup>	Класс опасности	Особенности действия на организм
Метандростенолон	72-63-9	0,002	III	
2-а-Метилдигидротестостерон (медротестрон)	521-11-9	0,0003	III	
2-а-Метилдигидротестостерон капронат (медротестрон капронат)		0,0003	III	
2-а-Метилдигидротестостерон пропионат (медротестрон пропионат)	855-22-1	0,0003	III	
2-а-Метилдигидротестостерон энантат (медротестрон энантат)		0,0003	III	
Метилтестостерон	58-18-4	0,0003	III	
Нитробензол	98-95-3	2,4	IV	
Сурьма	7440-36-0	0,001 по сурьме	III	
Сурьма триоксид (сурьма/III/оксид)	309-64-4	0,001 по сурьме	III	
Сурьма трисульфид (сурьма/III/сульфид)	345-04-6	0,001 по сурьме	III	
Тестостерон		0,001	III	
Тестостерона изокапронат		0,001	III	

Продолжение табл. 5.15

Наименование вещества	Номер CAS	ПДУ, мг/см <sup>2</sup>	Класс опасности	Особенности действия на организм
Тестостерона капронат		0,001	III	
Тестостерона пропионат	57-85-2	0,001	III	
Тестостерона фенилпропионат		0,001	III	
Тестостерон энантат	315-37-7	0,001	III	
о-Толуидин (2-толуидин)	35-53-4	0,7	IV	К
Толуол	8-88-3	0,05	IV	
Рубомицин*	20830-81-3	—	I	
Хлорбензол (фенилхлорид)	108-90-7	0,8	IV	
Фенол	108-95-2	0,05	IV	
Циклогексанон	108-94-1	1,5	IV	
3-Хлор-1,2-эпоксипропан (эпихлоргидрин)	106-89-8	0,04	IV	А
Экстрон*	53-16-7	—	I	
Этинилэстрадиол* (17-Этинилэстрадиен-1,3,5(10)-дио-3,17)	57-63-6	—	I	

**Примечания:**

\* вещества, при работе с которыми должен быть полностью исключен контакт с кожей и органами дыхания при обязательном контроле за содержанием в воздухе рабочей зоны и на коже утвержденными методами на уровне чувствительности не менее 0,001 мг/м<sup>3</sup> и 0,001 мг/см<sup>2</sup>

А — вещества, способные вызывать аллергические заболевания в производственных условиях.

К — канцерогены.

## Значения токсодоз некоторых АХОВ

Наименование продуктов	Средняя токсодоза мг·мин/л	
	пороговая	смертельная
Акролеин	0,2	—
Аммиак	15	100,0
Ацетонитрил	21,6	—
Ацетонциангидрин	0,54	—
Водород фтористый	4	7,5
Водород мышьяковистый	7,5	—
Водород хлористый	2,0	200
Водород цианистый	0,2	1,5
Диметиламин	4,8	—
Кислота бромистоводородная (бромистый водород)	2,4	—
Метиламин	4,8	—
Метил бромистый	3,5	900
Метил хлористый	90,0	—
Метилмеркаптан	1,7	—
Метилакрилат	6,0	—
Нитрил акриловой кислоты	0,75	7,0
Окислы азота	1,5	7,8
Окись этилена	41,0	—
Сернистый ангидрид	1,8	70,0
Сероводород	16,0	30,0
Сероуглерод	45,0	900,0
Соляная кислота (концентрированная)	2	200
Триметиламин	6	—
Формальдегид	0,6	—
Фосген	0,6	6,0
Фтор	0,39	—
Фосфор треххлористый	3,0	30,0
Фосфора хлорокись	0,6	—
Хлор	0,6	6,0
Хлорпикрин	0,02	24,0
Хлорциан	0,75	—
Этиленимин	4,8	48
Этиленсульфид	0,1	—
Этилмеркапкан	6,0	—

В тех случаях когда в аварийных ситуациях в воздухе может оказаться не одно, а несколько различных АХОВ, эффект их действия может быть равен сумме эффектов раздельного действия, а в ряде случаев больше или меньше ее.

Во многом химическая безопасность персонала химически опасных объектов зависит от проводимых организационных мероприятий санитарно-гигиенического характера.

Эти мероприятия проводятся при всех режимах функционирования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: повседневной деятельности, повышенной готовности и чрезвычайной ситуации.

Специализированными формированиями Всероссийской службы медицины катастроф (ВСМК) и подразделениями санэпидслужбы в различных режимах функционирования РСЧС проводятся следующие лечебные и гигиенические мероприятия [98]:

**а) в режиме повседневной деятельности:**

— разработка мероприятий по организации готовности к действиям в чрезвычайных ситуациях, обучение персонала медицинских учреждений и специализированных формирований химически опасных производственных объектов;

— проведение прогнозных оценок и получение оперативных данных об опасных производственных объектах, возможных масштабах аварий и степени выраженности неблагоприятных химических факторов;

— разработка мероприятий по ограничению медико-санитарных последствий аварий, в том числе защите персонала аварийных объектов, аварийно-спасательных и специализированных формирований постоянной готовности;

— оценка эффективности планируемых ликвидационных работ и др.;

**б) в режиме повышенной готовности:**

— уточнение планов медико-санитарного обеспечения и проведения санитарно-гигиенических мероприятий при конкретной химической аварии;

— прогнозирование вариантов развития возможной аварии;

— приведение в готовность специализированных формирований;

— отработка направлений взаимодействия с другими службами;

— подготовка клинической и лабораторно-гигиенической базы к действиям в условиях массового появления однотипных поражений и загрязнения значительных территорий;

— внеплановые санитарно-гигиенические обследования зоны прогнозируемого осложнения химической обстановки;

— санитарно-разъяснительная работа;

**в) в режиме чрезвычайной ситуации:**

— обеспечение незамедлительного получения информации об аварии через постоянно функционирующие дежурные службы ВСМК и санэпидслужбы;



— приведение в готовность специализированных формирований (бригад) санэпидслужбы и ВСМК (а при необходимости и полевого многопрофильного госпиталя Всероссийского центра медицины катастроф «Защита») с выездом в район аварии;

— оценка группами санитарно-химической разведки масштабов и уровней загрязнений окружающей среды опасными химическими веществами и продуктами их взаимодействия;

— предварительная оценка степени поражения персонала в зоне аварии;

— разработка рекомендаций по организации профилактических мероприятий по защите персонала;

— организация оказания первой медицинской и доврачебной помощи, проведение медицинской сортировки, специальной полной и частичной обработки пораженных; оказание первой врачебной, квалифицированной и специализированной медицинской помощи;

— контроль за эффективностью специальной обработки загрязненных опасными химическими веществами объектов: оборудования, помещений, территории.

Следует отметить, что санитарно-гигиенические мероприятия непосредственно при химических авариях включают меры по ограничению неблагоприятных воздействий опасных химических веществ на персонал, идентификацию загрязнителя, оценку степени загрязнений и масштабов аварии, разработку рекомендаций по безопасному ведению работ в зоне поражения, оценку эффективности работ по ликвидации последствий аварии.

### ***Организационные и организационно-технические мероприятия***

В целях обеспечения химической безопасности персонала химически опасных объектов осуществляется целый комплекс организационно-технических мероприятий. Эти мероприятия выполняются как в повседневных условиях при нормальном функционировании объектов, так и в ходе ликвидации возникающих химических аварий и их последствий.

К мероприятиям, проводимым в повседневных условиях, относятся:

— создание и эксплуатация систем контроля за химической обстановкой в местах проведения работ с АХОВ, районах химически опасных объектов и локальных систем оповещения о химической опасности;

— разработка планов действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий);

— накопление, хранение и поддержание в готовности средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожи, приборов химической разведки, обезвреживающих и нейтрализующих веществ;

— поддержание в готовности к использованию убежищ, обеспечивающих защиту людей от АХОВ;

— подготовка к действиям в условиях химических аварий аварийно-спасательных формирований (подразделений) и персонала химически опасных объектов;

— обеспечение готовности сил и средств подсистем и звеньев РСЧС, на территории которых находятся химически опасные объекты, к ликвидации последствий химических аварий.

Основными мероприятиями по защите персонала при возникновении химических аварий являются:

- обнаружение факта химической аварии и оповещение о ней;
- выявление и оценка химической обстановки;
- соблюдение режимов поведения на территории, загрязненной АХОВ, норм и правил химической безопасности;
- обеспечение персонала аварийного объекта средствами индивидуальной защиты органов дыхания и кожи, применение этих средств;
- укрытие персонала в убежищах, обеспечивающих защиту от АХОВ;
- оперативное применение антидотов и средств обработки кожных покровов;
- санитарная обработка персонала аварийного объекта;
- обезвреживание аварийного объекта, объектов производственного назначения, территорий, технических средств, средств индивидуальной защиты, одежды и другого имущества.

В целом комплекс организационных и организационно-технических мероприятий, в целях обеспечения химической безопасности персонала химически опасных объектов, включает:

- определение задач и планирование мероприятий по обеспечению химической безопасности;
- формирование организационных основ обеспечения химической безопасности на химически опасном объекте;
- оповещение и информирование персонала;
- зонирование химически опасных объектов;
- использование средств индивидуальной и коллективной защиты;
- нормализацию химической обстановки при ее ухудшении.

#### *Определение задач и планирование мероприятий по обеспечению химической безопасности*

Планирование мероприятий по обеспечению химической безопасности персонала химически опасных объектов является одним из важнейших направлений успешного решения данной проблемы как при нормальной эксплуатации этих объектов, так и при химических авариях на них.

Исходя из опыта и требований нормативных документов [33, 98], оно заключается в разработке планов и инструкций по обеспечению химической безопасности на химически опасных объектах. Как правило, планы разрабатываются для объектов в целом, инструкции — для цехов и производственных зданий, для отдельных технологических процессов. Содержание инструкций зависит от используемых АХОВ, технологических процессов, в которых они используются, и определяется ведомственными нормативными документами либо руководством объекта.

Содержание планов определяется нормативными документами федеральных органов исполнительной власти.

Прежде всего на химически опасном объекте, еще на стадии его проектирования, разрабатывается План локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС).

ПЛАС разрабатывается в целях:

- определения возможных сценариев возникновения аварийной ситуации и ее развития;
- определения готовности организации к локализации и ликвидации аварийных ситуаций на опасном производственном объекте;
- планирования действий производственного персонала и аварийно-спасательных служб (формирований) по локализации и ликвидации аварийных ситуаций на соответствующих стадиях их развития;
- разработки мероприятий, направленных на повышение противоаварийной защиты и снижение масштабов последствий аварий;
- выявления достаточности принятых мер по предупреждению аварийных ситуаций на объекте.

ПЛАС должен содержать:

- титульный лист;
- оперативную часть, в которой даются краткая характеристика опасности объекта (технологического блока, установки т.д.), мероприятия по защите персонала и действиям по локализации и ликвидации аварийных ситуаций;
- расчетно-пояснительную записку, в которой содержится подробный анализ опасности возможных аварийных ситуаций на объекте.

Исходными данными для разработки ПЛАС служат:

- краткая характеристика объекта;
- блок-схема технологического объекта.

Содержание оперативной части ПЛАС определяется уровнем аварийных ситуаций, которые в зависимости от их масштаба могут быть трех уровней — «А», «Б» и «В»:

- на уровне «А» аварийная ситуация характеризуется развитием в пределах одного блока объекта (цеха, установки, производственного участка), являющегося структурным подразделением организации;
- на уровне «Б» аварийная ситуация характеризуется переходом за пределы одного блока объекта (цеха, установки, производственного участка) и развитием ее в пределах организации;
- на уровне «В» аварийная ситуация характеризуется развитием и выходом за пределы территории организации, возможностью воздействия поражающих факторов на население близлежащих населенных пунктов и другие организации (объекты), а также окружающую среду.

При разработке оперативной части ПЛАС для аварийных ситуаций на уровнях «А» и «Б» необходимо:

- обеспечить согласованность действий персонала организации и аварийно-спасательных служб (формирований):

— установить перечень должностных лиц, ответственных за выполнение конкретных действий:

— установить порядок осуществления связи аварийно-спасательных служб (формирований) с органами государственного надзора и органами местного самоуправления;

— определить действия профессиональных и нештатных аварийно-спасательных формирований по локализации и ликвидации аварийных ситуаций;

— привести опознавательные признаки уровней аварийных ситуаций и их значения, по которым управление работами по локализации и ликвидации аварийной ситуации переходит на уровень «Б».

ПЛАС уровня «А» разрабатывается для руководства действиями производственного персонала технологического блока, членов нештатных аварийно-спасательных формирований и привлекаемых, в случае необходимости, профессиональных аварийно-спасательных формирований по локализации и ликвидации аварийных ситуаций, предупреждению их распространения на другие блоки объекта (цеха, отделения, установки и т.д.).

ПЛАС на уровне «А» должен включать:

— краткую характеристику опасности технологических блоков, входящих в состав объекта (цеха, отделения, установки, производственного участка и т.д.);

— принципиальные технологические схемы блоков, входящих в состав объекта (цеха, отделения, установки, производственного участка и т.д.);

— план расположения основного технологического оборудования блоков, входящих в состав объекта (цеха, отделения, установки, производственного участка и т.д.);

— оперативную часть ПЛАС.

Расчетно-пояснительная записка имеет следующую структуру:

— титульный лист;

— список исполнителей;

— оглавление;

— исходные данные;

— характеристика опасных веществ, обращающихся в технологическом блоке;

— анализ известных аварий на объектах, определение возможных сценариев возникновения, развития и вероятности реализации аварийных ситуаций;

— оценка количества опасного вещества, участвующего в аварии;

— расчет вероятных зон действия поражающих факторов;

— ситуационный план возможных аварийных ситуаций;

— основные опасности технологического блока;

— перечень наиболее значимых факторов, влияющих на показатели риска;

— оценка уровня опасности технологического блока;

— предложения по реализации мер, направленных на уменьшение риска аварий.

Методические указания о порядке разработки ПЛАС определены специальным документом Госгортехнадзора России [33].

Следует отметить, что ПЛАС является приложением к основному документу, разрабатываемому на химически опасном объекте — **Плану действий по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий**.

Этот План состоит из двух разделов.

**В первом разделе** «Плана действий по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий химически опасного объекта» излагаются возможные причины и последствия химической аварии, исходные данные для планирования мероприятий по защите персонала объекта и населения, дается краткая оценка возможной химической обстановки на территории объекта при возникновении крупной производственной аварии с проливом (выбросом) АХОВ и за его пределами, определяется содержание и порядок выполнения мероприятий предупреждения химических аварий.

В нем отражается:

- краткая оценка обстановки на объекте при возможных химических авариях;
- общие данные, краткая характеристика и режим работы объекта, количество персонала на объекте, наибольшая работающая смена;
- количество населения, проживающего в зоне возможного распространения АХОВ;
- размещение объекта относительно жилой и производственной зоны;
- виды АХОВ, используемые в производстве, их среднесуточные запасы;
- сведения об условиях хранения АХОВ на объекте и использования их в производстве: способы хранения (при температуре окружающей среды, изотермическое хранение под атмосферным давлением и т.д.), размещение запасов АХОВ относительно производственной застройки, краткая характеристика технологических систем и складских хранилищ по взрывоопасности, пожарной опасности, сейсмоустойчивости и защите от терактов;
- наличие противоаварийных средств локализации возможных очагов химического поражения;
- порядок получения и отгрузки АХОВ смежным предприятиям, а также транспортировка по территории объекта, в каких количествах и с какой периодичностью;
- наиболее вероятные аварийно опасные технологические системы и объекты хранения и использования АХОВ на производстве, возможные виды аварий и химическая обстановка;
- статистические данные аварий, катастроф и стихийных бедствий на объекте;
- цеха (территория), представляющие наибольшую опасность для персонала и населения, перечень этих цехов и территорий (размеры возможных зон химического загрязнения, ущерба и потерь населения при авариях на каждом из них);
- риски чрезвычайных ситуаций на объекте, значения индивидуального и социального рисков персонала и населения;
- результаты прогнозирования возникновения источников чрезвычайных ситуаций и их последствий на объекте в планируемый период времени;

- порядок мониторинга окружающей среды;
- порядок оповещения персонала объекта и населения об угрозе аварии;
- мероприятия, направленные на повышение технологической и эксплуатационной надежности производственных процессов;
- комплекс мероприятий по основным направлениям предупреждения и смягчения последствий химической аварии;
- глубина и площадь возможных зон химического заражения АХОВ;
- оценка степени опасности поражения рабочей смены и населения, проживающего в зоне возможного химического заражения;
- организация на предприятии службы защиты персонала объекта при аварийных ситуациях, на кого возлагается и каким образом осуществляется;
- силы и средства, которые могут быть использованы для локализации источников опасности;
- действия дежурной диспетчерской службы по защите производственного персонала и населения;
- обеспеченность персонала объекта и населения, проживающего в зоне возможного химического заражения, средствами индивидуальной защиты: обеспеченность фильтрующими промышленными, гражданскими (там, где они эффективны) и изолирующими противогазами, обеспеченность средствами индивидуальной защиты формирований объекта;
- метеорологические, сейсмические, пожарные условия в районе размещения предприятия: направление и скорость приземного ветра с учетом розы ветров; характер рельефа и застройки местности, их влияние на распространение паров (аэрозоля) АХОВ;
- места возможного затекания и застоя АХОВ.

В результате оценки обстановки по первому разделу «Плана...» делаются выводы, в которых указываются:

- виды возможных аварий, тип химической обстановки, масштабы зон химического заражения;
- возможность объекта по защите персонала и населения;
- характер и объемы аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- имеющиеся силы, их потребность и возможности;
- материально-техническая обеспеченность, уровень ее достаточности для выполнения объема работ.

К первому разделу «Плана...» разрабатываются генплан химически опасного объекта и карта (схема) возможной обстановки.

На генплане объекта указываются:

- места, виды и количество АХОВ в хранилищах и технологических линиях;
- пожаро-, взрыво- и сейсмоопасные объекты;
- участки производства, где возможно образование источников химического заражения;
- места размещения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных команд и подразделений ВОХР;

- места размещения химических лабораторий, химических наблюдательных постов, маршруты движения химических разведывательных дозоров (звеньев);

- расположение стационарных систем локализации химических аварий, мест хранения запасов обеззараживающих веществ;

- размещение постов оцепления и охраны;

- пункты управления силами ликвидации последствий химической аварии;

- места хранения запасов средств индивидуальной защиты и порядок их выдачи;

- данные метеорологической обстановки.

На карту (схему) наносятся:

- места размещения химически опасных производств;

- границы санитарно-защитной зоны;

- зона возможного максимального распространения облака АХОВ с указанием границ заражения с поражающими токсодозами (концентрациями);

- объекты и населенные пункты (жилые кварталы), население в которых может быть подвергнуто химической опасности;

- маршруты и рубежи ввода сил в очаг поражения;

- пункты вывода, районы эвакуации персонала объекта и населения и маршруты, ведущие к ним.

В качестве приложения к «Плану...» объекта разрабатываются данные об обеспеченности персонала и населения средствами индивидуальной защиты по видам, обеззараживающими веществами, средствами индикации АХОВ.

Расчет обеспеченности персонала объекта средствами индивидуальной защиты разрабатывается по цехам и отделам. В нем отражается обеспеченность промышленными, гражданскими и изолирующими противогазами.

В расчете обеспеченности объекта средствами обеззараживания указывается их наличие и место складирования на объекте, время и место подачи, откуда поступает недостающее количество.

В расчете обеспеченности средствами индикации АХОВ указывается обеспеченность объекта универсальными газосигнализаторами, приборами химической разведки, индикаторными средствами к ним, наличие документов о их сертификации и сроки годности.

При угрозе химической аварии (режим повышенной готовности) в «Плане...» отражаются: порядок прогноза химической обстановки и оповещения персонала и населения, мероприятия по предупреждению и снижению последствий аварии.

Прогнозирование и оценка химической обстановки осуществляется с помощью методики прогнозирования масштабов химического заражения. Расчетным путем определяется возможный выброс, площадь разлива, глубина распространения первичного и вторичного облаков, площадь зоны возможного химического заражения, время подхода облака зараженного воздуха к населенному пункту, промышленному объекту и т.п.

В мероприятиях по организации оповещения об угрозе химического заражения отражаются: порядок поддержания в готовности системы оповещения; порядок разрешения на подачу сигнала; уточненные способы оповещения; обязанности дежурной смены; порядок оповещения руководящего состава, цехов, формирований, населения в угрожаемых зонах.

В мероприятиях по предупреждению и снижению воздействия возможных химических аварий указываются:

- подготовка цехов и предприятия в целом к безаварийной остановке;
- расчет имеющихся формирований и средств предупреждения и ликвидации последствий химической аварии;
- создание и накопление запасов средств индикации АХОВ, средств индивидуальной защиты, обеззараживающих (нейтрализующих) веществ и медицинского имущества, приведение их в готовность при угрозе химической аварии;
- подготовка персонала объекта и населения к действиям в условиях химического заражения;
- порядок снижения объемов хранения АХОВ;
- мероприятия по обвалованию и заглублению емкостей с АХОВ, установке резервных емкостей и созданию системы перекачки АХОВ из аварийных емкостей;
- порядок сбора информации для прогнозирования и оценки химической обстановки.

**Во втором разделе** «Плана...» объекта отражается организация ликвидации последствий возможных химических аварий:

- порядок оповещения персонала объекта, населения, попадающего в зону химического заражения (силы и средства, способы, очередность оповещения);
- приведение в готовность и развертывание системы управления, сил и средств ликвидации аварии и ее последствий (состав, предназначение, место развертывания, сроки готовности, организация работ);
- первоочередные экстренные меры по защите персонала и населения, попадающего в зону химического заражения (обеспечение производственного персонала средствами индивидуальной и медицинской защиты; вывод и эвакуация персонала и населения из зон химического заражения);
- защита сельскохозяйственных животных, продукции и растений (сроки, порядок укрытия и эвакуации животных, герметизация хранилищ и складов);
- организация аварийно-спасательных и других неотложных работ по локализации и ликвидации чрезвычайной ситуации химического характера: ведение разведки; спасение и оказание помощи пострадавшим; локализация источника заражения; подавление облака зараженного воздуха; организация обеззараживания проливов АХОВ и расчет привлекаемых для этих целей сил и средств;
- взаимодействие формирований объекта с территориальными подразделениями РСЧС и органами военного командования по задачам, месту и времени, обеспечение действий сил и средств при ведении аварийно-спасательных и дру-



гих неотложных работ (инженерных, медицинских, технических, транспортных, материальных, гидрометеорологических и химической защиты);

— управление силами, средствами и мероприятиями по защите персонала и населения при ликвидации последствий химической аварии (пункты управления и организация связи, информация об обстановке, порядок представления донесений).

В качестве приложений ко второму разделу «Плана...» разрабатываются:

— календарный план основных мероприятий при угрозе и возникновении химической аварии;

— расчет на проведение вывода и эвакуации персонала объекта и населения из зоны химического заражения;

— расчет сил и средств, привлекаемых для выполнения мероприятий при угрозе и возникновении химической аварии;

— организация управления, оповещения и связи при возникновении производственных аварий с АХОВ.

На основании «Плана действий по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий» разрабатываются планы служб объекта по обеспечению действий сил при ликвидации последствий химической аварии: планы материального, технического обеспечения, химической защиты, связи и оповещения, охраны общественного порядка, энергоснабжения, аварийно-технической и транспортной служб.

В планах отражаются: задачи, силы и средства, порядок и сроки их выполнения, ответственные исполнители.

### *Формирование организационных основ обеспечения химической безопасности на химически опасных объектах*

Как указывалось выше, организация любой деятельности предусматривает ответственность соответствующих должностных лиц (организаций) за выполнение возложенных на них функций, наличие необходимых сил и средств и согласованность их действий по решению стоящих перед ними задач.

В соответствии с [32] организация, эксплуатирующая опасные производственные объекты, обязана:

— выполнять требования промышленной безопасности, установленные к эксплуатации опасных производственных объектов законодательными и иными нормативными правовыми актами и нормативными техническими документами, принятыми в установленном порядке;

— представлять сведения, необходимые для регистрации объекта в государственном реестре опасных производственных объектов, в соответствии с требованиями, установленными Госгортехнадзором России<sup>1</sup>;

<sup>1</sup> «Положение о регистрации объектов в государственном реестре опасных производственных объектов и ведении государственного реестра», утвержденное постановлением Госгортехнадзора России от 03.06.1999 г. № 39 (зарегистрировано Минюстом России 05.07.1999 г., № 1822), с изменениями и дополнениями, утвержденными постановлением Госгортехнадзора России от 20.06.2002 г. № 32 (зарегистрировано Минюстом России 29.07.2002 г., № 3627).

— допускать к работе на опасном производственном объекте лиц, удовлетворяющих соответствующим квалификационным требованиям и не имеющих медицинских противопоказаний к указанной работе;

— обеспечивать наличие и функционирование необходимых приборов и систем контроля производственных процессов в соответствии с установленными требованиями, а также выполнение установленных требований к хранению опасных веществ;

— в случаях, предусмотренных законодательными и иными нормативными правовыми актами, разрабатывать декларацию промышленной безопасности;

— заключать договор страхования риска ответственности за причинение вреда при эксплуатации опасного производственного объекта;

— предотвращать проникновение посторонних лиц на опасный производственный объект;

— организовывать и осуществлять производственный контроль в соответствии с Правилами организации и осуществления производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 10.03.1999 г. № 263 (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, № 11, ст. 1305);

— планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий, оказывать содействие государственным органам в расследовании причин аварий;

— заключать с профессиональными аварийно-спасательными службами (формированиями) договоры на обслуживание, а в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации, создавать собственные профессиональные аварийно-спасательные формирования и нештатные аварийно-спасательные формирования из числа работников;

— иметь резервы финансовых средств и материальных ресурсов для локализации и ликвидации последствий аварий;

— обучать работников действиям в случае аварии или инцидента;

— создавать и поддерживать в надлежащем состоянии системы наблюдения, оповещения, связи и поддержки действий в случае аварии;

— принимать участие в техническом расследовании причин аварий, утрат взрывчатых материалов на объекте, расследовании несчастных случаев на производстве в порядке, установленном законодательством Российской Федерации и нормативными документами Госгортехнадзора России<sup>1</sup>;

— вести учет аварий, инцидентов, несчастных случаев на производстве, анализировать причины возникновения аварий, инцидентов, несчастных слу-

---

<sup>1</sup> «Положение о порядке технического расследования причин аварий на опасных производственных объектах», утвержденное постановлением Госгортехнадзора России от 08.06.1999 г. № 40 (зарегистрировано Минюстом России 02.07.1999 г. № 1819). «Инструкция о порядке технического расследования и учета утрат взрывчатых материалов в организациях, на предприятиях и объектах, подконтрольных Госгортехнадзору России», утвержденная постановлением Госгортехнадзора России от 18.06.1997 г. № 21 (зарегистрировано Минюстом России 11.08.1997 г. № 1374).

чаев на производстве, принимать меры по их профилактике и установлению причин;

— представлять в установленном порядке в органы государственной власти информацию об авариях, инцидентах и несчастных случаях на производстве, причинах их возникновения и принятых мерах;

— соблюдать порядок и условия применения технических устройств на опасных производственных объектах, предусмотренные Правилами применения технических устройств на опасных производственных объектах, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 25.12.1998 г. № 1540 «О применении технических устройств на опасных производственных объектах» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, № 1, ст. 191) и нормативными документами Госгортехнадзора России.

Непосредственно в части обеспечения химической безопасности на химически опасный объект возлагается:

— обеспечение контроля за химической обстановкой на объекте и в его санитарно-защитной зоне;

— создание и поддержание в постоянной готовности локальной системы оповещения населения о чрезвычайных ситуациях, оповещение персонала объекта и органов местного самоуправления об угрозе возникновения и возникновении химической аварии;

— создание, подготовка и поддержание в готовности сил и средств для ликвидации последствий возможных химических аварий;

— создание резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации последствий возможных химических аварий;

— организация и проведение аварийной остановки химически опасного объекта (блока, установки, цеха) производственным персоналом, газоспасательных, аварийно-спасательных и других неотложных работ на объекте и на прилегающих к нему территориях в соответствии с Планом действий по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий;

— планирование и осуществление необходимых мер по защите персонала, населения и окружающей среды при химической аварии.

Общее руководство работой по обеспечению химической безопасности на химически опасном объекте осуществляет руководитель объекта. Там, где есть главный инженер, на него возлагается организация работ и выполнение технических мероприятий по химической безопасности.

Персональную ответственность за обеспечение химической безопасности в своих подразделениях несут руководители структурных подразделений химически опасных объектов.

Определенные требования по обеспечению химической безопасности предъявляются и к персоналу этих объектов, который обязан:

— знать и строго выполнять требования по обеспечению химической безопасности, установленные инструкциями по химической безопасности и должностными инструкциями;

- использовать в предусмотренных случаях средства индивидуальной защиты;
- выполнять установленные требования по предупреждению химических аварий и правила поведения в случае их возникновения;
- своевременно проходить периодические медицинские осмотры и выполнять рекомендации медицинской комиссии;
- обо всех обнаруженных неисправностях в работе установок, приборов и аппаратов немедленно ставить в известность руководителя цеха (участка, лаборатории и т.п.);
- по окончании смены покинуть свои рабочие места, если дальнейшее пребывание там не диктуется производственной необходимостью.

Оказание практической помощи подразделениям химически опасных объектов в организации работы по обеспечению химической безопасности осуществляют создаваемые на этих объектах штатные военизированные газоспасательные службы (команды), численность которых определяется перечнем и объемом выполняемых работ. Подчиняются военизированные газоспасательные службы (команды), как правило, непосредственно руководителям химически опасных объектов.

Схема типовой организации военизированной газоспасательной службы (команды) химически опасных объектов представлена на рис. 5.6.

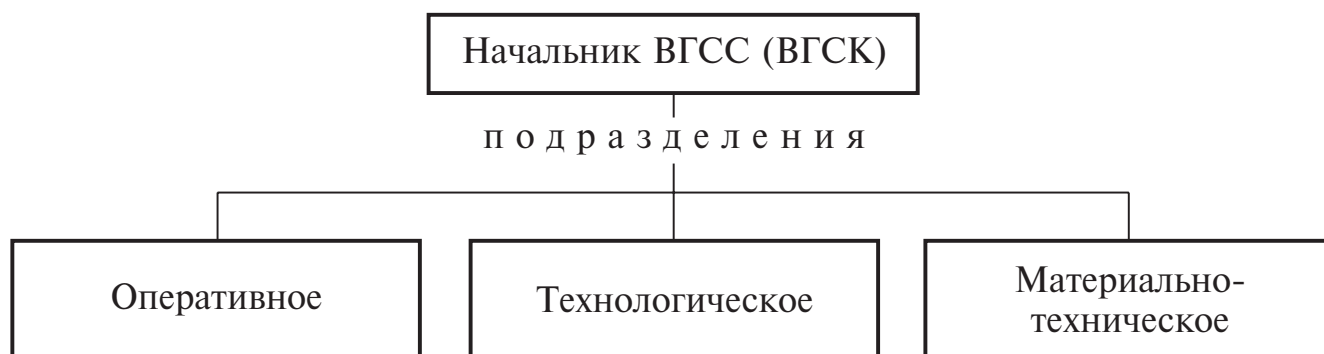


Рис. 5.6. Схема типовой военизированной газоспасательной службы (команды)

На военизированную газоспасательную службу (команду) возлагаются следующие основные задачи, которые решаются соответствующими подразделениями:

- ликвидация аварий и их последствий;
- спасение пострадавших при авариях;
- техническое обслуживание и ремонт контрольной аппаратуры;
- обеспечение подразделений средствами индивидуальной защиты.

Кроме того, на химически опасных объектах для ликвидации возможных аварийных последствий создаются нештатные формирования из персонала объектов, на которые возлагаются следующие задачи:

- ликвидация химических аварий;
- разведка очагов химических аварий, определение зон химического заражения;

- локализация и ликвидация химических заражений;
- санитарная обработка персонала.

При необходимости к ликвидации последствий химических аварий на химически опасных объектах по решению федеральных органов исполнительной власти могут привлекаться воинские части и подразделения войск гражданской обороны, а также Минобороны России, ведомственные аварийно-спасательные формирования, а по решению органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления — местные аварийно-спасательные формирования (подразделения).

Управление при ликвидации химической аварии и ее последствий заключается в руководстве силами и средствами при проведении работ. Главной целью управления является обеспечение эффективного использования сил и средств, в результате чего работы по ликвидации последствий химической аварии должны быть выполнены в полном объеме, в кратчайшие сроки, с минимальными потерями людей и материальных средств.

При объектовой химической аварии руководитель работ по ликвидации аварии и ее последствий назначается руководителем химически опасного объекта.

### *Оповещение и информирование персонала*

Оповещение и информирование персонала химически опасного объекта о химической обстановке на объекте, в отдельных его зданиях и сооружениях, о предпосылках и возникновении химической аварии осуществляется так же, как и персонала радиационно опасных объектов, с помощью различных средств оповещения объекта, используя линии городской и местной телефонных станций, диспетчерскую связь, радиосвязь, радиотрансляционную сеть и другие, что описано выше, в 5.1.

Решение на оповещение персонала химически опасных объектов и при необходимости населения о возникшей химической аварии принимается дежурными сменами диспетчерских служб химически опасных объектов. Если прогнозируемые последствия аварии не выходят за пределы объекта, об аварии оповещаются дежурные смены аварийных служб, администрация и персонал объекта, а также местные органы управления ГОЧС. При авариях, когда прогнозируется распространение поражающих факторов АХОВ за пределы объекта, оповещаются также население, руководители и персонал предприятий и организаций, попадающих в границы действия специально создаваемых вокруг химически опасных объектов локальных систем оповещения. При крупномасштабных химических авариях, когда локальные системы не обеспечивают требуемого масштаба оповещения наряду с ними через органы управления ГОЧС задействуются территориальные и местные системы централизованного оповещения, а также подвижные средства громкоговорящей связи.

### *Зонирование химически опасных объектов*

В отличие от радиационно опасных объектов установление многочисленных режимных зон на химически опасных объектах никакими нормативными правовыми актами не предусмотрено.

Единственно для обеспечения безопасности населения, проживающего вблизи химически опасных объектов, вокруг них создаются санитарно-защитные зоны, отделяющие жилые кварталы от объектов.

Глубина санитарно-защитных зон зависит от мощности, условий осуществления технологического процесса, характера и количества выделяемых в окружающую среду вредных веществ и других вредных факторов в соответствии с санитарной классификацией предприятий. В зависимости от класса объекта, размеры санитарно-защитных зон составляют: I класса — 1000 м, II класса — 500 м, III класса — 300 м, IV класса — 100 м, V класса — 50 м.

К I классу, как известно, относятся объекты, имеющие аммиак жидкий, ангидрид сернистый жидкий, двуокись азота, кислоту синильную, метилакрилат, нитрил акриловой кислоты, сероуглерод, триметиламин, фосген, хлор жидкий и ряд других.

Приведенные размеры санитарно-защитных зон при необходимости и надлежащем технико-экономическом и гигиеническом обосновании могут быть увеличены. Они могут быть и уменьшены, если после очистки выбросов содержание вредных веществ в атмосфере воздуха населенных пунктов будет безопасным.

За время прохождения паров зараженного воздуха через санитарно-защитную зону концентрации АХОВ снижаются, однако при крупномасштабных авариях, особенно на складах хранения АХОВ, глубина распространения зараженного воздуха с поражающими концентрациями может в десятки раз превышать глубину санитарно-защитной зоны. Вместе с тем ее наличие в ряде случаев позволяет своевременно предупредить население о химической опасности.

При размещении на территории объектов различных производств и сооружений определенное влияние на распространение АХОВ оказывает плотность застройки промышленных площадок. Чем выше плотность застройки, тем меньше проветривание территории предприятий, зданий и сооружений, а следовательно, больше время возможного застоя АХОВ и воздействия зараженного воздуха на персонал объекта.

Никакого зонирования на территории самих химически опасных объектов, внутри их зданий и сооружений не предусматривается, хотя на многих объектах, особенно I класса, да и других, условно как бы существуют «чистые» и «грязные» зоны, на границе которых имеются санпропускники, где осуществляется переодевание персонала в спецодежду, предусмотрена его санитарная обработка.

### *Использование средств индивидуальной и коллективной защиты*

Для защиты производственного персонала от АХОВ на химически опасных объектах накапливаются, хранятся и используются различные средства индивидуальной и коллективной защиты.

Говоря о средствах индивидуальной защиты, выделяют 3 основные ситуационные группы, для которых требуются различные средства защиты, прежде всего средства защиты кожи:

- регламентные работы;
- ремонтные работы;
- аварийные работы, включая ликвидацию аварийных последствий.

Для регламентных работ, как правило, используются средства защиты, обладающие наряду с защитными свойствами хорошими эргономическими характеристиками, позволяющими выполнять каждодневную длительную работу, т.е. это средства фильтрующего типа, близкие по свойствам к обычной одежде, но с защитными функциями. В принципе даже в нормальных производственных условиях в отличие от средств индивидуальной защиты органов дыхания такая одежда должна находиться постоянно на работающем и обеспечивать необходимую защиту в фораварийных и кратковременную — даже в аварийных ситуациях. Она представляет собой защитную фильтрующую одежду, очищающую воздух, проходящий в подкостюмное пространство, от вредных и токсичных примесей.

В качестве примера одежды фильтрующего типа можно привести защитный комплект «ФЗО-МП», предназначенный для защиты кожных покровов человека от высокотоксичных паров производных гидрозина, алифатических аминов, кислых паров, окислов азота. Он обладает фунгицидными и бактерицидными свойствами.

В состав комплекта входят: куртка с капюшоном, брюки, белье (рубашка и брюки из хлопчатобумажной ткани) и перчатки. Комплект используется в сочетании с фильтрующепоглощающим противогазом и защитной обувью и имеет следующие технические характеристики:

время защитного действия при концентрации паров 0,1 мг/л	2,5 часа;
сохранность защитных свойств	12 мес.;
время непрерывной работы в противогазе, не менее:	
при температуре +25 °С	4 часа;
при температуре +40 °С	1 час;
при периодическом использовании противогаза	6—8 час.

В качестве защитной одежды фильтрующего типа могут быть использованы различного вида комбинезоны из обычного материала, обычная одежда и белье из хлопчатобумажной ткани, пропитанные специальными химическими составами. Для пропитки (импрегнирования) одежды используются вещества, обладающие свойствами абсорбции и хемосорбции. Воздухопроницаемость такой одежды сохраняется, а пары АХОВ, которые содержатся в воздухе, поглощаются специальными веществами при прохождении через поры одежды.

Для импрегнирования применяют два вида пропитки: на основе синтетических моющих средств ОП-2 или ОП-10 и мыльно-масляной эмульсии.

В качестве простейших средств защиты кожи персонал химически опасных объектов может также использовать свою производственную одежду (спецовки) — куртки и брюки, комбинезоны, халаты с капюшонами, сшитые из брезента, огнезащитной или прорезиненной ткани, грубого сукна. Они способны в течение некоторого времени не пропускать жидкие АХОВ.

Для защиты органов дыхания персонала при регламентных работах используются специальные промышленные противогазы, которые комплектуются

коробками большого и малого габаритов, специализированных по назначению, и респираторы.

Специализация коробки для защиты от различных АХОВ характеризуется ее маркировкой — буквенными обозначениями и цветом окраски. Наличие белой вертикальной полосы на коробке свидетельствует о том, что она снабжена аэрозольным фильтром. Кроме того, на коробках указывается дата их изготовления, а для некоторых марок — вес коробок в граммах, полученный при их снаряжении.

Фильтрующие коробки большого габарита выпускаются восьми марок (А, В, Г, Е, КД, СО, М, БКФ), каждая из которых защищает от определенных ядовитых веществ или смеси веществ. Эти коробки не имеют аэрозольного фильтра и защищают только от АХОВ, находящихся в паро- и газообразном состоянии.

Коробки:

- с индексом А защищают от паров органических соединений (бензин, керосин, ацетон, бензол, толуол, ксилол, сероуглерод, спирта, эфиры, анилин, галогеноорганические соединения, нитросоединения бензола и его гомологи, тетраэтилсвинец), фосфора и хлорорганических ядовитых веществ;

- с индексом В — от кислых газов и паров (сернистый газ, хлор, сероводород, синильная кислота, окислы азота, хлористый водород, фосген), фосфора и хлорорганических АХОВ;

- с индексом Г — от паров ртути, ртутьорганических ядовитых веществ на основе этилмеркурхлорида;

- с индексом Е — от мышьяковистого и фосфористого водорода;

- с индексом КД — от аммиака, сероводорода и их смесей;

- с индексом СО — от окиси углерода;

- с индексом М — от окиси углерода в присутствии небольших количеств органических паров, кислых газов, аммиака, мышьяковистого и фосфористого водорода;

- с индексом БКФ — от кислых газов и паров, паров органических веществ, мышьяковистого и фосфористого водорода, пыли, дыма, тумана.

Такие же противогазовые коробки без аэрозольного фильтра с индексом «8» защищают от тех же ядовитых веществ, но имеют меньшее время защитного действия и более низкое сопротивление дыхания, не превышающее 8 мм водяного столба.

Марки, типы и назначение коробок большого габарита промышленных фильтрующих противогазов приведены в табл. 5.17.

Фильтрующие коробки малого габарита выпускаются марок — А, В, Г, КД, СО и др. Назначение и окраска коробок такие же, как и коробок большого габарита. Защитная мощность фильтрующих коробок малого габарита значительно ниже, чем коробок большого габарита. Марки, типы и назначения коробок малого габарита промышленных фильтрующих противогазов соответствуют приведенным в табл. 5.17.

Промышленные фильтрующие противогазы большого и малого габаритов комплектуются лицевой частью ШМП в двух исполнениях. Лицевую часть



Таблица 5.17

Марки, типы и назначение коробок большого габарита промышленных фильтрующих противоголовок

Марки коробок	Тип коробки, опознавательная окраска	АХОВ, от которого защищает коробка
А, А8	Без противоголового типа фильтра (ПАФ), коричневая	Пары органических соединений (бензин, ксилол, керосин, ацетон, бензол, толуол, сероуглерод, спирты, эфиры, анилин, соединения бензола и его гомологов, тетраэтилсвинец, фосфор и хлорорганические ядохимикаты)
А	С ПАФ, коричневая с белой вертикальной полосой	То же, а также пыль, туман, дым
В, В8	Без ПАФ, желтая	Кислые газы и пары (сернистый газ, хлор, сероводород, синильная кислота, окислы азота, хлористый водород, фосген), фосфор и хлорорганические ядохимикаты
В	С ПАФ, желтая с белой вертикальной полосой	То же, а также пыль, дым, туман
Г, Г8	Без ПАФ, черная и желтая по вертикали	Пары ртути, ртутьорганические ядохимикаты на основе этилмеркурхлорида
Г	С ПАФ, черная и желтая с белой вертикальной полосой	То же, а также пыль, дым и туман, смесь паров ртути и хлора
Е, Е8	Без ПАФ, черная	Мышьяковистый и фосфористый водород
Е	С ПАФ, черная с белой вертикальной полосой	То же, а также пыль, дым, туман

Продолжение табл. 5.17

Марки коробок	Тип коробки, опознавательная окраска	АХОВ, от которого защищает коробка
КД, КД8	Без ПАФ, серая	Аммиак, сероводород и их смеси
КД	С ПАФ, серая с белой вертикальной полосой	То же, а также пыль, дым и туман
М	Без ПАФ, красная	Окись водорода в присутствии органических паров (кроме практически несоблюдающихся веществ, например, метана, бутана, этана, этилена и др.), кислых газов, аммиака, мышьяковистого и фосфористого водорода
М8	С ПАФ, красная с белой вертикальной полосой	То же, а также пыль, дым и туман
СО	Без ПАФ, белая	Окись углерода
БКФ	С ПАФ, зеленая с белой вертикальной полосой	Кислые газы и пары, пары органических веществ, мышьяковистого и фосфористого водорода и от различных аэрозолей (пыль, дым, туман)

**Примечание:**

1. Коробки марок А, В, Г, Е, КД выпускаются трех типов, марки М — двух типов, марки СО и БКФ — одного типа.
2. Коробки марки СО выпускаются без ПАФ, а БКФ с ПАФ. Все остальные марки выпускаются без ПАФ с повышенным временем защитного действия, без ПАФ с индексом «8».
3. При пользовании противогазом марки Г необходимо вести учет времени работы каждой коробки. По истечении 100 ч и 80 ч соответственно для марок Г без ПАФ и Г с ПАФ они считаются отработанными и должны заменяться новыми.
4. Отработка фильтрующих коробок марок М и СО определяется по увеличению массы. При увеличении массы коробок М на 35 г и 50 г коробок СО по сравнению с первоначальным (указана на корпусе) коробки считаются отработанными и заменяются на новые.

ШМП каждого исполнения изготавливают пяти ростов. Кроме указанной лицевой части в промышленных противогазах могут использоваться лицевые части ШМ041, ШМ-41М, ШМС, ШМГ.

Необходимо отметить, что возможность использования всех типов фильтрующих противогазов для защиты от АХОВ определяется временем защитного действия их фильтропоглощающих коробок (ФКП) по конкретным веществам. Одним из главных недостатков ФКП является их избирательная сорбционная способность по различным АХОВ.

Это обстоятельство может затруднить организацию защиты людей при авариях на химически опасных предприятиях, так как при возникновении очагов поражения, образованных несколькими АХОВ, потребуется использование фильтрующих противогазов с универсальными защитными свойствами как изолирующих противогазов.

Кроме того, коробки фильтрующих противогазов мало пригодны для защиты людей при выполнении спасательных работ в очагах химического заражения с высокими концентрациями АХОВ (порядка десятков и сотен мг/л) ввиду быстрого насыщения шихты коробок парами ядовитых веществ.

Кроме фильтрующих противогазов для защиты органов дыхания от аэрозолей, паров и газов вредных веществ широко используются респираторы.

В зависимости от назначения респираторы делятся на противоаэрозольные (противопылевые), противогазовые и универсальные.

Для защиты от АХОВ в виде газа и пара применяются противогазовые и универсальные респираторы типа РПГ-67, РУ-60М, РУ-60МУ.

Противогазовые респираторы состоят из резиновой полумаски, фильтрующих патронов, пластмассовых манжет с клапаном вдоха, клапаном выдоха с предохранительным экраном, трикотажного обтюлятора, а также оголовья для крепления респираторов на голове.

Фильтрующие патроны этих респираторов выпускаются четырех марок (А, В, КД и Г). Они предназначены для защиты от следующих веществ:

- А — органические пары (бензин, керосин и др.), пары хлор- и фосфорорганических АХОВ;
- В — кислые газы (сернистый газ, сероводород и др.), пары хлор- и фосфорорганических АХОВ;
- КД — аммиак и сероводород;
- Г — пары ртути.

Респиратор РПГ-67 состоит из резиновой полумаски и двух сменных фильтрующих патронов.

Универсальный фильтрующий респиратор выпускается двух модификаций:

- РУ-60М — респиратор с постоянно закрепленным противоаэрозольным фильтром в патроне;
- РУ-60МУ — со сменным противоаэрозольным фильтром.

Респиратор РУ-60М защищает не только от АХОВ, находящихся в паре как газообразном состоянии, но и в виде аэрозолей.

Противогазовые и универсальные респираторы применяются при концентрации парообразных и газообразных АХОВ, превышающих их ПДК не более чем в 10 раз.

Отработка респираторных патронов определяется теми же методами, что и фильтрующих коробок противогазов.

Марки, маркировки и назначение фильтрующих патронов респираторов приведены в табл. 5.18.

Таблица 5.18

Марки, маркировки и назначение фильтрующих патронов респираторов

Марка патрона	Маркировка фильтрующего патрона	АХОВ, от которых защищает патрон
А	РПГ-67А	Органические пары (бензина, керосина, ацетона, бензола и его гомологов, спиртов, эфиров и других, кроме низкокипящих и плохо сорбирующихся органических веществ), пары хлор- и фосфорорганических веществ
В	РУ-60М-А или РУ-60ММУ-А	То же, а также аэрозоли
	РПГ-67В	Кислые пары (сернистый ангидрид, сероводород и др.), пары хлор- и фосфорорганических веществ
	РУ-60М-В или РУ-60МУ-В	То же, а также аэрозоли
КД	РПГ-67КД	Аммиак и сероводород
	РУ-60М-КД или РУ-60МУ-КД	То же, а также аэрозоли
Г	РУ-60М-Г	Пары ртути
	РУ-60М-Г или РУ-60МУ-Г	То же, а также аэрозоли

**Примечания:**

1. Респиратор РУ-60МУ рекомендуется использовать при повышенных концентрациях пыли в воздухе. У него предусмотрена замена противоаэрозольного фильтра.
2. Респираторы марки Г и запасные к нему патроны необходимо хранить в местах, не допускающих увлажнения.
3. Респираторы РПГ-67, РУ-60М и РУ-60МУ запрещается применять для защиты органов дыхания от высокотоксичных веществ типа синильной кислоты, мышьяковистого и фосфористого водорода, тетраэтилсвинца, а также от веществ, которые в паро- и газообразном состоянии могут проникать в организм через кожные покровы.

Для выполнения ремонтных работ, учитывая ограниченность рабочей зоны (особенно при работах внутри емкостей), необходимо использовать изолирующие комплекты из воздухо непроницаемых материалов. В данном случае

шланговая подача очищенного воздуха обеспечивает не только дыхание, но и снятие метаболического тепла.

В качестве изолирующих средств защиты органов дыхания в этих работах широко используются изолирующие противогазы типа ИП-4, ИП-46, кислородно-изолирующие приборы типа КИП-8, а также дыхательные аппараты типа ВЛАДА, АСВ-2, ИПСА и др., характеристики которых представлены в табл. 5.19 и табл. 5.20.

Таблица 5.19

## Характеристика изолирующих противогазов и приборов

Состав и характеристика	Марки противогазов			КИП-8
	ИП-4	ИП-46	ИП-46М	
Состав:				
лицевая часть	ШИП-26	ШВСМ	ШВСМ	МИП-1
регенеративный патрон	РПП-4	РП-46	РП-46М	—
кислородный баллон	—	—	—	—
пусковое приспособление	+	+	+	—
пусковой брикет	+	+	+	—
дыхательный мешок	+	+	+	+
клапанная коробка	+	+	+	+
механизм подачи кислорода	—	—	—	+
каркас (корпус)	+	+	+	+
Время защитного действия, мин				
при нагрузке:				
тяжелой	40	50	50	—
средней	75	60	80	—
легкой	180	180	180	120
в воде:				
при температуре 15—20 °С	—	—	120	—
при температуре 1—5 °С	—	—	20	—
Масса, кг	3,4	4,6	5,5	10

Для кратковременной защиты от АХОВ и экстренного выхода из зараженной зоны даже при ремонтных работах иногда используются изолирующие самоспасатели типа СПИ-20 и ПДУ-3, основные технические характеристики которых представлены в табл. 5.21.

Среди изолирующих средств защиты кожи широкое применение при ремонтных работах находят общевойсковой защитный комплект (ОЗК) и легкий защитный костюм (Л-1).

СЗК состоит из защитного плаща, защитных чулок и защитных перчаток. Его масса составляет около 3 кг.

Таблица 5.20

Характеристика дыхательных аппаратов ВЛАДА и АСВ-2

Состав и характеристика	Марка аппарата	
	ВЛАДА-1 (2)	АСВ-2
Состав:		
количество воздушных баллонов	1 (2)	2
емкость каждого баллона, л	7 (3)	3 или 4
маска	+	+
запорный вентиль	+	+
редуктор	+	+
монометр	+	+
корпус	+	+
Время защитного действия, мин.	42 (40)	45
Масса, кг	11,6 (14,6)	16,4

**Примечание.** В скобках приведены данные для ВЛАДА-2.

Таблица 5.21

Основные технические характеристики изолирующих самоспасателей

Наименование самоспасателя	Основные характеристики
Изолирующий самоспасатель СПИ-20	Время защитного действия, мин.: при легкой нагрузке — 45; при средней нагрузке — 20. Масса, кг — 2,2. Температурный диапазон использования, °С — от 0 до 60.
Портативное дыхательное устройство ПДУ-3	Время защитного действия, мин.: при легкой нагрузке — 50; при средней нагрузке — 20. Масса, кг — 1,5. Температурный диапазон использования, °С — от -30 до +40

Л-1 обеспечивает защиту от большинства АХОВ в жидком, аэрозольном и парообразном состоянии при выполнении различных работ в очагах химического заражения. Однако при попадании на костюм низкокипящих АХОВ в жидком состоянии (аммиак, хлор и другие) его защитные свойства резко снижаются, что может привести к поражению людей, работающих в них. Защитный костюм состоит из рубахи с капюшоном и брюк, переходящих внизу в защитные чулки.

Для проведения дегазационных работ и защиты производственного персонала на объектах используются и различные табельные противокислотные и противощелочные костюмы, фартуки, сапоги и перчатки.

Среди более современных изолирующих средств защиты кожи можно назвать костюм изолирующий ИК-АЖ, предназначенный для защиты органов дыхания, зрения и кожных покровов человека от жидкого и газообразного аммиака, газообразного хлора, минеральных кислот и щелочей любых концентраций.

Состав комплекта: комбинезон, перчатки. Костюм используется в сочетании с автономным дыхательным аппаратом.

Костюм при массе около 7 кг (без автономного дыхательного аппарата) обеспечивает защиту от хлора и аммиака в газообразном состоянии в течение одного часа, а в жидком состоянии — по времени работы автономного дыхательного аппарата, от концентрированных кислот и щелочей — не менее 40 минут.

Сроки возможного пребывания людей в изолирующих средствах защиты кожи представлены в табл. 5.22.

Таблица 5.22

Сроки возможного пребывания людей  
в изолирующих средствах защиты кожи

Температура наружного слоя, °С	Время пребывания в изолирующих средствах защиты кожи	
	без влажного экранизирующего комбинезона	с влажным экранизирующим комбинезоном
30 и выше	15—20 мин.	1—1,5 ч
25—29	До 30 мин.	1,5—2 ч
20—24	До 45 мин.	2—2,5 ч
15—19	До 2 ч	Более 3 ч
Ниже 15	Более 3 ч	—

**Примечание:**

1. В пасмурную или ветреную погоду, а также в тени время непрерывного пребывания может быть увеличено в 1,5 раза.
2. Время восстановления теплового состояния к исходному уровню составляет не менее 1 часа, каждый последующий цикл работы сокращается на 30 %.

Наиболее ответственные и высокие требования предъявляются к аварийным средствам, которые должны обеспечивать сочетание высокого уровня защиты с возможностью свободного передвижения для выполнения аварийных спасательных работ, как правило, в условиях разрушений и завалов, т.е. обладать высокой степенью защиты и автономности.

К таким средствам относятся комплекты типа КИХ-4 и КИХ-5, предназначенные для защиты органов дыхания, зрения и кожных покровов человека от воздействия хлора и аммиака в жидком и газообразном состоянии.

Состав комплекта: комбинезон, перчатки, сапоги. Комплект используется в сочетании с дыхательными системами АСВ-2 или КИП-8, которые размещаются в подкостюмном пространстве. Масса комплекта около 5 кг. Обеспе-

чивает не менее чем одночасовую защиту от газообразных хлора и аммиака и не менее двух минут от жидкого аммиака.

На химически опасных объектах фильтрующие противогазы закрепляются за персоналом с одновременной подгонкой и проверкой исправности и хранятся в собранном виде, в сумках, подвешенными на лямках или в специальных стеллажах вблизи рабочих мест.

Респираторы хранятся в полиэтиленовых мешочках, специально предназначенных для этого, также вблизи рабочих мест.

Средства защиты кожи на объектах хранятся в цехах, лабораториях, в ящиках или на специальных стеллажах.

Надежным средством защиты персонала химически опасных объектов от АХОВ являются коллективные средства защиты, которые аналогичны защитным сооружениям, используемым для защиты персонала радиационно опасных объектов и описанным в 5.1.

Особенностями этих сооружений на химически опасных объектах являются: наличие фильтровентиляционных установок, способных очищать воздух от АХОВ, и возможность использования помещений убежищ в безаварийной обстановке не по назначению.

В связи с этим при планировании использования убежищ для защиты производственного персонала от АХОВ необходимо учитывать, что в безаварийной обстановке, как правило, они закрыты, помещения используются под склады и другие нужды, электроэнергия и водоснабжение отключены, средства регенерации воздуха законсервированы. На приведение таких сооружений в готовность к приему людей потребуется значительное время, которого в условиях внезапно возникшей аварии с проливом (выбросом) АХОВ может и не быть.

При необходимости производственный персонал может укрыться в убежище с неполностью укомплектованным оборудованием и техническим имуществом, за исключением обязательного наличия исправной фильтровентиляционной установки или системы регенерации воздуха. При отсутствии фильтровентиляционной установки или средств регенерации воздуха время нахождения людей в убежище в условиях полной изоляции согласно нормативным данным не должно превышать 6 ч.

В тех случаях, когда убежища содержатся в полной готовности, они могут быть использованы для защиты производственного персонала предприятий от АХОВ сразу же по сигналу тревоги.

Занятие убежищ производственным персоналом химически опасных объектов производится по сигналу «Химическая тревога». По сигналу персонал в надетых противогазах быстро занимает убежище. Личный состав звена по обслуживанию убежища (4 человека) приводит фильтровентиляционную установку или систему регенерации воздуха в рабочее состояние и включает ее. После проветривания убежища, убедившись в отсутствии АХОВ в помещении, укрываемые снимают противогазы и находятся в убежище до получения сигнала отбоя тревоги.



### *Нормализация химической обстановки при ее ухудшении*

Нормализация химической обстановки при ее ухудшении предусматривает осуществление следующих мероприятий:

- прогнозирование и оценку возможных последствий химических аварий;
- химическую разведку очагов химических аварий, определение зон химического заражения;
- локализацию химических заражений;
- ликвидацию химических заражений;
- сбор и захоронение химических отходов;
- санитарную обработку персонала.

**Прогнозирование и оценка возможных последствий химических аварий** позволяют наметить основные направления работ по нормализации химической обстановки в случае ее ухудшения, определить необходимый состав сил и средств, требуемых для ликвидации последствий аварии, наметить тактику действий этих сил и средств, спланировать и осуществить их подготовку, предусмотреть меры защиты персонала и населения.

При возникновении химической аварии данные заблаговременного прогноза возможных ее последствий уточняются по результатам химической разведки.

При заблаговременном прогнозировании масштабов заражения на случай химических аварий в качестве исходных данных рекомендуется принимать: выброс АХОВ — количество АХОВ в максимальной по объему единичной емкости (технологической, складской, транспортной и др.), метеорологические условия — инверсия, скорость ветра 1 м/с.

Для прогноза масштабов заражения непосредственно после аварии должны браться конкретные данные о количестве выброшенного (разлившегося) АХОВ и реальные метеоусловия.

Более подробно вопросы прогнозирования и оценки последствий химических аварий будут рассмотрены ниже.

**Химическая разведка** проводится в целях своевременного обнаружения химического заражения, выявления его фактического масштаба, скорости распространения, значений химических факторов; позволяет, как отмечалось выше, уточнить прогнозируемые последствия аварии, спланировать действия сил и средств по их ликвидации.

Обнаружение химических аварий на химически опасном объекте осуществляется, как правило, с помощью систем контроля технологических процессов и систем контроля химической обстановки, в том числе в санитарно-защитных зонах объектов, позволяющих своевременно обнаружить наличие АХОВ в воздухе. Сигнализирующие устройства контролируют состояние воздушной среды в автоматическом режиме и при превышении ПДК выдают звуковые и световые сигналы для принятия мер защиты работающим персоналом. Кроме того, они настраиваются и блокируются с вентиляционными установками в автоматическом режиме их включения при превышении ПДК АХОВ. Информация от всех этих систем выводится на дежурно-диспетчерские пункты.

На основании данных этих систем руководителем объекта (главным инженером) принимается решение о выявлении и оценке обстановки путем проведения разведки.

При аварии с проливом (выбросом) АХОВ основными задачами разведки являются: определение вида и концентраций АХОВ, границ очагов и зон химического заражения; определение маршрутов вывода персонала из зон химического заражения в безопасные районы; уточнение характера разрушений и влияния пожаров на поведение АХОВ; наблюдение за изменением обстановки в районах аварии с АХОВ, в местах проведения аварийно-спасательных работ, на территории объекта и вблизи расположенных населенных пунктов.

Основным средством разведки объектовых формирований является наземная разведка.

По характеру решаемых задач при авариях с АХОВ разведка разделяется на общую и специальную.

Основной задачей общей разведки является получение данных, необходимых для оценки сложившейся и прогнозируемой обстановки на территории объекта и прилегающих к нему населенных пунктов, уточнения решения по защите персонала и действий сил объектовых формирований в очагах заражения. Такими первоочередными данными при авариях с АХОВ являются: определение вида, количества пролитого (выброшенного) вещества и направление распространения облака зараженного воздуха.

К силам и средствам общей разведки на химически опасном объекте относятся разведывательные звенья и группы.

Основными задачами специальной разведки являются: получение более полных данных о характере химического заражения территории объекта, окружающей местности и воздуха; уточнение пожарной обстановки и определение способов борьбы с огнем; выявление характера разрушений основных коммунально-энергетических сетей и определение объема неотложных работ; уточнение данных о медицинской обстановке.

При выявлении характера химического заражения уточняются: глубины распространения поражающих и смертельных концентраций АХОВ, районы глубокого проникновения АХОВ и районы застоя, влияние пожаров на поведение АХОВ, площади разлива АХОВ, метеорологические условия, наличие обеззараживающих веществ и другие. Эти данные используются руководителем работ по ликвидации аварии и ее последствий, органами управления ГОЧС для принятия наиболее эффективных решений по защите персонала, ликвидации аварии и ее последствий.

К специальной разведке объекта относятся группы (звенья) химической, инженерной, пожарной и медицинской разведки, посты радиационного и химического наблюдения, объектовые лаборатории.

Для ведения химической разведки и проведения химического контроля проливов (выбросов) АХОВ используются переносные и стационарные приборы различного типа. В табл. 5.23, для примера, приведены технические характеристики широко используемого газоанализатора УГ-2, а в табл. 5.24 — газоанализатора УГ-3.

Таблица 5.23

## Технические характеристики газоанализатора УГ-2

Определяемый газ (пар)	Просасываемый объем воздуха, см <sup>3</sup>	Пределы измерения, мг/м <sup>3</sup>	Продолжительность хода штока, с	Общее время прокачивания воздуха, с	Окраска индикаторного порошка после воздействия АХОВ
Аммиак	200	2,5—30	30—60	120	Синяя
Аммиак	100	20—100	4—10	40	Синяя
Ацетилен	300	50—1 400	260—300	420	Светло-коричневая
Ацетилен	100	1 000—3 000	20—60	180	Светло-коричневая
Ацетон	300	100—2 000	180—240	420	Желтая
Бензин	300	50—1 000	200—230	420	Светло-коричневая
Бензол	400 × 3	2—25	180—240	360 × 3	Серо-бежевая
Ксилол	300	25—100	100—132	240	
Окислы азота	300	2,5—5,0	220—300	42Р	Красная
Окись углерода	200		180—240	420	Коричн. (кольцо)
Сернистый ангидрид	300	5—30	110—160	300	Белая
Сернистый ангидрид	100	20—120	15—45	60	Белая
Сероводород	300	5—30	140—200	300	Коричневая
Толуол	300	25—500	200—230	420	Темно-коричневая
Углеводороды нефти	300	100—1 500	200—230	420	Светло-коричневая
Хлор	300	0,5—15	150—240	300	Красная
Этиловый эфир	400	100—3 000	405—435	600	Зеленая

Таблица 5.24

## Технические характеристики газоанализатора УГ-3

Анализируемое вещество	Объем анализируемого воздуха, см <sup>3</sup>	Диапазон измерений, мг/м <sup>3</sup>	Срок годности, месяцев	Основные реагенты индикаторного порошка
Бром	800	0,35—8,0	12	Иодид калия, крахмал
Диэтиламин	800	30—150	12	Хлорид кобальта
Метилакрилат	800	20—100	12	Перманганат калия
Озон	1200	0,1—0,5	12	Индигокармин
Озон	400	0,5—2,0	12	Индигокармин
Спирты: бутиловый, изобутиловый, изопропиловый	800	10—100	8	Триоксид хрома, серная кислота
Уксусная кислота	800	5—25	9	Бромтиоловый синий

В табл. 5.25 приведены технические характеристики используемых для решения задач химической разведки автоматических газосигнализаторов.

Таблица 5.25

## Технические характеристики автоматических газосигнализаторов

Наименование и тип прибора	Определяемое вещество	Газовая смесь или среда	Диапазон измерений, мг/м <sup>3</sup>
Сирена-2	Аммиак	Аммиак	0-30
Сирена-4	Фосген	Фосген	0-1
ЭХА-221	Синильная кислота	Воздух в помещении	0-1,5
УФА-1	Хлор	Газ	0-10
Миндаль	Синильная кислота	Смеси	0-1,5
Нитрон	Окислы азота	Газ, смеси	0-5
Сирена	Сероуглерод	Газ, смеси	0-3
ФЛ-5501М	Сернистый ангидрид Аммиак Хлор	Смеси Газ Газ	0-20
ГКП-1	Сернистый ангидрид	Смеси	

Важное значение имеет организация разведки. Она включает: определение целей, задач разведки и выделение необходимых сил и средств для их выполнения; планирование разведки и доведение задач до исполнителей; организацию взаимодействия сил и средств и их подготовку к выполнению задач; всестороннее обеспечение материально-техническими средствами; организацию управления; контроль за выполнением отданных распоряжений; оказание помощи в выполнении задач.

Задачи разведке ставит руководитель работ по ликвидации аварии и ее последствий. Непосредственным организатором разведки является руководитель органа управления ГОЧС объекта. Он осуществляет планирование разведки, доведение задач до исполнителей, организует управление разведывательными подразделениями, обобщает данные разведки и докладывает их руководителю работ по ликвидации аварии и ее последствий.

Для организованного выполнения разведывательных задач органом управления ГОЧС объекта разрабатывается план разведки, в котором отражаются: цели, задачи и объекты разведки; выделяемые силы и средства и их расположение; способы и сроки выполнения задач; средства связи и управления; порядок докладов о результатах разведки.

Количество сил и средств разведки, необходимых для выполнения задач в случае аварии с проливом (выбросом) АХОВ, определяются масштабом и ха-

рактором аварии, метеорологическими условиями, количеством маршрутов эвакуации и их протяженностью и рядом других факторов.

Разведывательные подразделения химически опасного объекта решают наиболее важные задачи в интересах персонала объекта. К таким задачам при авариях с АХОВ относятся разведка очага химического заражения и маршрутов вывода персонала из зон химического заражения в незараженные районы.

Необходимое количество разведывательных звеньев для решения этих задач может быть определено, исходя из возможностей разведки звеном в течение 1 часа одного очага пролива жидкого АХОВ или определения концентраций ядовитых веществ в 5—10 точках на маршруте протяженностью 2—2,5 км (пешим порядком).

Для управления звеньями (группами) разведки на объекте заблаговременно создается отдельная радиосеть, в которую входят радиостанции разведывательных звеньев, групп, постов химического наблюдения и командного пункта управления объекта.

Наиболее вероятно, что с возникновением аварии с проливом (выбросом) АХОВ первыми в очаг химического заражения войдут газоспасатели дежурной смены военизированной газоспасательной службы. Они визуальными и с помощью приборов определяют характер и масштабы аварии, вид заражения, направление распространения облака зараженной атмосферы и объекты, которые могут подвергнуться заражению АХОВ.

Вслед (а иногда одновременно) за газоспасателями в очаг аварии с проливом (выбросом) АХОВ выдвигается специальная разведка предприятия.

Формирования специальной разведки (химической, инженерной, медицинской) уточняют масштабы аварии с проливом АХОВ, влияние пожаров на поведение АХОВ, характер возможных поражений и потерь персонала объекта.

Группы (звенья) химической разведки определяют концентрации и границы распространения зараженного воздуха, места застоя жидких и газообразных АХОВ; ведут разведку маршрутов вывода персонала из зон химического заражения; определяют районы проведения работ по обеззараживанию техники, местности и объектов, подвергшихся заражению; осуществляют контроль за изменениями химической обстановки.

Звенья (группы) инженерной разведки ведут разведку маршрутов вывода производственного персонала из зон химического заражения и маршрутов ввода сил РСЧС в очаги поражения, непосредственно в очагах и объектах спасательных работ. Они определяют состояние дорог, мостов, переправ; выявляют наличие препятствий, отыскивают и обозначают пути их обхода (объезда); уточняют характер разрушений, завалов; определяют условия выполнения спасательных работ и работ по локализации очага разлива АХОВ.

Отделение разведки команды пожаротушения выявляет пожарную обстановку на маршрутах вывода производственного персонала из зон химического заражения; определяет места пожаров, препятствующих ведению спасательных работ, и пожаров, влияющих на поведение АХОВ; выявляет производст-

венную аппаратуру, установки и емкости с АХОВ, находящиеся под угрозой взрыва от воздействия высоких температур.

Группы медицинской разведки устанавливают места нахождения и количество пораженных, характер поражений, объем медицинской помощи, пути эвакуации пораженных и ведут постоянное наблюдение за изменением медицинской обстановки.

Посты химического наблюдения предприятий осуществляют непрерывное наблюдение за изменениями воздушной и наземной обстановки. Они наблюдают за направлением распространения облака воздуха, зараженного АХОВ, определяют концентрации вредных веществ в воздухе, осуществляют оповещение вблизи расположенного производственного персонала и населения, производят отбор проб с зараженной техники и промышленных объектов.

С прибытием в район аварии звеньев управления и разведки, групп (звеньев) радиационной и химической разведки территориальных формирований РСЧС они наращивают усилия разведывательных подразделений объекта.

Разведка средствами объекта ведется на глубину до 2,5 километра, территориальными — на всю глубину зоны химического заражения.

Одной из первоочередных задач при ликвидации аварии с проливом аварийно химически опасных веществ является **локализация (нейтрализация) разлившейся жидкой фазы АХОВ**.

Локализация пролива может достигаться путем ограничения площади разлива АХОВ или снижением скорости испарения паров с поверхности очага пролива.

С целью ограничения площади разлива жидких АХОВ вокруг хранилищ, как указывалось выше, до начала их эксплуатации возводятся земляные обваловки, железобетонные стенки (стаканы), емкости устанавливаются в поддоны.

В случае аварий для ограничения площади разлива АХОВ на направлении их растекания создаются дополнительные заградительные барьеры в виде земляных валов из перемещенного или насыпного грунта.

Для изменения направления потока используются также искусственные и естественные углубления.

При выполнении работ командиры команд (групп) по обеззараживанию в первую очередь выполняют работы по предотвращению затекания АХОВ в подвальные помещения, подземные коммуникации, смотровые и водосборные колодцы.

В дальнейшем АХОВ, собранные в ямы, углубления, перекачиваются в резервные емкости или нейтрализуются (дегазируются) командами обеззараживания специализированных сводных команд и отрядов.

Снижение скорости испарения достигается закрытием поверхности разлива АХОВ различными пенами, засыпкой адсорбционными материалами, перепаживанием местности, разбавлением водой.

Для закрытия поверхности разлива АХОВ в качестве пенообразователей используются пены типа «САМПО», пены на основе поливиниловых спиртов и другие. Покрытие пенами очагов пролива АХОВ осуществляется расчетами

пожарных машин, подвижными и стационарными пеногенераторными установками.

Применение пен для уменьшения поражающего действия жидких АХОВ позволяет на длительное время создать благоприятные условия для проведения мероприятий по ликвидации аварий и перекачке их в резервные емкости.

Засыпка участков местности, зараженных АХОВ, адсорбционными материалами наиболее применима при ликвидации небольших проливов ядовитых веществ. В качестве адсорбционного материала используется керамзит, песок, грунт и другие материалы. Работы выполняются командами (группами) обеззараживания с использованием самосвалов, бортовых машин, бульдозеров и другой инженерной техники. Толщина насыпаемого слоя должна быть не менее 10—15 см.

Перепахивание (срезание) слоя земли применяется при свободном разливе АХОВ по территории предприятия. При этом с помощью инженерных машин производится срезание и удаление верхнего слоя земли или перепахивание с перевертыванием слоя земли.

Способы засыпки, перепахивания, срезания грунта требуют больших затрат сил и средств и малоэффективны при ликвидации крупных проливов АХОВ.

Наиболее доступным способом снижения поражающего действия АХОВ является разбавление их водой. Применение воды не ведет к нейтрализации АХОВ, но позволяет снизить их концентрацию и тем самым уменьшить как скорость испарения, так и в целом поражающее действие жидкой и газообразной фазы.

При крупных проливах АХОВ в поддон, железобетонную ограждающую стенку, земляную обваловку и при свободном разливе по территории предприятия вода в очаг заражения подается компактными струями.

Вода применяется также для постановки водяных завес, которые позволяют снизить глубину распространения поражающих концентраций паров АХОВ. При создании завес вода разбрызгивается на направлении распространения паров АХОВ в мелкодисперсном состоянии.

Однако применение воды для обеззараживания крупных проливов АХОВ эффективно лишь для некоторых веществ. В ряде случаев применение воды может привести к увеличению поражающего действия АХОВ. Так, например, применение воды для обеззараживания крупных проливов аммиака, олеума, серной и азотной кислот ведет к бурному выделению паров, а следовательно, повышению концентраций и увеличению глубин распространения зараженного воздуха.

Наиболее эффективным способом **ликвидации химических заражений** является нейтрализация АХОВ с помощью нейтрализующих веществ и их растворов, в результате чего образуются вещества, не обладающие поражающими свойствами.

При заражении АХОВ техники и транспорта их обеззараживание производится с помощью различных нейтрализующих растворов и воды. Основными способами обеззараживания являются: обрызгивание из брандсбойтов, проти-



рание зараженных поверхностей с помощью специальных щеток, смывание струей.

Инструмент и приборы обеззараживаются путем протирания их ветошью, смоченной в нейтрализующем растворе.

Для обеззараживания крупных очагов разлива АХОВ, зараженной техники и транспорта используется различная коммунальная и сельскохозяйственная техника, специальные машины воинских частей и подразделений гражданской обороны.

Работы по обеззараживанию местности и нейтрализации очагов разлива АХОВ производятся одновременно или после проведения спасательных работ. Техника и транспорт проходят обработку по завершению неотложных работ по ликвидации аварии.

Наиболее сложной работой является нейтрализация очагов разлива жидких АХОВ.

Способ выполнения работ (по нейтрализации разлива АХОВ) определяется масштабом и местом пролива, видом АХОВ, наличием сил и средств, метеорологическими условиями и местностью.

Обеззараживание очагов разлива АХОВ выполняется командами (группами) обеззараживания специализированных сводных отрядов химически опасных объектов, командами обеззараживания территориальных формирований РСЧС, подразделениями воинских частей гражданской обороны.

При обеззараживании очага пролива АХОВ водой к работе дополнительно привлекаются расчеты пожарных машин и используются пожарные гидранты.

При локализации очагов пролива с помощью пенных установок, после покрытия пеной поверхности разлива, команды обеззараживания производят перекачку АХОВ в резервные емкости или проводят их нейтрализацию растворами с помощью шлангов, погруженных под пену.

При свободном разливе АХОВ по территории предприятия обеззараживание местности выполняется группами (звеньями) обеззараживания с применением жидких или твердых нейтрализующих веществ.

Для выполнения работ используются поливомоечные машины, автоцистерны, авторазливочные станции, жиже-разбрасыватели.

При заражении АХОВ техники и транспорта для их обеззараживания по указанию руководителя работ по ликвидации аварии и ее последствий разворачиваются станции обеззараживания техники. Развертывание станции осуществляется на базе моечных отделений гаражей (автопарков) объекта.

Для **сбора отработанных растворов нейтрализующих веществ** отрываются колодцы, которые после окончания работы засыпаются ДТС-ГК и закапываются.

Личный состав, участвующий в ликвидации последствий химической аварии, после завершения работ проходит **санитарную обработку**.



## Глава 6

# Обеспечение радиационной и химической безопасности населения

### 6.1. Обеспечение радиационной безопасности населения

Обеспечение радиационной безопасности населения при эксплуатации радиационно опасных объектов (использовании источников ионизирующих излучений) и радиационных авариях на них, так же как и персонала, осуществляется в основном проведением медико-санитарных, организационных и организационно-технических мероприятий.

#### *Медико-санитарные мероприятия*

Одним из главных медико-санитарных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности населения является регламентация радиационных воздействий от различных источников ионизирующих излучений.

Как указывалось выше, НРБ-99 для всех категорий облучаемых лиц, в том числе населения, определены следующие классы нормативов:

- основные пределы доз, приведенные выше в табл. 2.1;
- допустимые уровни монофакторного воздействия, являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления, допустимые среднегодовые объемные активности, среднегодовые удельные активности и другие (приложение П-2 к НРБ-99);
- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.), устанавливаемые на каждом конкретном радиационно опасном объекте. Их значения учитывают достигнутый на объекте уровень радиационной безопасности и обеспечивают условия, при которых радиационное воздействие должно быть ниже допустимого.

Кроме того, с целью недопущения превышения предела дозы техногенного облучения населения (1мЗв/год) и снижения облучения от техногенных источников в соответствии с принципом оптимизации устанавливаются, как отмечалось выше, квоты облучения.

Квоты устанавливаются для величин средней индивидуальной эффективной дозы облучения критических групп<sup>1</sup> населения, проживающих в зоне наблюдения радиационно опасного объекта, для всех радиационных факторов

<sup>1</sup> **Критическая группа** — это группа жителей населенного пункта, которая по условиям жизни, половозрастным характеристикам или профессиональной деятельности подвергается наибольшему облучению вследствие радиационной аварии.

(воздушных выбросов, водных сбросов и др.). При этом сумма квот от различных источников излучения не должна превышать предела дозы облучения населения. Разность между пределом дозы для населения и суммой квот рассматривается как резерв, величина которого характеризует степень радиационной безопасности населения.

Числовые значения квот для радиационно опасных объектов I категории согласуются с федеральным органом санитарно-эпидемиологического надзора и используются для расчета допустимых уровней отдельных радиационных факторов (мощности дозы излучения на границе санитарно-защитной зоны, мощности выбросов и сбросов и др.).

Так, например, для действующих атомных электростанций установлена квота на облучение населения равная 250 мкЗв в год, а для проектируемых и строящихся — 100 мкЗв в год [135].

Данные квоты установлены на суммарное облучение населения от радиоактивных газоаэрозольных выбросов в атмосферу и жидких сбросов в поверхностные воды в целом для атомной электростанции независимо от количества энергоблоков на промышленной площадке.

Значения квот на облучение населения от радиационных факторов (выбросов и сбросов) при нормальной эксплуатации АЭС приведены в табл. 6.1 [135].

Таблица 6.1

Квоты на облучение населения от выбросов и сбросов при нормальной эксплуатации атомных электростанций, мкЗв в год

Радиационный фактор	Атомная электростанция	
	действующая	строящаяся или проектируемая
Газоаэрозольные выбросы	200	50
Жидкие сбросы	50	50
Сумма	250	100

Выполнение перечисленных нормативов позволяет обеспечить радиационную безопасность населения от техногенных источников ионизирующих излучений при их нормальной эксплуатации.

Следует подчеркнуть, что, как отмечалось выше, основные пределы доз облучения населения, также как и для персонала, не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения и вследствие радиационных аварий.

Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не установлено. Вместе с тем в целях снижения облучения населения НРБ-99 предусмотрена система ограничений на облучение от отдельных природных источников излучения.

Так, например, при проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения предусматривается, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) дочерних изотопов радона и торона в воздухе помещений  $ЭРОА_{Rn} + 4,6 \cdot ЭРОА_{Tn}$  не превышала 100 Бк/м<sup>3</sup>,

а мощность эффективной дозы гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на 0,3 мкЗв/ч.

В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних изотопов радона и торона в воздухе жилых помещений не должны превышать 200 Бк/м<sup>3</sup>. При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений. Защитные мероприятия должны проводиться также, если мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности более чем на 0,3 мкЗв/ч.

Эффективная удельная активность ( $A_{эфф}$ ) природных радионуклидов в строительных материалах (щебень, гравий, бутовый и пилонный камень, цементное и кирпичное сырье и др.), добываемых на их месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, а также отходы промышленного производства, используемые для изготовления строительных материалов (золы, шлаки и пр.), не должна превышать:

— для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях (I класс):

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_k \leq 370 \text{ Бк/кг}, \quad (6.1)$$

где:  $A_{Ra}$  и  $A_{Th}$  — удельные активности радия-226 и тория-232, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов;

$A_k$  — удельная активность калия-40 (Бк/кг);

— для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (II класс):

$$A_{эфф} \leq 740 \text{ Бк/кг}; \quad (6.2)$$

— для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (III класс):

$$A_{эфф} \leq 1,5 \text{ кБк/кг}. \quad (6.3)$$

При  $1,5 \text{ кБк/кг} < A_{эфф} < 4,0 \text{ кБк/кг}$  (IV класс) вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с федеральным органом санэпиднадзора. При  $A_{эфф} > 4,0 \text{ кБк/кг}$  материалы не должны использоваться в строительстве.

При содержании природных и искусственных радионуклидов в питьевой воде, создающих эффективную дозу меньше 0,1 мЗв за год, не требуется проведения мероприятий по снижению ее радиоактивности. Этому значению дозы при потреблении воды 2 кг в сутки соответствуют средние значения удельной активности за год (уровни вмешательства —  $УВ$ ), приведенные в приложении П-2 НРБ-99. При совместном присутствии в воде нескольких радионуклидов должно выполняться условие:

$$\sum (A_i / UB_i) \leq 1, \quad (6.4)$$

где:  $A_i$  — удельная активность  $i$ -го радионуклида в воде;  
 $UB_i$  — соответствующий уровень вмешательства.

При невыполнении указанного условия защитные действия осуществляются с учетом принципа оптимизации.

Предварительная оценка допустимости использования воды для питьевых целей дается по удельной суммарной альфа — ( $A_\alpha$ ) — и бета — ( $A_\beta$ ) — активности, которая не должна превышать 0,1 и 1,0 Бк/кг соответственно.

При возможном присутствии в воде трития, углерода-14, йода-131, свинца-210, радия-228, тория-232 определение удельной активности этих радионуклидов в воде является обязательным.

Уровень вмешательства для радона-222 в питьевой воде составляет 60 Бк/кг<sup>1</sup>.

Для минеральных и лечебных вод устанавливаются специальные нормативы.

А вот удельная активность природных радионуклидов в фосфорных удобрениях и мелиорантах не должна превышать:

$$A_u + 1,5A_{Th} \leq 4,0 \text{ кБк/кг}, \quad (6.5)$$

где:  $A_u$  и  $A_{Th}$  — удельные активности урана-238 (радия-226) и тория-232 (тория-228), находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов соответственно.

Говоря об ограничении медицинского облучения населения, следует отметить, что при проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц годовая эффективная доза облучения этих лиц не должна превышать 1 мЗв.

Установленный норматив годового профилактического облучения может быть превышен лишь в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки, требующей проведения дополнительных исследований или вынужденного использования методов с большим дозообразованием. Такое решение о временном вынужденном превышении этого норматива профилактического облучения принимается областным, краевым (республиканским) управлением здравоохранения.

При радиационной аварии или обнаружении радиоактивного загрязнения ограничение облучения осуществляется защитными мероприятиями, применимыми, как правило, к окружающей среде и (или) к человеку. Эти мероприятия могут приводить к нарушению нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории, т.е. являются вмешательством, влекущим за собой не только экономический ущерб, но и неблагоприятное воздействие на здоровье населения, психологическое воздействие на население и неблагоприятное изменение состояния экосистем.

<sup>1</sup> Критическим путем облучения людей за счет радона, содержащегося в питьевой воде, является переход радона в воздух помещения и последующее ингаляционное поступление дочерних продуктов радона.

Поэтому при принятии решений о характере вмешательства (защитных мероприятий) следует руководствоваться следующими принципами:

— предлагаемое вмешательство должно принести обществу и прежде всего облучаемым лицам больше пользы, чем вреда, т.е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость вмешательства, включая его социальную стоимость (принцип обоснования вмешательства);

— форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы, т.е. польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной (принцип оптимизации вмешательства).

Если предполагаемая доза излучения за короткий срок (2 суток) достигает уровней, при превышении которых возможны клинически определяемые детерминированные эффекты (табл. 6.2), необходимо срочное вмешательство (меры защиты). При этом вред здоровью от мер защиты не должен превышать пользы здоровью пострадавших от облучения.

Таблица 6.2

Прогнозируемые уровни облучения,  
при которых необходимо срочное вмешательство

Орган или ткань	Поглощенная доза в органе или ткани за 2 суток, Гр
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3
Плод	0,1

При хроническом облучении в течение жизни защитные мероприятия становятся обязательными, если годовые поглощенные дозы превышают значения, приведенные в табл. 6.3. Превышение этих доз приводит к серьезным детерминированным эффектам.

Таблица 6.3

Уровни вмешательства при хроническом облучении

Орган или ткань	Годовая поглощенная доза, Гр
Гонады	0,2
Хрусталик глаза	0,1
Красный костный мозг	0,4

Общие оптимизированные уровни вмешательства для начала и прекращения временного отселения составляют, соответственно, 30 мЗв в месяц

и 10 мЗв в месяц. Если прогнозируется, что накапливаемая за месяц доза будет находиться выше этих пределов в течение года или двух лет, рассматривается вопрос об отселении людей на постоянное жительство.

При проведении противорадиационных вмешательств пределы доз (табл. 2.1) не применяются. Исходя из указанных выше принципов, при планировании защитных мероприятий на случай радиационной аварии органами санэпиднадзора устанавливаются уровни вмешательства (дозы и мощности доз облучения, уровни радиоактивного загрязнения) применительно к конкретному радиационному объекту и условиям его размещения с учетом вероятных типов аварии, сценариев развития аварийной ситуации и складывающейся радиационной обстановки.

Принятие решений о мерах защиты населения в случае крупной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, и уровней загрязнения с уровнями А и Б, приведенными в табл. 6.4—6.6.

Таблица 6.4

Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде аварийной ситуации

Меры защиты	Предотвращаемая доза за первые 10 суток, мГр				
	На все тело		Щитовидная железа, легкие, кожа		
	уровень А	Уровень Б	Уровень А	уровень Б	
Укрытие	5	50	50	500	
Йодная профилактика:					
	взрослые	—	—	250*	2 500*
	дети	—	—	100*	1 000*
Эвакуация	50	500	500	5 000	

\* Только для щитовидной железы

Таблица 6.5

Критерии для принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов

Меры защиты	Предотвращаемая эффективная доза, мЗв	
	уровень А	уровень Б
Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды	5 за первый год 1/год в последующие годы	50 за первый год 10/год в последующие годы
Отселение	50 за первый год	500 за первый год
	1000 за все время отселения	



Таблица 6.6

Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов питания в первый год после возникновения аварии\*

Радионуклиды	Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах, кБк/кг	
	уровень А	уровень Б
Йод-131, цезий-134, цезий-137	1	10
Стронций-90	0,1	1,0
Плутоний-238, плутоний-239, америций-241	0,01	0,1

\* **Критерии** принятия решений и производные уровни для ограничительных мер при авариях с диспергированием преимущественно урана, плутония, других трансурановых элементов устанавливаются специальным нормативным документом.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, не превосходит уровень А, нет необходимости в выполнении мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территории.

Если предотвращаемое защитным мероприятием облучение превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, решение о выполнении мер защиты принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, достигает и превосходит уровень Б, необходимо выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории.

На поздних стадиях радиационной аварии, повлекшей за собой загрязнение обширных территорий долгоживущими радионуклидами, решения о защитных мероприятиях принимаются с учетом сложившейся радиационной обстановки и конкретных социально-экономических условий.

Как при нормальной эксплуатации (использовании) радиационно опасных объектов (источников ионизирующих излучений), так и при радиационных авариях государственный надзор за выполнением норм радиационной безопасности населения осуществляют органы санитарно-эпидемиологического контроля, а контроль за облучением населения — администрация территорий.

Другим основным медико-санитарным мероприятием является медицинское обеспечение радиационной безопасности населения, подвергающегося облучению, включающего медицинские обследования, профилактику заболеваний, а в случае необходимости лечение и реабилитацию лиц, у которых выявлены отклонения в состоянии здоровья.

При нормальной эксплуатации (использовании) различных источников ионизирующих излучений среди медицинских мероприятий по защите населения следует отметить контроль за выполнением гигиенических норм, определенных НРБ-99, в зоне наблюдения радиационно опасных объектов и периодическое обследование населения, проживающего в этой зоне.

Кроме того, в этот период на случай возможной радиационной аварии заблаговременно: создаются (совершенствуются) специальные медицинские формирования и учреждения и обеспечивается их постоянная готовность к работе при радиационной аварии; предусматривается возможность, при необходимости, развертывания дополнительных больничных коек, прежде всего в специализированных отделениях больниц и клиник; создаются и накапливаются медицинские средства защиты, резервы медицинского имущества и техники для оснащения медицинских формирований и учреждений; осуществляется подготовка населения к защите в условиях радиоактивного загрязнения; разрабатываются режимы поведения населения при радиационных авариях.

При планировании и организации медицинской помощи населению все население зоны радиационной аварии подразделяется на три категории:

- лица, которые согласно предварительным данным не имеют повреждений и не подвергались облучению;
- лица с любыми признаками лучевой болезни, которых необходимо направить на соответствующее лечение;
- лица с любыми видами лучевой болезни и повреждениями, связанными с радиоактивным загрязнением, которых необходимо направить в специальные клиники.

Объем и характер необходимой медицинской помощи зависит от тяжести аварии, уровня полученных доз, количества облученных людей. Последний фактор имеет особое значение, так как при большом количестве облученных оказание эффективной медицинской помощи требует принятия дополнительных мер.

При планировании медицинской помощи учитываются:

- возможности медицинской службы, наличие медицинских учреждений в городе, районе, соседних районах, области и соседних областях;
- размещение радиологических центров и клиник;
- возможности транспортных средств и способы направления пораженной части населения в специальные медицинские центры;
- запасы медикаментов, радиозащитных и специфических противолучевых средств;
- наличие методов диагностики ранних лучевых проявлений.

В каждом конкретном случае объем и характер проводимых мероприятий зависит от прогнозируемых последствий возможной радиационной аварии, особенностей поражающих факторов источника. Они включают в себя применение радиозащитных препаратов, дезактивирующих и дезинфицирующих растворов, перевязочных и обезболивающих средств и т.п.

На этапе возникновения радиационных аварий к основным медицинским мероприятиям обеспечения радиационной безопасности населения следует отнести: обеспечение населения при необходимости радиозащитными средствами (йодистым калием, радиопротекторами); выявление пострадавших, оказание им первой медицинской помощи; санитарную обработку населения и эвакуацию в лечебные учреждения.

Применение радиозащитных профилактических препаратов предназначено для:

- снижения или блокировки поступления или последующего отложения в организме радиоактивных веществ;
- ускорения выведения из организма поступивших в него радионуклидов;
- ослабления физиологических и биохимических последствий радиационных эффектов в организме.

Наиболее приемлемым с практической точки зрения и подлежащим планированию в качестве превентивной и экстренной меры радиационной защиты населения является применение препаратов стабильного йода при потенциальном или реальном выбросе в атмосферу радиойода из реакторных производств.

Эффективность препаратов стабильного йода и рекомендуемые дозы приема приведены в табл. 6.7 и 6.8.

Таблица 6.7

Эффективность препаратов стабильного йода  
в снижении поступления йода-131 в щитовидную железу взрослых

Условия и дозы применения	Снижение поступления йода-131, %
Разовое поступление йода-131 в организм при вдыхании	
Доза 130 мкКл или 170 мкКл O <sub>3</sub> (эквивалентно 100 мкг йода) при однократном приеме:	
1) заблаговременно до поступления йода-131 в организм:	
за 48 часов	46
за 36 часов	45
за 24 часа	89
за 8 часов	94
за 6 часов	99
2) одновременно с поступлением йода-131 в организм	89—97
3) после поступления йода-131 в организм через:	
2 часа	68—90
6 часов	50
8 часов	0
Хроническое поступление йода-131 в организм при вдыхании (на протяжении 14 суток)	
Ежедневная доза КJ на протяжении 7 суток:	
10 мкг	87
100 мкг	96
200 мкг	97
200 мкг (через сутки)	95

Таблица 6.8

Рекомендуемые дозы приема препаратов стабильного йода при выбросе радиойода в атмосферу

Время поступления	Взрослые и дети старше 1 года	Дети младше 1 года
В течение первых суток до аварии и первых суток после начала аварии	130 мг KI или 170 мг KIО <sub>3</sub> (эквивалентно 100 мг J)	—
В течение последующих суток	65 мг KI или 85 мг KIО <sub>3</sub> (эквивалентно 50 мг J)	—
Ежесуточно	—	65 мг KI (эквивалентно 50 мг J)

Основными трудностями в обеспечении йодной профилактики, которые следует предвидеть в ходе аварийного планирования, являются:

- создание и соответствующее размещение и хранение запасов препаратов стабильного йода;
- обеспечение быстрой доставки персонала, ответственного за раздачу препаратов населению, к местам сосредоточения населения;
- необходимость своевременной и быстрой раздачи препаратов населению.

Первая помощь населению оказывается персоналом территориальных медицинских служб в районе размещения аварийного радиационно опасного объекта. Специальная подготовка персонала медицинских учреждений, которые могут быть привлечены к аварийным действиям, планируется и осуществляется заблаговременно.

В качестве защитных противорадиационных мер уже на ранней и промежуточной фазах аварии осуществляется санитарная обработка населения. При планировании этих мероприятий учитывается: численность населения, технические возможности, ресурсы чистой, в т.ч. горячей воды, моющих средств, чистой одежды и обуви; необходимость обязательной дезактивации людей до направления их в укрытия, перед отправкой в эвакуацию, после участия в осуществлении работ по ликвидации последствий аварии. Критерием эффективности санитарной обработки населения является отсутствие радиоактивного загрязнения на поверхности тела и на одежде.

Санитарная обработка населения включает:

- радиационный контроль поверхности тела и одежды;
- помывку под горячим душем с применением бытовых моющих и стандартных дезактивирующих средств;
- замену загрязненной одежды и обуви на чистые.

Технические средства и имущество для санитарной обработки:

- приборы дозиметрического контроля;
- источник или запасы чистой воды;
- источники нагрева воды;

- душевые устройства;
- запасы моющих и дезактивирующих средств;
- запасы чистой одежды и обуви;
- дополнительные моющие установки для дезактивации личных вещей.

В случае проживания населения на местности, загрязненной радиоактивными веществами, основными медицинскими мероприятиями обеспечения радиационной безопасности являются: установление временных гигиенических нормативов проживания на загрязненной местности и контроля за их выполнением, ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов, диспансеризация облучаемого населения, лечение лиц, имеющих медицинские отклонения, их реабилитация.

Одним из важнейших из перечисленных мероприятий, осуществляемых в целях снижения доз внутреннего облучения, является комплекс мер по ограничению потребления населением, проживающим на загрязненных территориях, загрязненных пищевых продуктов.

По своему содержанию эти меры разделяются на три категории:

- организация контроля за содержанием радиоактивных веществ в потребляемом населением продовольствии и питьевой воде и выбраковка продовольствия и воды с уровнями загрязнения, превышающими установленные аварийные уровни, эквивалентные аварийным дозовым пределам;
- введение ограничений на потребление отдельных видов продовольствия или воды в определенных районах;
- изменение системы обеспечения населения продовольствием и питьевой водой.

Эти меры могут применяться каждая отдельно или в сочетаниях в зависимости от конкретных условий обеспечения населения продовольствием и водой в рассматриваемом районе.

Планирование мер по ограничению поступления радиоактивных веществ через органы пищеварения на протяжении ранней и промежуточной фаз проводится при наличии достоверных прогнозных данных об аварийных и допустимых уровнях радиоактивного загрязнения каждого из основных видов продуктов и питьевой воды, особенно по суммарной бета-активности. При этом учитываются местные практические возможности организовать новую систему продовольственного обеспечения и водоснабжения населения из различных источников.

Ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов вводится прежде всего по отношению к тем продуктам, которые потенциально или реально обеспечивают основной вклад в загрязнение пищевого рациона населения в рассматриваемый период времени. Наиболее вероятно введение этой меры при радиоактивном выбросе в атмосферу в летне-осенний период в районах, производящих молоко, мясо и свежие овощи для населения. Одновременно прекращается производство исходной сельскохозяйственной продукции, в частности, выпас скота, который переводится на стойловое содержание даже при дефиците кормов.

Ограничение на потребление питьевой воды вводится при сверхнормативных жидких сбросах радионуклидов в водоемы — источники водоснабжения и выбросах в атмосферу, приводящих к осаждению радиоактивных веществ на поверхность водоемов, являющихся источниками водоснабжения.

Решение о введении этой меры принимается на основе измерений концентрации радионуклидов в воде.

При практической реализации ограничения потребления загрязненных пищевых продуктов и питьевой воды осуществляются:

- определение видов продовольствия, источников водоснабжения, границ районов с ограничениями;
- принятие временных допустимых уровней (ВДУ) радиоактивного загрязнения пищевых продуктов и питьевой воды;
- экспресс-оценка наблюдаемых уровней радиоактивного загрязнения пищевых продуктов и питьевой воды и сопоставление их с установленными ВДУ;
- оповещение организаций, ответственных за продовольственное и водное обеспечение, и населения о вводимых мерах;
- введение запрета на снабжение установленными пищевыми продуктами и использование источников водоснабжения;
- введение местного резервного снабжения для населения, которое не подлежит эвакуации;
- введение обязательного обеспечения критических групп населения (дети, больные и др.);
- уничтожение или направление на хранение продовольствия, не подлежащего употреблению;
- обеспечение населения необходимыми продуктами питания и водой из незагрязненных источников;
- разъяснение населению необходимости принятых мер.

Для обеспечения эффективности мер по ограничению потребления загрязненного продовольствия и питьевой воды предусматривается создание групп, ответственных за оценку радиационной обстановки и радиационный контроль в окружающей среде. Группы обеспечиваются:

- оборудованными транспортными средствами для отбора проб (мобильные группы радиационного контроля);
- услугами лабораторий, способных дать экстренную оценку уровней загрязнения продукции и воды;
- картами и схемами землепользования, сельскохозяйственного производства, пунктов сбора и распределения продукции, в частности молока.

Решение об обращении с продовольствием, изъятым из употребления, сроках его хранения, возможности переработки, возвращения в потребление или уничтожении принимается органами местного самоуправления по согласованию с органами управления РСЧС.

Население, проживающее на загрязненных территориях, подвергается периодическому обследованию. Следует подчеркнуть, ОСПОРБ-99 [86] установлено, что медицинское обследование лиц из населения, подвергшихся за год

облучению в эффективной дозе более 200 мЗв или с накопленной дозой более 500 мЗв от одного из основных источников облучения, или 1000 мЗв от всех источников облучения, организуется территориальным управлением здравоохранения.

Наглядным примером медицинского обеспечения населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, является ликвидация последствий аварии на Чернобыльской АЭС. На этих территориях создана система медицинского обеспечения населения, предусматривающая оптимизированную схему: «первичная диспансеризация — углубленная диспансеризация — лечение — реабилитация». Реализация этой схемы предусматривает, что медицинская помощь осуществляется лечебно-профилактическими учреждениями районов (первый уровень), областей (второй уровень) и специализированными медицинскими учреждениями федерального значения (третий уровень).

В целях обеспечения медицинской помощи по этой схеме, повышения уровня медицинского обслуживания населения, получившего повышенную дозу облучения: был построен ряд новых поликлиник и больниц в районах, лечебно-диагностические и реабилитационные центры в областных городах; действующие и новые медицинские учреждения были обеспечены современным оборудованием; был создан и функционирует Российский государственный медико-дозиметрический регистр, осуществляющий долговременный автоматизированный персональный учет лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Медицинская помощь пострадавшему населению осуществляется по двум направлениям: общая диспансеризация населения и оказание специализированной медицинской помощи жителям загрязненных территорий.

Диспансерный осмотр населения, проживающего на загрязненных территориях, обеспечивается территориальными медицинскими учреждениями с привлечением врачебных бригад из областных центров. Специализированная медицинская помощь — в 16 ведущих клиниках Минздравсоцразвития России и Российской академии медицинских наук.

### ***Организационные и организационно-технические мероприятия***

К основным организационно-техническим мероприятиям обеспечения радиационной безопасности населения относится примерно тот же обобщенный перечень мероприятий, который рассмотрен выше для персонала радиационно опасных объектов:

- определение задач и планирование мероприятий по обеспечению радиационной безопасности населения;
- формирование организационных основ обеспечения радиационной безопасности населения и ликвидации последствий радиационных аварий;
- оповещение населения;
- зонирование территорий;
- радиационный контроль;
- использование средств коллективной и индивидуальной защиты;

- эвакуация населения;
- нормализация радиационной обстановки при ее ухудшении.

*Определение задач и планирование мероприятий по обеспечению радиационной безопасности населения*

Кроме объектовых планов обеспечения радиационной безопасности, рассмотренных в предыдущей главе, в которых отражается ряд вопросов обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего вблизи радиационно опасных объектов (оповещение о радиационной аварии, взаимодействие с территориальными органами управления и др.), в субъектах Российской Федерации, муниципальных образованиях разрабатываются планы защиты населения при радиационных авариях, которые являются приложением к соответствующим планам действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Эти планы являются основой для организации работ по защите населения при радиационных авариях, ликвидации последствий этих аварий. Они разрабатываются на основе оценки риска радиационных аварий для соответствующей территории и предусматривают возможные решения и действия по обеспечению радиационной безопасности населения при радиационных авариях.

Проекты этих планов рассматриваются и согласовываются заинтересованными организациями и утверждаются председателями соответствующих вышестоящих КЧС.

Планы защиты населения при радиационных авариях могут уточняться при возникновении угрозы и непосредственно в процессе работ по ликвидации последствий аварий.

В соответствии с рекомендациями МЧС России планы защиты населения при радиационных авариях имеют следующее содержание.

План включает текстовую и схемно-расчетную части.

Текстовая часть:

1. Сведения о наличии радиационно опасных объектов на территории, относящейся к данному субъекту Российской Федерации (муниципальному образованию), в том числе:

- наименование и ведомственная принадлежность объектов;
- местонахождение объектов (адреса, координаты и другие географические признаки, телефоны, телефаксы);
- краткая характеристика территорий, на которых расположены объекты (численность населения, площадь, средства транспортного сообщения и др.);
- характеристика радиационно опасных объектов (назначение, состояние, основные дозообразующие радионуклиды, их суммарная активность, возможные аварийные ситуации).

2. Оценка и степень вероятного загрязнения территорий при случайном или преднамеренном разрушении радиационно опасных объектов (пессимистический прогноз и оценка наиболее вероятной аварийной ситуации):

- степень загрязнения и возможные дозы облучения населения в случае аварий на объектах;



— организация радиационной разведки и наблюдения за радиационной обстановкой;

— прогнозирование радиационной обстановки в районе аварии.

3. Мероприятия по приведению в готовность и развертыванию сил и средств подсистемы (звена) РСЧС, организация аварийно-спасательных и других неотложных работ:

— состав сил и средств аварийно-спасательных формирований федеральных органов исполнительной власти, привлекаемых к ликвидации последствий радиационных аварий в регионе;

— наличие планов и порядка осуществления мероприятий при радиационных авариях.

4. Мероприятия по защите населения при возникновении радиационных аварий:

— порядок оповещения населения об опасности радиационного облучения и загрязнения населенных пунктов и территорий;

— обеспечение средствами защиты, организация дозиметрического контроля и эвакуации из загрязненных районов;

— проведение работ по жизнеобеспечению населения в районе аварии (аварийно-восстановительные и аварийно-спасательные работы, материальная и продовольственная помощь, убежища, укрытия, эвакуация, отселение и другие мероприятия).

5. Мероприятия по взаимодействию с органами военного командования, КЧС соседних субъектов Российской Федерации (муниципальных образований), общественными организациями по вопросам сбора и обмена информацией о радиационной обстановке, направлении сил и средств для ликвидации последствий радиационной аварии.

6. Мероприятия по организации управления, оповещения и связи при угрозе и возникновении радиационной аварии (организация связи с вышестоящими, подчиненными и взаимодействующими органами управления, оповещение органов управления РСЧС, текущая информация населения, оставшегося в зоне радиоактивного загрязнения, об обстановке и правилах поведения в зоне загрязнения, действиях сил и средств РСЧС).

Схемно-расчетная часть плана включает (в качестве приложений к основному тексту Плана):

— карты возможной обстановки при возникновении радиационной аварии с нанесением зон радиоактивного загрязнения, указанием пунктов и маршрутов эвакуации населения, транспортных средств, объектов для расселения и медицинской помощи, пунктов санитарной обработки и дезактивации, рубежей ввода сил и средств и т.д.;

— расчет сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий радиационной аварии;

— расчет медицинского обеспечения мероприятий по защите населения в случае радиационной аварии;

— расчет транспортного обеспечения эвакуационных мероприятий населения в случае радиоактивного загрязнения;

— расчет сил и средств для проведения мероприятий по материально-техническому, продовольственному, вещевому, топливному и другим видам обеспечения населения на маршрутах эвакуации, в местах расселения и медицинских учреждениях (пораженного населения).

*Формирование организационных основ обеспечения радиационной безопасности населения и ликвидации последствий радиационных аварий*

В соответствии со ст. 72 Конституции Российской Федерации вопросы защиты населения при радиационных авариях, как одном из видов чрезвычайных ситуаций находятся в совместном ведении Российской Федерации и субъектов Российской Федерации.

При этом в соответствии с Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» к полномочиям Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности относятся:

- определение государственной политики в области обеспечения радиационной безопасности и ее реализация;
- разработка и принятие федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности, контроль за их соблюдением;
- разработка, утверждение и реализация федеральных программ в области обеспечения радиационной безопасности;
- определение видов деятельности в области обращения с источниками ионизирующего излучения, подлежащих лицензированию;
- установление порядка определения видов и размеров компенсаций за повышенный риск причинения вреда здоровью граждан и нанесения убытков их имуществу, обусловленных радиационным воздействием;
- установление порядка возмещения причиненного вреда здоровью граждан и убытков их имуществу в результате радиационной аварии;
- создание и обеспечение функционирования единой системы государственного управления в области обеспечения радиационной безопасности, в том числе контроля и учета доз облучения населения;
- регламентация условий жизнедеятельности и особых режимов проживания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате радиационных аварий;
- контроль за оказанием помощи населению, подвергнутому облучению в результате радиационных аварий;
- регулирование экспорта и импорта ядерных материалов, радиоактивных веществ и иных источников ионизирующего излучения, а также контроль за осуществлением их экспорта и импорта;
- осуществление международного сотрудничества Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности и выполнение обязательств Российской Федерации по международным договорам Российской Федерации;

— другие полномочия в области обеспечения радиационной безопасности, отнесенные к полномочиям Российской Федерации Конституцией Российской Федерации и федеральными законами.

На субъекты же Российской Федерации в данной области возлагается:

— участие в реализации государственной политики Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности;

— разработка в соответствии с настоящим Федеральным законом законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации;

— участие в разработке и реализации федеральных программ в области обеспечения радиационной безопасности;

— разработка, принятие и реализация региональных (территориальных) программ в области обеспечения радиационной безопасности;

— контроль за радиационной обстановкой на соответствующей территории и учет доз облучения населения;

— введение особых режимов проживания населения в зонах радиоактивного загрязнения;

— реализация мероприятий по ликвидации последствий радиационных аварий на соответствующей территории;

— организация и проведение оперативных мероприятий в случае угрозы возникновения радиационной аварии;

— обеспечение условий для реализации и защиты прав граждан и соблюдения интересов государства в области обеспечения радиационной безопасности;

— проведение государственной политики в области экономического стимулирования деятельности физических и юридических лиц по обеспечению радиационной безопасности;

— участие в принятии решений о размещении на соответствующей территории организаций, в том числе оборонного назначения, производящих, использующих, перерабатывающих или утилизирующих источники ионизирующего излучения;

— контроль за ввозом источников ионизирующего излучения на соответствующую территорию, их вывозом за пределы соответствующей территории и их транзитом;

— информирование населения о радиационной обстановке на соответствующей территории;

— другие полномочия в области обеспечения радиационной безопасности, не отнесенные к полномочиям Российской Федерации.

Непосредственную работу по организации защиты населения при радиационных авариях на федеральном уровне ведет МЧС России совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти (Минздравсоцразвития России, Минобороны России, Росатом, Ростехнадзор, Росгидромет и др.), на территориальных уровнях (субъекты Российской Федерации, муниципальные образования) — органы управления РСЧС совместно с местными заинтересованными органами.

Комплекс мероприятий, осуществляемых этими органами в интересах защиты населения при радиационных авариях и ликвидации их последствий при нормальной радиационной обстановке, включает:

- сбор информации и постоянное пополнение банка данных о радиационно опасных объектах (их назначении, основных радиационных характеристиках, создающих потенциальную опасность для населения и окружающей среды, местах размещения и ведомственной подчиненности);
- осуществление наблюдения и контроля за обстановкой на радиационно опасных объектах и на прилегающих к ним территориях;
- прогнозирование и оценку риска радиационных аварий;
- совершенствование подготовки органов управления, сил и средств к действиям при радиационных авариях;
- создание и восполнение резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации последствий радиационных аварий;
- организацию обучения населения способам защиты и действиям при радиационных авариях;
- планирование действий (взаимодействия) по предупреждению радиационных аварий и ликвидации их последствий.

При возникновении угрозы радиационной аварии, ухудшении радиационной обстановки основными мероприятиями, осуществляемыми в целях уменьшения масштабов радиационной аварии и обеспечения радиационной безопасности населения, являются:

- развертывание соответствующих КЧС для координации функционированием подсистем и звеньев РСЧС;
- назначение руководителя работ по ликвидации возможной радиационной аварии и ее последствий;
- формирование при необходимости оперативных групп для выявления причин ухудшения радиационной обстановки, выработки предложений по ее нормализации;
- усиление дежурно-диспетчерской службы;
- усиление наблюдения и контроля за обстановкой на радиационно опасных объектах (объекте, где прогнозируется радиационная авария) и прилегающих к ним (нему) территориях;
- прогнозирование возможности возникновения радиационных аварий и их масштабов;
- принятие мер по защите населения (оповещению; инженерной, радиационной и медицинской защите; эвакуации) и окружающей среды, обеспечению устойчивого функционирования объектов в условиях чрезвычайной ситуации радиационного характера;
- приведение в состояние готовности сил и средств, уточнение планов их действий и выдвижение при необходимости в предполагаемый район чрезвычайной ситуации радиационного характера.

При возникновении радиационной аварии и ликвидации ее последствий основными мероприятиями по обеспечению радиационной безопасности населения являются:

- обнаружение факта радиационной аварии и оповещение о ней населения;
- выдвижение оперативных групп в район аварии;
- выявление радиационной обстановки в районе аварии;
- организация радиационного контроля;
- установление и поддержание режима радиационной безопасности;
- проведение при необходимости на ранней стадии аварии йодной профилактики населения, участников ликвидации последствий аварии;
- обеспечение населения, участников ликвидации последствий радиационной аварии средствами индивидуальной защиты;
- укрытие населения, оказавшегося в зоне аварии, в защитных сооружениях;
- санитарная обработка населения, участников ликвидации последствий аварии;
- дезактивация объектов производственного, социального, жилого назначения, территорий, сельскохозяйственных угодий, транспорта, других технических средств, средств защиты, одежды, имущества, продовольствия и воды;
- эвакуация или отселение населения из зон, в которых уровень радиоактивного загрязнения превышает допустимый для проживания.

Следует отметить, что организация руководства ликвидацией последствий радиационных аварий зависит от их масштабов. Обобщенная структура органов управления ликвидацией последствий радиационных аварий, включая рассмотренную выше объектовую аварию, представлена на рис. 6.1 [113].

Если в результате выброса радионуклидов произошло загрязнение территории за пределами промышленной площадки аварийного объекта, но в пределах территории одного субъекта Российской Федерации, то ликвидация аварии и ее последствий на территории аварийного объекта осуществляется силами и средствами объекта с участием межведомственной оперативной группы. Проблемы защиты населения и ликвидации последствий аварии за пределами промышленной площадки решаются силами и средствами территориальных органов исполнительной власти (территориальной подсистемы РСЧС). Как на аварийном объекте, так и на пострадавших вследствие аварии территориях к ликвидации последствий аварии при необходимости могут привлекаться силы и средства федеральных органов исполнительной власти (функциональных подсистем РСЧС), передаваемые в оперативное подчинение руководителю работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий.

Если же вследствие аварии радиоактивному загрязнению подвергались территории нескольких субъектов Российской Федерации, то руководство (координацию) работами по ликвидации аварии и ее последствий принимает на себя специально назначенная Правительственная комиссия или МЧС России. Под их руководством осуществляется ликвидация радиационной аварии и ее последствий с привлечением сил и средств РСЧС.

На каждом уровне РСЧС работу КЧС, занимающихся координацией деятельности органов управления РСЧС, обеспечивают постоянно действующие органы управления РСЧС (органы управления, специально уполномоченные на решение задач в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций).



Рис. 6.1. Обобщенная структура управления ликвидацией последствий радиационных аварий

Основой для организации ликвидации возникшей радиационной аварии и ее последствий служат планы действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, разрабатываемые заблаговременно на всех уровнях РСЧС.

Для руководства работами по ликвидации радиационной аварии и ее последствий непосредственно в районе аварии в зависимости от масштабов аварии и ее последствий соответствующими органами исполнительной власти (органами местного самоуправления) назначается руководитель работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий.

При руководителе работ формируется оперативный штаб, в состав которого включаются необходимые специалисты, в том числе представители органов исполнительной власти (органов местного самоуправления), научных, производственных, медицинских и других организаций, компетентных в вопросах ликвидации радиационных аварий и их последствий. Количественный состав оперативного штаба определяется с учетом задач и объемов предстоящих работ.

Основными структурными формированиями оперативного штаба являются подразделения ликвидации радиационной аварии и ликвидации последствий радиационной аварии.

При оперативном штабе работают оперативные группы, создаваемые заинтересованными ведомствами (организациями).

Ликвидация радиационной аварии и ее последствий организуется и осуществляется в соответствии с решением руководителя работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий, согласованным с оперативной группой Правительственной комиссии (МЧС России) или соответствующей КЧС, а также с решениями этой КЧС в части защиты населения, которые являются обязательными для всех граждан и организаций, находящихся в зоне возникшей чрезвычайной ситуации радиационного характера. На отдельных объектах и участках зоны чрезвычайной ситуации радиационного характера в ходе работ решения в соответствии с поставленными задачами и сложившейся обстановкой принимают командиры (начальники) действующих там формирований (подразделений). Руководители всех уровней несут личную ответственность за принимаемые решения, использование подчиненных сил и результаты работ.

Исходными данными для принятия решений о ликвидации радиационной аварии и ее последствий являются:

- задача, поставленная вышестоящим органом управления;
- данные о состоянии аварийного объекта;
- данные разведки об обстановке в зоне чрезвычайной ситуации радиационного характера;
- выводы из оценки состояния аварийного объекта;
- выводы из оценки обстановки в зоне чрезвычайной ситуации радиационного характера;
- оценка возможностей имеющихся и прибывающих сил и средств;
- выводы из оценки местности, погоды, их возможного влияния на ход работ.

В случае длительного развития чрезвычайной ситуации радиационного характера (при длительном выбросе радионуклидов) принятые решения по лик-

ликвидации последствий радиационной аварии могут корректироваться с учетом изменения радиационной обстановки.

Применительно к чрезвычайным ситуациям радиационного характера определены три группы их источников, для каждой из которых устанавливается свой порядок (алгоритм) организации управления и взаимодействия при ликвидации радиационных аварий и их последствий.

Первую группу составляют радиационно опасные объекты, обслуживаемые профессионально подготовленным персоналом и расположенные на охраняемых территориях (в том числе на транспортных средствах — наземных, надводных, воздушных и космических).

Вторую группу составляют радиационно опасные объекты, предназначенные для штатной эксплуатации в необслуживаемом режиме или обслуживаемые потребителями, не являющимися специалистами в области ядерной техники (медиками, технологами общепромышленного профиля и пр.), должным образом не охраняемые.

К третьей группе относятся источники чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть в результате:

- обращения с неохраняемыми передвижными (переносными) устройствами или их съемными частями, содержащими радионуклиды, повлекшего за собой потерю контроля за источником ионизирующего излучения;
- транспортных происшествий, вызвавших разрушение радиационно опасных объектов;
- злонамеренных действий (диверсий) с применением радионуклидов или делящихся материалов.

При радиационных авариях для всех трех групп основными принципами организации управления и взаимодействия являются:

- подчиненность всех нижестоящих КЧС вышестоящим, обязательность выполнения решений и указаний, исходящих от них, в целях координации деятельности;
- подчиненность сил РСЧС во всех подсистемах и звеньях соответствующим КЧС;
- персональная ответственность руководителей всех уровней за принимаемые решения, а также за своевременность и точность выполнения решений, исходящих от вышестоящих органов управления;
- приоритет требования минимизации коллективной и индивидуальной доз облучения населения перед другими задачами, решаемыми в процессе действий по ликвидации радиационной аварии и ее последствий.

С целью реализации основных принципов организации взаимодействия:

- все силы и средства, участвующие в ликвидации радиационной аварии и ее последствий, находятся в оперативном подчинении руководителя работ, действующего от имени соответствующей КЧС;
- для персонализации ответственности за принимаемые решения и точность их исполнения по всей «вертикали» управления мероприятиями по ликвидации радиационной аварии и ее последствий оперативные группы КЧС всех уровней, являясь элементами органов управления в зоне радиационной



аварии, обеспечивают реализацию решений руководителей соответствующих комиссий и их рабочих органов, но не имеют полномочий на принятие собственных решений (за исключением ситуаций, угрожающих жизни и здоровью людей или связанных с возможностью значительного материального и экономического ущерба).

Действия по реагированию органов управления, сил и средств РСЧС на возникновение радиационной аварии разделяются на два этапа, отличающихся степенью понимания создавшейся ситуации и в связи с этим степенью готовности к эффективной скоординированной работе по ликвидации радиационной аварии и ее последствий. Первый этап — этап разведки, охватывающий период времени от получения органами управления РСЧС первой информации о возникновении радиационной аварии до определения ее фактического масштаба (локальная, местная, территориальная, региональная, федеральная или трансграничная), второй этап — действия по ликвидации радиационной аварии и ее последствий в условиях, когда масштабы аварии и соответствующие им органы координации и управления, а также необходимые силы и средства РСЧС определены, планы адекватных мероприятий выбраны (или разработаны) и приняты к исполнению.

К обслуживаемым и охраняемым радиационно опасным объектам относятся:

- объекты с ядерными реакторами любого типа и назначения;
- объекты (предприятия) ядерно-топливного цикла (без ядерных реакторов);
- отдельные места размещения и хранилища делящихся материалов и устройств с делящимися материалами;
- отдельные хранилища и могильники радиоактивных отходов с высокой активностью.

Эти объекты характеризуются общими для них признаками, определяющими порядок действий органов управления, сил и средств РСЧС на начальной стадии развития радиационной аварии:

- наличием средств постоянного радиационного контроля на объекте и в непосредственной близости от него;
- устойчивой связью объекта с органами исполнительной власти всех уровней, вышестоящей организацией и оперативными дежурными постоянных органов управления РСЧС;
- наличием заблаговременно проработанных прогнозов и планов действий, предусматривающих варианты реагирования на возможные радиационные аварии, а также сил и средств, подготовленных для ликвидации радиационных аварий и их последствий;
- надежной круглосуточной охраной объекта, исключающей возможность нежелательного вмешательства посторонних сил в производственные процессы на объекте.

К стационарным необслуживаемым и/или ненадлежащим образом охраняемым объектам относятся:

- установки технологического и медицинского назначения и источники тепловой и электрической энергии, в которых используются высокоэнергети-

ческие радионуклиды с большим периодом полураспада (в основном плутоний-239, полоний-210, кобальт-60, стронций-90, цезий-137) и высокой суммарной активностью (до  $10^7$  Ки);

— отдельные хранилища и могильники радиоактивных отходов со средней и низкой удельной активностью;

— территории и водоемы, загрязненные радионуклидами в результате имевших место аварий, ядерных испытаний, а также производственной деятельности предприятий ядерно-топливного цикла.

Стационарные необслуживаемые и/или ненадлежащим образом охраняемые объекты размещаются на территориях неспециализированных предприятий (с точки зрения проблем радиационной безопасности) — в медицинских учреждениях для лечения онкологических заболеваний, на производствах широкого профиля для лучевого воздействия на материалы в составе технологических процессов или для неразрушающего контроля продукции; в малонаселенных или труднодоступных горных и северных районах для питания световых и радиомаяков, а также другой аппаратуры, нуждающейся в автономном электропитании, или для складирования радиоактивных отходов, не представляющих по действующим нормативам прямой опасности для окружающей среды и вследствие этого не имеющих, как правило, надежного дозиметрического и охранного обеспечения. Такие условия эксплуатации (хранения) радиационно опасных объектов не исключают случаев:

— непредусмотренного технологической, эксплуатационной и ремонтной документацией обращения с объектами;

— доступа к объектам посторонних лиц;

— несвоевременного получения специализированными службами информации о существенном повышении техногенного радиационного фона, допускаемого технической документацией.

Основу планирования действий по экстренному реагированию на возникновение радиационной аварии в этом случае составляет принцип: ответственность за своевременную информацию об угрозе аварии или ее возникновении несет эксплуатирующая организация (пользователь, потребитель). Ответственность за ликвидацию радиационной аварии — организация — изготовитель объекта или его вышестоящая организация.

В случаях радиационных аварий, произошедших в результате транспортных происшествий, потери контроля за устройствами, содержащими радионуклиды, а также — злонамеренных действий с применением радиоактивных веществ характерна наиболее высокая степень неопределенности в первоначальном понимании создавшейся обстановки, размеров угрозы для населения и окружающей среды и, как следствие, — в оценке необходимых сил и средств для ее нормализации. Местом возникновения источника чрезвычайной ситуации радиационного характера может быть любая точка Российской Федерации, а в качестве источника может оказаться любой попавший в аварию радиационно опасный объект или его часть, содержащая радионуклиды и отделенная от объекта случайными людьми из-за непонимания назначения объекта и возможных последствий такой операции, или, наоборот, сознательного дейст-

вия, направленного на шантаж или причинение вреда населению, окружающей среде и техносфере.

Такие обстоятельства определяют возможность ситуации, при которой идентификация источника чрезвычайной ситуации радиационного характера (как конкретного устройства или вещества, содержащего дозообразующие радионуклиды) может наступить много позже явных проявлений факта возникновения радиационной аварии, и, следовательно, начальные действия по ликвидации аварии не могут быть возложены на организацию (ведомство), эксплуатирующую объект, или на организацию (ведомство), изготовившую этот объект. В этом сложном случае, в целях обеспечения готовности органов управления, сил и средств РСЧС к ликвидации радиационной аварии и ее последствий, основу планирования действий по экстренному реагированию на возникновение аварии составляет принцип: ответственность за своевременную информацию об угрозе аварии или ее возникновении несет КЧС субъекта Российской Федерации, в пределах которого произошло соответствующее событие, которая организует работу по идентификации источника, а в случае технической возможности его локализацию и эвакуацию, привлекая для этой цели территориальный специальный комбинат «Радон».

Во всех случаях, связанных с наличием ядерно опасных веществ и с местонахождением объектов, координирующим органом, кроме правительственной или межведомственной комиссий, может быть комиссия ведомства, в ведении которого находится данный объект.

Рекомендации по определению координирующих органов в рамках РСЧС при переводе ее в режим повышенной готовности к ликвидации радиационной аварии и ее последствий приведены в табл. 6.9.

После возникновения радиационной аварии в соответствующих КЧС производится уточнение ранее разработанных планов действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций. В случае если имеет место изменение обстановки (объективное из-за развития процесса выброса радионуклидов в окружающую среду либо связанное с уточнением радиационной обстановки), планы действий корректируются ежесуточно вплоть до стабилизации ситуации или достижения положительного результата по локализации источника чрезвычайной ситуации радиационного характера.

Оперативным штабом под руководством руководителя работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий разрабатывается сводный график выполнения работ, который является обязательным для исполнения всеми организациями, учреждениями и предприятиями, привлекающимися к ликвидации радиационной аварии и ее последствий.

В сводном графике работ определяются основные мероприятия, сроки их выполнения и исполнители (ведомства, организации и т.п.).

Сводный график выполнения работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий согласовывается с вышестоящим координирующим органом управления и утверждается руководителем работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий.

Таблица 6.9

Рекомендации по определению координирующих органов в рамках РСЧС при переводе ее в режим повышенной готовности к ликвидации чрезвычайной ситуации радиационного характера

Функциональное назначение объекта		Показатели, характеризующие радиационно опасный объект						
		М	Г	С	П	Т	Местоположение объекта	
1. Объекты с ядерным реактором любого типа и назначения	Свыше 1 Мки	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК
	От 1 кКи до 1 Мки	—	—	—	—	—	—	—
	От 10 Ки до 1 кКи Менее 10 Ки	—	—	—	—	—	—	—
2. Объекты (предприятия) ядерно-топливного цикла (без ядерного реактора)	Свыше 1 Мки	ПК	ПК	ПК	—	—	—	—
	От 1 кКи до 1 Мки	ПК	ПК	ПК	—	—	—	—
	От 10 Ки до 1 кКи Менее 10 Ки	КЧС-в	КЧС-в	КЧС-в	—	—	—	—
3. Отдельные хранилища делящихся материалов и устройств с делящимися материалами	Свыше 1 Мки	—	—	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК
	От 1 кКи до 1 Мки	—	—	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК
	От 10 Ки до 1 кКи Менее 10 Ки	—	—	ПК	КЧС-в	КЧС-в	КЧС-в	КЧС-в
4. Отдельные хранилища и могильники р/а отходов с высокой удельной активностью	Свыше 1 Мки	—	—	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК
	От 1 кКи до 1 Мки	—	—	ПК	КЧС-с	КЧС-с	КЧС-с	КЧС-с
	От 10 Ки до 1 кКи Менее 10 Ки	—	—	КЧС-м	КЧС-м	КЧС-м	КЧС-о	КЧС-м КЧС-о
5. Отдельные хранилища и могильники со средней и низкой удельной активностью	Свыше 1 Мки	—	—	КЧС-с	КЧС-с	КЧС-с	КЧС-с	КЧС-м
	От 1 кКи до 1 Мки	—	—	КЧС-с	КЧС-м	КЧС-м	КЧС-м	КЧС-м
	От 10 Ки до 1 кКи Менее 10 Ки	—	—	КЧС-м	КЧС-в	КЧС-в	КЧС-в	КЧС-в КЧС-в

Продолжение табл. 6.9

Показатели, характеризующие радиационно опасный объект		Местоположение объекта				
Функциональное назначение объекта	Суммарная активность объекта	М	Г	С	П	Т
		6. Радионуклидные источники ионизирующего излучения различного назначения	Свыше 1 Мки От 1 кКи до 1 Мки От 10 Ки до 1 кКи Менее 10 Ки	ПК ПК КЧС-с КЧС-с	ПК ПК КЧС-с КЧС-с	ПК ПК КЧС-с КЧС-в
7. Территории и водоемы, загрязненные радионуклидами вследствие имевших место радиационных событий (вторичные радиационно опасные объекты)	Свыше 1 Мки От 1 кКи до 1 Мки От 10 Ки до 1 кКи Менее 10 Ки	— — — —	— — — —	КЧС-с КЧС-с КЧС-м КЧС-м	КЧС-с КЧС-м КЧС-м КЧС-м	КЧС-с КЧС-м КЧС-м КЧС-м

**Примечания:**

1. Показатели, характеризующие местоположение объектов, зашифрованы буквами: М — крупный промышленный город (мегаполис); Г — город или населенный пункт городского типа; С — сельская местность с развитой с/х инфраструктурой; П — малозаселенная местность; Т — труднодоступные незаселенные районы Российской Федерации.
2. Другие обозначения в таблице: ПК — Правительственная комиссия; КЧС-в — ведомственная комиссия по чрезвычайным ситуациям (по принадлежности объекта); КЧС-с — комиссия по чрезвычайным ситуациям органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации; КЧС-м — комиссия по чрезвычайным ситуациям органа местного самоуправления; КЧС-о — объектовая комиссия по чрезвычайным ситуациям. В случае отсутствия КЧС-м или КЧС-о соответствующие функции рекомендуется принимать на себя КЧС-с.
3. В случае последующего уточнения масштаба чрезвычайной ситуации радиационного характера решением вышестоящей КЧС соответственно повышается или понижается уровень координирующего органа.

Основу сил и средств подсистем РСЧС, привлекаемых для ликвидации последствий радиационных аварий, составляют в зависимости от ее масштаба формирования территориальных подсистем тех субъектов Российской Федерации, территории которых оказались пострадавшими вследствие радиационной аварии. Привлечение к действиям сил и средств функциональных подсистем РСЧС, Минобороны России и МВД России, а также войск гражданской обороны осуществляется в порядке, установленном существующим законодательством.

### *Оповещение населения*

Оповещение населения является весьма эффективным мероприятием по защите населения при радиационных авариях.

Оповестить население означает: своевременно предупредить его о надвигающейся опасности, создавшейся обстановке, а также проинформировать о порядке поведения в этих условиях.

Процесс оповещения населения обязательно сопровождается организацией оповещения органов управления и ответственных должностных лиц, принимающих решения на проведение конкретных мероприятий по защите населения.

Процесс оповещения включает доведение в сжатые сроки до органов управления, должностных лиц и сил РСЧС, а также населения на соответствующей территории (субъект Российской Федерации, город, населенный пункт, район) заранее установленных сигналов, распоряжений и информации органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления относительно возникающих угроз и порядка поведения в создавшихся условиях.

Ответственность за организацию и практическое осуществление оповещения несут руководители органов исполнительной власти соответствующего уровня.

В РСЧС порядок оповещения населения предусматривает сначала, при любом характере опасности, включение электрических сирен, прерывистый (завывающий) звук которых означает единый сигнал опасности «Внимание всем». Услышав этот звук (сигнал), люди должны немедленно включить имеющиеся у них средства приема речевой информации — радиоточки, радиоприемники и телевизоры, чтобы прослушать информационные сообщения о характере и масштабах угрозы, а также рекомендации наиболее рационального способа своего поведения в создавшихся условиях.

Для решения задач оповещения на всех уровнях РСЧС созданы специальные системы централизованного оповещения (СЦО). Основными уровнями, связанными непосредственно с оповещением населения, являются территориальный, местный и объектовый.

Система оповещения любого уровня РСЧС представляет собой организационно-техническое объединение оперативно-дежурных служб органов управления ГОЧС данного уровня, специальной аппаратуры управления и

средств оповещения, а также каналов (линий) связи, обеспечивающих передачу команд управления и речевой информации.

Управление системой оповещения каждого уровня организуется непосредственно соответствующими органами повседневного управления РСЧС данного уровня. Решение на задействование системы оповещения любого уровня принимает соответствующий глава администрации.

Схема построения системы оповещения населения субъекта Российской Федерации представлена на рис. 6.2 [102].

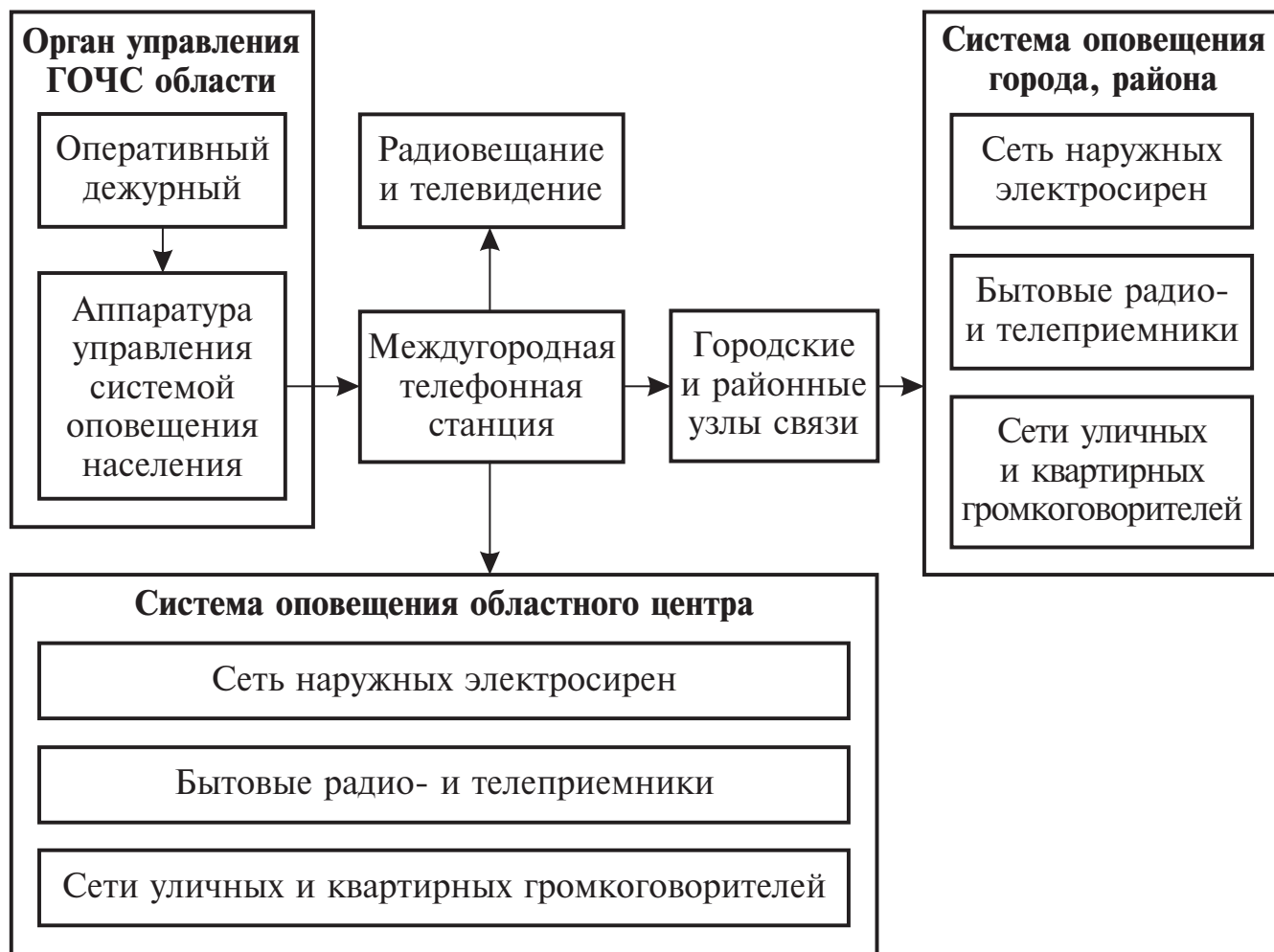


Рис. 6.2. Общая схема построения системы оповещения населения на территории субъекта Российской Федерации

СЦО территориального уровня обеспечивает как циркулярное, так и выборочное включение СЦО местных уровней. Передача сигналов и речевой информации в СЦО территориального уровня осуществляется по каналам связи на основе их перехвата на время передачи сигналов и речевой информации. Время перехвата каналов связи определяется техническими характеристиками аппаратуры управления, на основе которой построена СЦО данного территориального уровня и установленной длительностью передачи речевого сообщения.

Верхние звенья СЦО территориального уровня устанавливаются на рабочих местах оперативно-дежурных служб органов управления, уполномочен-

ных на решение задач гражданской обороны, задач защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах территориального уровня.

Элементы комплекса аппаратуры среднего звена СЦО территориального уровня устанавливаются на предприятиях местных органов связи (междугородные станции, городские и районные узлы связи).

Оконечные комплекты аппаратуры оповещения СЦО устанавливаются на рабочих местах оперативно-дежурных служб органов управления ГОЧС, созданных при органах местного самоуправления, в органах управления сил, непосредственно подчиненных органам исполнительной власти данного субъекта Российской Федерации.

К местному уровню относятся системы оповещения города и сельского района, задачами которых являются оповещение должностных лиц данного уровня и органов управления объектового уровня, а также населения, проживающего на территории, охватываемой системой оповещения этого уровня.

Управление системой оповещения местного уровня осуществляется непосредственно от оперативно-дежурной службы органов управления ГОЧС, созданных при органах местного самоуправления, или через дежурную смену узла связи города (района), где установлена аппаратура управления системой оповещения.

Верхнее звено системы оповещения крупного города, как правило, устанавливается в органе управления ГОЧС города, где организовано постоянное дежурство ответственных лиц.

Элементы аппаратуры размещаются на АТС города, городском радиотрансляционном узле, аппаратной городского радио- и телевидения, объектах экономики города и в органах управления ГОЧС районов города, если таковые имеются в составе административного деления города. В органе управления также устанавливается нижнее звено территориальной системы оповещения, в состав которой входит данный город. На МТС города размещается аппаратура для автоматического запуска системы оповещения города от старшего органа управления. Таким образом обеспечивается управление системой оповещения города как централизованно от старшего органа управления, так и из органа управления ГОЧС данного города.

Систем оповещения населения сельских населенных пунктов с организацией управления из районного центра в силу ряда трудностей в стране практически нет. В территориальные СЦО включены только районные центры, а население в других населенных пунктах сельской местности оповещается в основном по сетям радио- и телевидения, сельской телефонной сети, мобильными звукоусилительными средствами отделов внутренних дел и путем подворного обхода.

На объектовом уровне оповещение населения осуществляется с помощью локальных систем оповещения, создаваемых в районах размещения потенциально опасных объектов (атомных станций, химически опасных объектов, гидросооружений). Для групп потенциально опасных объектов, размещенных компактно, предусматривается создание объединенных локальных систем



оповещения с централизованным управлением от местных органов управления ГОЧС.

Говоря об атомных электростанциях, следует отметить, что зона действия локальной системы оповещения на них определена в радиусе 5 км вокруг станции, с обязательным включением в нее поселка (городка) станции. Непосредственное управление локальной системой оповещения организуется от начальника смены, как правило, начальника смены первого блока. В случае аварии на станции, последствия которой могут выйти за ее пределы, начальник смены осуществляет самостоятельно и с помощью дежурной смены узла связи атомной электростанции дистанционное включение средств оповещения должностных лиц и персонала станции, а также населения своего поселка (городка) и населенных пунктов, размещенных в 5-километровой зоне вокруг станции. По прямому телефону начальник смены оповещает соответствующий орган управления ГОЧС.

В случае выхода последствий радиационной аварии за пределы зоны ответственности локальной системы оповещения, оперативный дежурный органа управления ГОЧС субъекта Российской Федерации осуществляет выборочное оповещение городов и районов, попадающих в зону возможного радиоактивного загрязнения, по территориальной СЦО.

### *Зонирование территорий*

В целях определения объема мер радиационной защиты населения осуществляется зонирование территорий вокруг радиационно опасных объектов. Как указывалось выше, в соответствии с требованиями ОСПОРБ-99 вокруг радиационно опасных объектов I и II категорий устанавливается санитарно-защитная зона, а вокруг объектов I категории также и зона наблюдения, последняя включает в себя санитарно-защитную зону. Санитарно-защитная зона для радиационно опасных объектов III категории ограничивается территорией объекта, а для объектов IV категории зоны вообще не устанавливаются.

На границе санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения годовая эффективная доза облучения должна не превышать основного предела дозы облучения населения (1 мЗв в год) и ограничиваться размером квоты для конкретного объекта. В связи с этим в зоне наблюдения разрешается проживание населения, но должен проводиться радиационный контроль, а органы санитарно-эпидемиологического надзора могут вводить в ней ограничения на хозяйственную деятельность.

При аварии на радиационно опасном объекте, повлекшей за собой радиоактивное загрязнение за пределами объекта обширной территории, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки в соответствии с НРБ-99 устанавливается зона радиационной аварии, в которой проводится контроль радиационной обстановки и осуществляются мероприятия по снижению уровней облучения населения.

В соответствии с Концепцией радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося

аварийному облучению [63] и НРБ-99 с целью определения объема мер радиационной защиты и реабилитации на территориях населенных пунктов и их ареолов внутри зоны радиационной аварии, где сохраняется обусловленное радиационной аварией радиоактивное загрязнение местности, осуществляется их зонирование. Оно должно проводиться по величине, создаваемой этим загрязнением средней годовой эффективной дозы (СГЭД) облучения жителей населенного пункта, рассчитанной для каждого населенного пункта при условии отсутствия активных мер радиационной защиты (без учета снижения дозы вследствие специальной инженерной дезактивации населенных пунктов и поставки населению радиационно чистых продуктов).

При этом на территориях населенных пунктов, где СГЭД не превышает 1 мЗв, проводится обычный мониторинг радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции, по результатам которого оценивается доза облучения населения. Если содержание радионуклидов в отдельных пищевых продуктах превышает действующие нормативы, осуществляется обязательная сертификация этих продуктов по радиационному фактору. Проживание и хозяйственная деятельность на этих территориях по радиационному фактору не ограничиваются.

На территориях же, загрязненных в результате радиационных аварий, где СГЭД превышает 1 мЗв, проводится зонирование, которое должно предусматривать образование следующих зон:

— **от 1 мЗв до 5 мЗв — зона радиационного контроля.** В этой зоне помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции проводится определение доз внешнего и внутреннего облучения критических групп населения. Осуществляются меры по снижению доз на основе принципа оптимизации и другие необходимые активные меры защиты населения;

— **от 5 мЗв до 20 мЗв — зона ограниченного проживания.** В этой зоне осуществляются те же меры мониторинга и защиты населения, определение доз внешнего и внутреннего облучения критических групп населения, что и в зоне радиационного контроля. По результатам медицинского наблюдения и радиационного контроля формируются группы повышенного риска<sup>1</sup>. Жителям и лицам, въезжающим на указанную территорию, разъясняется риск ущерба здоровью, обусловленный воздействием радиации, нежелательность въезда в эту зону семей с детьми на постоянное жительство. Оказывается помощь в добровольном переселении за пределы зоны;

— **от 15 мЗв до 40 мЗв — зона отселения.** Въезд на указанную территорию для постоянного проживания не разрешен. В этой зоне запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей. Здесь осуществляется

<sup>1</sup> **Группы повышенного риска** формируются по результатам медицинского контроля из числа лиц со скрытой или явной патологией, а также по величине накопленной дозы:

- взрослые с эффективной дозой свыше 250 мЗв острого облучения или накопленной эффективной дозой хронического облучения более 350 мЗв;
- лица, облученные внутриутробно в дозе свыше 50 мЗв;
- лица с дозой на щитовидную железу: взрослые — свыше 2,5 Гр, дети — свыше 1 Гр.

радиационный мониторинг людей и объектов внешней среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты;

— **более 50 мЗв — зона отчуждения.** В этой зоне постоянное проживание не допускается, а хозяйственная деятельность и природопользование регулируются специальными актами. Осуществляются меры мониторинга и защиты работающих с обязательным и индивидуальным дозиметрическим контролем.

Следует отметить, что в основе приведенного выше зонирования населенных пунктов и их ареалов, загрязненных в результате радиационных аварий, лежит многолетний опыт ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Известно, что до Чернобыльской катастрофы нормативными актами было предусмотрено при радиационных авариях определение двух зон мер защиты населения с дозами облучения на внешних границах этих зон 75 и 25 р/год. Из первой зоны население подлежало эвакуации, во второй осуществлялся радиационный контроль, вводились ограничения на использование продуктов питания, производство сельскохозяйственной продукции, рыбную ловлю и т.д.

При аварии на Чернобыльской АЭС уже к 10 мая 1986 года в Правительственную комиссию, руководившую ликвидацией последствий аварии, была представлена карта (рис. 6.3), подготовленная в результате обобщения данных авиационных съемок радиационной обстановки и наземных измерений, на которой была осуществлена новая система зонирования мер по защите населения от радиационных воздействий. На карте были определены зоны с уровнями радиации на внешних границах 20 мР/ч; 5 мР/ч и 3 мР/ч. На основе этих данных территория, на которой уровни радиации были более 20 мР/ч, была определена как зона отчуждения, проживание населения в которой запрещалось. Территория с уровнями радиации от 5 мР/ч до 20 мР/ч была определена как зона временного отселения, из которой рекомендовалось населению временно выехать, а с уровнями радиации от 3 до 5 мР/ч — как зона жесткого контроля, в которой разрешалось проживание населения при строгом радиационном контроле.

Но уже летом 1986 года на основе установленных Минздравом СССР временных допустимых уровней облучения населения на послеаварийный период для планирования защитных мероприятий были приняты критерии по плотности загрязнения почв основными долгоживущими радионуклидами (цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239). В связи с этим в основу нового зонирования загрязненных территорий была положена плотность загрязнения почв цезием-137, определяющим загрязнение большей части территорий, и прежде всего на территории Российской Федерации. Были выделены следующие зоны:

- зона отчуждения — более 40 Ки/км<sup>2</sup>;
- зона отселения — 15—40 Ки/км<sup>2</sup>;
- зона жесткого контроля — 5—15 Ки/км<sup>2</sup>;
- зона радиационного контроля — 1—5 Ки/км<sup>2</sup>.

Наконец, в середине 90-х годов XX столетия был обоснован переход на зонирование на основе дозовых нагрузок на население.

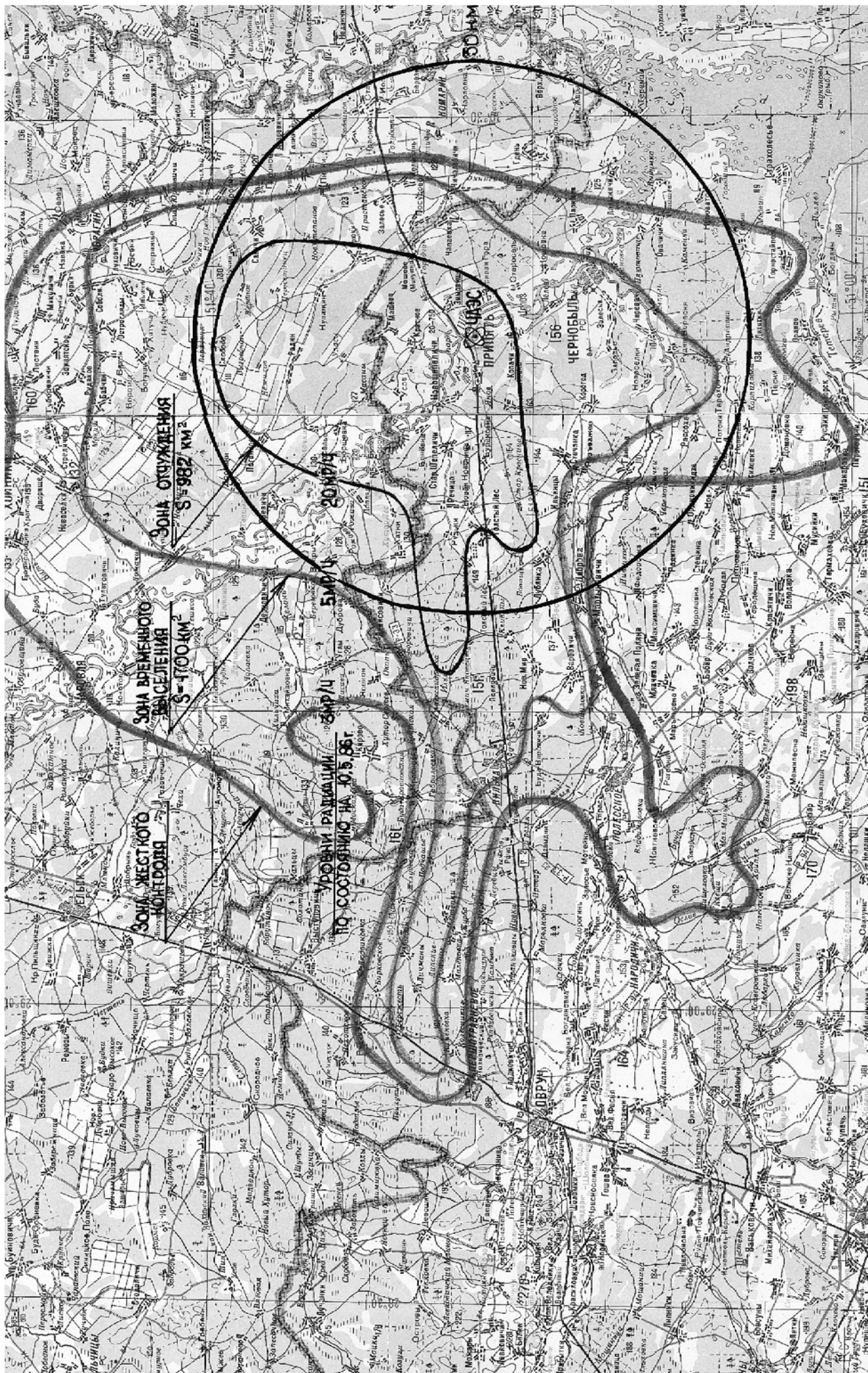


Рис. 6.2. Карта радиационной обстановки в районе Чернобыльской АЭС по состоянию на 10 мая 1986 года

В соответствии с Законом Российской Федерации «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» от 18 июня 1992 года введены новые названия зон, которые сохраняются до настоящего времени:

— **зона отчуждения** — территория, на которой плотность загрязнения почв цезием-137 свыше 40 Ки/км<sup>2</sup>. В этой зоне запрещается постоянное проживание населения, ограничивается хозяйственная деятельность и природопользование;

— **зона отселения** — территория за пределами зоны отчуждения, на которой плотность загрязнения почв цезием-137 свыше 15 Ки/км<sup>2</sup>. Граждане, принявшие решение о выезде из этой зоны на другое место жительства, имеют право на получение компенсаций и льгот. В зоне обеспечивается обязательный медицинский контроль за состоянием здоровья населения и осуществляются защитные мероприятия, направленные на снижение уровней облучения;

— **зона проживания с правом на отселение** — территория за пределами зоны отчуждения и зоны отселения с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 5 до 15 Ки/км<sup>2</sup>. В зоне предусмотрено добровольное отселение, обеспечивается обязательный медицинский контроль за состоянием здоровья населения и осуществляются защитные мероприятия, направленные на снижение уровня облучения;

— **зона проживания с льготным социально-экономическим статусом** — территория за пределами зоны проживания с правом на отселение с плотностью радиоактивного загрязнения почв цезием-137 от 1 до 5 Ки/км<sup>2</sup>. В данной зоне осуществляется комплекс мер, включающий медицинские мероприятия по радиационной и радиоэкологической защите, создается хозяйственно-экономическая структура, обеспечивающая улучшение качества жизни населения выше среднего уровня.

Как показывает многолетний опыт, рассмотренное зонирование загрязненных в результате радиационных аварий территорий позволяет достаточно успешно решать задачи по обеспечению радиационной безопасности населения.

### *Организация радиационного контроля*

Радиационный контроль осуществляется в целях контроля за соблюдением норм радиационной безопасности и требований Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности, касающихся населения, а также получения информации об уровнях его облучения и о радиационной обстановке в окружающей среде.

В радиационном контроле выделяют дозиметрический и радиометрический контроль.

Дозиметрический контроль — комплекс организационных и технических мероприятий по определению доз облучения людей с целью количественной оценки эффекта воздействия на них ионизирующих излучений.

Радиометрический контроль — комплекс организационных и технических мероприятий по определению интенсивности ионизирующего излучения ра-

диоактивных веществ, содержащихся в окружающей среде или степени радиоактивного загрязнения людей, техники, сельскохозяйственных животных и растений, а также элементов окружающей среды.

Дозиметрический контроль населения производится, как правило, расчетным путем с учетом уровней излучения и времени нахождения в зоне облучения. По данным дозиметрического контроля принимаются решения об отселении населения с загрязненных территорий, определяются ограничения на его жизнедеятельность, меры защиты, необходимость оказания медицинской помощи и т.п.

Радиометрический контроль (контроль радиоактивного загрязнения) осуществляется с целью определения необходимости специальной обработки техники, санитарной обработки населения при выходе (выезде) из зон радиоактивного загрязнения, дезактивации зданий, сооружений, дорог, местности, одежды, материальных средств, обеззараживания продовольствия и воды.

Контроль радиоактивного загрязнения зданий, сооружений, оборудования и местности до и после дезактивации осуществляется непосредственно в зонах загрязнения с помощью приборов (основные характеристики некоторых из них представлены в табл 5.4 и 5.5) или путем взятия проб грунта, мазков со зданий, сооружений, оборудования и обработки их в лабораториях.

Контроль радиоактивного загрязнения воды и продовольствия производится путем взятия проб и обработки их в лабораториях.

Для проведения контроля радиоактивного загрязнения привлекаются группы (звенья) разведки, входящие в состав спасательных формирований.

В населенных пунктах, на загрязненной территории радиометрический контроль осуществляется с установленной периодичностью.

При выходе (выезде) людей и техники с загрязненных территорий на их границах проводится обязательный радиометрический контроль. С этой целью звенья радиометрического контроля проводят работы на пунктах специальной обработки (ПуСО), санитарно-обмывочных пунктах (СОП), станциях обеззараживания одежды (СОО).

Население, техника и транспорт, подвергшиеся радиоактивному загрязнению и прибывшие для проведения полной специальной обработки на ПуСО, проходят через контрольно-распределительный пункт (КРП), который определяет степень загрязнения. КРП организуется за счет дозиметристов разведывательных спасательных формирований. При этом измеряется степень загрязненности людей и объектов, прибывших на пост, и определяется необходимый способ специальной обработки.

По мере пропуска людей и техники периодически проверяется загрязненность рабочего места дозиметриста, при необходимости проводится его дезактивация или перемещение в другое место.

Контроль радиоактивного загрязнения осуществляется двумя постами, один из которых располагается на входе, а другой на выходе с площадки ПуСО.

По результатам радиометрического контроля вводятся ограничения на жизнедеятельность населения и условия его производственной деятельности.

Одной из главных мер, как правило, является ограничение свободного перемещения населения в зоне радиационной аварии в целом, а также ограничение свободного доступа в эту зону. Эта мера вводится как можно раньше во избежание нерегулируемого облучения населения и разноса радиоактивных веществ на менее загрязненные территории под воздействием деятельности человека. По мере уточнения радиационной обстановки с течением времени ограничение перемещения и доступа распространяется на большие или меньшие расстояния.

Ограничение относится не только к населению, но и к персоналу предприятия, формирований РСЧС и воинских частей, привлекаемых к ликвидации последствий аварии.

При планировании ограничения свободного перемещения населения и свободного доступа его в зону радиационной аварии учитывается, что цели, с которыми вводятся ограничения, должны быть различными для разных фаз аварий:

- а) на ранней фазе аварии:
  - избежать ненужного входа дополнительного числа лиц на предполагаемые опасные участки;
- б) на ранней и промежуточной фазах аварии:
  - обеспечить оптимальные пути эвакуации населения;
  - обеспечить аварийным группам оптимальные пути доступа к местам их действий;
  - обеспечить группам радиационного контроля оптимальные пути доступа к контролируемому участку;
  - предотвратить после эвакуации неразрешенный повторный вход в зоны отселения;
  - обеспечить сохранность государственной и личной собственности, оставленной в зонах эвакуации;
- в) на поздней фазе аварии:
  - предотвратить или снизить непредусмотренное облучение лиц от осевших на землю радиоактивных веществ и вдыхания их в результате ветрового подъема;
  - избежать дополнительного радиоактивного загрязнения аварийного оборудования и материалов;
  - исключить неразрешенное перемещение загрязненных продовольственных и непродовольственных материалов на чистые участки;
  - предотвратить несанкционированное или самовольное использование загрязненной территории в хозяйственных целях организациями всех форм собственности, а также населением;
- г) на всех фазах аварии:
  - направлять используемый транспорт, минуя наиболее загрязненные участки;
  - избегать излишней перевозки оборудования и материалов в загрязненные места;

— предотвращать разнос радиоактивного загрязнения на колесах (гусеницах) транспортных средств в менее загрязненные и «чистые» районы.

Предусматриваются следующие степени регулирования свободного прохода и перемещения:

— *доступ запрещен всем лицам*, кроме персонала, осуществляющего аварийные меры, и лиц, имеющих разрешение;

— *доступ ограничен*, в этом случае людям выдается специальное разрешение на вход в контролируемые зоны и вводятся отличительные знаки для транспортных средств и лиц, имеющих разрешения.

В качестве основных средств ограничения передвижения и допуска в загрязненные зоны применяются:

— выбор и обозначение оптимальных транспортных путей с закрытием движения по другим дорогам;

— установление контрольно-пропускных пунктов с круглосуточным дежурством;

— организация действий подвижных контрольных постов по определенным маршрутам движения;

— организация дисциплинирующих или физических барьеров на границах зон и участках территории, не обслуживаемых постоянными или подвижными постами в виде ограждений и канав;

— организация пропускной системы с указанием в пропусках места нахождения на территории зоны, сроков и продолжительности пребывания, видов работы или иные цели;

— оповещение организаций и населения о введении ограничений и об ответственности за нарушения установленного режима радиационной безопасности.

### *Использование средств коллективной и индивидуальной защиты*

Использование средств коллективной и индивидуальной защиты в целях исключения или снижения доз внешнего облучения, радиоактивного загрязнения поверхности тела и одежды людей, предотвращения и снижения поступления радионуклидов через органы дыхания, и в отдельных случаях через органы пищеварения, является достаточно эффективным.

Укрытие населения в защитных сооружениях всегда придавалось важное значение, а в связи с трудностью и даже в ряде случаев невозможностью при необходимости полной эвакуации населения из городов, необходимостью организации быстрой защиты населения от поражающего воздействия пароголового облака выброса при радиационной аварии значение этого мероприятия резко возросло.

Следует отметить, что в целях защиты населения при радиационных авариях успешно используются защитные сооружения гражданской обороны, классификация которых представлена на рис. 6.4.

При планировании укрытия населения, включая его укрытие в противорадиационных убежищах, исходят из численности подлежащего укрытию населения, имеющихся возможностей укрытия населения в специально подготов-





Рис. 6.4. Классификация защитных сооружений гражданской обороны

ленных по программам гражданской обороны убежищах и сооружениях, а также из противорадиационных и технических характеристик убежищ и сооружений, предполагаемой длительности нахождения населения в убежищах и способах последующего вывода или эвакуации укрывшихся из убежищ.

При альтернативном выборе необходимости укрытия населения в убежищах или эвакуации его через непродолжительное время после начала аварии принятие решения основывается прежде всего на значении предотвращенной

дозы за рассматриваемый период и реальных возможностях осуществления каждой из этих мер защиты. В большинстве случаев, в условиях выброса короткоживущих радионуклидов, предпочтительнее будет обеспечить быстрое укрытие и последующую, хорошо организованную эвакуацию из укрытий, чем провести быструю эвакуацию ввиду затруднений, связанных с ее организацией.

К основным противорадиационным характеристикам сооружений, не относящихся к типовым убежищам, относятся коэффициенты ослабления (коэффициенты защиты) гамма-излучения конструкциями зданий и сооружений, которые приведены в табл. 6.10. Однако эффективность использования для укрытия противорадиационных убежищ, других сооружений, а также просто нахождение в производственных и жилых зданиях оценивают также и по предотвращению радиоактивного загрязнения одежды и кожных покровов, по снижению интенсивного поступления радиоактивных веществ в организм при вдыхании. В общем плане эффективность укрытия определяется коэффициентами эффективного экранирования при нахождении в убежищах и транспорте при последующей эвакуации.

Таблица 6.10

Защитные свойства некоторых технических изделий и материалов.  
Средние значения коэффициента ослабления дозы радиации

Наименование укрытия	Коэффициент ослабления
<b>Транспортные средства</b>	
Автомобили (РХР, УАЗ и др.)	1,0
Бронетранспортер	1,5
Танк легкий	5,0
Танк средний	10,0
Пассажирские вагоны	3,0
Грузовые вагоны	2,0
<b>Производственные здания</b>	
Одноэтажные	7,0
3-этажные	6,0
<b>Жилые дома:</b>	
<b>Каменные:</b>	
Одноэтажные	10,0
Подвал	40,0—100
Двухэтажные	18,0
Подвал	100
Трехэтажные	20

Наименование укрытия	Коэффициент ослабления
Подвал	400
Пятиэтажные	27
Подвал	400
<b>Деревянные:</b>	
Одноэтажные	2,0
Подвал	7,0
Двухэтажные	8,0
Подвал	12,0
<b>Фортификационные сооружения</b>	
Перекрытые щели, траншеи	50,0
Блиндажи и убежища с входным блоком из лесоматериалов	500
Убежища с входом типа «Лаз» и металлическим входным блоком	5 000
Противорадиационные укрытия	100—500

В идеальном случае укрытие людей в убежищах осуществляют как превентивную меру, предпринимаемую на начальной фазе аварии. Эта мера ослабляет радиационное воздействие проходящего облака или факела выброса на следующей, ранней фазе аварии. Сигналом к этому является извещение населения о необходимости укрытия в убежищах, при их отсутствии — укрытия во внутренних помещениях жилых зданий, а также извещение о необходимости использовать специальные и подручные средства защиты органов дыхания. Целесообразно заранее информировать население, что укрытие в помещениях, не являющихся убежищами, дает наибольший эффект при использовании зданий, построенных из плотных материалов, а в самом здании — при использовании цокольного этажа и подвалов. Необходимо рекомендовать находиться в помещениях, расположенных в центральной части зданий и по возможности не имеющих окон. При наличии окон людям следует занимать углы или другие места, защищенные от прямого дневного света через окна.

Население необходимо заранее информировать, что при объявлении тревоги нужно закрыть окна и внешние двери, перекрыть системы вентиляции и другие отверстия, затушить огонь в печах, закрыть дымовые заслонки в них. Степень воздухообмена можно еще более сократить, поместив, по возможности, слой влажных газет или ткани в щели открывающихся дверей и окон.

Как указывалось выше, средства индивидуальной защиты подразделяются на средства индивидуальной защиты органов дыхания и средства защиты кожи, по принципу защитного действия — на средства индивидуальной защиты фильтрующего и изолирующего типов.

Говоря о защите населения, сразу оговоримся, что в этих целях используются только средства индивидуальной защиты фильтрующего типа, более того, нередко всевозможные подручные средства. Относительная эффективность этих средств представлена в табл. 6.11.

Таблица 6.11

Эффективность специальных и подручных средств индивидуальной защиты органов дыхания от радиоактивных аэрозолей

Средства защиты	Эффективность задержки аэрозоля, %
<i>Специальные средства защиты</i> (при дисперсности не более 1 мкм):	
Респиратор «Лепесток-5» на основе фильтра ФПП-70-0,2	96,0
Респиратор «Лепесток-40» на основе фильтра ФПП-70-0,5	99,5
Респиратор «Лепесток-200» на основе фильтра ФПП-15-1,5	99,9
<i>Подручные средства защиты</i> (при дисперсности аэрозоля 1—5 мкм)	
Хлопчатобумажная рубашка, носовой платок (оба в 1 слой)	25—35
Платьевой хлопчатобумажный материал ( в 1 слой), носовой платок ( в 4 слоя)	45—55
Платьевой хлопчатобумажный материал ( в 1 слой), махровое банное полотенце (в 1 слой), носовой платок ( в 1—4 слоя) — все влажные, простыня (в 1 слой), хлопчатобумажная рубашка (в 2 слоя)	55—70
Носовой платок (в 80—16 слоев), туалетная бумага (в 3 слоя), махровое банное полотенце (в 2 слоя)	85—95

Использование средств индивидуальной защиты населения планируется и осуществляется на ранней и промежуточной фазах радиационной аварии как обязательное дополнение к укрытию и эвакуации населения, осуществляемое прежде всего в период прохождения облака радиоактивного выброса и в период формирования следа радиоактивного облака. Целями этих мер является предотвращение или снижение поступления радиоактивности через органы дыхания и снижение уровней радиоактивного загрязнения поверхности тела.

В качестве специальных средств индивидуальной защиты органов дыхания населения, обеспечивающих защиту от радиоактивных аэрозолей, газообразных и летучих радионуклидов, используются специальные респираторы, основные характеристики которых представлены в табл. 5.6 и гражданские противогазы, основные характеристики которых представлены в табл. 6.12 [59].

Таблица 6.12

## Защитные характеристики гражданских противогазов

Наименование показателей	Гражданские противогазы					
	ГП-5	ГП-7 (ГП-7В с ДППГ-1, ДППГ-3)	ПДФ-2Д с ДППГ-1, ДППГ-3	ПДФ-2Ш с ДППГ-1, ДППГ-3	ВК с ДППГ-1, ДППГ-3	АВИ
Сопrotивление постоянному потоку воздуха, Па, не более	206	178	178	178	206	118
Масса, кг, не более	1,2	0,9	0,75	0,85	1,3	0,85
Коэффициент проницаемости по аэрозолю масляного тумана с дисперсностью 0,3 мкм, %, не более	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,1
Коэффициент подсоса по аэрозолю масляного тумана, %, не более	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Гарантийный срок хранения, лет	15	10	10	10	10	5
Время защитного действия, мин., не менее: по отравляющим веществам (газ, пар) (СО ~5,0 мг/л) по АХОВ (газ, пар) (СО ~5,0 мг/л)	240 не обеспечивает	240 60	240 60	240 60	240 60	По ТУ не обеспечивает

**Примечание:** ГП — гражданский противогаз; ПДФ — детский противогаз фильтрующий; АВИ — противогаз фильтрующий с коробкой АВИ; ВК — противогаз фильтрующий с коробкой ВК; ДППГ — дополнительный патрон.

И все же для населения наиболее доступной мерой является применение предметов личного пользования в качестве простых средств защиты органов дыхания (марлевых повязок, шарфов, полотенец и т.п.) во время перемещения к укрытиям, нахождения в укрытиях и в ходе эвакуации.

В качестве защитной одежды населения, как средства защиты поверхности тела от радиоактивного загрязнения, используются, как правило, подручные средства (плащи, накидки и т.п.). При этом при радиоактивном загрязнении верхней одежды предусматривается:

- предотвращение заноса радиоактивных веществ в убежища с загрязненной одеждой путем создания на входе в убежище пункта радиометрического контроля, санитарного шлюза и места складирования загрязненной одежды;
- контроль за загрязнением одежды в сборных эвакуопунктах;
- замену загрязненной одежды на чистую, для чего создаются запасы одежды.

### *Эвакуация населения*

Эвакуация населения представляет собой наиболее эффективную, но крайнюю защитную меру, которая осуществляется в случае необходимости на протяжении ранней и промежуточной фаз аварии. Эвакуация может быть эффективной мерой и после нахождения населения в укрытиях как способ снижения дозы облучения от загрязненной окружающей среды. Так как максимальные мощности дозы гамма-излучения характерны для начального периода аварии, особенно при наличии в выброшенной смеси короткоживущих радионуклидов, то срок начала эвакуации должен быть как можно более ранним.

Сущность эвакуации заключается в организованном перемещении населения и материальных ценностей в безопасные районы.

Говоря об эвакуации населения в целом, при всех типах опасностей, следует отметить, что виды эвакуации классифицируются по разным признакам:

- по видам опасности: эвакуация из зон радиоактивного загрязнения, химического или биологического заражения, катастрофического затопления и других;
- по способам эвакуации: различными видами транспорта, пешим порядком, комбинированным способом;
- удаленности: локальная (в пределах города, района); местная (в границах субъекта Российской Федерации, муниципального образования); региональная (в границах федерального округа); государственная (в пределах Российской Федерации);
- по временным показателям: временная (с возвращением на постоянное место жительства в течение нескольких суток); среднесрочная — до 1 месяца; продолжительная — более месяца.

В зависимости от времени и сроков проведения выделяются следующие варианты эвакуации населения: упреждающая (заблаговременная); экстренная (безотлагательная).

Упреждающая эвакуация населения проводится при получении достоверных данных о высокой вероятности возникновения запроектной аварии на ра-

диационно опасном объекте. Основанием для проведения данной эвакуации является краткосрочный прогноз возникновения запроектной аварии на период от нескольких десятков минут до нескольких суток.

Экстренная эвакуация населения проводится в случае возникновения аварии с опасными поражающими воздействиями. Вывод (вывоз) населения из зоны поражающих воздействий в этом случае может осуществляться при малом времени упреждения и в условиях уже воздействия на людей поражающих факторов.

В зависимости от охвата эвакуационными мероприятиями населения, оказавшегося в зоне радиационной аварии, выделяют следующие варианты их проведения: общая эвакуация и частичная эвакуация.

Общая эвакуация предполагает вывоз (вывод) всех категорий населения из зоны чрезвычайной ситуации.

Частичная эвакуация осуществляется при необходимости вывода из зоны чрезвычайной ситуации детей, беременных женщин и т.п.

Выбор указанных вариантов проведения эвакуации определяется в зависимости от масштабов распространения и характера опасности, достоверности прогноза ее реализации, а также перспектив хозяйственного использования производственных объектов, размещенных в зоне действия поражающих воздействий.

При принятии решения о необходимости эвакуации при радиационной аварии учитываются следующие факторы:

1. Эвакуация как экстренная мера радиационной защиты населения обязательна при прогнозируемой дозе облучения населения, равной или превышающей верхний уровень дозового критерия Б (500 мГр в расчете на все тело за первые 10 суток), независимо от затрат на ее осуществление. Мера должна применяться к населению в зоне радиационной аварии в начальном периоде аварийной ситуации.

2. При достижении прогнозируемой дозы облучения населения за первые десять суток, равной или превышающей нижний уровень дозового критерия А (50 мГ в расчете на все тело), эвакуация является желательной, но не обязательной мерой. Решение об ее проведении должно быть обосновано конкретными обстоятельствами. При убедительных сведениях о неточности прогноза дозы принимается решение о необходимости эвакуации.

3. В случае когда прогнозируемая доза облучения не достигает нижнего уровня дозового критерия, эвакуация не является необходимой мерой.

Решение на проведение общей эвакуации населения из зоны радиационной аварии принимается главой администрации субъекта Российской Федерации по докладу руководителя аварийного радиационно опасного объекта на основании прогнозируемых данных об уровнях радиационного воздействия на людей.

Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде аварийной ситуации приведены выше в табл. 6.4—6.5.

Эвакуация населения из 30-километровой зоны атомной электростанции планируется в два этапа:

— на первом этапе население доставляется от мест посадки на транспорт до промежуточных пунктов эвакуации, расположенных на границе зоны возможного радиоактивного загрязнения;

— на втором этапе население выводится с промежуточного пункта эвакуации в спланированные места временного размещения.

Промежуточные пункты эвакуации должны обеспечивать учет, регистрацию, дозиметрический контроль, санитарную обработку, медицинскую помощь и отправку эвакоконтингента к местам временного размещения. При необходимости на пунктах промежуточной эвакуации проводится замена или специальная обработка одежды и обуви, пересадка населения с «загрязненного» транспорта на «чистый». «Загрязненный» транспорт используется для перевозки населения только на загрязненной территории. «Чистый» транспорт используется для вывоза населения до мест временного размещения.

Особенности проведения эвакуации определяются характером воздействия радиационного загрязнения, численностью и охватом вывозимого населения, временем и срочностью проведения эвакомероприятий.

При получении достоверных данных о высокой вероятности возникновения запроектной аварии проводится, как указывалось выше, упреждающая (заблаговременная) эвакуация населения с вывозом его непосредственно в места временного размещения, минуя промежуточные пункты эвакуации.

В случае возникновения чрезвычайных ситуаций радиационного характера может быть проведена экстренная эвакуация населения на промежуточные пункты эвакуации. При этом эвакуация проводится без развертывания сборных эвакопунктов, автотранспорт подается непосредственно к домам в микрорайоны.

Для временного размещения эваконаселения, как правило, предусматривается два варианта — основной и запасной, в зависимости от направления ветра.

В случаях, когда не предусматривается возвращение населения в места его проживания и возобновление трудовой деятельности в предвидимом будущем, производится **отселение населения**. Это наиболее жесткая мера радиационной защиты. Однако она не будет эффективной, если радиоактивное загрязнение обусловлено в значительной степени короткоживущими радионуклидами, а отселение при этом проведено с промедлением.

Отселение планируется только при таких сценариях аварии, когда результирующая мощность сочетанной дозы облучения населения медленно спадает во времени и когда допустим период времени на подготовку и осуществление отселения в течение поздней фазы аварии. Во всех других ситуациях разрабатываются планы экстренной эвакуации, которая может перейти в отселение при невозможности возврата населения, выявленной конкретными обследованиями зоны радиоактивного загрязнения.

### *Нормализация радиационной обстановки при ее ухудшении*

Проблема нормализации радиационной обстановки в интересах обеспечения радиационной безопасности населения возникает в случае, когда в резу-



льтате радиационной аварии происходит загрязнение окружающей среды радионуклидами за пределами радиационно опасного объекта. Она решается в целях снижения доз облучения населения, обеспечения нормальных условий его жизнедеятельности и достигается с помощью следующих обобщенных мероприятий:

- выявления и оценки радиационной обстановки;
- экранизации источников ионизирующих излучений;
- локализации радиоактивных загрязнений;
- дезактивации населенных пунктов, территорий, автотранспорта и других технических средств.

**Выявление радиационной обстановки** состоит в определении методом прогнозирования или по данным радиационной разведки масштабов и степени радиоактивного загрязнения окружающей среды. **Оценка радиационной обстановки** включает определение влияния загрязнения на поведение населения, действия сил, привлекаемых к нормализации радиационной обстановки, а также мер защиты населения и этих сил.

При выявлении радиационной обстановки решаются следующие задачи:

- прогнозирование радиологических последствий возможных аварий;
- обнаружение радиоактивного загрязнения;
- радиационная разведка и контроль за распространением радиоактивных веществ;
- установление границ и степени (плотности) радиоактивного загрязнения;
- определение оптимальных маршрутов движения людей, транспорта и другой техники к аварийному объекту, эвакуации населения и сельскохозяйственных животных.

Прогнозирование радиологических последствий радиационных аварий с выбросом (сбросом) радионуклидов в окружающую среду преследует следующие цели:

- определение радиологической значимости аварии на основе оценки потенциальных доз облучения населения;
- классификацию аварий по радиологической тяжести и выбор на этой основе оптимальных мер радиационной защиты населения.

При прогнозировании радиологических последствий радиационных аварий осуществляется:

- определение масштабов распространения радиоактивных веществ (определение границ зоны радиационной аварии) в зависимости от характеристик выброса (сброса), географических, погодных и других природных условий;
- оценка уровней радиоактивного загрязнения окружающей среды на различных фазах аварии в зависимости от местоположения относительно источника выброса;
- оценка потенциальных доз облучения населения на различных фазах аварии.

Прогнозирование радиологических последствий аварий проводится при нормальной эксплуатации радиационно опасного объекта при разработке соответствующих аварийных планов. Прогноз уточняется на ранней, промежуточной и поздней фазах аварии на основе получаемых данных разведки о радиационной обстановке с целью корректировки планов и способов ликвидации последствий аварии.

Для обнаружения радиоактивного загрязнения используются автоматизированные системы контроля выбросов радиоактивных веществ, установленные на зданиях и сооружениях радиационно опасных объектов, и автоматизированные системы контроля радиационной обстановки в санитарно-защитных зонах и зонах наблюдения этих объектов. Кроме того, контроль радиационной обстановки осуществляется сетью наблюдения и лабораторного контроля (СНЛК) гражданской обороны.

Радиационная разведка включает обследование (контроль) территории (акватории, воздушного пространства), зданий, сооружений, техники в целях подтверждения факта их радиоактивного загрязнения, определения направления движения загрязненного облака, мощности дозы и плотности радиоактивного загрязнения, обозначения радиационно опасных районов (участков) местности, отдельных объектов и маршрутов.

Радиационная разведка организуется и осуществляется на основе данных прогноза о районах радиоактивного загрязнения и сложившейся радиационной обстановке. Специфика радиационной разведки определяется особенностями формирования радиационной обстановки. Данные разведки используются для оценки возможного уровня внешнего и внутреннего облучения населения, для установления необходимости эвакуации населения, установления режимов работы людей, привлекаемых для локализации и ликвидации последствий аварии.

Радиационная разведка ведется на воздушных и наземных транспортных средствах, а в некоторых случаях — пешим порядком.

К радиационной разведке привлекаются подразделения Росгидромета, подразделения радиационной и химической разведки соединений и частей Минобороны России, соединений и частей войск гражданской обороны, аварийно-спасательных формирований.

Воздушные средства радиационной разведки, оснащенные бортовой аппаратурой аэрогаммасъемки, используются для оперативного выявления характера и масштабов радиационной обстановки.

Воздушная радиационная разведка, в зависимости от поставленных задач, может осуществляться специально подготовленными авиационными экипажами на специально оборудованных самолетах и вертолетах.

Для наземной радиационной разведки применяются штатные машины радиационной и химической разведки УАЗ-469рх, БРДМ-2рх, РХМ, а в условиях высоких уровней радиоактивного загрязнения — специально оборудованные инженерные машины разграждения (ИМР), машины «Комплект-1», «Комплект-2».

Наземная радиационная разведка района (участка) местности в зависимости от его площади и времени, установленного на разведку, ведется выделенным подразделением разведки, как правило, в полном составе. Основными способами ведения разведки при этом могут быть способы параллельного галсирования, или «гребенка».

В зависимости от задач, поставленных перед подразделением (формированием) наземной радиационной разведки, выявление радиационной обстановки на автомобилях (бронетранспортерах) осуществляется проведением измерений мощностей доз на маршрутах движения (разведки), а также определением характера и степени загрязнения территории с помощью радиометра.

Измеренные через равные (фиксированные) расстояния на местности показатели мощности дозы отображаются на картах (план-схемах) с указанием точек и времени замеров. При наличии на маршруте движения характерных ориентиров мощность дозы (степень загрязнения) измеряется вблизи таких ориентиров, которые также отображаются на карте. Результаты обследования радиационной обстановки фиксируются в журнале.

При достижении заданных (граничных) значений мощности дозы (степени загрязнения) делается короткая остановка для обозначения этой точки знаком (указателем) ограждения и отбора проб почвы с заполнением паспорта на пробу. При измерении мощности дозы непосредственно с машины учитывается коэффициент ослабления излучений транспортным средством, а также возможность вторичного радиоактивного загрязнения машины до такой степени, при которой оно будет оказывать влияние на показание радиометрической аппаратуры.

Группы (расчеты, звенья) пешей наземной радиационной разведки выполняют задачи по оценке степени загрязнения труднопроходимых мест, районов и населенных пунктов, где невозможно проведение радиационной разведки на автомобилях. Обследование загрязненной территории проводится методом непрерывного замера мощности дозы. Через каждые 100—300 м проводятся замеры мощности дозы и плотности загрязнения двумя приборами с нанесением на карту (план-схему) номера точки и времени замера. Маршрут движения расчета (звена) пешей разведки определяется заблаговременно по данным прогноза и уточняется на основании первичных данных о радиационной обстановке, полученных после проведения воздушной разведки.

При проведении обследования населенного пункта производится обязательное измерение мощности дозы у входов в общественные здания, жилые помещения, школы, детские дошкольные учреждения, клубы, магазины и другие места возможного скопления людей. При необходимости проводится обследование во дворах частных домов. В ходе разведки уточняется схема обследования населенного пункта и на нее наносятся дополнительные ориентиры, позволяющие в дальнейшем точно установить места проведения измерений и пробоотбора.

Приусадебные участки и территории, прилегающие к школам, детским дошкольным учреждениям и т.д., обследуются по диагонали с проведением

замеров не менее чем в трех характерных точках с одновременным отбором проб.

В случае обнаружения локальных очагов (участков с высокими уровнями) радиоактивного загрязнения, начиная с указанной (граничной) мощности дозы (степени загрязнения), проводится их оконтуривание путем замера мощности дозы по двум взаимно перпендикулярным направлениям, проходящим через центр участка. Замеры производятся через каждые 5—10 м до установления величин мощности дозы менее установленных.

Окончательные результаты обследования загрязненной местности с указанием значений мощности дозы, времени и мест замеров и отбора проб вместе с картами (план-схемами) направляются в органы управления и заинтересованные организации для обобщения, анализа и принятия соответствующих решений по мерам обеспечения радиационной безопасности населения, нормализации радиационной обстановки.

**Экранизация источников ионизирующих излучений** осуществляется в целях снижения доз облучения населения. Подробнее об этом мероприятии было рассказано в предыдущей главе. Говоря о защите населения, следует отметить, что вне территории радиационно опасного объекта чаще всего экранизация загрязненных территорий (отдельных источников ионизирующих излучений) осуществляется методом асфальтирования дорог и участков территорий, засыпкой «чистым» песком и землей, укладкой железобетонных плит и т.п., что обеспечивает снижение уровней радиации в десятки раз.

Нередко при ликвидации последствий радиационных аварий возникает необходимость **локализации радиоактивных загрязнений**, их закрепления с целью воспрепятствовать переносу (распространению) радионуклидов.

Эта задача решается как с помощью водоохраных мероприятий, так и использования различных пленкообразующих веществ.

Так, например, при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС были выполнены следующие водоохраные мероприятия:

- создана противофильтрационная стена вокруг АЭС — глиняная перемычка в грунте глубиной 30 м, предназначенная для предотвращения попадания радионуклидов в подземные воды из зоны аварийных объектов АЭС;
- для регулирования уровня загрязнения подземных вод в ближней зоне АЭС сооружена линейная дренажная система скважин;
- сооружена дренажная система вдоль р. Припять и пруда-охладителя для перехвата естественного потока фильтрационных загрязненных вод из пруда в р. Припять;
- обвалованы берега р. Припять для предотвращения поверхностного смыва с дождевыми водами и др.

Кроме того, осуществлялась отсыпка камнебросных запруд и создание фильтрующих завес в водном потоке путем периодического распыления (рассыпки) по поверхности воды мелкой фракции цеолитового туфа, который в процессе опускания на дно реки захватывал радионуклиды из воды.

Для задержки твердых радиоактивных осадков устанавливались донные запруды путем сброса камней в реку.

На втором этапе выполнялись работы по возведению земляных защитных дамб по берегам рек и оборудованию фильтрующих траншей с засыпкой их сорбентом (туфом).

Наиболее крупными по масштабам были работы третьего этапа, связанные с перекрытием рек и каналов фильтрующими дамбами и перемычками, состоящими из щебня и цеолита. При этом откосы фильтрующих перемычек с верхней стороны обсыпались одним цеолитом толщиной до 6 м. По данным контроля применение фильтрующих дамб снижало содержание стронция-90 в воде в 15 раз, цезия-137 — в 35 раз, мелких взвешенных частиц — в 350—450 раз, а после прохождения воды через цеолит (туф) она практически полностью очищалась.

Проведенные водоохраные мероприятия позволили локализовать распространение радионуклидов водным путем, обеспечить соответствие качества воды в бассейне Днепра санитарным нормам.

Задача же локализации радиоактивных загрязнений территорий решается, как правило, с использованием пленкообразующих веществ типа поливинилового спирта, сульфатно-спиртовой барды, латекса, нефтяного шлама и других.

Эти вещества применяются с использованием авиационных средств (специально оборудованных самолетов и вертолетов), а также наземных средств (авторазливающих станций).

Так, например, одна авторазливающая станция при заправке 2,5 т раствора и скорости движения 12 км/ч производит обработку 1 км обочины дороги шириной 2—3 м с расходом раствора 2,5 л/м<sup>2</sup>.

Опыт работ по локализации радиоактивных загрязнений при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС позволил сделать следующие выводы:

— применение средств пылеподавления существенно снижает возможности ветрового переноса радиоактивных веществ;

— для подавления пылеобразования на участках местности, не подверженных механическому воздействию, в наибольшей степени предъявляемым требованиям отвечает рецептура на основе ГИПАНа (гидролизованного полиакрилнитрила);

— для покрытия бетонных плит и отдельных бетонированных участков целесообразно использовать рецептуру на основе карбамидной смолы и поливинилового дисперсии — ПВА;

— предотвращение пылеобразования на грунтовых дорогах и обочинах дорог с твердым покрытием успешно осуществляется с помощью нефтяных шламов.

**Дезактивация различных поверхностей**, загрязненных радионуклидами, является достаточно эффективным способом снижения доз облучения населения, обеспечения его радиационной безопасности. В зависимости от типа загрязненной поверхности (дерево, металл, бетон и т.п.), ее состояния (чистая, загрязненная, имеющая лакокрасочное покрытие и т.п.), с учетом характера загрязняющих веществ (жидкость, аэрозоль), а также времени, прошедшего после загрязнения, дезактивация осуществляется соответствующими способа-

ми (физическими, химическими, физико-химическими и т.д.) с использованием различных дезактивирующих средств.

Лучше всего этот вопрос рассмотреть также на основе опыта дезактивационных работ при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Так, например, **дезактивация населенного пункта**, как правило, проводилась силами одного батальона войск гражданской обороны (войск радиационной, химической и бактериологической защиты). К выполнению задачи привлекалось 250—300 чел. личного состава и до 50—60 ед. техники (АРС-14 — 35—40 ед., БРДМ-2рх — 1—2 ед., бульдозеров — 1—2 ед.). С помощью одной машины АРС-14 в течение дня проводилась дезактивация 2—3 дворов.

Работы по дезактивации населенных пунктов проводились в 3 этапа. **На первом этапе** осуществлялась дезактивация улиц (дорог), территории животноводческих ферм, площадей способом грейдирования, приусадебных участков — перекапыванием земли. **На втором этапе** осуществлялась дезактивация домов и строений с помощью АРС-14 брандспойтами со щетками с расходом дезактивирующего раствора на основе порошка СФ-2у 5—6 л/м<sup>2</sup>. **На третьем этапе** осуществлялась повторная дезактивация домов и строений с нормой расхода дезактивирующего раствора 8—10 л/м<sup>2</sup>.

Эффективность указанных методов дезактивации населенных пунктов достаточно низкая в основном из-за пористости поверхностей стройматериалов (особенно сельских зданий), постоянного переноса радиоактивных частиц ветром и транспортными средствами. Примерно в 30—40 % случаев из-за этого проводилась повторная дезактивация, а в ряде случаев она повторялась и в третий раз. Нередко приходилось менять кровельные покрытия (шифер, покрытый мхом, солому), деревянные заборы. Большие трудности возникали со сбором и захоронением обмывочных растворов, снятого грунта. Приходилось оборудовать большое количество могильников для их захоронения. Насосные станции АРС-14 и поливочных машин, используемых для дезактивации, не обеспечивают создание необходимого напора при обработке многоэтажных зданий. Приходилось для этих целей использовать пожарные машины.

Несмотря на перечисленные недостатки, изложенные способы дезактивации населенных пунктов позволили значительно снизить дозы облучения населения, проживающего на загрязненных территориях.

Данные об эффективности применяемых способов при дезактивации населенных пунктов приведены в табл. 6.13.

**Дезактивация дорог** осуществлялась проведением целого комплекса мероприятий. В первую очередь производилась обработка пылеобразующих участков дорог и прилегающей местности, по которым предусматривается передвижение техники во время выполнения дезактивационных работ, путем увлажнения с помощью пожарных машин или АРСов. Затем проводилась обработка проезжей части дорог. Дезактивация дорог с твердым покрытием проводилась с использованием АРС-14 и поливочных машин с нормой расхода дезактивирующего раствора СФ-2у 3—5 л/м<sup>2</sup>. На отдельных участках обработка проводилась с дополнительным растиранием дезактивирующего раствора щетка-

Таблица 6.13

Показатели эффективности способов дезактивации населенных пунктов, местности и дорог

Объект дезактивации	Способ дезактивации	Коэффициент дезактивации
Наружные поверхности кирпичных зданий	Удаление шлифовальной машинкой поверхностного загрязненного слоя толщиной 1 мм Обработка раствором СФ-2у	6—7 1,2—1,5
Внутренние поверхности жилых домов	Обработка растворами СФ-2у (СФ-3к) с помощью приборов ДКВ-1 или вручную	1,5—2,5
Участки местности в населенных пунктах	Срезание верхнего слоя грунта на глубину 10—15 см	3—4
	Изоляция песком и гравием с толщиной слоя 10 см	3—4
	Перепахивание	2—2,5
	Изоляция железобетонными плитами толщиной 20 см	10—20
Поверхности дорог с твердым покрытием в населенных пунктах	Двукратная обработка водными растворами СФ-2у	2—3
	Удаление загрязненного снега (льда) на глубину 15—20 см	2—5
Поверхности дорог с твердым покрытием вне населенных пунктов	Трехкратная обработка водными растворами СФ-2у с помощью АРС-14 или поливомоечных машин	2—3

ми с последующим смывом водой. При разовой обработке дорог таким способом степень загрязнения снижалась примерно в 2 раза. Для достижения установленной допустимой степени загрязнения обработку, как правило, приходилось повторять через 2—3 суток, а в некоторых случаях прибегать к новому асфальтированию дороги или ее отдельных участков.

После обработки проезжей части дороги осуществлялась дезактивация обочин и кюветов путем снятия загрязненного грунта грейдированием на толщину 2—5 см. Также грейдированием осуществлялась дезактивация проезжей части грунтовых дорог. Степень снижения плотности загрязнения при этом достигалась до 5—8 раз. Снятый грунт вывозился в места захоронения.

Данные по эффективности способов дезактивации дорог представлены в приведенной выше табл. 6.13.

**Дезактивация автотранспорта** проводилась на стационарных и подвижных пунктах специальной обработки. Каждый из них включал 2—3 участка спецобработки и санпропускник. На каждом участке имелись: контрольно-распреде-

лительный пункт, площадка грубой очистки техники от грязи (снега, льда), линия дезактивации с оборудованными рабочими местами на основе АРС-14, а также очистных машин ОМ-22616, площадка контроля полноты дезактивации.

В дни напряженной круглосуточной работы (по 8 часов в смену) на каждом таком пункте специальной обработки обрабатывалось до 400 единиц техники.

Опыт работы показывает, что для достижения снижения степени загрязнения техники на 60—70 % необходима 2-3-кратная дезактивация, при этом на каждую единицу техники расход дезактивирующего раствора на основе порошка СФ-2у составляет в среднем 500 л.

Большие трудности при этом вызывала дезактивация ходовой части машин и их двигателей, что связано с низким напором в брандспойтах АРС-14 и отсутствием специальных средств для дезактивации двигателей. Частично удалось решить эту задачу при использовании очистных машин ОМ-22616, позволяющих проводить дезактивацию пароводяной смесью под давлением до 50 кгс/см<sup>2</sup>. И все же нередко приходилось прибегать к агрегатной обработке техники, т.е. к ее разборке и дезактивации по частям.

В табл. 6.14 представлены вещества и рецептуры, применяемые для дезактивации техники и различных поверхностей.

## **6.2. Обеспечение химической безопасности населения**

Обеспечение химической безопасности населения, как и персонала химически опасных объектов, осуществляется в основном проведением медико-санитарных, организационных и организационно-технических мероприятий.

### ***Медико-санитарные мероприятия***

Регламентация обеспечения химической безопасности населения при нормальной эксплуатации химически опасных объектов отражена в приведенных выше табл. 1.14, 5.15 и 5.16. Вопросы же санитарно-гигиенического обеспечения населения при химических авариях заслуживают дополнительного рассмотрения.

Санитарно-гигиеническое обеспечение населения при химических авариях включает комплекс организационных мероприятий и надзорных функций, направленных на предупреждение, снижение и ликвидацию неблагоприятных медико-санитарных и санитарно-эпидемиологических последствий химических аварий [98].

Эти мероприятия находят отражение в «Типовых планах медико-санитарного обеспечения населения при химических авариях», разрабатываемых в органах исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органах местного самоуправления, на территориях которых имеются химически опасные объекты и на самих объектах и реализуемых этими органами и руководством химически опасных объектов при возникновении химических аварий.



Таблица 6.14

Вещества и рецептуры, применяемые для дезактивации техники и различных поверхностей

Наименование вещества, рецептуры, раствора	Для каких целей используется	Расход, л/м <sup>2</sup>	Средство применения
0,075—15 %-ные растворы порошков СФ-2У, СФ-3	Обработка техники, сооружений	1,5—3,0	Брандспойт и щетка
1 %-ный водный раствор порошка СН-50	Обработка техники, сооружений	1,5—3,0	Брандспойт и щетка
1—4 %-ный раствор пасты РАС (алкиларилсульфат)	Обработка техники, сооружений	1,5—3,0	Брандспойт и щетка
0,4 %-ный раствор фторэтила	Обработка техники, сооружений	1,5—3,0	Брандспойт и щетка
0,3 %-ный водный раствор порошков СФ-2У, СФ-3	Обработка окрашенных поверхностей помещений	1,0—2,0	Ветошь и щетка
2—3 %-ный раствор едкого натра NaOH и 0,5 % раствор перманганата калия KMnO <sub>4</sub>	Обработка пластиковых полов и металлических поверхностей	2,0—3,0	Ветошь и щетка
2—3 %-ный водный раствор щавелевой кислоты H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Обработка пластиковых полов и металлических поверхностей	2,0—3,0	Ветошь и щетка
4—5 %-ный водный раствор едкого натра NaOH и 0,1 % водный раствор перманганата калия KMnO <sub>4</sub>	Обработка замасленных поверхностей	2,0—3,0	Щетка
1 %-ный водный раствор азотной кислоты HNO <sub>3</sub>	Обработка замасленных поверхностей	2,0—3,0	Щетка

Продолжение табл. 6.14

Наименование вещества, рецептуры, раствора	Для каких целей используется	Расход, л/м <sup>2</sup>	Средство применения
Водный раствор из 1 % гексаметафосфата натрия (ГМФН) $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ и 0,2 % смачивателя ОП-7 или ОП-10	Обработка замазочных поверхностей	3,0	Щетка
Покрытие ВЛ-85-03К (ВЛ-85-32) после обработки 5 %-ным раствором уксусной кислоты $\text{CH}_3\text{COOH}$ и 1 %-ным раствором азотной кислоты $\text{HNO}_3$	Деактивация бетонных полов	1,0	Кисть, распылитель
Раствор № 1 (5 %-ный раствор едкого натра $\text{NaOH}$ + 1 %-ный раствор перманганата калия $\text{KMnO}_4$ в воде)	Обработка техники	2,0—3,0	Брандспойт и щетка
Раствор № 2 (4 %-ный раствор порошка СФ-2У или 2 %-ный раствор порошка СФ-2У + 2 %-ный раствор щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ в воде)	Обработка техники	2,0—3,0	Брандспойт и щетка
Рецептура — 3 г порошка ОП-7 + 40 г соляной кислоты $\text{HCl}$ + 4 г гексаметафосфата натрия (ГМФН) на 1 л воды	Деактивация поверхностей с глубинным загрязнением	2,0—3,0	Брандспойт и щетка
Раствор № 3 (5 % раствор соды $\text{NaCO}_3$ + 0,1 %-ный раствор перманганата калия $\text{KMnO}_4$ + 4 г гексаметафосфата натрия (ГМФН) в воде или 2 %-ный раствор азотной кислоты $\text{HNO}_3$ + 0,2 %-ный раствор фтористого натрия $\text{NaF}$ + 0,5 %-ный раствор моющего порошка «Новость» в воде)	Деактивация резины	2,0—3,0	Брандспойт и щетка

**Примечание:** из отходов производства для деактивации транспортных и технических средств, зданий и сооружений могут применяться растворы, содержащие в своем составе 0,15 % и более поверхностно-активных веществ.

Типовой план медико-санитарного обеспечения населения при химических авариях должен содержать информацию, включающую: общую характеристику объекта; ситуационную план-схему производства и селитебной зоны; численность работающих (по сменам) и населения прилегающих районов; розу ветров и другие метеоданные (температурный режим, влажность воздуха); характеристику водного бассейна, систем водоснабжения и канализации; техническую классификацию аварийно опасных узлов на объекте; данные по объему и токсичности АХОВ (аварийную карточку химического вещества); условия распространения АХОВ; оценку вероятной степени и масштабов загрязнения; расчет ожидаемых санитарных потерь, данные о лечебно-профилактических учреждениях, возможных путях и пунктах эвакуации; перечень санитарных мероприятий по ликвидации последствий аварии; схему организации оказания медицинской помощи пораженным [98].

Следует отметить, что при химических авариях воздействие токсичных веществ (установленных или не установленных) на человека может быть однократным или повторяющимся, прямым или опосредованным, а характер последствий этого воздействия определяется особенностями биологического действия АХОВ.

При этом основными параметрами, определяющими степень опасности заражения окружающей среды и поражения людей, являются: масса, агрегатное состояние и токсичность выбрасываемых веществ, метеорологические условия, рельеф местности в районе аварии, плотность застройки и проживания, наличие мест массового пребывания людей и т.п.

Массовость поражения людей в очаге химической аварии определяется как абсолютной численностью пораженных, так и их удельным весом среди населения. Массовые случаи поражения условно разделяют по интенсивности поражения (случаев на 1 тыс. населения) следующим образом: низкая — до 20; средняя — 21—50; высокая — 51—100; очень высокая — свыше 100.

Для ликвидации медико-санитарных последствий химических аварий локального и территориального уровня все лечебно-профилактические мероприятия проводятся территориальной сетью здравоохранения. Для ликвидации последствий более крупных аварий привлекают силы и средства регионального и федерального уровня.

Участие и уровень вмешательства медицинских формирований при химических авариях, количество привлекаемых сил и средств определяются в каждом конкретном случае, исходя из сложившейся ситуации. При этом учитывается: наличие пораженных и степень тяжести их состояния; реальная угроза дополнительного поражения населения; поступление в окружающую среду токсичных идентифицированных и неидентифицированных веществ; последствия заражения биосферы; опасность для человека и среды его обитания.

Говоря непосредственно о санитарно-гигиенических мероприятиях при химических авариях, следует отметить, что их перечень включает: меры по ограничению неблагоприятных воздействий АХОВ на население; идентификацию АХОВ; оценку степени заражения и масштабов аварии; разработку

рекомендаций по безопасному ведению работ в зоне поражения; оценку эффективности работ по ликвидации последствий аварии.

Приоритетными же санитарно-гигиеническими направлениями деятельности в районе химической аварии являются:

— санитарно-гигиеническое и противоэпидемическое обеспечение населения, которое осуществляется специализированными формированиями санэпидслужбы;

— проведение санитарно-химической разведки и определение степени опасности заражения окружающей среды (воздух, вода, почва, растительность и др.);

— разработка рекомендаций по защите (коллективной, индивидуальной: с использованием средств индивидуальной защиты и антидотов) пораженных, населения и спасателей в зоне аварии;

— оценка степени заражения кожных покровов, слизистых оболочек, одежды, обуви и других объектов; организация санитарно-пропускного режима и контроля за специальной обработкой пораженных и лиц, имеющих заражения;

— разработка рекомендаций по эвакуации пораженных и лиц, находящихся в зоне аварии, и по оптимальному проведению эвакуационных работ;

— оценка состояния здоровья населения, попавшего в зону химического заражения;

— разработка рекомендаций по режиму работы аварийно-спасательных и специализированных формирований и санитарно-гигиенический контроль за их функционированием;

— разработка прогноза развития санитарно-эпидемиологической обстановки в районе аварии и определение характера, последовательности и объема санитарно-гигиенических и противоэпидемических мероприятий с расчетом соответствующих сил и средств;

— оценка предлагаемых методов дегазации и гигиенический контроль за состоянием объектов окружающей среды после проведения дегазационных мероприятий;

— гигиеническая оценка пригодности и безопасности источников питьевого водоснабжения и продуктов питания;

— противоэпидемические мероприятия по предупреждению заноса и распространения массовых инфекционных заболеваний, а также выявлению, локализации и ликвидации эпидемических очагов;

— санитарный контроль за утилизацией зараженных отходов и захоронением погибших и умерших.

Непосредственно при возникновении химических аварий санитарно-гигиенические мероприятия проводятся по следующим основным направлениям:

— санитарно-эпидемиологический надзор за условиями окружающей среды на аварийном объекте и смежных с ним предприятиях;

— оценка состояния здоровья людей;

— проведение санитарно-противоэпидемиологических мероприятий.

Для анализа санитарно-эпидемиологической обстановки, создавшейся после химической аварии, целесообразно применять оперативное прогнозирование (методы математического расчета). Основой для этих расчетов являются материалы санитарного паспорта потенциальной аварийной опасности конкретного химического производства и паспорта безопасности административно-территориальных единиц. С учетом полученных расчетных данных могут быть оценены рациональность уже принятых в первые часы после аварии решений и многовариантность сценария ее развития.

Результатом гигиенической оценки аварийной ситуации в первые часы после аварии является определение зон опасности отравлений, разработка рекомендаций по применению средств защиты людей (индивидуальных и коллективных), дегазационным мероприятиям и объему эвакуации людей из зоны поражения.

Проводится информирование медицинского персонала, осуществляющего оказание медицинской помощи пораженным, об уровнях воздействия АХОВ с их токсикологической оценкой, предоставляются сведения об особенностях биологического действия токсиканта.

При развертывании вблизи очага аварии подвижных медицинских формирований (в том числе полевого многопрофильного госпиталя) выдаются рекомендации по месту их размещения, санитарно-гигиеническому и противоэпидемическому режиму работы и осуществляется постоянный надзор за их функционированием.

При аварии с неизвестным химическим веществом на первоначальном этапе производится опрос населения для сбора сведений о жалобах на самочувствие, наличие специфического запаха, раздражение верхних дыхательных путей и производится регистрация всех случаев «неизвестных» заболеваний, а также заболеваний (падежа) домашних животных, гибель рыб, поражение растительности и др.

После завершения предварительной гигиенической оценки аварийной ситуации и проведения ориентировочных санитарных прогнозов последствий химического заражения составляется оперативный перечень санитарно-гигиенических мероприятий, целью которых является санитарный надзор за состоянием окружающей среды, ликвидация медико-санитарных последствий аварии и оценка здоровья людей.

В первоначальный период (этап гигиенической диагностики и анализа) уточняются границы химического заражения и проводится нанесение их на карту. Определяются расстояния до ближайших населенных пунктов и уточняется информация о количестве и составе проживающих. На основе этих данных, а также работ по индикации веществ, органами и учреждениями санэпиднадзора определяются объемы санитарно-гигиенических мероприятий по ликвидации последствий химических аварий.

К числу основных санитарно-гигиенических мероприятий, проводимых в зоне аварии в период выполнения аварийно-спасательных работ, безусловно, следует отнести меры по защите находящихся в ней людей. Эти мероприя-

тия позволяют не только снизить неблагоприятные последствия аварии, но зачастую вообще предотвратить их.

Особую роль в ряде мер защиты принадлежит так называемой медицинской защите, предусматривающей использование химиопротекторов и антидотов. Эти мероприятия должны осуществляться прежде всего работающими в очаге или вблизи него аварийно-спасательными или специализированными медицинскими бригадами. В рамках подготовки к выполнению мероприятий медицинской защиты следует проводить обучение специалистов и накапливать соответствующие средства защиты.

Прерогативой санитарно-гигиенических исследований при химических авариях является оценка состояния здоровья людей и мониторинг химического заражения окружающей среды.

Для оценки возможных санитарных последствий химического заражения рекомендуется исследовать следующие объекты:

- воздушную среду;
- почву (поверхностные и глубокие слои);
- воду открытых водоемов;
- воду из подземных источников (колодцы, артезианские скважины);
- снеговой покров, лед;
- воздух жилых помещений, мест временного пребывания людей;
- смывы с поверхностей помещений, растений и т.п.

Почва является основной средой, в которой кумулируют и длительно сохраняются опасные химические вещества. Как правило, наблюдается миграция химических веществ по профилю почвы в более глубокие слои с дальнейшим накоплением как химических веществ, так и продуктов их разложения в растениях. Как показывает опыт гигиенических наблюдений, даже в случае проведения дегазационных мероприятий, остаточное заражение некоторыми АХОВ поверхностных и глубоких слоев почвы и растительности может сохраняться до 4—5 лет.

Число проб почвы, глубина шурфов, периодичность наблюдения определяются свойствами химического вещества, характером почв и геологическими особенностями территории.

Следует отметить, что значительная часть АХОВ рано или поздно попадает в водоисточники. Опасность и степень заражения ими зависят от вида водоисточника, химических свойств и агрегатного состояния веществ, их стойкости в воде и других условий. Как правило, наиболее вероятно заражение непроточных относительно небольших водоемов (пруды, озера, колодцы) и рек. Самыми опасными в смысле заражения водоисточников являются хорошо растворимые АХОВ. Учитывая высокую опасность химического заражения воды, необходим гигиенический контроль за всеми поверхностными и подземными водоисточниками. Контроль качества воды необходимо проводить периодически до получения достоверных данных об отсутствии химического заражения.

Распространение заражений АХОВ в окружающей среде в зимний период может быть оценено по содержанию веществ в снеговом или ледяном покровах.

Заражение воды АХОВ приводит к попаданию их в корневую систему растений и к накоплению в зеленой массе, овощах и фруктах. Возможна и сорбция АХОВ из атмосферного воздуха в момент аварии. Гигиеническое заключение о содержании этих веществ в растениях, фруктах и овощах является основой для принятия решения об их использовании населением.

С учетом складывающейся санитарной обстановки в восстановительный период после аварии определяются основные направления дальнейших санитарно-гигиенических мероприятий.

При обнаружении АХОВ в воде и в случае выхода из строя объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения принимаются экстренные меры по обеспечению доброкачественной питьевой водой (подвоз воды в автоцистернах, дегазация и обеззараживание воды). Продукты питания, хранящиеся в негерметичной упаковке, подлежат гигиенической экспертизе. При обнаружении в них АХОВ они подлежат обработке или уничтожению. При необходимости организуется специальная площадка для временного питания с соответствующим благоустройством, мойкой и дезинфекцией.

В случае эвакуации населения предусматриваются места для временного размещения эвакуированных из расчета  $2,75 \text{ м}^2$  на 1 чел. В палаточных городках минимальная норма площади должна быть не менее  $2,0\text{—}2,5 \text{ м}^2$  на 1 чел.

Температура воздуха в помещениях с пораженными должна быть не ниже  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  при относительной влажности  $35\text{—}65 \%$ . В палаточных городках должны быть также сушильные помещения, из расчета  $15\text{—}18 \text{ м}^2$  площади на 100 чел.

При этом должен быть налажен постоянный контроль за состоянием здоровья пораженных, в том числе за инфекционной заболеваемостью. По показаниям проводится массовая иммунизация против инфекционных болезней (брюшной тиф, сибирская язва, туляремия, вирусный гепатит и др.) и гаммаглобулинопрофилактика.

### ***Организационные и организационно-технические мероприятия***

К основным организационно-техническим мероприятиям обеспечения химической безопасности населения относятся:

- определение задач и планирование мероприятий по обеспечению химической безопасности населения;
- формирование организационных основ обеспечения химической безопасности населения и ликвидации последствий химических аварий;
- оповещение населения;
- использование средств индивидуальной и коллективной защиты;
- эвакуация населения;
- нормализация химической обстановки при ее ухудшении.

#### *Определение задач и планирование мероприятий по обеспечению химической безопасности населения*

Целью планирования мероприятий, направленных на обеспечение химической безопасности населения, предупреждение возможных химических аварий и ликвидацию их последствий, является: проведение мероприятий по за-

щите населения, проживающего вблизи химически опасных объектов, обеспечение подготовки и эффективного использования имеющихся сил и средств по предупреждению возможных химических аварий и ликвидации их последствий, выполнению аварийно-спасательных и других неотложных работ в сроки, удовлетворяющие требованиям для выживания пострадавших.

Основными исходными данными для заблаговременного планирования являются:

— данные о размещении химически опасных объектов на территории, их классификации по степени опасности, типе и количестве АХОВ, хранящихся и используемых при производстве или производимых на данном объекте, условиях их хранения, транспортировки, типе химической обстановки и ее особенностях, которая может возникнуть при аварии;

— данные об инфраструктуре территории, попадающей под воздействие последствий химической аварии, количестве проживающего на ней населения, обеспеченности населения средствами коллективной и индивидуальной защиты, наличии и возможности систем оповещения, степени готовности органов управления и населения к действиям при угрозе и возникновении химической опасности.

Планирование мероприятий по обеспечению химической безопасности населения и действий по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий осуществляется, как правило, в три этапа:

— первый этап — комплексный анализ возможной обстановки, подготовка данных для принятия решения и планирования действий, определение в соответствии с решением замысла действий по защите населения, предупреждению возможных химических аварий и ликвидации их последствий;

— второй этап — непосредственное планирование мероприятий по обеспечению химической безопасности населения и действий по предупреждению возможных химических аварий и ликвидации их последствий;

— третий этап — согласование и утверждение планов.

Кроме объектовых планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) и планов действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, рассмотренных в предыдущей главе, в которых отражен ряд вопросов обеспечения химической безопасности населения (оповещение о химической аварии, выявление химической обстановки в санитарно-защитной зоне и близлежащих от химически опасного объекта населенных пунктов и др.), в субъектах Российской Федерации и муниципальных образованиях разрабатываются планы действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций. В этих планах в специальном разделе (приложении к плану) разрабатываются мероприятия по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий, в котором отражаются вопросы обеспечения химической безопасности населения.

Указанный раздел состоит из 2 подразделов.

*Первый подраздел* — оценка возможной обстановки. Он включает:

— перечень химически опасных городов, районов и населенных пунктов, железнодорожных коммуникаций, в которых находятся химически опасные



объекты с указанием категории опасности объекта, вида и количества АХОВ, типа возможных химических аварий; оценка возможной химической обстановки; количество персонала наибольшей работающей смены на каждом опасном объекте; количество населения, проживающего в зонах возможного химического заражения;

— обеспеченность персонала химически опасных объектов и населения, проживающего в зоне возможного химического заражения, средствами индивидуальной защиты;

— количество сельскохозяйственных животных, материально-технических средств и культурных ценностей, попадающих в зону химического заражения;

— объемы и характер аварийно-спасательных и других неотложных работ, которые необходимо выполнить для ликвидации возможных химических аварий; состав первоочередных экстренных мероприятий;

— состав и возможности имеющихся сил и средств, сроки их готовности;

— состав и возможности сил и средств, прибывающих по плану взаимодействия, сроки их прибытия;

— наличие материально-технических средств, необходимых для ликвидации химических аварий;

— мероприятия, которые целесообразно выполнить заблаговременно по снижению риска возникновения химических аварий и уменьшения их масштабов;

— наличие систем оповещения, их возможности и степень готовности.

*Второй подраздел* — действия при угрозе и возникновении крупных аварий на химически опасных объектах. В нем рассматриваются:

— организация выполнения неотложных мероприятий при возникновении угрозы химической аварии;

— порядок оповещения, сроки готовности руководящего состава и органа управления ГОЧС;

— состав и сроки готовности к выезду оперативной группы;

— сроки готовности к работе оперативной группы на месте химической аварии;

— организация разведки;

— порядок оповещения населения о возникновении чрезвычайной ситуации;

— первоочередные экстренные мероприятия по защите населения (с учетом типа создавшейся химической обстановки), объемы и характер мероприятий, сроки выполнения, кто организует и выполняет;

— объемы и характер аварийно-спасательных работ (с учетом типа химической обстановки), сроки выполнения, кто организует и проводит;

— объемы и характер других неотложных работ, сроки выполнения, кто организует и проводит, сроки выполнения;

— расчет имеющихся сил и средств для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ, сроки готовности к действиям (проводится по каждому химически опасному объекту применительно к типу возможной химической обстановки);

— расчет распределения сил и средств, прибывающих по плану взаимодействия, сроки готовности к действию, их задачи.

К разделу прилагаются:

1. Карта с нанесенными:

— химически опасными объектами, с указанием вида и количества АХОВ, санитарно-защитных зон и зон возможного химического заражения;

— районами размещения сил, привлекаемых к проведению мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий возможных химических аварий, маршрутами выдвижения в районы возможных действий, районами сосредоточения (рубежами ввода), сроками готовности;

— районами размещения учреждений, системы наблюдения и лабораторного контроля, маршрутами полета самолетов воздушной разведки, маршрутами (районами) ведения разведки.

2. Решение руководителя работ по ликвидации химической аварии и ее последствий на действия по ликвидации чрезвычайной ситуации химического характера.

3. Расчет сил и средств по каждому химически опасному объекту для выполнения мероприятий по предотвращению химических аварий и ликвидации их последствий.

### *Формирование организационных основ обеспечения химической безопасности населения и ликвидации последствий химических аварий*

Обеспечение химической безопасности населения (защиты населения при химических авариях) в соответствии со ст. 72 Конституции Российской Федерации находится в совместном ведении Российской Федерации и субъектов Российской Федерации.

К полномочиям Российской Федерации в области обеспечения химической безопасности населения относятся:

— определение государственной политики в области обеспечения химической безопасности населения и ее реализация;

— разработка и принятие федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации в области обеспечения химической безопасности населения, контроль за их соблюдением;

— разработка, утверждение и реализация федеральных целевых программ в области обеспечения химической безопасности населения;

— определение видов деятельности в области использования АХОВ, подлежащих лицензированию;

— установление порядка определения видов и размеров компенсаций за повышенный риск причинения вреда здоровью граждан и нанесения убытков их имуществу, обусловленных воздействием АХОВ;

— другие полномочия в области обеспечения химической безопасности населения, отнесенные к полномочиям Российской Федерации Конституцией Российской Федерации и федеральными законами.

На органы местного самоуправления и органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации в вопросах обеспечения химической безо-

пасности населения, предупреждения химических аварий и ликвидации их последствий возлагается:

- участие в реализации государственной политики в области обеспечения химической безопасности населения;
- разработка законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации, нормативных правовых актов муниципальных образований в области обеспечения химической безопасности населения;
- участие в разработке и реализации федеральных целевых программ в области обеспечения химической безопасности населения;
- разработка, принятие и реализация региональных (территориальных) целевых программ в области обеспечения химической безопасности населения;
- контроль за химической обстановкой на соответствующей территории;
- обеспечение своевременного оповещения и информирование населения об угрозе возникновения и возникновении химической аварии;
- организация и проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ, а также поддержание общественного порядка в ходе их проведения;
- принятие решения о проведении эвакуационных мероприятий и организация их проведения;
- создание резервов финансовых и материальных ресурсов для обеспечения химической безопасности населения (защиты населения при химических авариях), ликвидации последствий возможных химических аварий;
- финансирование мероприятий в области защиты населения и территорий при химических авариях;
- создание, подготовка и содержание сил и средств, необходимых для защиты населения и территории при химических авариях;
- обучение населения способам и действиям в условиях химического заражения;
- другие полномочия в области обеспечения химической безопасности населения, не отнесенные к полномочиям Российской Федерации.

Наиболее ответственным этапом обеспечения химической безопасности населения является защита населения при химических авариях, ликвидация последствий химических аварий.

Организация руководства ликвидацией последствий химической аварии, в ходе которой решаются и вопросы защиты населения, зависит от масштабов химической аварии.

Если в результате выброса (разлива) АХОВ зона химического заражения распространяется за пределы промышленной площадки аварийного объекта, но в пределах территории одного субъекта Российской Федерации, то ликвидация аварии и ее последствий на территории аварийного объекта осуществляется силами и средствами объекта. Проблемы защиты населения и ликвидации последствий аварии за пределами промышленной площадки решаются силами и средствами территориальных органов исполнительной власти (территориальной подсистемы РСЧС). Как на аварийном объекте, так и на пострадавших вследствие аварии территориях к ликвидации последствий аварии

при необходимости могут привлекаться силы и средства федеральных органов исполнительной власти (функциональных подсистем РСЧС), передаваемые в оперативное подчинение руководителям работ по ликвидации химической аварии и ее последствий.

Если же вследствие аварии зона химического заражения охватила территории нескольких субъектов Российской Федерации, то руководство (координацию) работами по ликвидации аварии и ее последствий принимают на себя специально назначенная Правительственная комиссия или МЧС России. Под их руководством осуществляется ликвидация аварии и ее последствий с привлечением сил и средств РСЧС, решаются вопросы обеспечения химической безопасности населения.

Непосредственное руководство силами и средствами, привлекаемыми к ликвидации последствий химической аварии, и организация их взаимодействия осуществляется руководителем работ по ликвидации химической аварии и ее последствий, назначаемым с учетом ее масштабов органами местного самоуправления или органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации, на территории которых сложилась чрезвычайная ситуация химического характера. Полномочия руководителя работ определяются органами, назначившими его в соответствии с законодательством Российской Федерации (ст. 14 Федерального закона «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей»). При руководителе работ по ликвидации химической аварии и ее последствий создается штаб (оперативная группа). При участии в ликвидации последствий химической аварии оперативных групп от различных организаций они подчиняются руководителю работ по ликвидации химической аварии и ее последствий, руководят действиями ведомственных формирований по ликвидации последствий аварии в соответствии с единым планом работ по ликвидации последствий химической аварии.

Подготовка к проведению мероприятий по ликвидации последствий возможных химических аварий, защите населения при их возникновении проводится заблаговременно на всех химически опасных объектах, а также в органах исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органах местного самоуправления, на территории которых расположены указанные объекты или может возникнуть зона химического заражения.

Она включает:

- оценку вероятности (частоты) техногенного риска, обусловленного аварией;
- прогнозирование и оценку возможных последствий аварий;
- планирование мероприятий, направленных на предупреждение возможных химических аварий и ликвидацию их последствий;
- подготовку органов управления, сил и средств к действиям по ликвидации последствий химической аварии;
- отработку организации взаимодействия органов управления, сил и средств, привлекаемых к ликвидации последствий химических аварий;
- подготовку населения к действиям при возникновении аварии;

— проведение по текущим планам организационных, инженерно-технических и других мероприятий, направленных на снижение риска химических аварий, обеспечение химической безопасности населения.

При принятии конкретного решения на защиту населения, ликвидацию последствий возникшей химической аварии используется разработанный заблаговременно План действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (предупреждения химической аварии и ликвидации ее последствий), который уточняется с учетом сложившейся обстановки.

Органами управления ГОЧС соответствующего уровня разрабатываются и оформляются календарные планы (графики) на ведение работ с расчетом сил и средств и схемы организации управления.

При необходимости к проведению аварийно-спасательных работ, ликвидации последствий химических аварий, первоочередному жизнеобеспечению пострадавшего населения привлекаются:

— ведомственные аварийно-спасательные и специальные формирования в соответствии с заранее разработанными планами взаимодействия — решением председателей ведомственных КЧС;

— соединения и воинские части войск гражданской обороны, а также региональные поисково-спасательные и пожарно-спасательные формирования — решением начальника соответствующего регионального центра МЧС России;

— специально подготовленные силы и средства Вооруженных сил Российской Федерации, других войск и воинских формирований. Порядок их привлечения определяется Президентом Российской Федерации;

— территориальные поисково-спасательные и пожарно-спасательные отряды и службы — решением председателя соответствующей КЧС.

На период выполнения задач по ликвидации последствий химической аварии соединения и воинские части могут передаваться в оперативное подчинение руководителю работ по ликвидации химической аварии и ее последствий.

### *Оповещение населения*

**Оповещение населения** в интересах обеспечения его химической безопасности осуществляется с использованием технических средств и способов, как и в случае радиационных аварий, описанных в предыдущей главе.

### *Использование средств индивидуальной и коллективной защиты*

Средства индивидуальной и коллективной защиты являются достаточно эффективным способом защиты населения при химических авариях от АХОВ.

Основными средствами индивидуальной защиты населения от АХОВ ингаляционного действия являются гражданские противогазы ГП-5, ГП-7, ГП-7В, ГП-7ВМ, ГП-7ВС. Их характеристики представлены в табл.6.12. Для детей используются противогазы фильтрующие ПДФ-Д, ПДФ-2Д, ПДФ-2Ш, а для младенцев — камеры защитные детские КЗД-4, КЗД-6.

Все гражданские противогазы комплектуются типовой противогазовой коробкой, имеющей некоторые отличительные особенности по составу наполнителя. Главное же их отличие заключается в конструктивных особенностях и размерах лицевых частей.

Несмотря на то что гражданские противогазы комплектуются малогабаритными коробками, имеющими небольшой слой шихты, их защитная способность от концентраций ОВ, создаваемых в полевых условиях, практически не ограничена. В условиях же чрезвычайных ситуаций, вызванных крупномасштабными выбросами АХОВ, когда в атмосфере окружающего воздуха могут создаваться концентрации на несколько порядков выше, чем от ОВ в полевых условиях, время защитного действия противогазов весьма ограничено, а в ряде случаев оно равно нулю.

Во-первых, это обуславливается тем, что гражданские противогазы не обеспечивают защиту от ряда АХОВ (аммиак, диметиламин, метил хлористый, окислы азота, окись этилена, окись углерода и другие). Во-вторых, на небольших расстояниях от постоянно действующего источника заражения в условиях высоких концентраций может произойти мгновенный проскок шихты противогазовой коробки. Защитные свойства противогазовых коробок от некоторых АХОВ приведены в табл. 6.15.

Таблица 6.15

Защитные свойства фильтрующих гражданских противогазов от АХОВ

Наименование АХОВ	Исходная концентрация, мг/л	Время защитного действия, мин		
		ГП-5, ГП-7	ГП-5, ГП-7+ДПГ-1	ГП-5, ГП-7+ДПГ-3
Аммиак	2,3	0	60,0	80,0
	5,0	0	30,0	60,0
Диметиламин	5,0	0	60,0	80,0
Двуокись азота	1,0	0	30,0	0
Метил хлористый	0,5	0	35,0	0
Окись углерода	3,0	0	40,0	0
Окись этилена	1,0	0	25,0	0
Сероводород	10,0	25,0	50,0	50,0
Соляная кислота	5,0	20,0	30,0	30,0
Хлор	5,0	40,0	60,0	100,0
Этилмеркаптан	5,0	40,0	120,0	120,0

**Примечание:** 1. Время защитного действия указано для скорости воздушного потока 30 л/мин, относительной влажности воздуха 76 % и температуры окружающего воздуха от -30 °С до +40 °С.

2. Для детских противогазов время защитного действия от АХОВ (при скорости воздушного потока 15 л/мин) составляет примерно в два раза больше указанного в таблице.

В целях расширения диапазона обеспечения защиты от различных АХОВ и повышения защитных свойств противогазов в настоящее время промышленностью изготавливаются специальные патроны ДП-1, ДП-2, ДПГ-1, ДПГ-3 и ПЗУ-К. Дополнительный (гопкалитовый) патрон ДП-1 (ДП-2) используется вместе с противогазовой коробкой для защиты от окиси углерода. Дополни-

льные патроны ДПГ-1 и ДПГ-3 используются также вместе с противогазовой коробкой для защиты от аммиака, диметиламина, нитробензола, сероводорода, сероуглерода, синильной кислоты, тетраэтилсвинца, фенола, фурфурола, фосгена, хлора, хлористого водорода и этилмеркаптана. Патрон защитный универсальный ПЗУ-К обеспечивает защиту органов дыхания как от окиси углерода, так и ряда АХОВ. Причем он может использоваться как в комплекте с гражданским противогазом, так и только с лицевой его частью.

Как правило, гражданские противогазы хранятся на складах в заводской упаковке, что в большинстве случаев не обеспечивает своевременность их применения при химических авариях. В последнее время в районах размещения наиболее химически опасных объектов противогазы стали раздаваться населению, проживающему вблизи этих объектов, что гарантирует при своевременном оповещении об опасности их использование.

Население, которое проживает вблизи химически опасных объектов, может подвергаться в основном, учитывая расстояния от источников заражения, воздействию АХОВ лишь в виде газов и паров в достаточно небольших концентрациях. В связи с этим, с учетом времени нахождения населения в зоне заражения, определяемом продолжительностью эвакуационных мероприятий, специальная защита кожных покровов от АХОВ для населения не предусматривается.

В ряде случаев эффективная защита населения от АХОВ может быть достигнута путем использования защитных сооружений гражданской обороны — убежищ, о которых говорилось выше.

### ***Эвакуация населения***

Эвакуация населения при химических авариях из возможных районов химического заражения с целью обеспечения его химической безопасности играет важную роль. Эвакуация в этих случаях, как и при радиационных авариях, может выполняться в упреждающем и экстренном порядке. Упреждающая (заблаговременная) эвакуация осуществляется в случаях угрозы или в процессе длительных по времени крупномасштабных аварий, когда прогнозируется угроза распространения зоны химического заражения. Экстренная (безотлагательная) эвакуация проводится в условиях быстротечных аварий с целью срочного освобождения от людей местности по направлению распространения облака АХОВ.

В зависимости от масштабов возможного заражения проводится локальная или местная эвакуация.

Локальная эвакуация проводится в случае, если зона возможного загрязнения ограничена пределами отдельных городских микрорайонов или сельских населенных пунктов. При этом численность подлежащего эвакуации населения обычно составляет от нескольких десятков до нескольких тысяч человек и, как правило, оно размещается в близлежащих населенных пунктах и пострадавших районах города.

Местная эвакуация проводится в случае, если в зону возможного заражения попадают средние города, отдельные районы крупных и крупнейших го-

родов, сельские районы. При этом численность подлежащего эвакуации населения может составлять от нескольких десятков до сотен тысяч человек, а размещаться население должно в более удаленных безопасных районах пострадавшей или соседней области (крае, республике).

С учетом складывающейся обстановки эвакуация проводится в один или несколько этапов. При этом экстренная эвакуация осуществляется, как правило, по территориальному принципу — от места проживания или нахождения людей, упреждающая — по территориально-производственному принципу.

Упреждающая эвакуация предусматривает вывоз (вывод) людей из круговой зоны, прилегающей к химически опасному объекту. Радиус зоны принимается равным глубине зоны возможного химического заражения, определяемой в зависимости от типа и объема используемого или хранимого на объекте АХОВ, а также других факторов, влияющих на глубину распространения вещества.

Экстренная эвакуация планируется:

- из районов, прилегающих к химически опасному объекту в круговой зоне, радиус которой равен глубине зоны возможного заражения;
- из районов, прилегающих к трассам магистральных трубопроводов, по которым ведется перекачка АХОВ — в полосе вдоль трубопровода, ширина которой равна глубине зоны возможного заражения, определяемой по объему максимального возможного выброса и разлива перекачиваемых продуктов;
- из районов, прилегающих к железнодорожным магистралям, по которым осуществляются интенсивные перевозки АХОВ — в полосе вдоль дороги, ширина которой равна глубине зоны возможного заражения для наиболее опасного из перевозимых АХОВ.

Процесс принятия решения об эвакуации в условиях химической аварии ответственен и оперативен. Он должен базироваться на точном знании быстро меняющейся обстановки, учета удаленности мест, из которых производится эвакуация, до места аварии, реальной оценки возможностей провести эвакуацию до подхода облака зараженного воздуха. Ошибочное или опоздавшее решение на эвакуацию может не улучшить, а усугубить обстановку, подвергнуть людей, покинувших помещение, служившее им укрытием, химическому воздействию.

В связи с этим в условиях химической аварии, для которой характерны непредсказуемость и внезапность, высокая скорость формирования и распространения облака зараженного воздуха, в некоторых случаях целесообразно использовать для защиты людей от первичного, а в течение непродолжительного времени и от вторичного облака зараженного воздуха жилые и производственные здания. Причем следует помнить, что помещения зданий и сооружений по условиям их воздухообмена с окружающей средой подразделяются на три группы [141] :

- первая — помещения с естественной вентиляцией, обладающие высокой герметичностью ( $K = 0,015—0,9$  — помещения, оборудованные под убежища, спальни и «темные комнаты» квартир, некоторые помещения административных зданий);



— вторая — помещения с естественной вентиляцией, обладающие низкой герметичностью ( $K = 1,0—4,0$  — кухни, туалетные и ваннные комнаты жилых квартир, магазины, школы, детские сады);

— третья — помещения, оборудованные системой вентиляции с механическим приводом без средств очистки воздуха ( $K = 5,0—10,0$  — производственные цеха, лаборатории учреждений, некоторые помещения для проведения крупных зрелищных и культурно-массовых мероприятий).

Необходимо иметь в виду, что чем меньше воздухообмен в используемом для защиты помещении, тем выше его защитные свойства. На эффективности использования данного способа защиты существенно сказывается этажность постройки, особенно зимой.

В случае аварии зимой наибольшее количество зараженного воздуха будет поступать в помещения первых этажей зданий. Более высокая защита будет обеспечиваться на верхних этажах. В летних условиях (для АХОВ, которые по удельному весу легче воздуха и имеют низкую температуру кипения: аммиак, сероводород и др.), концентрация их в помещениях увеличивается по этажам и достигает максимума на верхних этажах. При выбросах в атмосферу тяжелых АХОВ (хлор, фосген, сернистый ангидрид и т.п.) — на нижних этажах высотных зданий.

Эти особенности необходимо учитывать при нахождении людей внутри зданий. Следует помнить, что покидать здания в период формирования зоны химического заражения и в условиях устойчивого заражения окружающего воздуха опасно для здоровья,

Концентрация АХОВ во внутренних помещениях зданий и сооружений ( $C_t$ ) рассчитывается по формуле [141]:

$$C_t = C_n \frac{K_n}{K_e} [1 - \exp(-K_e \cdot t)], \quad (6.6)$$

где:  $C_n$  — концентрация АХОВ в наружном воздухе;

$K_n, K_e$  — кратности воздухообмена помещений с окружающей средой на притоке и вытяжке, характеризующиеся соответственно отношением объема проточной ( $L_n$ ) или вытяжной вентиляции ( $L_e$ ) к внутреннему объему помещения ( $V$ );

$t$  — продолжительность воздействия АХОВ.

Используя эту формулу, может быть решена обратная задача, т.е. найдено время, в течение которого будет накоплена заданная концентрация ( $C_{зад}$ ) внутри помещения.

Формула для расчета времени накопления заданной концентрации может быть представлена в виде:

$$t_{C_i \leq C_{зад}} = \frac{1}{K_e} \ln \frac{1}{1 - \frac{K_e C_{зад}}{K_n C_n}}. \quad (6.7)$$

Подставив в формулу (6.7) вместо  $C_{зад}$  величины известных ПДК АХОВ, можно получить время достижения ПДК в помещениях в зависимости от величины наружной концентрации АХОВ и герметичности помещений, оцениваемой кратностью их воздухообмена с окружающей средой (табл. 6.16).

Таблица 6.16

Время достижения ПДК в помещениях в зависимости от наружной концентрации АХОВ и кратности воздухообмена

$C_H$ ПДК	Время достижения ПДК в зависимости от кратности воздухообмена, час.			
	0,01	0,1	1,0	10,0
2	69,3	6,5	0,7	0,07
5	22,3	2,2	0,2	0,02
10	10,5	1,0	0,1	0,01
100	1,0	0,1	0,01	0
1000	0,1	0,01	0	0

Концентрация АХОВ в помещениях увеличивается со временем воздействия облака АХОВ на здания.

Требуемую степень герметичности помещений, оцениваемую кратностью воздухообмена, при различной длительности воздействия на здания облака зараженного воздуха и наружной концентрации АХОВ можно определить по табл. 6.17.

Таблица 6.17

Кратность воздухообмена помещений для безопасного пребывания людей

$C_p$ ПДК	Кратность воздухообмена в зависимости от длительности воздействия облака АХОВ на здание, час.				
	0,1	0,5	1,0	5,0	10,0
10	1	0,2	0,1	$2 \cdot 10^{-2}$	$10^{-2}$
100	0,1	$2 \cdot 10^{-2}$	$10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$
1000	$10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$
10000	$10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$10^{-5}$

Данные табл. 6.17 показывают, что для снижения опасности поражения АХОВ людей, находящихся в зданиях и сооружениях, необходимо принять экстренные меры по герметизации помещений, которые позволяют существенно снизить кратность их воздухообмена с окружающей средой, содержащей пары и аэрозоли АХОВ.

Герметизацию помещений рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- закрыть входные двери, окна (в первую очередь с наветренной стороны);
- заклеить (закрыть задвижки) вентиляционные отверстия плотным материалом или бумагой;

— двери уплотнить влажными материалами (мокрой простыней, одеялом и т.п.);

— неплотности оконных проемов заклеить изнутри липкой лентой (пластырем, бумагой) или уплотнить подручными материалами (ватой, паролоном, мягким шнуром и т.п.).

### *Нормализация химической обстановки при ее ухудшении*

Задача нормализации химической обстановки при ее ухудшении в интересах обеспечения химической безопасности населения возникает в случае, когда в результате химической аварии происходит заражение окружающей среды АХОВ. Она решается в целях ликвидации химического заражения, обеспечения нормальных условий жизнедеятельности населения и достигается осуществлением следующих мероприятий:

- выявление и оценки химической обстановки;
- ликвидации химических заражений.

**Выявление и оценка химической обстановки** состоит в определении методом прогнозирования (или по данным разведки) масштабов и степени химического заражения окружающей среды.

Оценка химической обстановки включает определение влияния химического заражения окружающей среды на поведение населения, проживающего вблизи этого объекта, действия сил РСЧС, участвующих в ликвидации аварии и ее последствий, а также обоснование мероприятий защиты.

При выявлении химической обстановки решаются следующие задачи:

- прогнозирование химической обстановки;
- обнаружение химического заражения;
- химическая разведка;
- химический контроль;
- определение оптимальных маршрутов движения людей, транспорта и другой техники к аварийному объекту, эвакуации населения и сельскохозяйственных животных.

Исходными данными для прогнозирования химической обстановки являются:

- место, время и характер аварии, количество и способ хранения АХОВ;
- метеорологические условия — скорость и направление ветра в приземном слое, вертикальная устойчивость воздуха и температура воздуха;
- топографические условия местности.
- Прогноз химической обстановки включает решение следующих задач:
  - расчет глубины и площади зоны возможного химического заражения;
  - определение времени подхода облака зараженного воздуха к производственным участкам, жилым кварталам и населенным пунктам;
  - расчет продолжительности действия источника заражения;
  - оценку ориентировочного количества пораженных и их структуры среди населения, попадающего в зону химического заражения.

При заблаговременном прогнозировании химической обстановки на случай производственной аварии за величину выброса АХОВ принимают макси-

мальный объем единичной емкости хранения (для сейсмических районов — общий запас АХОВ на объекте), вертикальную устойчивость воздуха — инверсию, скорость ветра — 1 м/с, температуру воздуха — +20 °С и направление ветра равновероятностное.

При прогнозировании масштабов химического заражения по факту аварии используются реальные исходные данные.

Заблаговременное прогнозирование возможной химической обстановки осуществляется при разработке планов действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий).

При возникновении химической аварии прогноз уточняется на основе данных разведки и является основой для корректировки указанных планов и методов ликвидации последствий аварии.

При возникновении химической аварии в условиях продолжительного действия источника заражения прогноз химической обстановки уточняется через каждые 4 часа. При резком изменении метеорологических условий данные прогноза уточняются немедленно.

Прогноз химической обстановки выполняется:

- в центральном аппарате МЧС России и региональных центрах МЧС России — силами центров управления в кризисных ситуациях;
- в Главных управлениях МЧС России по субъектам Российской Федерации и местных (муниципальных) органах управления ГОЧС — силами центров управления в кризисных ситуациях (информационных центров);
- в федеральных органах исполнительной власти и на объектах — дежурно-диспетчерской службой и специалистами ГОЧС.

Для обнаружения химического заражения используются системы (автоматизированные системы) контроля химического заражения, датчики которых по характерным для данного химически опасного объекта АХОВ устанавливаются как на территории объекта, в том числе в цехах объекта, так и в его санитарно-защитной зоне.

Контроль химической обстановки за пределами санитарно-защитной зоны химически опасного объекта в целях обнаружения химического заражения осуществляется сетью наблюдения и лабораторного контроля (СНЛК) РСЧС.

Главными целями химической разведки являются поиск и спасение пострадавших, своевременное обеспечение органов управления, осуществляющих руководство работами по ликвидации последствий химической аварии, реальными данными о химической обстановке.

Химическая разведка в интересах обеспечения химической безопасности населения организуется и ведется в районах, прилегающих к химически опасному объекту (возможных зонах химического заражения) — на направлениях распространения облака зараженного воздуха прежде всего в населенных пунктах, в местах работы и отдыха людей, на маршрутах эвакуации населения, выдвигания сил и средств РСЧС для ликвидации последствий химической аварии.

Организация химической разведки включает:

- определение целей, задач разведки и выделение необходимых сил и средств для их выполнения;
- планирование разведки и доведение задач до исполнителей;
- организацию взаимодействия сил и средств и их подготовку к выполнению задач;
- всестороннее обеспечение сил разведки материально-техническими средствами;
- организацию управления, в том числе контроль за выполнением отданных распоряжений.

В Планах разведки, разрабатываемом в органах управления ГОЧС муниципального образования, субъекта Российской Федерации и являющимся приложением к планам действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий), которые при возникновении химических аварий корректируются в штабе (оперативной группе) при руководителе работ по ликвидации химической аварии и ее последствий, отражаются:

- цели, задачи разведки и очередность их выполнения, состав разведывательных сил;
- участки, объекты, территории и населенные пункты, где необходимо выявить обстановку, порядок поддержания связи и передачи донесений;
- состав резерва разведывательных сил;
- организация управления разведкой.

Количество сил и средств, необходимых для ведения разведки в зоне химического поражения, определяется возможным числом пострадавших, масштабами зон возможного химического заражения, наличием населенных пунктов в этих зонах, плотностью и характером жилой застройки, количеством и протяженностью проходящих через зону заражения дорог и др. факторами.

Качественное решение задач разведки достигается умело организованным взаимодействием сил, принимающих участие в выполнении поставленных задач. Взаимодействие организуется как на этапе разработки планов действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (планов действий по предупреждению химических аварий и ликвидации их последствий), так и при возникновении химической аварии.

Наиболее четко взаимодействие должно быть организовано между силами, ведущими разведку зоны химического поражения, в районах населенных пунктов и на стыке зон ответственности между разведывательными дозорами химически опасного объекта, территориальных формирований и войсковых подразделений.

Руководство разведкой в районе аварии осуществляется с командного пункта руководителя работ по ликвидации химической аварии и ее последствий.

Непосредственным организатором разведки является руководитель оперативной группы или органа управления ГОЧС того уровня, который принял на себя руководство работами по ликвидации последствий аварии. Он осуществляет планирование разведки, доведение задач до исполнителей, управле-

ние разведывательными подразделениями, обобщает данные разведки, докладывает их руководителю работ по ликвидации химической аварии и ее последствий и вышестоящему органу управления ГОЧС.

Руководство действиями разведывательных дозоров в очаге и зоне химического заражения осуществляет их непосредственный начальник.

Задачами химической разведки являются:

- поиск и спасение пострадавших;
- определение местонахождения источника химического заражения, характера и скорости выброса (разлива) АХОВ и его ориентировочного количества, попавшего в окружающую среду;
- определение и обозначение границ зон заражения в районе аварии;
- определение АХОВ на маршрутах выдвижения сил и средств РСЧС к очагу аварии, на маршрутах эвакуации населения из зон заражения;
- определение заражения в местах расположения (проживания) населения;
- контроль за изменениями химической обстановки во время проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- отбор проб воздуха, воды, почвы, продуктов для определения степени их заражения АХОВ.

С возникновением аварии на химически опасном объекте с разливом АХОВ в очаг аварии, как правило, первыми вводятся газоспасатели дежурной смены и формирования специальной разведки объекта.

Одновременно с ведением химической разведки в очаге аварии или после ее завершения силами и средствами аварийного объекта организуется и проводится химическая разведка на территории объекта и в его санитарно-защитной зоне.

С прибытием в район аварии подразделений химической разведки территориальных формирований РСЧС, войск гражданской обороны и Минобороны России последние наращивают усилия разведывательных подразделений объекта, ведут разведку районов и маршрутов вывода и эвакуации населения из зоны химического заражения, определяют концентрации АХОВ и границы зоны заражения, устанавливают при необходимости районы для проведения санитарной обработки населения, обеззараживания одежды, обуви и транспорта, осуществляют контроль за изменением химической обстановки. Организуется мониторинг химической обстановки.

Мониторинг химической обстановки осуществляется наблюдением и разведкой зоны химического заражения.

Химическое наблюдение ведется химическими наблюдательными постами, выставляемыми на химически опасном объекте, в населенных пунктах, на химически опасных направлениях на основе результатов прогноза химической обстановки для контроля за изменением химической обстановки. Оно ведется с использованием приборов газового контроля, промышленных газоанализаторов, автоматических газосигнализаторов заражения воздуха, стационарных и передвижных систем оперативного контроля обстановки, газоанализаторов индивидуальных и др. средств.

Химические наблюдательные посты определяют подход первичного и вторичного облаков зараженного воздуха, концентрации АХОВ и подают сигнал оповещения о химической опасности. Сигнал оповещения подается при обнаружении пороговой концентрации АХОВ для прогнозируемого времени пребывания населения в зоне заражения открыто на местности.

Разведка зоны химического заражения организуется по результатам прогноза химической обстановки и ведется химическими разведывательными дозорами, как правило, на транспортных средствах. Разведка районов, удаленных на значительные расстояния от места аварии, может вестись дозорами на вертолетах с их посадкой в назначенных точках, замерах заражения воздуха, взятием проб воды и грунта. Характеристика технических средств химической разведки приведена в табл. 6.18—6.23 [59]. Обследование зоны химического заражения чаще всего организуется с разных направлений, на каждом из которых назначаются рубежи ввода разведывательных дозоров (групп). На рубежах ввода выставляются контрольные пункты, развертываются пункты проверки правильности подгонки противогазов. Руководители контрольных пунктов организуют ввод разведывательных дозоров (групп) в зону химического заражения с данного направления, обеспечение безопасности их действий, собирают, обобщают и докладывают результаты разведки руководителю разведки. Необходимое количество разведывательных дозоров (групп) на каждом направлении определяется руководителем контрольного пункта с учетом обстановки и объема работ.

Таблица 6.18

## Технические средства химической разведки

Наименование технических средств	Войска ГО	ПСС	Аварийно- спасательные формирования
Машина химическая разведывательная на шасси ГТ-МУ- РУМ	+	—	—
Боевая разведывательная дозорная машина БРДМ-2рх	+	—	—
Машина химическая разведывательная УАЗ-469рх	+	—	—
Автомобильная лаборатория АЛ-4	+	—	—
Войсковой прибор химической разведки	+	—	—
Полуавтоматический прибор химической разведки ППХР	+	—	—
Универсальный газоанализатор УГ-2	—	—	+
Индикаторные трубки ИТ-44, ИТ-45, ИТ-24, ИТ-12, ИТМ-15, ИТ-2Т, ИТ-28	+	—	+

Наименование технических средств	Войска ГО	ПСС	Аварийно- спасательные формирования
Базовый комплект приборов радиационной и химической разведки контроля войск и сил МЧС России	+	+	+
Приборы газового контроля типа УПГК-1, «Колион-2», ГПХВ-2	+	+	+
Промышленные газоанализаторы «Колион-1», «Колион-701»			ХОО
Стационарные газоанализаторы аммиака ЭССА-1 и хлора — ЭССА-2			ХОО
Газосигнализатор универсальный на горючие газы СГГ-4	+	+	+
Автоматический газосигнализатор загрязнения воздуха на основе спектрометрии ионной подвижности	+	+	+
Хроматограф «Кристалл-2000М»	+	+	+
Передвижной информационно-измерительный комплекс оперативного контроля воздушной среды на базе непрерывного гетеродинного лидара	+		+
Газоанализатор индивидуальный ИФГ-М (оксидазота, хлор, сероводород, хлористый водород, аммиак, НДМГ от 0,1 до 50 ПДК раз)	+	+	+

Таблица 6.19

Характеристики индикаторных трубок для приборов химической разведки

Индикаторные трубки	Определяемые АХОВ	Диапазон измерений, мг/м <sup>3</sup>
ИТ-44	Фосфорорганические соединения	0,0005—0,05
ИТ-45	Фосген	5—3 000
	Водород цианистый	5—800
	Хлорциан	5—800
ИТ-24	Водород мышьяковистый	5—2 500
ИТМ-12	Аммиак	0,2
	Нитрил акриловой кислоты	0,2
ИТМ-15	Сернистый ангидрид	5
ИТ-2Т	Окислы азота	5—10 000
	Азотная кислота	5—10 000



Индикаторные трубки	Определяемые АХОВ	Диапазон измерений, мг/м <sup>3</sup>
ИТ-28	Окись углерода	50—7 000
ИТ-36	Иприт	

Таблица 6.20

АХОВ, определяемые газоанализатором УГ-2

Наименование АХОВ	Пределы измерений, мг/м <sup>3</sup>	Время определения, с
Аммиак	0—300	120
Водород хлористый	0,5—100	180
Диоксид серы	0—200	180
Окислы азота	0—200	300
Окись углерода	5—120	420
Сероводород	0—300	120
Хлор	0—80	240

Таблица 6.21

АХОВ, определяемые прибором ГХ-4

Наименование АХОВ	Пределы измерений, %	Объем анализируемого воздуха, мл
Диоксид серы	0,0002—0,007	1000
Оксиды азота	0,0001—0,005	1000
Окись углерода	0,0005—0,2	1000
Сероводород	0,00033—0,0066	1000

Таблица 6.22

АХОВ, определяемые трубками ГПХВ-2

Наименование АХОВ	Пределы измерений, мг/м <sup>3</sup>
Аммиак	10—1 000
Сероводород	10—1 500
Диоксид серы	5—400
Азота двуокись	1—200
Хлор	0,5—200
Формальдегид	5—800
Диметиламин	1—50
Метилмеркаптан	1—25
Сероуглерод	0,05—1
Оксид углерода	25—1 000

Наименование АХОВ	Пределы измерений, мг/м <sup>3</sup>
Фосген	0,5—50
Фосфин	0,05—1
Хлорциан	0,001—1,5
Диэтиламин	1—50
Этилмеркаптан	1—25
Азота окислы	1—200
Хлористый водород	5—500
Фтористый водород	1—1 000
Бромистый водород	2,5—500
Водород цианистый	0,3—50
Хлорокись фосфора	1—100

Таблица 6.23

Возможности набор-лаборатории «ПЧЕЛКА-Р» по определению АХОВ

Наименование АХОВ	Пределы измерений, мг/м <sup>3</sup>	Время определения, мин
Аммиак	5—40	2,5
Диоксид серы	5—20	2,5
Сероводород	1—50	4,5
Окислы азота	2,5—50	4,5
Сероуглерод	0,5—2	11
Фторид водорода	5—10	3
Формальдегид	3—100	3
Хлор	0,5—15	3
Этилмеркаптан	0,5—2	10
Окись углерода	5—7 000	12

Возможности подразделений химической разведки представлены в табл. 6.24.

На основе данных химического наблюдения и разведки определяются оптимальные маршруты движения людей, транспорта и другой техники к аварийному объекту, эвакуации населения и сельскохозяйственных животных.

Одним из основных мероприятий по нормализации химической обстановки в случае ее ухудшения является **ликвидация химических заражений**.

При выбросах (проливах) АХОВ заражению могут подвергнуться различные поверхности и материалы. Характер заражения определяется свойствами АХОВ и материалов. Местность, оборудование, техника, одежда и обувь, зараженные АХОВ, могут длительное время (часы, сутки) служить источником опасности для незащищенных людей, обеспечение безопасности которых до-

Возможности подразделений РХБ защиты

Решаемые задачи	Подразделения			
	Отделение радиационной и химической разведки	Отделение дегазации и дезактивации	Отделение специальной обработки	Отделение санитарной обработки
Ведение химической разведки: — маршрутов (км/ч) — загрязненной местности (км <sup>2</sup> /ч)	16—24 2—3	—	—	—
Обезвреживание местности (м <sup>2</sup> /ч)	—	10 000— 12 000	—	—
Обработка техники (ед/ч)	—	12—16	12—16	—
Подготовка рецептур (т/ч)	—	ок. 10	—	—
Транспортировка рецептур (т)	—	5	—	—
Санитарная обработка личного состава (чел/ч)	—	—	—	280/160 — зимой

стигается прежде всего локализацией и обеззараживанием жидких АХОВ, обезвреживанием химического заражения местности, техники и транспорта.

При этом, как указывалось в 1.2, могут возникать чрезвычайные ситуации с химической обстановкой четырех основных типов, отличающихся характером поражающих факторов, ликвидация каждой из которых имеет свои особенности.

При ликвидации последствий химической аварии, прежде всего в целях полного прекращения или максимального снижения выброса АХОВ или скорости испарения разлившегося АХОВ, осуществляется локализация и обеззараживание источника химического заражения, в результате чего очаг химического поражения ликвидируется полностью либо размеры (объемы) его значительно уменьшаются.

Локализация и обеззараживание источников химического заражения (с учетом возможных типов химической обстановки при авариях на химически опасных объектах) может включать следующие основные операции:

- подавление паровой фазы первичного и вторичного облаков АХОВ;
- локализацию и обеззараживание (нейтрализацию) разливов АХОВ.

Основными способами локализации и обеззараживания источников химического заражения являются:

— при подавлении облаков АХОВ — постановка жидкостных завес, способных поглощать пары АХОВ с последующим их осаждением на подстилающую поверхность;

— при обеззараживании облаков АХОВ — постановка жидкостных завес с использованием нейтрализующих растворов, способных в результате химического взаимодействия переводить пары АХОВ в нетоксичное химическое соединение;

— при локализации разлива АХОВ — обвалование разлива, сбор жидкой фазы АХОВ в приямки — ловушки, ж.-д. цистерны, аварийные емкости и т.п., засыпка разлившегося АХОВ сыпучими сорбентами, снижение интенсивности испарения покрытием зеркала разлива полимерной пленкой, пеной, разбавление разлива водой, введение в разлив загустителей;

— при обеззараживании разлива АХОВ — заливка нейтрализующим раствором, разбавление водой с последующим введением обеззараживающих средств, засыпка сыпучими нейтрализующими веществами, засыпка твердыми сорбентами, а также загущение с последующим вывозом и сжиганием в специальном оборудовании (реакторах, печах и т.п.).

При чрезвычайных ситуациях с химической обстановкой второго и третьего типов локализация и обеззараживание облака и разлива АХОВ может производиться комбинированным способом одновременно.

Способы локализации и обеззараживания источников химического заражения и технологии их выполнения должны соответствовать следующим основным требованиям:

— обеспечивать полное подавление или снижение до минимально возможного уровня воздействия вредных и опасных для жизни и здоровья людей факторов, препятствующих ведению аварийно-спасательных работ;

— обеспечивать решение поставленной задачи в возможно короткие сроки с меньшими затратами;

— соответствовать возможностям имеющихся сил и средств;

— не вызывать появления новых факторов, опасных для людей, окружающей среды и затрудняющих выполнение поставленной задачи.

При выборе способа локализации разлива АХОВ необходимо учитывать токсические и агрессивные свойства разлившегося на подстилающую поверхность вещества.

При разливе агрессивных веществ (жидкий хлор, концентрированные серная, азотная, соляная кислоты и др.) следует учитывать возможность их вскипания и возгорания, не должны допускаться контакты с этими АХОВ технических средств с шасси, имеющими резиновые детали, ввиду их возможного быстрого разрушения. Работы по месту разлива агрессивных жидкостей выполняются с особой осторожностью, не допуская необоснованных контактов с ними технических средств.

Выбор способов локализации и обеззараживания источника химического заражения с учетом типа химической обстановки, характеристики и состояния АХОВ представлен в табл. 6.25.







Локализация и обеззараживание облака АХОВ при чрезвычайных ситуациях с химической обстановкой первого, второго и третьего типов осуществляется с целью максимально возможного ограничения глубины распространения облака в направлении мест массового проживания людей и размещения хозяйственных объектов, а также максимально возможного снижения концентрации паров АХОВ в облаке.

Локализация облака постановкой водяной завесы применяется преимущественно при авариях с выбросом растворимых в воде АХОВ типа аммиак и др.

При проливе АХОВ кислого характера (хлор, окислы азота, сернистый газ, хлористый и фтористый водород, окись этилена, фосген и др.) завеса ставится с использованием водного раствора аммиака (аммиачной воды): летом — 10—12 %, зимой — 20—25 % концентрации аммиака.

Ограничение масштабов зон возможного заражения, образованных взрывобезопасными АХОВ, может осуществляться газо-воздушным тепловым потоком путем создания на пути движения облака заградительного огня с интенсивностью и временем его действия для перекрытия продолжительности действия источника заражения.

Для создания интенсивного теплового потока применяются нефтепродукты и местные материалы (дрова, отходы производства и т.п.). Для постановки заградительного огня привлекаются пожарные подразделения. Работы выполняются с соблюдением требований пожарной безопасности и во взаимодействии с подразделениями государственной противопожарной службы.

Источники теплового потока (костры, ямы или траншеи с нефтепродуктами) размещаются на пути движения облака на расстоянии 20—25 м один от другого. Для обеспечения непрерывности действия теплового потока могут создаваться несколько рубежей горения, функционирующих одновременно или последовательно.

Локализация пролива АХОВ обвалованием применяется при химических авариях с химической обстановкой второго, третьего и четвертого типов в случаях аварийного разлива в поддон и растекания АХОВ на подстилающей поверхности. Цель обвалования — сократить площадь испарения, уменьшив тем самым производительность источника заражения, а следовательно, и параметры распространения вторичного облака.

Для выполнения работ по обвалованию используются формирования (подразделения) механизации работ, дорожные подразделения и отдельные единицы инженерной техники. При этом основные усилия сосредоточиваются на направлении наиболее вероятного растекания АХОВ, а также на направлении возможного попадания разлившихся АХОВ в открытые водоисточники.

Сбор жидкой фазы АХОВ в приямки (ямы-ловушки) производится при химических авариях с химической обстановкой второго, третьего и четвертого типов с целью прекращения растекания АХОВ, уменьшения площади заражения и интенсивности его испарения.

Засыпка разлива АХОВ сыпучими сорбентами производится при чрезвычайных ситуациях с химической обстановкой второго, третьего и четвертого типов с целью уменьшения интенсивности испарения АХОВ.



Для засыпки используются песок, пористый грунт, шлак, керамзит и другие подручные материалы.

В целях локализации парогазовой фазы АХОВ при чрезвычайных ситуациях с химической обстановкой второго и третьего типов одновременно с засыпкой разлива сорбентом осуществляется постановка жидкостной завесы.

Покрытие разлива пеной, пленками и плавающими экранами применяется в основном при химических авариях с химической обстановкой второго и третьего типов с разливом пожароопасных или агрессивных АХОВ в поддон или в обвалование с целью снижения интенсивности испарения АХОВ.

Разбавление разлива водой производится при авариях с химической обстановкой второго, третьего и четвертого типов с выбросом водорастворимых АХОВ (жидкие аммиак, окись этилена, хлористый водород и др.). Разливы остальных АХОВ локализуются соответствующими нейтральными растворителями.

Обеззараживание разливов АХОВ нейтрализующими растворами и водой производится при авариях с химической обстановкой второго и третьего типов с разливом низкокипящих АХОВ.

Для выполнения работ используются формирования обеззараживания (подразделения радиационной, химической и биологической защиты). При необходимости выполнения работ по дополнительному обвалованию пролива формирования обеззараживания (подразделения радиационной, химической и биологической защиты) усиливаются инженерной техникой.

В ряде случаев обеззараживание местности, зараженной АХОВ, при их свободном разливе осуществляется перепахиванием грунта с перевертыванием слоя земли или срезанием и удалением его верхнего слоя на глубину до 10—15 см с помощью инженерных машин. Данные способы весьма трудоемки и малоэффективны.

Обеззараживание внешних поверхностей зданий и сооружений осуществляется только в тех случаях, когда они подвергаются воздействию высококипящих АХОВ в капельном или крупноаэрозольном состоянии. Обработка поверхностей производится обеззараживающими растворами, подаваемыми с помощью специальных машин типа ПМ, АРС-14, АРС-15 и пожарных машин (с использованием специальных приспособлений для дробления струи). Горизонтальные поверхности в этих случаях обрабатываются протиранием зараженных поверхностей щетками.

Внутренние поверхности помещений зданий и сооружений обеззараживаются в исключительных случаях вручную протиранием зараженных поверхностей ветошью, смоченной обеззараживающим раствором, или с помощью переносных дегазационных приборов. Безопасность пребывания в помещениях людей обеспечивается проветриванием помещений.

Техника, транспорт, инструмент и т.п., подвергающиеся химическому заражению при локализации и ликвидации разлива, особенно высококипящих АХОВ, подлежат специальной обработке.

Обеззараживание техники и транспорта может проводиться как на пунктах специальной обработки (ПуСО), развертываемых на базе специальной вой-

сковой техники, так и на базе моечных отделений гаражей предприятий и населенных пунктов.

Площадки обработки техники и транспорта развертываются подразделениями радиационной, химической и биологической защиты с помощью АРС-14 (АРС-15) или ТМС-65.

Обработка техники и транспорта производится с использованием следующих способов: протирание щетками с обеззараживающим раствором; смыванием из брандспойтов обеззараживающим раствором или водой. Расход раствора составляет в среднем 500 л на одну единицу крупной техники. При влажном грунте перед обработкой раствором ходовая часть предварительно очищается механическим способом.

Обеззараживание техники и транспорта с помощью ТМС-65 проводится газовым потоком на удалении не менее 100 м от строений, заборов и т.п.

По указанию руководителя химически опасного объекта или органов местного самоуправления для обработки техники и транспорта средствами местных аварийно-спасательных формирований развертываются станции обеззараживания техники (СОТ). На СОТ развертываются: площадка для сбора зараженной техники и транспорта, площадка с эстакадами для обеззараживания техники и транспорта, площадка (склад) для хранения обеззараживающих материалов.

Инструменты и приборы обеззараживаются путем протирания ветошью, смоченной нейтрализующим раствором.

При обработке техники, транспорта, инструментов, приборов и т.п. для сбора отработанного раствора отрываются колодцы, которые после окончания работы засыпаются ДТС-ГК и закапываются.

## **Раздел III**

---

# **УПРАВЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ**

---



## Глава 7

### Основы управления

#### 7.1. Общая организационно-функциональная структура процесса управления безопасностью и риском при техногенных воздействиях

Управление безопасностью и риском составляет важную сферу деятельности органов управления государственной власти, органов местного самоуправления, а также административного аппарата производственных и других объектов, представляющих техногенную опасность для человека и окружающей среды.

Отметим, что этот вид управленческой деятельности имеет своей целью установление, поддержание и восстановление научно обоснованного приемлемого уровня безопасности и риска при техногенных воздействиях, включая аварийные ситуации, при условии оптимального и максимально эффективного использования ресурсов общества и сохранения достигнутого уровня качества жизни. При этом принимается во внимание возможное ужесточение требований к анализу, оценке и приемлемым уровням техногенного риска по мере социально-экономического развития общества и увеличения объема материального производства.

Указанная цель может быть достигнута лишь при согласованном действии целого ряда управленческих структур, так или иначе связанных с обеспечением техногенной безопасности при нормальном функционировании потенциально опасных объектов, а также при возникновении на них аварий и катастроф.

Анализ задач и возможностей этих управленческих структур показывает, что общее руководство всей деятельностью в Российской Федерации по управлению в сфере техногенной безопасности, включая ее радиационную и химическую составляющие, целесообразно строить на основе единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) [37, 97, 100], с опорой на информационную базу Государственного комплексного мониторинга и контроля, организуемого на территории Российской Федерации и опасных в техногенном отношении объектах.

Как и любой другой вид управленческой деятельности, управление в сфере техногенной безопасности осуществляется в рамках общей теории управления.

В соответствии с этой теорией управление как функция организованных систем различной природы (биологических, технических, социальных) носит всеобщий и универсальный характер.

Всеобщность управления заключается в том, что оно имеет место в социальных, биологических и созданных человеком технических системах, находящихся в органическом единстве и постоянном развитии. При этом в зависимости от происхождения перечисленных выше систем все виды управления могут осуществляться в естественных или искусственно созданных системах.

Универсальность управления заключается в том, что, несмотря на существенное отличие различных видов управления по целям, характеру и направленности, в силу диалектического единства материального и духовного мира для всех самоуправляемых систем различной природы свойственны общность функций, общие черты процессов и структур систем управления (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Виды и признаки управления

С позиций системного подхода для любого вида управления важнейшим признаком является наличие определенной структуры (системы) управления.

В простейшем виде структура любого управления предполагает наличие объединенных в единую систему управляющего субъекта (органа управления), объекта (объектов) управления, а также прямой и обратной связи между ними. Во всех случаях простые системы управления являются, как правило, одноуровневыми, а сложные могут состоять из нескольких уровней. При этом на каждом уровне в качестве объектов управления могут находиться несколько однородных или разнородных звеньев управления различного назначения.

Другим общим признаком управления является процесс направляющего воздействия органа управления по каналам связи на объекты управления. При этом система управления составляет материальную основу всякого процесса управления, который в замкнутом контуре (орган управления, объекты управления, каналы прямой и обратной связи) носит ярко выраженный циклический характер (состоит из циклов управления) и носит конкретное содержание.

Третьим признаком для всех видов управления считается наличие определенного механизма управления, базирующегося на общих законах (закономерностях), а для социальных систем — на требованиях, принципах, формах, способах, методах и стиле управления.

И наконец, четвертым общим признаком является обязательное наличие структурно-элементных, временных и пространственных пределов управления. Данное обстоятельство обуславливается тем, что в динамически развивающемся и постоянно изменяющемся реальном мире любой вид управления предполагает четкую определенность границ управляемой системы как по элементам и их связям, так и по времени и пространству.

Следовательно, управление осуществляется во всех видах материального и духовного мира, прежде всего в сложных системах, способных, не меняясь качественно, переходить из одного состояния в другое.

При этом процесс управления противодействует дезорганизации и деградации системы и направлен на ее стабилизацию и совершенствование. Он позволяет сохранить ее качественную определенность (состояние), динамическое равновесие с внешней средой и обеспечить достижение полезного эффекта в результате той или иной функциональной деятельности. Любое управление невозможно без наличия в структуре (системе) прямой и обратной связи, обеспечивающей непрерывную циркуляцию информации между составными частями системы и с окружающей ее внешней средой.

Принцип двухсторонней связи — один из важнейших принципов управления. Согласно этому принципу успешное управление возможно лишь в том случае, если субъект управления получает информацию об эффекте, достигнутом тем или иным действием объекта управления, а также о его состоянии и о достижении или недостижении поставленной цели.

Наличие прямых и обратных связей позволяет системе функционировать по замкнутому циклу, в силу чего субъект управления располагает информацией не только о действиях и состоянии различных компонентов системы, но и об эффективности этих действий, что позволяет не только обеспечивать

сохранение динамического равновесия системы в целом, но и добиваться эффективности ее функционирования.

Таким образом, в общем виде (в широком понимании) управление как общественно-экономическая и философская категория представляет собой процесс создания (упорядочения) системы управления в целом (управляющей и управляемой подсистем с информационными связями между ними и с внешней средой), а также процесс организации и руководства ее функционированием при решении стоящих задач по основной деятельности.

В более узком (практическом) значении под управлением понимается непрерывное и целенаправленное воздействие по каналам прямой и обратной связи управляющего субъекта (органа управления) на управляемые объекты, которыми могут быть: личность, коллектив, общество, субъект Федерации, регион, государство.

Естественно, что из всех видов управления наиболее объемным, многогранным и сложным является управление в обществе и, в частности, в социально-экономических системах.

Под социально-экономической системой здесь понимается определенная совокупность организованных коллективов людей, населения, объектов экономики и инфраструктуры, а также природно-хозяйственных комплексов и экосистем, образующих единое структурно-функциональное целое.

В общей теории управления значительное внимание уделяется государственному управлению, которое выполняет важную роль и в решении задач обеспечения радиационной и химической безопасности. Поэтому необходимо хотя бы коротко на нем остановиться.

Непосредственно государственное управление выражается в практической деятельности по реализации политики государства, обеспечению его интересов. При этом выполняются функции организации, координации, анализа, контроля и др. Причем для выполнения этих функций применяются как методы убеждения, стимулирования, так и принуждения, как административно-плановые, так и рыночные рычаги.

Следует отметить, что система государственного управления опирается на соответствующие закономерности, принципы, правила, методы управления, приемы, способы решения управленческих задач, которые составляют основу методологии государственного управления.

Из чисто управленческих широко известен прежде всего закон Паркинсона, констатирующий, что всякая управленческая структура в своем развитии со временем сосредотачивается на самой себе, увеличиваясь вне связи с состоянием объекта управления. Поэтому необходим постоянный контроль за управленческим аппаратом, чтобы противодействовать тенденции его увеличения.

Ряд объективных законов, составляющих основы методологии системы государственного управления, в практической деятельности реализуется в виде принципов эффективного управления:

— единство экономики и политики при приоритете политики, так как она является концентрированным выражением экономики;



— сочетание централизма и самостоятельности регионов и других местных образований, общих и локальных интересов при приоритете интересов более высокого уровня;

— подчинение нижестоящих вышестоящим как условие единства системы государственного управления.

Следует иметь в виду, что под функциями управления понимаются определенные виды управленческой деятельности, выделившиеся в процессе разделения управленческого труда, объективно необходимые для обеспечения воздействия субъекта на объекты управления, а под методами управления понимается совокупность приемов и способов осуществления управленческой деятельности и целенаправленного воздействия субъекта на объект управления, применяемые в процессе управления для достижения поставленных целей.

Управление реализуется во взаимодействии субъекта и объекта управления. От субъекта (управляющего) поступает командная информация (что, как, в каком объеме делать), а от объекта (управляемого) — информация обратной связи (после исполнения команды), т.е. можно констатировать, что управление есть процесс целенаправленного воздействия субъекта управления на объект управления для достижения определенного результата. Схематически процесс управления показан на рис. 7.2.

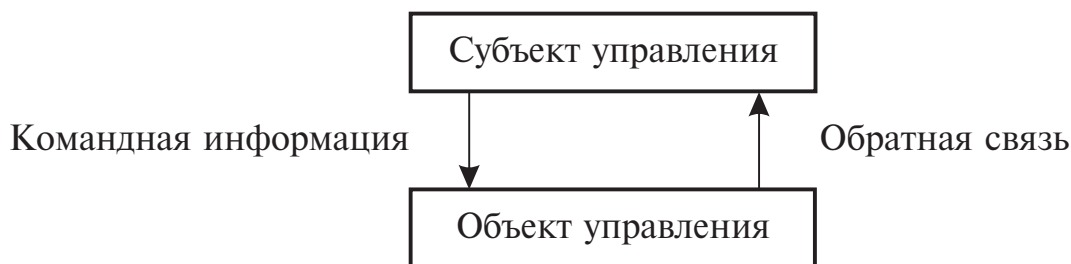


Рис. 7.2. Схема управления

Необходимо отметить, что существуют различные стили управления, среди которых наиболее характерны для рассматриваемой нами области следующие.

По воздействию на управляемый объект выделяется отраслевое и территориальное управление. **Отраслевое управление** предполагает наличие вертикали соподчиненности от центра до предприятия. Наиболее широко оно реализуется в управлении через министерства, которые призваны осуществлять единую техническую политику в отрасли, обеспечивать необходимые внутриотраслевые пропорции.

Отраслевое управление предполагает обоснование цели (производство конкретных видов продукции), применение управленческих функций (планирование, организация, контроль), построение организационной структуры звеньев управления (предприятие, объединение, министерство), разработку народно-хозяйственных, межотраслевых, отраслевых балансов.

В последнее время роль отраслевого управления снизилась, что обусловлено рядом причин, прежде всего переходом на рыночные взаимоотношения.

**Территориальное управление** осуществляется тремя источниками власти: федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации и органами местного самоуправления. Территориальное управление обеспечивает рациональное размещение производства, углубление специализации и комплексное развитие регионов, выравнивание уровней их экономического и социального развития и решение ряда других задач, в том числе проблем защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций различного характера, а также от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий. Оно предполагает разграничение прав и ответственности между федеральными и региональными законодательными и исполнительными органами власти.

По способу учета интересов объектов управления различают административное и экономическое управление. **Административное управление** непосредственно воздействует на интересы управляемых с помощью размещения, запрета и принуждения, применяемых независимо от их мнения. Оно является необходимым компонентом любого управления, хотя его масштабы могут быть разными. В структуре исполнительных органов с несколькими уровнями управления оно имеет самодавяющее значение и реализуется через назначение, освобождение от работы, поощрение, наказание должностных лиц. В государственном регулировании экономики администрирование осуществляется в лицензировании деятельности, квотировании экспорта, импорта и в других случаях.

**Экономическое управление** воздействует на интересы объектов управления косвенно, т.е. через хозяйственное законодательство, финансовую, денежную и кредитную государственную политику. В данном случае отсутствует прямое принуждение или поощрение. Объект управления свободен в выборе действий, но в случае противоречия их законодательству он возмещает ущерб государству.

В зависимости от **срока исполнения принимаемых решений** управление подразделяется на оперативное, техническое и стратегическое.

**Оперативное управление** призвано решать текущие или возникающие в результате непредвиденных ситуаций задачи. Оно ставит конкретные, количественно измеряемые ориентиры и использует ситуационный подход, при котором выбирается приемлемый вариант исходя из сложившихся условий.

**Стратегическое управление** определяет цели и задачи, долгосрочную ориентацию по вопросам развития страны в целом или по отдельным сферам, объектам, территориям, задает направления деятельности каждому звену управления. Стратегическое управление имеет глубокое обоснование и увязывается с общим политическим курсом государства или с доктриной того или иного его направления, реализует выбранный курс. Основой стратегического управления являются стратегический план, концепция развития и другие документы, отражающие постановку и методы достижения долгосрочных целей.

**Техническое управление** выражается в конкретных действиях для реализации стратегических установок.

В практической деятельности по государственному управлению руководствуются принципами, этическими нормами, которые служат обобщенным выражением рациональной практики управления. Основными из них являются:

— **сочетание полномочий с ответственностью.** Полномочия — это право принимать решения; ответственность — оборотная сторона полномочий;

— **выделение ведущего звена.** Ведущими (приоритетными) считаются сферы, отрасли, социально-экономические проблемы, от развития и решения которых зависит состояние всего общества;

— **комплексность.** При обеспечении приоритетов предусматривается соответствующее развитие других сфер, особенно смежных;

— **соподчиненность.** Интересы меньшего объекта не могут быть выше интересов более крупного объекта. В иерархической цепи управляющих и управляемых каждое среднее звено выступает в роли и управляемого и управляющего. Утверждаются правила, определяющие, кто, как, на каком уровне и какое принимает решение;

— **единоначалие.** Исполнитель получает задание непосредственно от одного руководителя. За выполнение работы руководитель отвечает в полной мере, если обладает всей полнотой принятия решения в данной сфере;

— **инициативность и профессионализм.** Добровольная разработка исполнителем плана мероприятий и обеспечение его выполнения. Каждый на своем месте должен быть лучшим специалистом. В своей области заместитель должен быть эрудированнее начальника;

— **соответствие цели средствам ее достижения.** Цель не всегда оправдывает средства. Необходимо определение границы допустимой цели, масштабов принуждения к исполнению и наказания;

— **своевременность принятия решений.** Для достижения одной и той же цели могут предлагаться даже диаметрально противоположные пути ее достижения. Истинность программы на старте определить невозможно, критерием выступают только практические шаги по тому или иному пути. Лучше принять решение, идти вперед даже методом проб и ошибок, чем медлить, стоять на месте;

— **сочетание линейных и функциональных служб.** Линейному руководителю сложно выполнять многочисленные функции управления: для этого нужна подготовка по многим отраслям знаний. Поэтому линейное руководство осуществляется с помощью функциональных органов, состоящих из квалифицированных специалистов по отдельным функциям управления. Руководитель сложной системы направляет, объединяет и координирует деятельность линейных руководителей и руководителей функциональных служб;

— **предупреждение проблем.** Управленческие задачи должны решаться таким образом, чтобы не возникли новые проблемы.

В целом государственное управление в стране должно обеспечить функционирование хозяйственного механизма; развитие социальной, экологической и других сфер; укрепление российской государственности и позиции страны в мире.

В процессе управления безопасностью и риском следует предусматривать широкое использование электронно-вычислительных машин и других средств автоматизации, в частности, автоматизированной информационной управляющей системы РСЧС (АИУС — РСЧС), автоматизированной информационно-управляющей системы «Экология России» и других [114, 115].

Рассматриваемый вид управления связан с приведением в действие социальных, экономических, организационно-технических, а также нормативных правовых механизмов. Поэтому принципы и структура процесса управления основываются на теории и практике управления социально-экономическими системами. Заметим, что существенный вклад в развитие указанной теории, применительно к чрезвычайным ситуациям, внесен Порфирьевым Б.Н. [107], Бурдаковым Н.И., Кульбой В.В., Назаретовым В.Н. [8] и др.

Исходя из современных взглядов на процесс управления в экстремальных условиях, совокупность определенным образом организованных органов управления, которые решают задачи по анализу, оценке безопасности и риска, выработке адекватных управленческих решений, следует рассматривать как сложную иерархическую систему. Управление такими системами осуществляется с использованием методов общей теории управления, теории неантагонистических игр и информационной теории иерархических систем [79, 80].

Основной структурной единицей любой иерархической системы является пара элементов, один из которых занимает подчиненное положение по отношению к другому. Связи между элементами могут быть также и горизонтальными. В этом случае принцип подчиненности является условным, он проявляется главным образом в направленности информационных потоков. Управляющие сигналы по горизонтальным связям отсутствуют.

В иерархических структурах может быть и двойная подчиненность, когда определенные элементы системы замкнуты на два центра управления (элементы более высокого иерархического уровня). В этом случае многоуровневая система имеет не древовидную структуру, характерную для классических иерархических систем, а структуру из компонентов типа перевернутого дерева или так называемых ромбовидных компонентов. Каждый из элементов системы в этом случае имеет свое пространство управления, характеризующееся множеством информационных и управляющих связей, внешних факторов и ограничений, влияющих на процесс управления. Состояние каждого из элементов с точки зрения центра описывается функцией, определяемой воздействиями центра (элемента или элементов более высокого уровня), воздействиями других элементов и внешними факторами. Любой элемент иерархической системы имеет свои интересы в рассматриваемых аспектах деятельности, обычно описываемых в виде определенных функционалов, называемых в теории иерархических систем критериями эффективности. Следует заметить, что более правильно такие функционалы было бы называть целевыми.

Разные уровни иерархической системы различаются по степени их информативности и по возможностям управления. Элемент нижнего уровня не в состоянии полностью реализовать цели верхнего уровня. На достижение этих целей влияет деятельность других элементов данного уровня. Заметим, что

верхний уровень не может назначать свои цели нижнему уровню, так как это противоречит иерархическому принципу построения системы, в соответствии с которым предусматривается разделение функций обработки информации и принятия решений по уровням.

С учетом принципов построения РСЧС, включающей территориальные и функциональные подсистемы и имеющей три уровня управления: федеральный, региональный и местный, процесс управления безопасностью и риском при техногенных воздействиях целесообразно организовывать и осуществлять на основе иерархической структуры функциональных связей, как показано на рис. 7.3.

При организации управленческого процесса в структуре РСЧС, в соответствии с приведенной схемой, необходимо предусматривать органическое вплетение основных элементов процесса управления безопасностью и риском на всех его стадиях в общие функциональные задачи, решаемые РСЧС. В этом случае на всех иерархических уровнях может быть обеспечена адекватная оценка техногенной обстановки и эффективное управление безопасностью и риском, согласованное с другими действиями органов управления РСЧС.

Организационно-функциональная структура процесса управления безопасностью и риском при техногенных воздействиях соответствует территориально-ведомственному принципу построения РСЧС.

Основную вертикаль органов управления, которые решают функциональные задачи, связанные с управлением безопасностью и риском, составляют территориальные управленческие структуры РСЧС. Эти органы управления призваны нести на себе главные функции по руководству всей деятельностью подсистем и звеньев РСЧС по обеспечению приемлемых уровней риска и безопасности.

В соответствии с замыслом на создание РСЧС, территориальные органы управления должны занимать ключевые позиции в создании и использовании распределенных баз данных о всех видах опасностей, в том числе об опасных в техногенном отношении объектах, техногенной обстановке на подведомственных территориях и ее влиянии на население и окружающую среду, а также других информационных фондов, содержащих модели возникновения и развития типовых аварийных ситуаций, техногенных воздействий и т.д. Эти органы управления обладают наиболее широкими возможностями по комплексному решению задач, связанных с выявлением техногенной обстановки, анализом и оценкой риска, подготовкой и принятием управленческих решений.

Содержание функциональных задач и направленность действий по управлению безопасностью и риском существенно зависят от того уровня, который занимает тот или иной территориальный орган управления в структуре системы РСЧС. Так, например, для верхних звеньев территориальной подсистемы РСЧС целесообразными функциями являются: выработка целевых установок и стратегий управления безопасностью и риском; создание законодательной и нормативной правовой базы; разработка и осуществление государственных целевых и научно-технических программ по управлению безопасностью и риском; на нижних — проведение анализа и оценки уровней безопасности и рис-



Рис. 7.3. Организационно-функциональная структура многоуровневого процесса управления безопасностью и риском при техногенных воздействиях

ка для конкретных территорий и объектов, осуществление превентивных и оперативных мероприятий по обеспечению техногенной безопасности.

Другую вертикаль в системе органов управления РСЧС занимают функциональные подсистемы.

Функциональные подсистемы РСЧС, каждая из которых объединяет органы управления, силы и средства определенных федеральных органов исполнительной власти, решающих схожие задачи по наблюдению и контролю за состоянием окружающей среды и обстановки на потенциально опасных объектах, по предупреждению чрезвычайных ситуаций, защите жизни и здоровья людей, созданию и использованию чрезвычайных резервных фондов, ликвидации чрезвычайных ситуаций на местном, региональном и федеральном уровнях, могут выполнять определенные специфические для этих подсистем функции по управлению безопасностью и риском.

Например, на функциональную подсистему контроля за обстановкой на потенциально опасных объектах, состоящую из органов Ростехнадзора, целесообразно возложить разработку нормативно-технических документов по контролю за безопасностью и риском, с учетом возможных техногенных аварий и катастроф, а также рекомендаций по анализу, оценке и управлению безопасностью и риском на объектах, опасных в техногенном отношении, и другие задачи по профилю деятельности подсистемы.

Функциональная подсистема экологической безопасности, создаваемая на основе структур МПР России, может решать задачи по анализу, оценке и управлению безопасностью и техногенным риском критических популяций животных, растительных сообществ, биоценозов, экосистем и т.п.

Соответствующие задачи по обеспечению техногенной безопасности могут возлагаться на функциональные подсистемы:

- защиты и жизнеобеспечения населения при чрезвычайных ситуациях;
- защиты городов и населенных пунктов от аварий и стихийных бедствий;
- санитарно-эпидемиологического надзора за состоянием здоровья населения в связи с состоянием среды его обитания;
- экстренной медицинской помощи в чрезвычайных ситуациях;
- предотвращения и ликвидации последствий аварий и катастроф на морском и речном транспорте;
- противопожарных и аварийно-спасательных работ;
- охраны лесов от пожаров;
- чрезвычайных резервных фондов финансовых, продовольственных, медицинских и материально-технических ресурсов;
- целевых видов страхования.

## **7.2. Целевая функция и предметная область управленческого процесса в сфере радиационной и химической безопасности**

Как отмечено выше, под управлением в самом широком смысле обычно понимается процесс целенаправленного воздействия на объект управления или процесс формирования заранее определенного поведения той или иной системы посредством информационно-управляющих воздействий.

Анализ сложившихся в России традиций в сфере управления радиационной и химической безопасностью, а также положений действующих нормативных правовых документов и рекомендаций, в том числе международного уровня, которые касаются этой проблемы, показывает, что управленческий процесс в рассматриваемой сфере деятельности отличается большим функциональным разнообразием. Он несет на себе функции выработки и реализации государственной стратегии и политики по управлению радиационной и химической безопасностью, нормативно-правового и иного регулирования, непосредственного управления в порядке реагирования на изменяющиеся условия, надзора и контроля и т.п.

Весьма важно в этом сложном процессе правильно определить объект, субъект управления и основную (главную) целевую функцию управленческого процесса.

По мнению авторов, объектами управленческого процесса в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности с полным основанием следует считать объекты, являющиеся источниками и реципиентами радиационных и химических воздействий. Имеется в виду, что указанные объекты управления имеют сложную иерархическую структуру, отражающую масштабы радиационной и химической опасности для отдельных категорий и групп населения, а также социально-экономических систем того или иного уровня, включая федеральный.

Представления авторов о предмете управления в сфере радиационной и химической безопасности согласуются с теорией стратегических рисков, получившей в последнее время развитие в работах российских ученых и специалистов МЧС России [137]. Радиационный и химический риск в тех случаях, когда возникают крупномасштабные аварии и катастрофы, приобретающие большой пространственно-временной размах, имеет стратегический смысл и входит в число показателей, по которым может оцениваться уровень безопасности того или иного региона и даже государства в целом.

Субъект управления радиационной и химической безопасностью, с учетом иерархически сложной и многоуровневой управленческой структуры, представляет собой некое распределенное множество взаимосвязанных органов управления, каждый из которых несет вполне определенные функции. В состав этого множества входят: Росатом, одной из задач которого является обеспечение радиационной безопасности при использовании атомной энергии; Ростехнадзор, Роспотребнадзор, многие другие федеральные органы исполнительной власти, управленческие структуры акционерных и других объединений, а также находящиеся в их ведении предприятия и объекты любых форм собственности, где используются источники ионизирующих излучений и АХОВ.

Целевые функции являются весьма важными характеристиками управленческого процесса. Основная (главная) целевая функция, по сути, выражает конечную цель (прогнозируемый результат) управления в сфере радиационной и химической безопасности, осуществляемого в верхних его эшелонах, частные целевые функции таким же образом, но с помощью иных показателей



характеризуют управленческий процесс на всех остальных более низких уровнях. Совокупность целевых функций по существу образует дерево целей управленческого процесса, с учетом всей его многоступенчатой, широко разветвленной и многообразной структуры.

По мнению авторов, в качестве основной (главной) целевой функции процесса управления радиационной и химической безопасностью может быть принято сохранение и поддержание на научно обоснованном и приемлемом в социально-экономическом отношении на данном этапе развития общества уровня качества жизни и среды обитания при наличии и действии источников и факторов опасности радиационной и химической природы.

Как известно, качество жизни характеризуется четырьмя основными показателями: здоровьем людей; уровнем потребностей людей и степенью их удовлетворения; уровнем знаний в широком смысле, включая осведомленность об угрозах и опасностях различного рода и т.п.; степенью реализации прав человека, в том числе на экологически безопасную и здоровую окружающую среду. Наиболее важным из этих показателей признается здоровье людей как основных представителей живой природы, которые управляют многими процессами, происходящими по их воле на Земле и от которых в современных условиях глобального экологического кризиса зависит формирование нового отношения к природе, новой системы ценностей, новых моральных императивов в сфере взаимосвязи человека и природы.

Вполне понятно, что для оценки здоровья необходим достаточно представительный количественный показатель. Как уже отмечалось, в качестве такого показателя при оценках, которые необходимо проводить в рамках затрагиваемых нами вопросов, целесообразно принять величину средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОППЖ). Этот показатель в настоящее время довольно широко применяется в различных исследованиях при количественной характеристике качества жизни. Уместно его применение, на наш взгляд, и в структуре целевой функции процесса управления радиационной и химической безопасностью.

Однако наряду с СОППЖ, представляется, что определенный, а иногда и весьма значительный вклад в сохранение на необходимом уровне качества жизни в условиях наличия и действия радиационных и химических факторов опасности играют такие составляющие упомянутых выше показателей качества жизни, как: уровень знаний и осведомленности людей из населения и персонала потенциально опасных объектов об опасностях и угрозах радиационного и химического характера, а также необходимых в том или ином конкретном случае мерах и действиях по обеспечению безопасности; фактическая степень реализации прав человека на безопасную в радиационном и химическом отношении среду обитания.

Возможные пути претворения в жизнь рассмотренных выше целевых функций непосредственно связаны с предметной областью управленческого процесса. Поэтому представляется целесообразным обратиться к ее рассмотрению.

Содержание и организация любого управленческого процесса, в том числе в сфере радиационной и химической безопасности, в значительной мере определяется той предметной областью, в которой он осуществляется.

При формировании системы научных идей, принципов, закономерностей и положений, которые бы адекватно отражали сложившиеся представления о целях, функциональных задачах, организационных формах, материальных и концептуальных системах в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности, весьма важно правильно определить эту предметную область.

В соответствии с общепринятыми представлениями предметную область в той или иной сфере человеческой деятельности составляют: определенное множество (совокупность) объектов и субъектов, участвующих в этой деятельности; образуемые и создаваемые ими системы и подсистемы различного вида (социально-экономические, организационно-технические, концептуальные и др.); связи и взаимоотношения между ними, а также процессы и явления того или иного характера, влияющие на рассматриваемую деятельность.

К предметной области также могут быть отнесены законы и закономерности, регулирующие взаимоотношения между структурными элементами предметной области, определяющие процессы формирования факторов вредного воздействия на человека, окружающую среду и объекты техносферы. Следует, однако, заметить, что математическое или иное описание этих законов и закономерностей более целесообразно рассматривать в структуре базы знаний информационно-управленческой технологии процесса обеспечения радиационной и химической безопасности, которая в дальнейшем будет рассмотрена.

От того, насколько строго и правильно будут установлены структура, содержание, характер и особенности составных элементов предметной области зависит возможность проведения полноценных исследований тех или иных аспектов управленческого процесса и достоверность их результатов, а также масштабы и условия использования этого понятия в сфере практической деятельности.

Основываясь на вышеизложенных соображениях, попытаемся очертить предметную область в сфере управления радиационной и химической безопасностью и определить состав основных ее структурных элементов.

На наш взгляд, в рассматриваемую предметную область следует включить:

— органы исполнительной власти, выполняющие управленческие, координационные, надзорные и контрольные функции в сфере управления радиационной и химической безопасностью;

— социально-экономические системы различного уровня (от федерального до местного) как совокупности организованных коллективов людей, населения, объектов экономики и инфраструктуры, а также природно-хозяйственных, природно-территориальных комплексов и экосистем, образующих единое структурно-функциональное целое, где осуществляется хозяйственная деятельность, связанная с использованием объектов, которые обладают радиационной и химической опасностью;

— систему реальных и потенциальных угроз и опасностей радиационного и химического характера для населения и территорий, методы их анализа, оценки и прогнозирования;

— систему жизненно важных интересов человека, общества и государства в сфере радиационной и химической безопасности;

— условия и причины возникновения аварий, катастроф и обусловленных ими чрезвычайных ситуаций на радиационно и химически опасных объектах, методы их исследования и выявления;

— факторы радиационного и химического риска хозяйственной и иной деятельности;

— деструктивные силы и факторы риска опасных природных явлений и процессов, которые могут явиться причиной возникновения аварий и катастроф на радиационно и химически опасных объектах;

— объекты, являющиеся источниками и реципиентами радиационной и химической опасности и риска;

— ряд различного рода организационно-технических систем, в том числе систем полиэрготехнического характера.

К системам полиэрготехнического характера в данном случае могут быть отнесены:

— единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, функционирующая на федеральном, региональном, территориальном и местном и объектовом уровнях;

— функциональная подсистема РСЧС Росатома;

— функциональная подсистема РСЧС охраны общественного порядка МВД России;

— функциональная подсистема РСЧС наблюдения и контроля за стихийными гидрометеорологическими и гелиогеофизическими явлениями и загрязнением окружающей среды Росгидромета;

— функциональная подсистема РСЧС медицины катастроф Минздравсоцразвития России;

— функциональная подсистема РСЧС Минобороны России и др.;

— функциональная подсистема РСЧС предупреждения и борьбы с пожарами МЧС России;

— функциональная подсистема РСЧС наблюдения за сейсмическими явлениями РАН;

— формирования и группировки сил и средств МЧС России, других федеральных органов исполнительной власти, привлекаемых для решения задач защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, в том числе касающихся обеспечения радиационной и химической безопасности;

— система органов государственной власти, органов военного управления и других структур, на которые возлагаются функциональные задачи по управлению подготовкой и ведением гражданской обороной, защитой населения и территорий от чрезвычайных ситуаций;

— система комплексного мониторинга природных и техногенных воздействий, в том числе радиационного и химического характера, на человека, окружающую среду и объекты техносферы;

— система информационно-интеллектуальной поддержки подготовки и принятия управленческих решений и автоматизированного управления в сфере защиты населения и территорий;

— ряд концептуальных систем по тем или иным направлениям деятельности в сфере защиты населения, территорий и обеспечения радиационной и химической безопасности. Например, принятая система взглядов и положений по анализу, оценке и прогнозированию факторов радиационной и химической опасности и риска; система взглядов и положений по управлению техногенными, природными и экологическими рисками, в том числе радиационного и химического характера, для населения и территорий; система разработанных стратегий по защите населения и территорий, обеспечению высокого качества жизни и среды обитания населения, а также положений и правил по их реализации в зависимости от складывающихся условий и т.п.

К предметной области управления в сфере радиационной и химической безопасности необходимо также отнести некоторые природные явления и процессы, связанные с возникновением и развитием чрезвычайных ситуаций различного характера, затрагивающих радиационно и химически опасные объекты. В качестве примера можно привести землетрясения, наводнения, извержения вулканов, террористические акты и др.

Что же касается, например, законов поражения, закономерностей распространения вредных химических, радиоактивных и других веществ и субстанций, то они с большим основанием могут быть отнесены к базе знаний.

Предметная область в сфере управления радиационной и химической безопасностью, ее конкретное содержание и структура имеют важное как теоретическое, так и практическое значение. Она является одним из основных элементов информационно-управленческой технологии в рассматриваемой области знаний и практической деятельности. В поле предметной области находятся пути достижения целевых функций процесса управления радиационной и химической безопасностью.

### **7.3. Структурирование и некоторые подходы к моделированию предметной области**

При решении многих исследовательских и практических задач в сфере управления радиационной и химической безопасностью возникает необходимость в определенном структурировании предметной области и моделировании составляющих ее элементов.

Первой причиной, вызывающей необходимость структурирования, является раздельное в определенных аспектах рассмотрение проблем управления радиационной и химической безопасностью. Хотя следует заметить, что и в принципах, и содержании, и организации управленческого процесса здесь

много общего. Структурирование необходимо и в силу наличия нескольких уровней и иерархичности управленческого процесса, а также достаточно большого разнообразия форм и методов управления. Наконец, без определенного структурирования предметной области не обойтись при моделировании процесса управления.

Моделирование управленческого процесса в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности приобретает высокий смысл и особую важность при разработке информационно-управленческих технологий и формировании системы интеллектуальной поддержки подготовки и принятия решений по обеспечению безопасности и защиты населения и территорий.

Структурирование предметной области в интересах этого моделирования, на наш взгляд, должно предусматривать разделение систем, являющихся элементами предметной области, на группы или блоки, в зависимости от их характера и функциональной нагрузки.

В этом случае целесообразно рассматривать следующие два основных блока элементов:

а) блок материальных систем и объектов, включающий:

— социально-экономические системы различного уровня и природно-хозяйственные комплексы, организационно-технические системы, включая системы полиэрготехнического характера, так или иначе связанные с использованием ядерной энергии, источников ионизирующих излучений, опасных химических веществ, или осуществлением определенных управленческих, надзорных, контрольных функций в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности, а также отдельные важные хозяйственные и иные объекты, которые относятся к чувствительным реципиентам воздействий радиационного и химического характера;

— непосредственные источники угроз и воздействий радиационных и химических факторов;

— другие материальные системы, относящиеся к организационно-техническим, но обладающие определенными особенностями, в частности, системы полиэрготехнического характера, органы управления, координации и контроля, силы, средства и системы, обеспечивающие решение задач комплексного мониторинга, включающего радиационную и химическую составляющие, состояния окружающей среды и техносферы, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;

б) блок концептуальных систем по анализу, оценке и прогнозированию техногенных, природных и экологических факторов опасности и риска, в том числе: факторов радиационной и химической природы, управления безопасностью и рисками, обеспечения смягчения последствий аварий, катастроф и опасных природных явлений и других направлений деятельности в сфере защиты населения, территорий и обеспечения радиационной и химической безопасности.

Следует подчеркнуть, что моделирование структурных элементов предметной области, а также составляющих их систем имеет свои особенности.

Моделирование социально-экономических и организационно-технических систем блока материальных систем, на наш взгляд, целесообразно производить основываясь на представлениях о человеко-машинных системах, развитых в работах П.Г. Белова [90, 91].

Трансформируя взгляды П.Г. Белова на эти системы, можно в достаточно простом виде представить их обобщенную модель.

Заметим, что к классу социально-экономических систем, помимо собственно социально-экономических систем, основу которых составляет то или иное административно-хозяйственное образование (например, район, область), могут быть отнесены природно-хозяйственные и природно-территориальные комплексы, в границах которых в той или иной форме используется атомная энергия, источники ионизирующих излучений, опасные химические вещества, либо осуществляется производство, хранение или перевозка этих источников и веществ.

К классу организационно-технических систем относятся, по сути, все остальные материальные системы и объекты, представляющие собой некую совокупность организованных по профессиональным признакам коллективов людей, технических средств и систем, инженерных сооружений и различного рода других объектов целенаправленной деятельности людей, выполняющих определенные функциональные задачи, связанные с использованием атомной энергии, опасных химических веществ, обращением с источниками ионизирующих излучений.

Частным случаем организационно-технических систем являются так называемые полиэрготехнические системы, характерные признаки которых состоят в многообразии и разнородности внутренних структур и функциональных задач. Для моделирования этих систем, помимо рассматриваемого подхода, целесообразно применение, кроме того, методов теории динамических систем, являющихся более сложными, но дающими широкие возможности для анализа и оценки эффективности функционирования такого рода систем.

Обобщенная модель социально-экономических и организационно-технических систем, составленная в развитие взглядов П.Г. Белова, приведена на рис. 7.4.

Как известно, с термодинамической точки зрения устойчивое состояние системы соответствует максимуму энтропии. Понятие об энтропии как термодинамической функции было введено еще в середине XIX века Клаузевицем. В настоящее время оно широко используется в информатике для обозначения меры упорядоченности системы.

Человеческая деятельность в любой сфере, в том числе в производственно-хозяйственной, социальной и т.п., в целом носит системный характер и направлена на согласование и упорядочение всех структур, процессов и явлений, находящихся в поле этой деятельности.

Согласно второму закону термодинамики и информационной трактовке энтропии это ведет к уменьшению энтропии, а следовательно, и к снижению устойчивости рассматриваемых систем, приводит их в неустойчивое состояние.



Обратная связь, вносящая определенные коррективы в объем и содержание входных и ограничивающих действий

- $J(t)$  — входное и ограничивающее воздействия на систему: поступающие извне ресурсы; целевые функции и задачи; пространственные, временные, материальные и иные ограничения;
- $E(t)$  — выходные воздействия системы на внешнюю среду: результаты функционирования системы в соответствии с целевой установкой;
- $t$  — временной параметр.

Рис. 7.4. Обобщенная модель социально-экономических и организационно-технических систем

На первый взгляд парадоксально, что технический прогресс, связанный с внедрением новых более эффективных средств выработки, преобразования, накопления различных видов энергии, промышленных и иных технологий и т.п., влечет за собой увеличение числа угроз и опасностей, количества аварий и катастроф. Вместе с тем это вполне объяснимо. Технический прогресс предполагает все более высокую степень упорядоченности во всех сферах деятельности, что ведет к уменьшению энтропийного фактора. Правда, в полном смысле это касается изолированных систем, т.е. систем не взаимодействующих с окружающей средой. Реальные же системы, о которых идет речь, не являются таковыми. Применительно к ним выводы о закономерностях изменения энтропии могут быть приняты со значительной долей погрешности.

Тем не менее есть все основания констатировать, что в реальных системах неизбежно происходит концентрация энергии того или иного вида в определенных структурных узлах производственных и иных объектов. Такого рода явление относится к процессу упорядоченности и образованию определенной топографии энергетических потенциалов. По мнению П.Г. Белова, в объективном стремлении энергетических потенциалов к выравниванию заложена природа аварийности на хозяйственных объектах.

Реальные социально-экономические и организационно-технические системы имеют внешние связи, обмениваются с окружающей средой материальными субстанциями и энергией и являются по существу открытыми. В число этих внешних связей следует включать и те меры и действия, которые осуществляются в интересах обеспечения безопасности рассматриваемой системы на более высоких иерархических уровнях управления.

В конечном счете обеспечение безопасности за счет собственных ресурсов системы, а также за счет внешних воздействий направлено на стабилизацию энтропийного фактора и энергетического поля, характерного для устойчивого состояния системы.

Моделирование структурных элементов предметной области управления радиационной и химической безопасностью, являющихся источниками опасности техногенного происхождения, сводится, как правило, к моделированию определенных процессов. Для промышленных и иных объектов, являющихся источниками радиационной и химической опасности, — это главным образом технологические и управленческие процессы, осуществляемые при функционировании этих объектов.

В моделировании предметной области в сфере управления радиационной и химической безопасности важная роль отводится моделированию материальных систем и, в частности, материальных систем полиэрготехнического характера.

Как уже отмечалось ранее, такого рода системы отличаются наличием в своем составе разнородных организационных структур и многообразием технических и инженерно-технических систем и средств.

К материальным организационно-техническим системам рассматриваемого вида нами отнесены: органы управления, координирования и контроля; формирования и группировки сил и средств, решающих задачи защиты населения, территорий и обеспечения радиационной и химической безопасности; система комплексного мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций; автоматизированная информационно-управляющая система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

В число такого рода систем также входят такие структуры, как Ростехнадзор, занимающийся контрольно-профилактической деятельностью, органы декларирования и страхования безопасности и другие структуры, выполняющие важные задачи в интересах защиты населения и территорий от угроз и опасностей радиационного и химического характера.

Моделирование материальных систем полиэрготехнического характера, относящихся к предметной области управления радиационной и химической безопасностью, может основываться на теории моделирования динамических систем, развитой в работах П.Г. Белова [90, 91].

Такого рода моделирование дает более широкие возможности для проведения исследований, чем использование рассмотренной ранее обобщенной модели.

Динамическую модель исследуемых систем в общем виде можно представить как полуоткрытый «черный ящик» (рис. 7.5.).



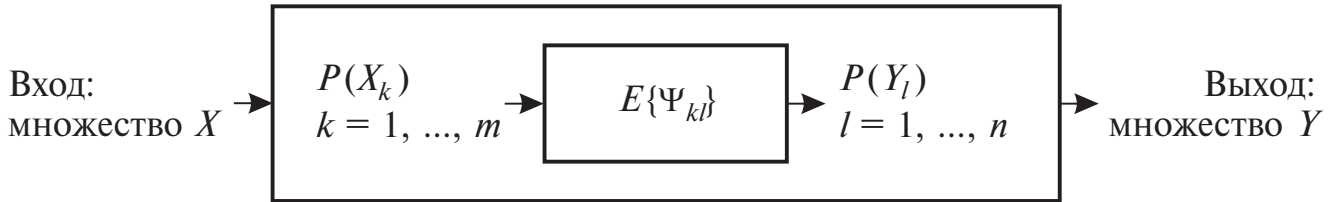


Рис. 7.5. Модель материальной системы, как динамической системы

На вход системы в общем случае поступает определенное множество входных элементов (данных воздействий на систему)  $X = \sum_{k=1}^m X_k$ , на выходе системы образуется множество выходных элементов (результатов функционирования системы):  $Y = \sum_{l=1}^n Y_l$ .

Система характеризуется оператором  $E(\Psi)$ , осуществляющим необходимые преобразования входных элементов множества  $X$  в выходные элементы множества  $Y$ . Причем преобразования происходят с определенной результативностью или эффективностью  $\Psi$ , в зависимости от особенностей входных элементов и характера проводимых преобразований.

Например,  $X_k$  преобразуется в  $Y_l$  с результативностью  $\Psi_{kl}$ . Ядро модели, обеспечивая преобразование, выдает результат в виде матрицы  $\{\Psi\}$  из элементов  $\Psi_{kl}$ , показывающих результативность каждого из отдельных преобразований.

Процессы поступления в систему входных элементов и выработки системой выходных элементов в реальных условиях зависят от большого числа случайных событий и носят статистический характер. Обозначим вероятность поступления входных элементов через  $P(X_k)$ , а условную вероятность выработки выходных данных как  $P(Y_l|X_k)$ . Заметим, что речь идет об условной вероятности  $P(Y_l|X_k)$ , т.к. выработка  $Y_l$  может быть реализована при наличии на входе в систему  $X_k$ .

С учетом указанных выше соображений оператор динамической материальной системы выражается формулой:

$$E\{\Psi\} = \sum_{k,l} \Psi_{kl} P(X_k) P(Y_l|X_k). \quad (7.1)$$

Когда  $n = m$ , матрица  $\{\Psi\}$  квадратная. При  $n < m$  считается, что отдельные входные элементы дублируют избыточные входные элементы, а ряд значений  $\Psi_{kl}$  является функцией трех аргументов.

Таковы основные свойства обобщенной модели.

Для ее приложения к той или иной координатной системе важно правильно определить физический смысл входных и выходных элементов, а также технологию переработки данных ядром модели.

Например, входными элементами модели полиэрготехнической системы, представляющей собой некую организационно и функционально связанную совокупность органов управления, координации и контроля, могут быть:

— информация о возникших угрозах и опасностях радиационного и химического характера для населения и территорий, предпосылках для возникно-

вения техногенных аварий и катастроф, о возникновении чрезвычайных ситуаций;

- сведения о состоянии и степени готовности формирований и группировок сил и средств, предназначенных для ликвидации последствий радиационных и химических аварий;

- данные о наличии всех видов ресурсов для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;

- донесения о динамике ликвидации аварий и катастроф, о выдвигении сил, средств и доставке материальных ресурсов к месту проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ;

- своевременность, полнота и эффективность выполнения поставленных задач в управленческих решениях и т.п.

Выходными элементами в этом случае являются наиболее целесообразные решения по предупреждению опасных в радиационном и химическом отношении аварий и катастроф, меры и действия по защите населения и территорий, адекватные обстановке (входной информации об обстановке), направления основных усилий по ликвидации чрезвычайных ситуаций и т.п.

Входные элементы системы комплексного мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций могут включать: данные источников первичной информации о радиационной и химической обстановке, состоянии окружающей среды, источниках вредных воздействий на здоровье человека и т.п.

К числу выходных элементов такой системы относятся:

- результаты оценки и прогноза развития радиационной и химической обстановки;

- данные о влиянии этой обстановки на здоровье человека;

- предложения для принятия управленческих решений по защите населения и территорий от воздействия радиационных и химических факторов, а также нормализации возникшей в результате аварии (катастрофы) обстановки и т.п.

Система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с наличием опасностей радиационного и химического характера, отличается большой сложностью и разветвленностью структур. В ее составе силы и средства, органы управления подсистемы РСЧС Росатома, Минобороны России, а также других федеральных органов исполнительной власти. Деятельность этих структур осуществляется при координирующей роли МЧС России.

Рассматриваемая система отличается структурной сложностью и неоднозначностью управленческих связей. На наш взгляд, ее функционирование в полной мере вписывается в рамки динамической модели.

Однако в данном случае множества входных и выходных элементов матрица ядра модели  $\{\Psi\}$  приобретает значительные размеры.

Возникают сложности и в определении оператора преобразования входных элементов в выходные.

Можно было бы привести примеры входных и выходных элементов, свойственных этой системе. Однако в этом нет необходимости. Во-первых, многие элементы будут аналогичны тем, которые указаны в предыдущих примерах.

Во-вторых, здесь в зависимости от решаемых задач моделированию может подлежать функционирование системы не в полном объеме, а лишь по определенным направлениям. В этом случае состав и характер входных и выходных элементов будет соответствовать решаемой задаче.

Приведем некоторые соображения по моделированию систем концептуального характера. К такого рода системам в сфере управления радиационной и химической безопасностью следует отнести:

- принятую концепцию и методологию анализа, оценки и прогнозирования техногенных, природных и экологических факторов риска для населения и территорий, имеющих радиационную и химическую природу;

- систему стратегий, а также превентивных и оперативных мер и действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с наличием опасностей и воздействий радиационного и химического характера;

- систему взглядов, практических рекомендаций и процедур по управлению безопасностью и риском, обеспечению смягчения последствий аварий, катастроф и опасных природных явлений;

- кооперативное соглашение (энвайроментальный паритет) между регионами, субъектами Федерации и другими административно-хозяйственными образованиями (социально-экономическими системами) по защите населения и территорий от общих источников радиационной и химической опасности, а также другие документы научно-методического и нормативного характера, содержащие концептуальные положения по тем или иным аспектам обеспечения защиты населения и территорий.

Моделирование такого рода систем состоит в структуризации указанных концепций и методологий, формализации и морфологическом описании их структурных элементов.

Это моделирование имеет целью представление концепций и методологий в удобном для анализа и практического использования виде. При моделировании необходимо обеспечить адекватность модели концепциям и методологиям и возможность получения новых знаний в области исследуемых вопросов и проблем.

Коротко остановимся на концептуальной основе так называемого энвайроментального паритета.

Этот новый подход к распределению материальной ответственности за обеспечение безопасности в широком смысле, в том числе радиационной и химической безопасности, между определенными объектами (социально-экономическими системами того или иного уровня, природно-хозяйственными образованиями и т.п.), являющимися реципиентами вредных воздействий от общего для них источника опасности, появился совершенно недавно.

В общем виде в отечественной литературе он описан в работе И.И. Кузьмина, Н.А. Махутова, С.В. Хетагурова [69].

Суть концепции энвайроментального паритета применительно к рассматриваемым нами системам состоит в следующем.

Если общий для двух соседних социально-экономических систем источник техногенной, например, радиационной или химической опасности, располо-

жен на территории социально-экономической системы (СЭС), для которой собственные расходы по снижению риска именно от этого источника не являются приемлемыми с точки зрения достижения безопасности и могут даже привести к снижению ее общего уровня за счет этих расходов, то существуют условия кооперативного соглашения («энвайроментальный паритет»), которые выгодны обоим социально-экономическим системам.

При этом существуют справедливые квоты вложений в меры безопасности от общего источника опасности, определяемые, исходя из стоимости продления жизни, материальных ресурсов, численности населения этих СЭС.

Указанные квоты определяются из следующей системы уравнений:

$$S^A(J_B/N_B + J_A/N_A) = S(C_A - J_A/N_A), \quad (7.2)$$

$$S^B(J_B/N_B + J_A/N_A) = S(C_B - J_B/N_B), \quad (7.3)$$

- где:  $S$  — стоимость продления жизни (за год дополнительной жизни), определяемая уровнем социально-экономического развития систем  $A$  и  $B$ ;
- $N_A, N_B$  — материальные ресурсы на душу населения в СЭС  $A$  и  $B$  соответственно;
- $C_A, C_B$  — численность населения;
- $S^A, S^B$  — стоимость продления жизни в СЭС  $A$  и  $B$  соответственно исходя из затрат, направленных на снижение риска от общего источника опасности, т.е. стоимость продления жизни как функция затрат на снижение риска;
- $J_A, J_B$  — искомые затраты СЭС  $A$  и  $B$  на снижение риска от общего источника опасности, расположенного на территории СЭС  $B$ .

В этих уравнениях индексом  $A$  обозначена более развитая социально-экономическая система, испытывающая трансграничное вредное воздействие от источника, расположенного на территории другой социально-экономической системы, обозначенной индексом  $B$ .

Необходимо иметь в виду, что обязательным условием в концепции энвайроментального паритета является установление предельно допустимого уровня пограничного риска, который должен быть достаточно низким, чтобы не вызывать беспокойства у населения ни в СЭС  $A$ , ни в СЭС  $B$ .

## 7.4. Структура информационно-управленческой технологии в сфере радиационной и химической безопасности

Предметная область управления радиационной и химической безопасностью, являясь важной категорией, по смыслу объединяющей совокупность определенных объектов, субъектов, процессов, явлений и поле деятельности в рассматриваемой сфере, выполняет весьма значимую роль в структуре ин-

формационно-управленческой технологии защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Исходя из современных взглядов на информационную технологию и создание автоматизированных информационно-управляющих систем, развитых в работах [78—80, 92, 132], в структуре информационно-управляющей технологии в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности могут быть выделены две основные компоненты:

— функциональная, включающую базу знаний, а также предметную область и ее модели, реализуемые в автоматизированной системе управления радиационной и химической безопасностью;

— опорная (базовая, инвариантная), на основе которой строится опорная информационная технология.

База знаний, входящая вместе с предметной областью в функциональный компонент рассматриваемой информационно-управленческой технологии, играет весьма важную роль в обеспечении анализа, оценки фактической и прогнозной информации о радиационной, химической и общей обстановке, обосновании необходимых мер и действий по защите населения и территорий, подготовки и принятия управленческих решений в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности.

База знаний включает:

— базу данных, как правило, складывающуюся из распределенных баз данных различного характера и ведомственной принадлежности;

— прикладное программное обеспечение.

Прикладное программное обеспечение в данном случае следует интерпретировать как совокупность алгоритмов и машинных программ, описывающих процессы и явления в аналитическом или ином виде, выражающих законы и закономерности, упомянутые в связи с рассмотрением предметной области.

Таким образом, база знаний наполняет соответствующие структурные элементы и модели предметной области конкретным содержанием и обеспечивает проведение необходимых расчетов, оценок и анализа. Заметим, что под термином «знания» здесь понимается совокупность информации и расчетно-методического аппарата, необходимых для проведения анализа и обоснований в процессе разработки предложений на принятие управленческих решений в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности.

Второй, так называемый опорный, компонент информационно-управленческой технологии является основой для автоматизированной переработки информации и строится с использованием современных информационных технологий и типовых элементов автоматизированных систем.

Оба компонента информационно-управленческой технологии следует рассматривать как единое целое. Наложение базы знаний из сферы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на опорную, базовую информационную технологию дает возможность сконструировать эффективную технологию переработки информации и выработки оптимальных вариантов управленческих решений по защите населения и территорий от опасных фак-

торов радиационной и химической природы, предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

На рис. 7.6 приведен вариант структурной схемы формирования информационного поля и информационно-управленческой технологии, разработанной на основе приведенных выше соображений.



Рис. 7.6. Схема формирования информационного поля в сфере управления радиационной и химической безопасностью

## **Глава 8**

# **Управление радиационной и химической безопасностью систем различного характера и иерархического уровня**

### **8.1. Управление радиационной и химической безопасностью в рамках определенных социально-экономических систем**

Управление радиационной и химической безопасностью в рамках определенной социально-экономической системы (СЭС), объединяющей устойчивыми внутренними связями население, объекты экономики, инфраструктуры, территории, а также управленческие структуры, следует рассматривать, основываясь на положениях общей теории управления сложными системами.

На наш взгляд, определяющим фактором в управлении радиационной и химической безопасностью СЭС и критерием оценки его результативности является достижение и поддержание безопасности и риска на необходимом, приемлемом в социальном и экономическом отношениях уровне.

В процессе управления рассматриваемым видом безопасности представляется целесообразным выделять два уровня, две иерархически связанных составляющих, для каждой из которых характерно определенное содержание.

Первый уровень (первая составляющая управления безопасностью СЭС) включает управленческую деятельность аналитического, научно-прогностического и организационного характера. Ее результатом прежде всего является определение стратегий управления безопасностью и риском для СЭС различного уровня при внешних воздействиях, в частности, радиационного и химического характера, а также организации и механизма их реализации, с учетом социальных, экономических и других факторов.

Второй уровень процесса управления касается организационно-технических систем. Базовыми элементами системы управления безопасностью на этом уровне являются функциональный контур и информационная технология, методы и средства подготовки и принятия управленческих решений, а также методический аппарат анализа и оценки риска с учетом социальных, экономических и других аспектов.

Сущность управления радиационной и химической безопасностью и риском состоит в распознавании, выявлении и разрешении проблемных ситуаций, связанных с обеспечением безопасности и риска, особенно в условиях

аварий и катастроф на рассматриваемых нами объектах. По своей внутренней основе это единый функционально и организационно структурированный процесс, в котором органически связывается системная целенаправленная деятельность государственных, ведомственных и функциональных органов управления и структур, включая научно-исследовательские, научно-технические организации, а также органы управления силами и средствами наблюдения, контроля и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

В процессе управления радиационной и химической безопасностью, в соответствии с его сущностью и функциональным смыслом, могут быть выделены три последовательные стадии:

- анализ безопасности и риска, предусматривающий идентификацию и исследование источников опасности, моделирование процессов техногенного воздействия, оценку возможного ущерба и уровней риска;

- оценка риска, состоящая в сравнении расчетных или фактических уровней риска с научно обоснованными, социально осознанными, называемыми приемлемыми уровнями риска;

- выработка и принятие нормативных правовых актов и управленческих решений по мерам, обеспечивающим снижение техногенной опасности, установление, поддержание и восстановление приемлемого уровня безопасности и риска для человека и объектов окружающей среды.

Управление техногенной безопасностью и риском связано с приведением в действие определенных социальных и экономических механизмов, поэтому оно строится на основе теории и практики управления социально-экономическими системами.

С учетом проведенного нами анализа работ отечественных и зарубежных авторов представляется возможным по этому вопросу высказать следующие соображения.

При формировании модели процесса управления безопасностью и риском при техногенных воздействиях следует исходить из основных направлений усилий по обеспечению защиты и безопасности человека и объектов окружающей среды, предпринимаемых на различных уровнях. При этом необходимо соблюдать принцип преемственности этих усилий при переходе с одного уровня на другой, а также собственные интересы каждого из уровней системы управления.

Система управления безопасностью и риском, включая ее федеральный, региональный, территориальный, местный и объектовый уровни, нами рассматривается как сложная иерархическая структура. Управление этой системой следует осуществлять на основе синтеза принципов теории управления, теории неантагонистических игр, информационной теории иерархических систем. В иерархических системах обычно рассматриваются задачи централизованного и децентрализованного управления, когда учитываются интересы управленческих структур нижних уровней. При этом принимается во внимание, что самостоятельные действия управленческих подсистем, преследующих свои цели, в определенной степени могут снизить эффективность решения задач центром.



Как уже отмечалось, управление безопасностью и риском на федеральном и региональном уровне должно быть направлено главным образом на решение перспективных, долгосрочных задач, формирование целевых установок и стратегий управления риском, а также на создание необходимой законодательной и нормативной правовой базы в интересах обеспечения высокого уровня жизни человека.

Здесь под стратегиями управления риском понимаются главные направления усилий по достижению приемлемого уровня безопасности во всех ее аспектах.

Обычно рассматриваются три стратегии управления в чрезвычайных ситуациях [8, 116, 123], названия и смысл которых применительно к рассматриваемому виду управления могут быть выражены следующим образом:

- стратегия предотвращения причин возникновения техногенных аварий и катастроф и обеспечения нормального, регламентного функционирования опасных в техногенном отношении объектов;

- стратегия локализации аварий (катастроф) и предотвращения формирования опасной техногенной обстановки, когда причину возникновения той или иной аварии (катастрофы) по технологическим, экономическим, социальным или иным соображениям устранить невозможно и начинается цепная «реакция» событий, ведущих к аварии или катастрофе;

- стратегия максимально возможного недопущения или ослабления воздействий техногенных факторов на людей и окружающую среду и ликвидации последствий аварии, катастрофы в кратчайшие сроки.

Первая стратегия носит превентивный характер. Управление безопасностью и риском, которое следует этой стратегии, может быть названо превентивным. Оно осуществляется в плановом порядке и включает целый ряд мероприятий. Кроме рассмотренных ранее идентификации опасных в техногенном отношении объектов, а также анализа и оценки уровней риска, превентивное управление безопасностью и риском включает:

- выработку и установление законодательных и нормативных правовых актов, регулирующих управление техногенным риском, разработку и адаптацию к региональным и местным условиям методических, нормативно-технических и других документов по диагностике техногенной опасности, принципам и организации мониторинга, процедурам контроля уровня риска, критериям для принятия управленческих решений по защите от техногенных воздействий и обеспечению безопасности населения, персонала потенциально опасных объектов, а также популяций и сообществ животных, экосистем и т.п.;

- выработку стратегии и принципов размещения в регионах и на их территориях опасных в техногенном отношении объектов, а также создание нормативных документов по выбору оптимальных вариантов этого размещения;

- лицензирование проектов строящихся опасных в техногенном отношении объектов, а также паспортизацию функционирующих объектов и территорий;

— создание и развитие пространственно-распределенных баз данных и баз знаний, необходимых для анализа и оценки всех видов техногенного риска (ухудшения здоровья и гибели людей, нарушения экологических равновесий, ухудшения качества окружающей среды, нанесения социально-экономического ущерба и др.);

— выработку и принятие управленческих решений по переходу на другой уровень риска, обоснованный и установленный, исходя из изменившихся социально-экономических и других условий, а также новых научных данных и взглядов, на основе которых проводится анализ и оценка риска;

— подготовку сил и средств, предназначенных для контроля, нормализации обстановки, защиты и обеспечения безопасности при техногенных воздействиях;

— информирование населения, общественных и других заинтересованных организаций о характере и степени техногенной опасности, уровнях риска и предполагаемых мерах по их снижению;

— выработку предложений в программу социально-экономического развития государства (региона, территории), а также в план распределения бюджетных ассигнований, выделения необходимых средств на финансирование работ по проблеме управления техногенным риском.

Две другие стратегии управления безопасностью и риском реализуются в порядке оперативного реагирования на возникновение и развитие аварий и катастроф. В этом смысле они могут называться стратегиями оперативного управления безопасностью и риском.

Оперативное управление безопасностью и риском, независимо от того, на реализацию второй или третьей стратегии оно направлено, включает:

— выявление, оценку и прогнозирование развития аварийной обстановки, формирование факторов техногенного воздействия на человека и окружающую среду;

— организацию и осуществление аварийного технологического контроля, в том числе слежения и контроля за выбросами радиоактивных, вредных химических и биологических веществ, а также локализацию аварийных процессов и выбросов указанных веществ;

— выработку и принятие управленческих решений по локализации аварий (катастроф), предотвращению формирования опасных факторов техногенного воздействия, а в случае развития аварии (катастрофы) — недопущению или максимально возможному ослаблению воздействия этих факторов на человека и окружающую среду, а также ликвидации последствий и возмещению нанесенного ущерба;

— доведение задач до специальных служб, сил и средств, а также подразделений аварийных объектов и других структур, привлекаемых для реализации принятых решений, информирование населения и общественности об аварийной обстановке и принимаемых мерах по обеспечению безопасности;

— руководство и координацию действий государственных и ведомственных структур всех уровней, в том числе объектовых, по локализации и предотвращению развития аварий и катастроф, максимальному снижению наноси-

мого ущерба и ликвидации последствий в соответствии с принятыми управленческими решениями и планами взаимодействия.

Каждая из трех рассмотренных выше стратегий не только не исключает других, но даже, наоборот, предполагает разработку всех стратегий и их совместное существование. В зависимости от обстановки вводится в действие и реализуется та или иная стратегия. Как уже отмечалось, в безаварийных условиях управление техногенным риском осуществляется в соответствии с первой стратегией, при авариях реализуются вторая и третья стратегии. При контролируемом ходе событий вначале вводится в действие вторая стратегия, затем, при необходимости, третья.

Совокупность действий по формированию стратегий, управлению их реализацией, предусматривающему обоснованный переход к альтернативным стратегиям, с учетом взглядов, сформулированных в работе Н.И. Бурдакова и др. [8], может быть названа стратегическим управлением безопасностью и риском. В сферу стратегического управления входят главным образом верхние эшелоны властных управленческих и других структур, через которые предусматривается выбор и реализация организационно-технических, экономических и нормативных правовых механизмов регулирования уровня безопасности и риска. В иерархической структуре системы управления безопасностью и риском стратегическое управление присуще федеральному и региональному уровням этой системы.

На федеральном уровне управление техногенной безопасностью и риском должно быть сосредоточено, как отмечалось выше, на решении перспективных, долгосрочных задач, формировании целевых установок и стратегий управления, создании необходимой законодательной и нормативной правовой базы.

На региональном уровне, охватывающем территории нескольких субъектов Российской Федерации, кроме решения указанных задач, целесообразно предусматривать: адаптацию принятых в государстве стратегий управления безопасностью и риском к условиям региона, формирование пространственно-распределенных баз данных и баз знаний в рассматриваемой предметной области; решение практических задач по реализации действующей стратегии, анализу и оценке на региональном уровне показателей безопасности и риска; организацию, руководство и координирование действий по защите населения и персонала потенциально опасных в техногенном отношении объектов, а также ликвидацию последствий аварий и катастроф, снижение уровней риска до приемлемых.

Таким образом, стратегическое управление безопасностью и риском на региональном уровне сводится главным образом к адаптации и реализации выработанных стратегий управления.

На территориальном, местном и объектовом уровнях (в субъектах Российской Федерации, городах, районах, на объектах) управление безопасностью и риском сосредоточивается на решении практических задач, связанных с организацией комплексного мониторинга и осуществлением всех видов контроля за источниками техногенных воздействий, выявлением, оценкой и прогно-

зированием развития обстановки в условиях нормального, регламентного функционирования потенциально опасных объектов и в аварийных случаях — разработкой и принятием управленческих решений по нормализации обстановки и защите населения и персонала объектов, обеспечению безопасности людей и окружающей среды, снижению уровней риска, ликвидации последствий аварий (катастроф).

На рассматриваемых уровнях предусматривается также: проведение научно-исследовательских, проектно-изыскательских и других работ по выработке и обоснованию оптимальных вариантов размещения производственной базы, направлений социально-экономического развития, исходя из критериев обеспечения безопасности и приемлемых уровней риска при техногенных воздействиях; лицензирование и паспортизация объектов и территорий, потенциально опасных в техногенном отношении; создание и развитие распределенных баз данных и баз знаний, удовлетворяющих задачам информационно-интеллектуальной поддержки процесса подготовки и принятия управленческих решений. Кроме того, решаются важные задачи по подготовке органов управления, а также штатных и нештатных подразделений и формирований различных ведомств и объектов, привлекаемых для решения задач по обеспечению защиты и безопасности персонала объектов, населения и окружающей среды к действиям по реализации принимаемых управленческих решений.

Управление радиационной и химической безопасностью является необходимым условием нормального функционирования социально-экономической системы любого уровня: федерального, регионального, территориального, местного и объектового. Чем эффективнее это управление, тем выше возможности системы по реализации намерений и планов социально-экономического развития.

Как и во многих других случаях, при управлении безопасностью и защитой могут предусматриваться принятие индивидуальных и групповых решений. При этом организационной структурой системы управления учитывается четкое распределение задач и полномочий на принятие решений между лицами или группами лиц, представляющими те или иные структуры рассматриваемой социально-экономической системы.

В рамках структуры системы управления безопасностью целесообразна реализация совместного использования двух принципов: единоначалия, основывающегося на единстве полномочий и ответственности, и распределенных обязанностей и ответственности, что обеспечивает проведение согласований и консультаций, а также создает условия для устранения неизбежных разногласий и даже конфликтов.

Следует остановиться на структуре и содержании процесса управления безопасностью.

С точки зрения кибернетики это циклический информационный процесс, осуществляемый в замкнутом контуре для достижения определенной цели: сохранения или регулирования и повышения уровня безопасности населения, территорий, объектов экономики и инфраструктуры при техногенных и иных воздействиях.

В процессе управления участвуют орган управления (субъект управления), объект управления и соединяющие их каналы передачи информации. Простейший контур управления безопасностью, в котором циркулируют командная информация и информация состояния, может быть представлен в виде схемы, представленной на рис. 8.1.

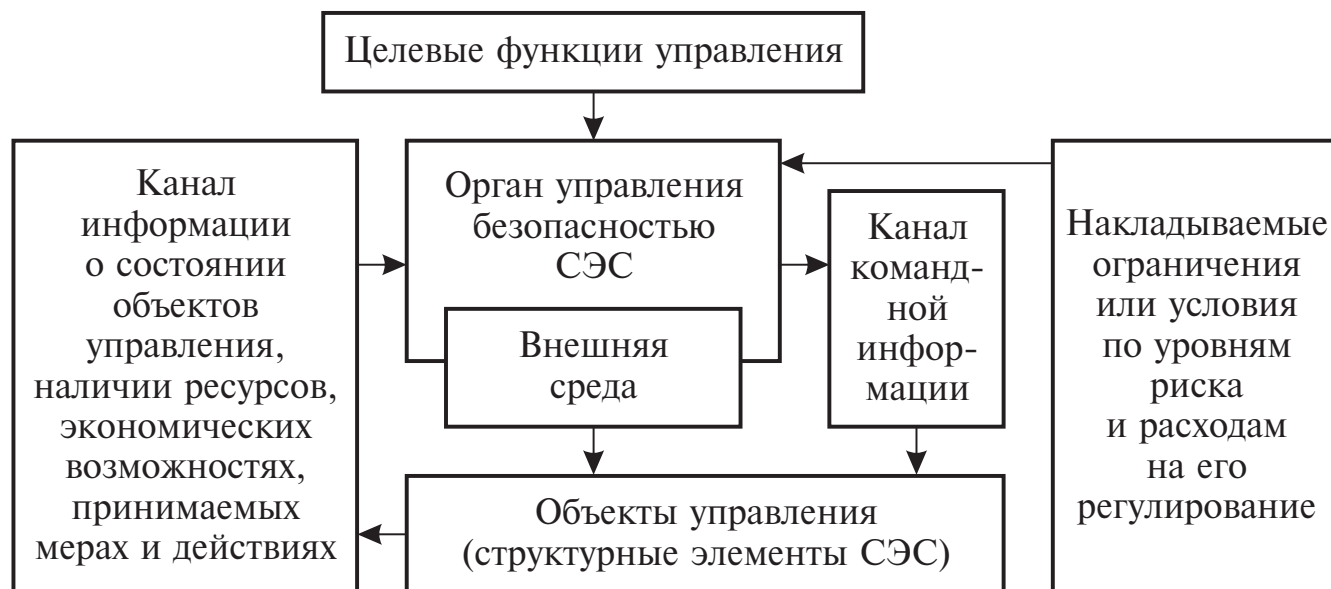


Рис. 8.1. Контур управления радиационной и химической безопасностью социально-экономической системы

В качестве объектов управления в рассматриваемой системе в общем случае могут рассматриваться: население, территории, потенциально опасные объекты техносферы, опасные природные явления, применение оружия в процессе вооруженной борьбы, а также ресурсы (людские, материальные, финансовые и др.), привлекаемые и используемые для решения задач по обеспечению безопасности.

Объектом управления может быть и определенная совокупность перечисленных выше объектов. Все определяется иерархическим уровнем системы, характером цели управления и т.п.

В качестве органа управления может выступать орган исполнительной власти того или иного уровня, а также его структуры, на которые возложено решение задач по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций различного характера и обеспечение безопасности. В системе не может рассматриваться два или несколько органов управления на одном уровне. При необходимости из системы могут быть выделены те или иные подсистемы того же или более низкого уровня с соответствующими органами управления.

В любом случае орган управления должен быть способен выполнить целевую функцию по преобразованию информации о состоянии объектов управления в командную информацию в соответствии с поставленной целью.

Информация о состоянии объектов управления в данном случае должна отражать все три элемента триады «безопасность»: жизненно важные интересы личности, общества, государства; угрозы и опасности; меры и действия по

обеспечению безопасности и, в конечном счете, количественно характеризовать уровень опасности (безопасности) объектов и ресурсные возможности по сохранению этого уровня или повышению безопасности.

Заметим, что информация, отражающая жизненно важные интересы личности, общества, государства, на длительный период остается неизменной и может быть отнесена к категории постоянной информации.

Что касается объектов, которые выше были названы «ресурсами», то информация о состоянии этих объектов отражает объем и качество различных видов ресурсов, используемых непосредственно на иерархическом уровне рассматриваемой системы.

Командная информация вырабатывается на основе анализа и оценки информации о состоянии объектов управления и внешней среды и является функцией этой информации.

Ядром информации о состоянии объектов управления, по нашему мнению, следует считать основные параметры состояния рассматриваемой СЭС в части, касающейся безопасности: жизненно важные интересы личности, общества, государства; существующие на данный момент угрозы и опасности радиационного и химического характера; принятые меры и действия по обеспечению безопасности. В совокупности эта информация должна давать представление об уровне опасности (безопасности), с учетом проводимых мер и действий по ее обеспечению.

Количественной мерой этого уровня опасности может служить уровень риска или математическое ожидание ущерба. Уровень риска в данном случае является обобщенным показателем степени опасности. В принципе он может быть определен как для отдельных структурных элементов объекта управления, так и для объекта в целом.

При этом проявление опасности может выражаться самым различным образом. Для населения опасность выражается в возможности нанесения смертельных поражений и гибели людей, для объектов экономики — в возможности возникновения аварий и катастроф, для территорий — в существенном негативном изменении объектов окружающей среды, ухудшении условий и снижении возможностей по жизнеобеспечению населения и т.п.

Во всех этих случаях может быть определена количественная мера опасности в виде вероятности возникновения указанных опасностей или математического ожидания наносимого ущерба.

Информация о состоянии внешней среды включает: трансграничные или трансрегиональные техногенные воздействия, в том числе радиационного и химического характера; непредвиденные, неожиданно возникающие опасные природные явления; воздействия климатического характера; влияние на окружающую среду разрушенного озонового слоя и т.п.

Частично информация, касающаяся внешних угроз и опасностей, а также мер и действий по обеспечению безопасности от них, учитывается в информации о состоянии объектов управления. Параметр отражает лишь ту информацию, которая не поддается этому учету и используется в виде отдельного информационного пакета при подготовке и принятии решений. В качестве коли-

чественной меры информации о внешней среде должны использоваться также вероятные величины: вероятность возникновения опасностей и математическое ожидание ущерба.

В любом управленческом процессе, как известно, исключительно важное значение имеет время, затрачиваемое на обработку исходной информации, оценку обстановки и выработку решения. Оно зависит от характера принимаемого решения.

В данном случае управленческое решение, на наш взгляд, должно приниматься в два этапа: 1-й этап — принятие концептуального решения, определяющего, исходя из ситуации, цель управления и уровни безопасности (уровни риска), а также стратегию управления риском для основных объектов управления; 2-й этап — принятие организационного решения по мерам и действиям, направленным на реализацию концептуального решения.

Концептуальное решение принимается на основе социально-экономического и научно-технического анализа, состояния и основных направлений регулирования и повышения уровня безопасности, оценки ресурсных возможностей и законодательных аспектов. Для его подготовки привлекаются не только соответствующие органы управления, но и эксперты по основным направлениям проводимого комплексного системного анализа.

Управленческое решение, принимаемое на втором этапе, на наш взгляд, помимо оценки и выводов из обстановки, должно определять задачи, состав привлекаемых сил и средств, механизм осуществления мер и действий по сохранению в новых условиях на установленном уровне безопасности населения, территорий и объектов экономики или повышению уровня безопасности тех или иных объектов управления, а также организацию управления, взаимодействия, подготовки к решению задач и контроля исполнения.

Принятие концептуального решения не потребует много времени и больших усилий при наличии предварительно выполненных проработок, прогнозных оценок и соответствующей научно-методической нормативной правовой и законодательной базы. В связи с этим представляется целесообразным определенное внимание уделить научно-методическим основам анализа и оценки рисков в системе управления безопасностью.

Выработка организационного решения основывается на выработанной в концептуальном решении цели управления, установленных для объектов управления уровнях риска, а также выбранной стратегии управления риском. Она сопряжена с большой рутинной работой органов управления и требует достаточно больших временных затрат. Однако содержание и механизм выработки такого рода решений хорошо известны из теории и практики управления войсками и объектами народного хозяйства. В данной работе они рассматриваться не будут.

Для исследования процессов управления безопасностью важное значение имеет характер функциональной зависимости командной информации от информации о состоянии объектов управления и внешней среды. Эта функциональная зависимость в общем виде может быть выражена следующей формулой:

$$u_k(t + \tau) = \Phi\left[\sum_{i=1}^n u_{ci}(t) + u_{\text{вс}}(t)\right], \quad (8.1)$$

где:  $u_k$  — командная информация (управленческое решение);  
 $u_{ci}$  — информация о состоянии объектов управления;  
 $u_{\text{вс}}$  — информация о состоянии внешней среды;  
 $t$  — момент времени, к которому относится информация о состоянии объектов управления и внешней среды;  
 $\tau$  — время отработки информации, поступающей в орган управления, оценки обстановки и выработки управленческого решения;  
 $n$  — количество объектов управления;  
 $\Phi$  — функция, описывающая процесс обработки, оценки информации и выработки управленческого решения.

На этапе принятия концептуального решения физический смысл и количественная мера командной информации и информации о состоянии объектов управления и окружающей среды определяются как уровень риска.

Конкретный вид функции  $\Phi$  может быть выяснен только на основе большого, достаточно представительного числа расчетов по принятой схеме обработки информации, оценки обстановки (анализа и оценки рисков) и принятия решения, построения по расчетным данным графических зависимостей и их аппроксимации аналитическими выражениями. В процессе этих расчетов учитываются различные варианты расхода ресурсов на иерархическом уровне исследуемой системы.

Необходимо отметить, что функциональные зависимости вида (8.1) справедливы при самых различных вариантах группирования информационных потоков. Например, командная информация, получаемая на основе полной информации о состоянии всех объектов, может вырабатываться и распространяться по группам объектов. В этом случае математическое описание процесса управления должно включать систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{k1}(t + \tau_1) = \Phi_1\left[\sum_{i=1}^n u_{ci}(t) + u_{\text{вс}}(t)\right] \\ u_{k2}(t + \tau_2) = \Phi_2\left[\sum_{i=1}^n u_{ci}(t) + u_{\text{вс}}(t)\right] \\ \dots \\ u_{km}(t + \tau_m) = \Phi_m\left[\sum_{i=1}^n u_{ci}(t) + u_{\text{вс}}(t)\right] \end{array} \right. . \quad (8.2)$$

Объединение объектов по группам, для которых проводятся расчеты, может быть самым различным, в зависимости от характера объектов, наличия ресурсов и т.п.

Функциональные зависимости вида (8.1) и (8.2) отражают лишь взаимосвязь информационных потоков в циклическом процессе управления безопас-



ностью. При практическом решении управленческих задач, как правило, нужно определять необходимый расход ресурсов для сохранения на определенном уровне или повышения уровня безопасности тех или иных объектов, а также проводить оптимизацию материальных и других затрат с учетом социально-экономических факторов. При известных функциональных зависимостях  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m$ , накладываемых ограничениях и условиях это не составит большого труда.

Следует лишь заметить, что объем ресурсов любых видов и их расход должны быть выражены через вероятностные характеристики уровней риска. Это не простая задача, поскольку далеко не всегда представляется возможным с достаточной точностью определить соответствие между расходом ресурсов и величиной, на которую при этом снижается уровень риска и повышается степень безопасности объекта управления.

Что касается этапа принятия организационного решения, то здесь общий вид функциональной зависимости информационных потоков остается тем же. Однако физический смысл и количественная мера информации будут другими.

## **8.2. Управление радиационной и химической безопасностью на уровне организационно-технических систем (радиационно и химически опасных объектов)**

Сущность управления безопасностью и риском на радиационно и химически опасных объектах состоит в распознавании, выявлении и разрешении проблемных ситуаций, связанных с обеспечением безопасности и риска в условиях аварий и катастроф на этих объектах. По своей внутренней основе — это единый функционально и организационно структурированный процесс, в котором органически связывается системная целенаправленная деятельность государственных, ведомственных и функциональных органов управления и структур, включая научно-исследовательские, научно-технические организации, а также органы управления силами и средствами наблюдения, контроля и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

В процессе управления безопасностью и риском техногенных воздействий, в соответствии с его сущностью и функциональным смыслом, могут быть выделены, как уже указывалось выше, три последовательные стадии:

— анализ безопасности и риска, предусматривающий идентификацию и исследование источников опасности, моделирование процессов техногенного воздействия, оценку возможного ущерба и уровней риска;

— оценка риска, состоящая в сравнении расчетных или фактических уровней риска с научно обоснованными, социально-осознанными, называемыми приемлемыми уровнями риска;

— выработка и принятие нормативных правовых актов и управленческих решений по мерам, обеспечивающим снижение техногенной опасности, установление, поддержание и восстановление приемлемого уровня безопасности и риска человека и объектов окружающей среды.

Первые две стадии управления безопасностью и риском обычно объединяются под названием оценка риска.

Процедура анализа и оценки риска аварий включают несколько этапов начиная от выявления и идентификации возможных опасностей и кончая расчетами уровней риска и сопоставления их с критериями.

**1-й этап (шаг).** Создание необходимой для проведения расчетов и обоснований по оценке рисков базы данных.

Этот этап включает описание:

— изучаемой организационно-технической системы, включая устойчивость к техногенным нагрузкам, качество окружающей среды, ландшафт, земельные и водные ресурсы и почвы, лесной фонд, животный и растительный мир, воздушный бассейн и климат;

— опасных в техногенном и экологическом отношениях производственных объектов, входящих в структуру исследуемой системы, а также других объектов, находящихся за пределами ее территории, но могущих оказать на нее вредное воздействие;

— физико-географических, социально-экономических, демографических и других особенностей района, где расположена организационно-техническая система;

— возможных районов возникновения опасных природных явлений и стихийных бедствий (лесных пожаров, наводнений и т.п.);

— метеорологических и других условий, определяющих характер распространения вредных веществ в окружающей среде.

**2-й этап (шаг).** Идентификация и выделение приоритетных для проведения дальнейшего анализа и оценок источников техногенной и экологической опасности, определение перечня типовых аварийных ситуаций, принимаемых во внимание при оценке риска.

**3-й этап (шаг).** Количественное определение уровней техногенного и экологического риска, графическое представление полученных результатов и их сравнительная оценка с приемлемыми значениями уровней риска.

Указанные расчеты и оценки проводятся для условий нормальной эксплуатации и постоянных нормированных выбросов и сливов, а также применительно к типовым аварийным ситуациям.

**4-й этап (шаг).** Многофакторный системный анализ источников и видов опасностей техногенного и экологического характера, их ранжирование по критерию риска и разработка карты риска для территории, где расположена организационно-техническая система.

База данных, необходимая для проведения расчетов и обоснований по оценке рисков, должна включать достаточно большое количество сведений об исследуемой организационно-технической системе. Структура базы данных и ее содержание, а также возможность эффективного использования ин-

формации в значительной мере зависят от правильности выбора объектов анализа и оценки риска.

При выборе объекта анализа и оценки риска необходимо учитывать наличие социально-экономических связей между его структурными элементами, характер геофизических полей, особенности ландшафта, а также возможность учета интегрированного воздействия всех источников риска и другие факторы.

Важная роль при оценке риска принадлежит исходной информации. В состав основной информации, необходимой для использования при идентификации источников опасностей техногенного и экологического характера и оценке риска, целесообразно включить:

а) по общей характеристике качества окружающей среды:

— состояние воздушного бассейна и его загрязненность вредными химическими веществами и пылью с указанием средних и пиковых концентраций основных загрязнителей;

— характеристику ландшафта и его устойчивости к техногенным нагрузкам;

— состояние и загрязненность поверхностных и грунтовых вод, содержание во всех видах стоков вредных веществ;

— состояние земельного фонда, в том числе сельскохозяйственных и лесных угодий, прилегающих к организационно-технической системе, и их загрязненность вредными веществами;

— степень загрязненности территории тяжелыми металлами, наличие в почвенных структурах других загрязнителей;

— основные данные, характеризующие в целом животный мир, растительность, флору и фауну, критические популяции, сообщества, биоценозы, а также экосистемы, территории, где расположена организационно-техническая система, их состояние и устойчивость к техногенным нагрузкам;

— фоновые для рассматриваемой территории уровни загрязнений вредными веществами атмосферы, поверхности и подземных вод, почв и растительного покрова, содержание вредных веществ в сельскохозяйственной продукции;

б) по демографической, социально-экономической характеристике и географическим особенностям рассматриваемой территории, где расположена организационно-техническая система:

— демографию и плотность населения;

— основные данные по структуре объектов, являющихся источниками техногенной опасности;

— основные данные по направлениям и структуре сельскохозяйственного производства и его защищенности от техногенных воздействий;

— основные транспортные магистрали, речную систему и водные пути;

— медико-биологическую характеристику района, его лечебно-профилактических учреждений, зон отдыха, спортивных комплексов;

— ретроспективные и прогностические данные об опасных природных явлениях и стихийных бедствиях, информацию о геопатогенных зонах;

в) по геофизическим процессам и полям:

- особенности геофизических процессов, влияющих на формирование техногенных факторов;
- характер геофизических полей;
- климатические и метеорологические характеристики.

Приведенный перечень информации необходимо рассматривать лишь как ориентировочный, базовый. Он может быть значительно дополнен и расширен за счет данных об источниках техногенного воздействия, типовых аварийных ситуациях, системах обеспечения безопасности, включая системы комплексного мониторинга и всех видов контроля, а также информации нормативно-справочного характера.

Необходимо отметить, что вопросы мониторинга опасностей техногенного и экологического характера в настоящее время приобрели важное значение. Они достаточно широко освещены в работах отечественных и зарубежных авторов.

Как уже отмечалось ранее, при установленной системе источников выбросов, сбросов и утечек вредных химических веществ дальнейшая процедура оценки риска включает:

- расчеты полей концентраций и дозовых нагрузок, падающих на людей и другие объекты живой природы, с учетом всего многообразия миграционных процессов;
- расчеты наносимого при упомянутых дозовых нагрузках ущерба здоровью человека, другим популяциям живой природы, отдельным биоценозам, экосистемам и элементам окружающей среды, чувствительным к техногенному воздействию;
- количественное определение уровней риска, сопоставление их с приемлемыми значениями, оценку состояния безопасности и риска.

Структура полной процедуры по оценке риска, являющейся важным элементом управления риском, приведена на рис. 8.2.

При оценке риска для нормальных условий эксплуатации объектов важное значение имеет определение количественных характеристик выбросов и сбросов.

Описание источников выбросов, сбросов и различного рода утечек и определение количественных характеристик этих процессов прежде всего основывается на использовании данных системы мониторинга.

При отсутствии системы мониторинга или в случае, когда она не обеспечивает выдачу достоверных характеристик выбросов и сбросов из-за временных и технологических флуктуаций, используется расчетный метод получения данных. Расчетный метод предполагает применение теоретических и эмпирических уравнений, выражающих связь интенсивности выбросов и сбросов с теми или иными технологическими и другими параметрами, а также коэффициентов для оценки эмиссий, выведенных на основе этих уравнений.

Точность результатов в данном случае существенно зависит от адекватности принимаемых предпосылок.



Рис. 8.2. Структура процедуры оценки риска при нормальном функционировании техногенноопасных объектов

По мнению авторов, не исключается и применение третьего метода получения количественных характеристик выбросов, сбросов и утечек, основанного на экстраполяции данных по другим, аналогичным рассматриваемому, объектам. Однако эти данные всегда могут подвергаться сомнению и оспариваться из-за невозможности оценить точность экстраполяции.

При расчете переноса и миграции вредных химических веществ, происходящих в окружающей среде, следует исходить прежде всего из задач по оценке риска их воздействия на здоровье людей. Для определения подверженности человека этому воздействию необходимо установить:

- среды, пути и механизмы переноса вредных веществ в биосфере, включая их транспортирование по трофическим цепочкам;
- характер возможных зон контактов человека с загрязненной окружающей средой;
- способ поступления вредных веществ в организм.

Пути и механизмы переноса вредных веществ зависят от среды, в которую они первоначально попадают при выбросе, сбросе или утечке, физических и химических свойств загрязнителей, наличия условий для миграции из одной среды в другую.

При анализе и оценке этих факторов и разработке расчетных процедур необходимо учитывать следующее.

Среда, в которую попадают первоначально вредные вещества (воздух, вода, почва), определяется исходя из анализа технологии производства. Специфические виды переноса вещества из водной среды и почвы в воздух, из почвы — в поверхностные и подземные воды определяются наличием и характером зон контакта между этими средами.

При эмиссии в воздух тяжелые частицы в процессе их турбулентного переноса в пограничном слое атмосферы быстро оседают на подстилающей поверхности. Более легкие переносятся на большие расстояния и оседают медленно. Скорость выведения газов из облака загрязненного воздуха зависит от их химических свойств и процессов взаимодействия с соударяющимися молекулами и частицами.

Вещества, сброшенные в гидросферу, редко переходят в воздух. Исключение составляют органические растворители. В основном же такие загрязнители изменяют среду пребывания за счет осаждения в донных отложениях, потребления и (или) разложения в водных трофических цепочках.

Вещества, сбрасываемые в почву, проникают в поверхностные и подземные воды за счет выщелачивания или дождевых стоков, попадают в воздух в результате испарения, химической или биологической трансформации (при пожарах, биологическом разложении веществ и т.п.).

Весьма важным процедурным шагом в определении уровней риска является оценка по схеме «доза—эффект». Возможные методы расчетов должны строиться на идентификации вредности, за которой следует установление зависимости «доза—эффект» и опасности, которые вместе составляют характеристику риска. Суммарная оценка указанной зависимости дает количественную величину соотношения между уровнем опасности и показателями здоровья.

Существует достаточно много конечных «состояний здоровья», для которых целесообразно определение функции «доза—эффект», необходимой при оценке риска. Обычно используемые «конечные состояния» описываются болезнями, такими как сердечно-сосудистые заболевания или нарушение репродуктивных функций. Эти состояния в настоящее время имеют высокую социальную значимость. В качестве конечной точки в функции «доза—эффект» часто используется также летальный исход.

Как известно, токсические свойства многих веществ проявляются при определенной величине дозы. В зависимости от механизма воздействия вещества на организм может существовать некий дозовый «порог», ниже которого это вещество не опасно. Если такого «порога» нет, то при уменьшении дозы эффект воздействия снижается до такой степени, что может достичь значений, неразличимых на фоновом воздействии.

Одни и те же вредные вещества при одних условиях могут оказывать беспороговое воздействие, при других — пороговое. Это, например, относится к радиоактивным веществам. Радиационный ущерб у человека проявляется в виде соматических эффектов у самого облученного и наследственных эффектов, сказывающихся на его потомках. Соматические эффекты, в свою очередь, могут быть стохастическими и нестохастическими. Наследственные эффекты всегда имеют стохастический характер.

Стохастические эффекты, возникающие при облучении, являются беспороговыми, нестохастические — имеют «порог». Основным отдаленным соматическим стохастическим эффектом является повышенная частота появления у облученных людей онкологических заболеваний. Причем указанные заболевания могут возникать в течение нескольких десятилетий после облучения.

Необходимо заметить, что в случае оценки воздействия на организм вредных химических веществ возможность возникновения раковых заболеваний определяется по весьма простой процедуре. Устанавливается, является ли рассматриваемое вещество канцерогенным. Если да, то для него определяется количественная зависимость «доза—эффект». Так как тестирование вещества на канцерогенность производится для достаточно больших доз, то обычно в функцию «доза—эффект» включают «нулевой эффект» при низких дозах.

Суждение о целесообразности применения в процедуре оценки риска «пороговой» или «беспороговой» концепции и о форме связи «доза—эффект» должно основываться на изучении природы и механизма протекающих в организме процессов. При этом следует иметь в виду, что пороговые функции применяются в случае нестохастических эффектов, проявляющихся при высоких уровнях воздействия.

Для получения функции «доза—эффект» проводятся исследования населения промышленных районов, токсикологические эксперименты на животных, лабораторные опыты на клетках, тканях или низших формах жизни, таких как бактерии. При этом применяются методы моделирования, статистической обработки данных и др. Эффект выражается как в абсолютных единицах, например, в увеличении числа случаев ухудшения здоровья (смертельных исходов) на 1000 человек на единицу воздействия, так и в относительных (в приведенном примере — увеличение числа случаев в процентах).

Форма кривой «доза—эффект» может быть различной. В идеальных случаях — это линейная, квадратичная, экспоненциальная зависимости (пороговые или беспороговые).

Наряду с функцией «доза—эффект» при оценке риска может использоваться и зависимость «воздействие—эффект». Под воздействием здесь понимается, по существу, уровень техногенного воздействия, выражаемый через кон-

центрацию (количество) вредного вещества в той или иной среде, например, в воздухе или воде. Пользоваться таким понятием, как концентрация, при оценке риска удобнее, ибо ее величина может быть измерена или достаточно просто рассчитана. Однако здесь есть определенные ограничения. Дело в том, что доза, являющаяся основным параметром, от которого в конечном счете зависит ущерб здоровью человека, связана с концентрацией далеко не однозначно. При определенном уровне воздействия, характеризуемого, например, концентрацией вредного вещества в воздухе, доза зависит от скорости дыхания, характера метаболических и фармакокинетических процессов, в которых участвует вредное вещество, и других факторов. Доза может быть обусловлена не непосредственно теми веществами, которые содержатся в потребляемом воздухе или воде, а их метаболитами. Например, при воздействии бензо(а)пирена канцерогенные последствия вызывает не он сам, а его метаболит.

К сожалению, в настоящее время еще не выработаны исчерпывающие рекомендации по использованию зависимости «воздействие (уровень концентрации) — эффект» для оценки риска. Конкретные рекомендации, основывающиеся на данных Всемирной организации по охране здоровья (ВОЗ), имеются лишь для ограниченного количества вредных веществ, обладающих канцерогенным действием (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Рекомендации по оценке уровней риска раковых заболеваний при пожизненном воздействии некоторых канцерогенов, содержащихся в воздухе

Вещества, обладающие канцерогенным действием	Единица риска (уровень риска при концентрации 1 мгк/м <sup>3</sup> )
Акрилонитрин	$2 \cdot 10^{-5}$
Мышьяк	$4 \cdot 10^{-3}$
Бензол	$4 \cdot 10^{-6}$
Хром (VI)	$4 \cdot 10^{-2}$
Никель	$4 \cdot 10^{-4}$
Полиядерные ароматические гидрокарбонаты	$9 \cdot 10^{-2}$
Винилхлорид	$1 \cdot 10^{-6}$

В соответствии с данными Международного агентства по исследованию рака (IARC), указанные в таблице вещества считаются вероятными человеческими канцерогенами. Принимается, что их воздействие на организм человека является беспороговым, стохастическим. Для оценки риска при определенных концентрациях канцерогена и пожизненном его воздействии рекомендуется пользоваться линейной экстраполяцией. Таким образом, канцерогенная сила выражается в виде увеличивающейся с концентрацией единицы оценки риска.



При оценке риска могут оказаться весьма полезными данные ВОЗ о влиянии на здоровье людей вредных химических веществ при различных концентрациях и времени воздействия. Эта информация приведена в Руководстве по анализу и управлению риском [123].

При авариях техногенное воздействие обуславливается возникновением ударных волн, большими по объему выбросами радиоактивных и вредных химических веществ, а также другими явлениями (пожарами и процессами взрывного характера, сопровождающимися формированием термических полей).

Оценка риска аварий включает несколько этапов: начиная от выявления и идентификации возможных опасностей и кончая расчетами уровней риска и сопоставления их с критериями. Схема процедуры такой оценки приведена на рис. 8.3.



Рис. 8.3. Структура процедуры оценки риска техногенных аварий на радиационно и химически опасных объектах

В соответствии с приведенной схемой может проводиться превентивная оценка риска аварий на стадиях выбора местоположения объекта, разработки проекта, опытной эксплуатации и модификации производства, а также оценка риска при авариях. Во втором случае в схеме процедуры первый этап, связанный с анализом возможных аварий, разработкой сценариев этих аварий и оценкой вероятности возникновения, может быть существенно сокращен в силу того, что аварийная ситуация не несет в себе полной неопределенности, характер ее развития в большинстве случаев выявлен. Все внимание сосредоточивается на последующих этапах. При этом необходимые математические методы расчетов выбираются с учетом требований по оперативности проводимой оценки и условий складывающейся обстановки.

Анализ возможных опасных событий и аварийных ситуаций включает рассмотрение всех ситуаций, связанных с отклонением от регламентного функционирования объекта и возникновением того или иного ущерба. Целью этого анализа является выявление последовательностей событий, ведущих в конечном счете к авариям, разработка сценариев возникновения и развития аварий, оценка вероятности их возникновения.

Как уже отмечалось, анализ возможных опасных событий и аварийных ситуаций с указанными выше целями в полном объеме, как правило, проводится на этапе превентивной оценки риска и управления риском. В других случаях, с учетом конкретных данных о возникновении и характере аварии, ее развитии, он может проводиться с теми или иными сокращениями.

На этапе превентивной оценки содержание, объем и методы проводимого анализа также могут быть различными в зависимости от целей оценки, требующейся степени ее детальности. Например, если оценка риска проводится для выработки рекомендаций по выбору местоположения опасного объекта, когда об объекте имеются лишь данные из его эскизного проекта, не представляется возможным применение методов, основанных на анализе деревьев событий и отказов, а также других методов детальных исследований.

Далее, на стадии проектирования объекта становится возможной оценка эксплуатационного риска с применением указанных выше методов.

Согласно установившейся мировой практике существует и находит применение довольно большое количество методов выявления и идентификации опасных событий и анализа развития аварийных ситуаций. Используемые методы могут быть представлены тремя группами [90, 130, 131]:

— группа сравнительных методов, куда входят методы, основанные на регламентных проверках, ревизии уровней безопасности, относительного разделения потенциально опасных процессов, условий, материалов на категории «штрафных», «кредитуемых» и др.;

— группа так называемых основных методов, включающих: исследование риска эксплуатации путем регулярного обследования объекта с целью выявления возможных отклонений от нормативов; анализ состояний отказов оборудования, приборов и их последствий, в частности, реакций системы на отказы; оценку результатов неожиданных событий по схеме «что, если?» и др.;

— группа методов, основанных на разработке, построении и анализе логических диаграмм: деревьев событий, причинно-следственных связей, надежности человеческого фактора.

К числу методов, которые дают наилучшие результаты, следует отнести: метод анализа деревьев отказов, метод анализа дерева событий и метод анализа причинно-следственных связей, сочетающий в себе два предыдущих метода.

При реализации этих методов рассматриваются все возможные пути развития аварийных процессов. В первом методе за основу берется анализ надежности и отказов систем. При этом большое значение придается построению дерева отказов, которое бы отражало все возможные наложения отказов и возникающие при этом последствия. Дерево отказов определяет структуру и последовательность вероятностных расчетов по оценке риска возникновения возможных аварий.

Во втором методе анализируются события, влекущие за собой в конечном счете аварию, выделяется преобладающая последовательность этих событий. За начальную точку дерева событий берется исходное событие. Перечень исходных событий, которые могут явиться причиной развития аварийных процессов, устанавливается при проектировании объекта и содержится в технической документации. Затем осуществляется логический перебор различных путей развития аварии (ветвей дерева событий) и ее возможных последствий. Построить дерево событий, которое бы учитывало все возможные ситуации, нелегко, особенно для сложных технических систем, таких, например, как атомные электростанции. Это обусловлено разнообразием используемых оборудования, систем и приборов, большим количеством возможных путей развития аварий. Поэтому при построении дерева событий и проведении анализа идут по пути исключения из рассмотрения событий, не вносящих существенного вклада в вероятность реализации последствий или являющихся практически невозможными в силу противоречия тем или иным физическим законам. С помощью дерева событий строится расчетная схема по оценке вероятности возникновения возможных аварийных ситуаций.

В настоящее время получил довольно широкое развитие метод оценки вероятности возникновения аварийных ситуаций, основанный на анализе причинно-следственных связей. В этом методе также предусматривается построение расчетной диаграммы, которая связывает отказы и опасные события в причинно-следственные цепочки. Каких-то определенных рекомендаций по конструированию причинно-следственных диаграмм, соотношению элементов отказа и опасных событий в их цепочках еще не сформулировано.

Весьма полезные для практического использования при реализации причинно-следственного анализа рекомендации содержатся в трудах И.А. Рябина и его учеников [130, 131]. Метод, развитый И.А. Рябиным, назван логико-вероятностным. Он основывается на анализе функции опасности (безопасности) системы и дерева опасного (безопасного) состояния. Проведение анализа предусматривается с помощью математических логико-вероятностных моделей, реализуемых на ЭВМ.

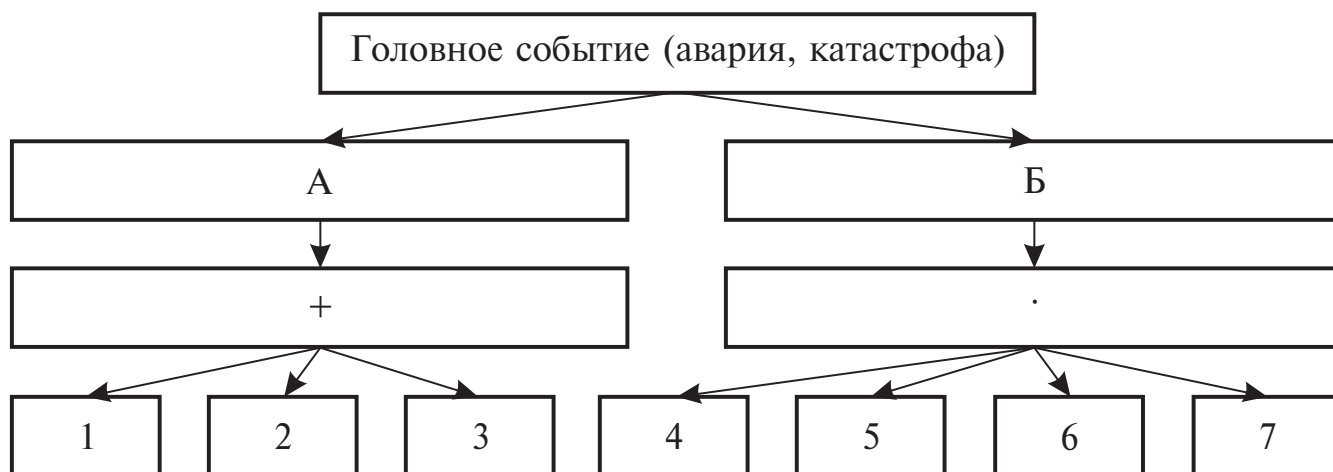
Наряду с рассмотренными выше методами, на основе которых представляется возможным определить количественную меру риска возникновения аварийных ситуаций, заслуживают внимания и другие методы. К числу таких методов относится метод, получивший название «исследование риска эксплуатации». Примененный здесь термин «риск» не имеет того строгого смысла, о котором речь шла выше. Здесь имеется в виду риск как синоним опасности.

При проведении анализа всеми рассмотренными выше методами предполагается использование определенной базы данных по отказам различного рода оборудования и систем. Эти данные обычно представляются двумя способами в зависимости от характера оборудования и режима его использования. Для постоянно используемого оборудования, работающего как в постоянном, так и дискретном режимах, данные об отказах приводятся в форме интенсивности отказов, для компонентов оборудования или систем, которые не используются постоянно, а включаются в действие при необходимости, например, некоторые системы безопасности, сигнальные устройства — в форме вероятности отказа на требование.

Обычно для проведения исследований по безопасности техногенно опасных объектов и расчетов по оценке риска разрабатываются модели источников опасности, диаграммы деревьев происшествий и событий — исходов аварии (катастрофы), с учетом всех возможных вариантов их возникновения и развития.

Первым этапом моделирования источников опасности техногенного происхождения является формализованное представление возможных путей возникновения и развития аварийных процессов.

При этом в диаграмму «дерево происшествия», представленную на рис. 8.4, обычно включается одно головное событие, которое связано конкретными логическими условиями с промежуточными и исходными предпосылками, обусловившими в совокупности его появление [43].



**Примечание:** знаком «+» на диаграмме обозначено логическое условие сложения «ИЛИ», знаком «·» логическое условие перемножения «И».

Рис 8.4. Общая структура диаграммы «дерево происшествия»

В качестве головного события обычно рассматривается авария или катастрофа. Ветвями дерева происшествия служат предпосылки и их причинные

цепи, листьями — исходные события, дальнейшая детализация которых нецелесообразна, т.е. отказы, ошибки персонала, неблагоприятные внешние воздействия

Диаграмма «дерево отказов» по своему виду мало чем отличается от диаграммы «дерево происшествий».

В соответствии с этой диаграммой на каждой ступени анализируются возможные отказы технических систем (узлов), а также человеческий фактор этих отказов и оценивается их вероятность. В конечном счете определяется вероятность возникновения головного события, т.е. аварии или катастрофы.

На рис. 8.4 показана лишь общая структура модели возникновения аварии (катастрофы). Диаграммы для сложных систем, каковыми обычно являются источники техногенной опасности, как правило, имеют многоступенчатый и сильно разветвленный характер.

Модель-диаграмма «дерево событий — последствий аварии, катастрофы и т.п.» или просто «дерево событий» также представляет собой граф, т.е. систему точек (в данном случае прямоугольников), обозначающих события, которые соединены линиями связи. Однако анализ этой диаграммы ведется от центрального события, которое обычно представляет собой аварию, катастрофу и т.п., к цепочкам событий, являющихся его последствиями.

В таком случае граф выражает все возможные исходы аварии (катастрофы). В качестве ветвей дерева здесь возможные сценарии развития аварии и причинение ущерба объектам окружающей среды, людям, материальным и природным ресурсам. Эти сценарии отличаются возникающими при аварии обстоятельствами и условиями воздействия на объекты поражающих факторов.

Структура рассматриваемой диаграммы показана на рис 8.5 [91].

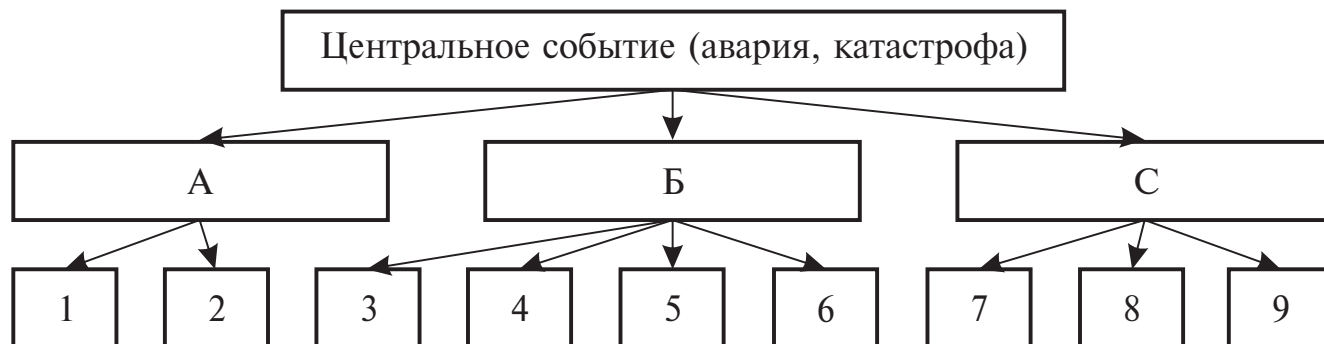


Рис. 8.5. Общий вид диаграммы «дерево событий — исходов аварии (катастрофы)»

Диаграмма «дерево событий — исходов аварии (катастрофы)» по существу представляет собой стохастический граф, в соответствии с которым производятся оценки вероятности событий на каждом разветвлении. Сумма вероятностей реализации событий каждого разветвления равна единице.

Диаграммы деревьев происшествий и исходов обычно объединяются в одну обобщенную диаграмму. При этом головное событие первой диаграммы, как результат реализованных предпосылок и событий второго уровня, ведущих к аварии (катастрофе), и центральное событие второй диаграммы, возможные исходы которого выстраиваются в определенные цепочки, совмещаются и со-

ставляют ядро диаграммы. Пример такой обобщенной диаграммы с проиллюстрированной интерпретацией применительно к аварии с внезапным выбросом горючего аварийно химически опасного вещества приведен в работе П.Г. Белова [91].

Необходимо отметить, что при анализе развития аварий, катастроф, на наш взгляд, целесообразно использование широко известных из теории вероятности формул Байеса. С их помощью могут быть определены апостериорные вероятности реализации возможных гипотез возникновения и развития аварийного процесса.

Например, вероятность возникновения и развития аварии в соответствии с гипотезой  $H_s$  определяется по формуле:

$$P(H_s|A) = \frac{P(H_s)P(A|H_s)}{\sum_{k=1}^n P(H_k)P(A|H_k)}, \quad (8.3)$$

где:  $P(H_s|A)$  — искомая апостериорная, условная вероятность;  
 $A$  — случайное событие возникновения аварии;  
 $P(H_s), P(H_k)$  — априорные вероятности реализации сценариев (гипотез)  $H_s$  и  $H_k$ ;  
 $P(A|H_s), P(A|H_k)$  — априорные вероятности возникновения аварии по сценариям (гипотезам)  $H_s$  и  $H_k$ .

Если число принимаемых во внимание сценариев возникновения и развития аварии (гипотез) равно « $n$ », то:

$$\sum_{k=1}^n P(H_k) = 1, \quad (8.4)$$

$$\sum_{s=1}^n P(H_s|A) = 1.$$

В интересах развития методов и выработки наиболее эффективных путей обеспечения безопасности и снижения уровней риска представляется целесообразным широкое применение различного рода моделей функционирования организационно-технических систем. На наш взгляд, при разработке такого рода моделей можно было бы исходить из представлений о моделировании опасных процессов в техносфере, развитых в работах П.Г. Белова [90, 91].

### 8.3. Экономические механизмы управления безопасностью и риском

Анализ отечественного и зарубежного опыта в области разработки и применения экономических регуляторов для предупреждения и снижения уровня техногенной опасности показывает, что существуют различные экономические механизмы управления безопасностью и риском.

К числу этих механизмов могут быть отнесены:

- механизмы экономической ответственности;
- фондовые механизмы и механизмы бюджетного финансирования;
- механизмы резервирования финансовых, трудовых и материальных ресурсов;
- механизмы стимулирования повышения уровня безопасности (льготное налогообложение и кредитование);
- механизмы перераспределения риска и страхования;
- применение штрафных санкций.

Указанные экономические механизмы регулирования могут применяться на всех уровнях управления безопасностью и риском. При анализе конкретных экономических механизмов обычно рассматриваются органы управления, ответственные за данный механизм регулирования, и объекты, несущие потенциальную угрозу техногенного воздействия.

В настоящее время делаются попытки по разработке базы знаний поддержки принятия управленческих решений с применением экономических механизмов обеспечения безопасности. В.Н. Бурков [9, 10] предлагает в структуре такой базы знаний предусматривать три уровня:

1-й уровень — агрегированное описание системы базовых экономических механизмов и методики оценки их комплексного действия;

2-й уровень — описание типовых экономических механизмов на содержательном языке предметной области;

3-й уровень — описание конкретных проектов экономических механизмов регулирования уровня безопасности (так называемых рабочих проектов механизмов регулирования), включая нормативные документы, типовые положения и т. п.

При организации информационно-интеллектуальной поддержки подготовки и принятия управленческих решений обычно важная роль отводится оценке эффективности анализируемых вариантов действий. В контексте рассматриваемого вопроса это действия по экономическому регулированию уровня безопасности и риска.

Оценка эффективности экономических механизмов может быть проведена по величине остаточной прибыли после введения соответствующих экономических рычагов управления уровнем безопасности, с учетом трех этапов функционирования системы обеспечения безопасности, приведенных на рис. 8.6.

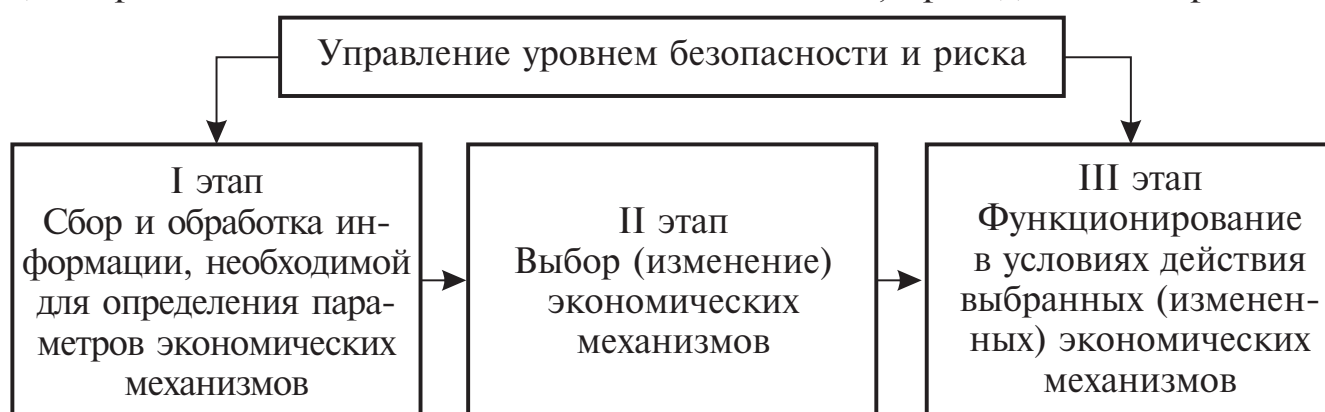


Рис. 8.6. Этапы функционирования системы обеспечения безопасности

Подход к такой оценке может быть проиллюстрирован на примере механизма квот или ограничений экономического характера на величину (уровень) факторов, определяющих отрицательное воздействие объекта (совокупности объектов) на степень безопасности. Под указанными факторами имеются в виду, например, радиоактивное или химическое загрязнение (заражения) окружающей среды, возникновение какого-либо физического поля.

Вектор (матрицу) данных об объекте (совокупности объектов) и его (их) техногенном воздействии, необходимых для оценки уровня безопасности и риска, а также определения параметров экономических механизмов регулирования этого уровня, в общем виде можно записать как:

$$S = \{S_i\}. \quad (8.5)$$

Здесь буквой  $i$  обозначено  $i$ -е предприятие. Число рассматриваемых предприятий равно  $n$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

Заметим, что упомянутые выше данные об объекте (объектах) и его (их) техногенной опасности поступают от самого объекта (объектов) и соответствующей системы мониторинга.

Для проведения дальнейших рассуждений вводятся следующие обозначения [9]:

- уровень фактора, определяющего отрицательное воздействие объектов на уровень безопасности —  $y_i$ ;
- величина квоты или ограничение, устанавливаемые для указанного выше фактора —  $x_i$ ;
- процедура определения квоты или ограничения —  $\pi_i$ ;
- функция, определяющая зависимость прибыли объекта от уровня фактора  $J_i = \varphi(y_i, r_i)$ , где  $r_i$  — параметр этой зависимости.

Заметим, что  $x_i = \pi_i(S_i)$ .

Пусть при нарушении заданной квоты или ограничения объект платит штраф, величина которого прямо пропорциональна наносимому ущербу. Тогда, с учетом штрафа, остаточная прибыль объекта составит:

$$\varphi_i(y_i, r_i) - \alpha(y_i - x_i), \text{ если } y_i \geq x_i. \quad (8.6)$$

Если же  $y_i < x_i$ , то прибыль равна  $\varphi_i(y_i, r_i)$ .

Здесь  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий наложение штрафа.

Рассматриваемый экономический механизм регулирования уровня безопасности и риска предусматривает такое изменение квоты или ограничения для фактора, обуславливающего увеличение уровня безопасности и риска, при котором бы обеспечивалось достижение максимума остаточной прибыли.

Если функция  $\varphi$  непрерывна и дифференцируема, то условие указанного максимума может быть записано в виде [9]:

$$\varphi'_i(y_i, r_i) = \alpha, \text{ если } y_i > x_i, \quad (8.7)$$

$$\varphi'_i(y_i, r_i) < \alpha, \text{ если } y_i = x_i, \quad (8.8)$$

Естественно, что для обеспечения необходимого уровня безопасности и риска требуется, чтобы установленная квота или ограничение не нарушались.



А это возможно, когда  $y_i = x_i$ . Поскольку  $\varphi'_i(y_i, r_i)$  характеризует предельные затраты (или предельную прибыль) на единицу изменения фактора  $y_i$ , то условие соблюдения установленной квоты (ограничения) сводится к следующему: потери в прибыли при уменьшении фактора  $y_i$  до требуемого уровня должны быть меньше, чем штрафы за повышение этого уровня.

В Институте проблем управления РАН разработана имитационная система оценки эффективности экономических механизмов регулирования уровня безопасности, включающая пять основных блоков:

- блок экономических механизмов обеспечения безопасности объектов народного хозяйства;
- блок оценки эффективности экономических механизмов управления безопасностью;
- блок моделей объектов народного хозяйства;
- блок моделей чрезвычайных ситуаций для объектов народного хозяйства;
- интерфейс, осуществляющий связь между перечисленными блоками системы и пользователем.

Структурная схема этой системы приведена на рис. 8.7.

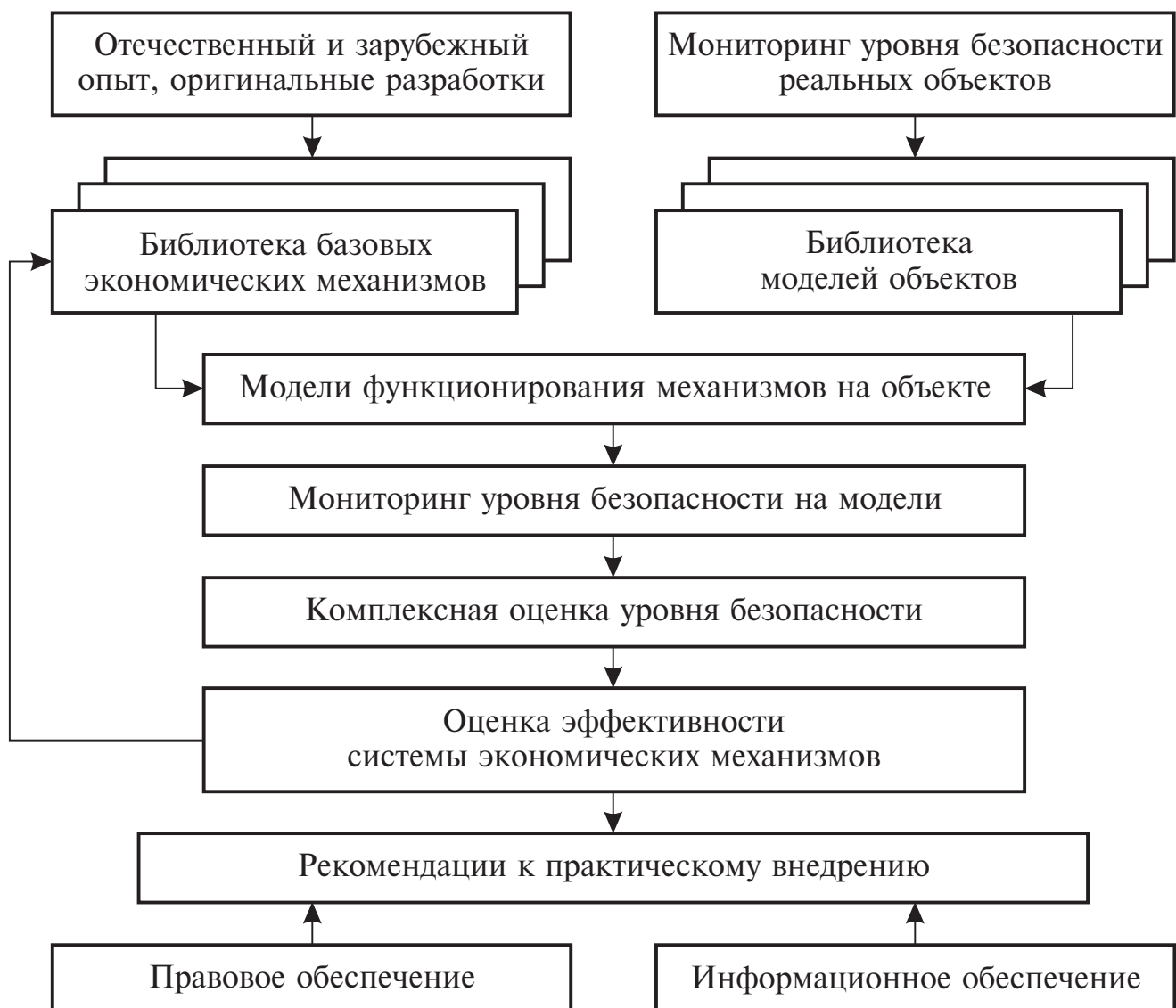


Рис. 8.7. Схема имитационной системы оценки

Экономические механизмы управления достаточно широкое применение находят в природоохранной деятельности в условиях нормальной работы объектов, опасных в техногенном отношении. В частности, эти механизмы используются при оптимизации атмосфероохранных мероприятий, при экономическом стимулировании природоохранной деятельности предприятий экономики.

Управленческие решения по снижению техногенного воздействия опасных объектов должны приниматься на основе выбора оптимальных с экономической точки зрения природоохранных стратегий. При этом выборе следует предусматривать оценку экономической эффективности мероприятий по снижению уровня техногенной загрязненности окружающей среды. В качестве критерия эффективности может использоваться величина предотвращенного экономического ущерба в расчете на единицу затрат на реализацию рассматриваемого природоохранного мероприятия или совокупности таких мероприятий. Заметим, что под природоохранной стратегией обычно понимается осуществление совокупности мероприятий, обеспечивающих либо максимальную эффективность, либо минимальные затраты ресурсов.

Указанный выше критерий эффективности рассчитывается по известной формуле [20]:

$$W = \frac{\Delta E_m}{R_m}, \quad m \in M_i, \quad i \in I, \quad (8.9)$$

где:  $\Delta E_m$  — предотвращенный экономический ущерб, наносимый за счет техногенного загрязнения окружающей среды, который обусловлен выполнением  $m$ -го природоохранного мероприятия на  $i$ -м источнике техногенного воздействия;

$R_m$  — объем экономических затрат на реализацию  $m$ -го мероприятия;

$M_i$  — набор природоохранных мероприятий, приемлемых для реализации на  $i$ -м источнике техногенных воздействий;

$I$  — множество источников техногенного воздействия на окружающую среду.

В свою очередь  $\Delta E_m$  находится по соотношению:

$$\Delta E_m = E_0 - E_m, \quad (8.10)$$

где:  $E_0$  — базовый экономический ущерб за счет техногенного воздействия на окружающую среду, имеющий место до реализации рассматриваемых природоохранных мероприятий;

$E_m$  — экономический ущерб за счет техногенного воздействия после реализации  $m$ -го мероприятия.

В большинстве случаев на объем материальных средств, расходуемых на снижение техногенных воздействий, накладываются определенные ограничения. Это выражается в виде:

$$\sum R_m = R, \quad R \leq R^*, \quad m \in M_i, \quad i \in I, \quad (8.11)$$

где:  $R^*$  — лимит материальных ресурсов.

В этом случае, как правило, проводятся обоснования оптимального состава мероприятий по снижению техногенных нагрузок на окружающую среду, исходя из условия:

$$W = \sum W_m \rightarrow \max, R = R^*, m \in M_j, i \in I. \quad (8.12)$$

В ряде случаев задача ставится иначе: при минимальном, но не ограниченном расходе материальных средств необходимо обеспечить требуемое снижение ущерба от техногенного воздействия и достичь определенный уровень эффективности.

Программа действий при такой постановке задачи обычно выражается в виде:

$$R = \sum R_m \rightarrow \min, W = W^*, m \in M_j, i \in I, \quad (8.13)$$

где:  $W^*$  — заданная эффективность.

Следует отметить, что при проведении расчетов, связанных с оценкой эффективности мероприятий по снижению уровней техногенных нагрузок на окружающую среду, определенные трудности вызывает расчет наносимого ущерба. Это связано с отсутствием строгих аналитических зависимостей, которые бы адекватно отражали процессы техногенных воздействий. Однако для ряда частных случаев существуют расчетные методики, которые считаются приемлемыми для проведения практических оценок [20].

Для примера может быть рассмотрена методика определения экономического ущерба, причиняемого распространением в атмосфере опасных химических веществ.

При расчете экономического ущерба здесь учитываются условия дисперсии опасных химических веществ в атмосфере, а также состав реципиентов, подвергающихся воздействию выбросов в зоне активного заражения. Причем под зоной активного воздействия понимается территория, в пределах которой рассматриваемый источник техногенных воздействий вносит ощутимый вклад в заражение приземного слоя атмосферы и является причиной дополнительных экономических затрат, связанных с компенсацией вредных последствий заражения воздушной среды.

Величина экономического ущерба, выраженная в рублях в год, обычно определяется по формуле [20]:

$$E = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M, \quad (8.14)$$

где:  $\gamma$  — удельный экономический ущерб, выражаемый в рублях на условную тонну выбросов опасных химических веществ в атмосферу;

$\sigma$  — безразмерная величина, характеризующая состав реципиентов, находящихся в зоне активного техногенного загрязнения ( $0,05 \leq \sigma \leq 30$ );

$f$  — безразмерная величина — поправка на характер распространения опасных химических веществ в атмосфере, зависящая от высоты источника, среднегодовой скорости ветра, скорости оседания частиц;

$M$  — масса выбросов в тоннах в год.

В свою очередь масса выбросов находится по формуле:

$$M = \sum_{j=1}^N A_j M_j, \quad (8.15)$$

где:  $M_j$  — масса годового выброса  $j$ -го опасного химического вещества;

$A_j$  — коэффициент относительной опасности  $j$ -го вещества.

Величина  $A_j$  определяется как произведение показателя относительной опасности вещества при вдыхании содержащего это вещество воздуха на целый ряд поправок, рекомендуемых действующими правилами по оценке экологического ущерба:

$$A_j = a_j \cdot \alpha_j \cdot \delta_j \cdot \lambda_j \cdot \beta_j, \quad (8.16)$$

где:  $a_j$  — показатель относительной опасности  $j$ -го вещества при вдыхании человеком воздуха, содержащего это вещество;

$\alpha_j$  — поправка, учитывающая вероятность накопления вещества в компонентах окружающей среды, в пищевых цепях, а также поступления его в организм человека неингаляционным путем;

$\delta_j$  — поправка, учитывающая действие вещества на различные реципиенты, кроме человека;

$\lambda_j$  — поправка, учитывающая вероятность вторичного попадания вещества в воздушную среду;

$\beta_j$  — поправка на вероятность образования вторичных загрязнителей, более опасных, чем исходное вещество.

Значения  $A_j$  для наиболее распространенных веществ, обуславливающих техногенное загрязнение (заражение) воздушной среды, приведены во временной типовой методике по оценке экономической эффективности природоохранных мероприятий. Эти значения лежат в весьма широком интервале величин.

## **Глава 9**

# **Выявление и оценка радиационной и химической обстановки как составная часть управленческого процесса**

### **9.1. Выявление обстановки, формирующейся при выбросах радиоактивных веществ в окружающую среду**

Выявление и оценка радиационной обстановки являются составными, неразрывно связанными элементами одного процесса.

Выявление радиационной обстановки в общем случае включает:

- определение путем прогнозирования или по фактическим данным параметров, характеризующих уровни радиационных полей, радиоактивного загрязнения окружающей среды;

- адекватное отражение полученных результатов на соответствующих устройствах отображения;

- определение характера и размеров зон радиоактивного загрязнения.

При оценке радиационной обстановки, проводимой по прогнозным или фактическим данным, предусматривается:

- анализ прогнозируемых данных, а также собранной и обработанной информации о радиоактивном загрязнении окружающей среды;

- оценка степени превышения установленных уровней безопасности, влияния обстановки на здоровье и жизнедеятельность людей, состояние экосистем, функционирование народно-хозяйственных, коммунально-бытовых и других объектов;

- оценка альтернативных вариантов действий, при которых исключается или снижается до минимума радиационное поражение людей, обеспечивается экологическое равновесие в окружающей среде и приемлемый радиационный риск.

На основе выводов из оценки обстановки осуществляется информационно-интеллектуальная поддержка подготовки и принятия решений по управлению радиационной безопасностью и риском, включающая:

- выработку вариантов предложений на управленческие решения по обеспечению безопасности населения, активному функционированию народно-хозяйственных, коммунально-бытовых и других объектов, проведению ликвидации последствий радиационной аварии;

— оценку этих вариантов и выбор того из них, при котором наилучшим образом достигается переход к уровню приемлемого риска;

— представление выбранного варианта лицу, принимающему решение, с обоснованием выбора.

Заметим, что выявление и оценка радиационной обстановки является составной частью анализа и оценки риска.

Содержанием анализа радиационного риска, как отмечалось выше, является:

— описание радиационно опасных объектов, прилегающих к ним территорий, их демографических особенностей, а также метеоусловий;

— идентификация источников риска, то есть выявление и описание в виде сценариев возможных нарушений технологических процессов и аварийных ситуаций, ведущих к выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду;

— моделирование радиационного воздействия на окружающую среду и людей при реализации источника риска и прогнозирование этого воздействия.

Оценка риска предусматривает:

— сравнение прогнозируемого или фактического риска с нормами риска и с приемлемым уровнем риска;

— выработку возможных путей перехода к уровню приемлемого риска.

Из изложенного следует, что выявление и оценка радиационной обстановки органично вписывается в мероприятия по анализу и оценке риска. Вместе с тем она дополняет их в части, касающейся выбора вариантов действий, при которых снижается до минимума радиационный ущерб и обеспечивается защита населения и окружающей среды.

Состав и содержание мероприятий по выявлению и оценке радиационной обстановки существенно зависят от характера источников ее возникновения и формирования. В связи с этим обычно различают радиационную обстановку при нормальном эксплуатационном режиме функционирования радиационно опасных объектов и радиационную обстановку, обусловленную аварийными выбросами радиоактивных веществ.

Процесс выявления и оценки радиационной обстановки является непрерывным и осуществляется как при благоприятных условиях, так и при возникновении и развитии радиационных аварий.

Организация этого процесса должна согласовываться с задачами и характером функционирования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

С учетом приведенных соображений в непрерывном процессе выявления и оценки радиационной обстановки можно выделить следующие три этапа:

— 1-й этап — заблаговременное (иначе — предварительное) прогнозирование и оценка возможной радиационной обстановки и последствий ее развития, то есть наносимого ущерба. Осуществляется на этапе предупреждения чрезвычайных ситуаций, исходя из данных анализа по идентификации радиационного риска, моделей распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и радиационного воздействия. При этом учитывается стохастическая природа факторов, влияющих на эти процессы;

— 2-й этап — оперативное прогнозирование и оценка радиационной обстановки и радиационного ущерба. Производится на основании данных о возникновении аварий на радиационно опасных объектах и выбросах радиоактивных веществ в окружающую среду, а также о фактах превышения безопасных уровней радиационных полей и концентрации радиоактивных веществ в окружающей среде, зафиксированных системой радиационного мониторинга. По данным оперативного прогноза, непрерывно уточняемого по мере поступления информации, осуществляется оперативное управление радиационным риском;

— 3-й этап — выявление и оценка радиационной обстановки по фактическим данным, полученным от системы мониторинга и контроля окружающей среды.

Методика оценки радиационной обстановки при авариях на АЭС, используемая на практике, изложена в приложении 1.

Основными факторами и явлениями, обуславливающими формирование радиационной обстановки при выбросах радиоактивных веществ в атмосферу, как указывалось выше, являются:

- образование и распространение в пограничном слое атмосферы газоаэрозольного радиоактивного облака;
- радиоактивное загрязнение территорий за счет выпадения из облака выброса радиоактивных продуктов;
- радиоактивное загрязнение открытых участков кожи и одежды людей;
- радиоактивное загрязнение открытых водоемов и источников водоснабжения;
- радиоактивное загрязнение пищевых продуктов;
- радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий, лесов и пастбищ.

Каждый из перечисленных факторов радиационной обстановки характеризуется по крайней мере одним или совокупностью нескольких измеряемых или вычисляемых параметров, с помощью которых можно оценить эквивалентную дозу облучения, получаемую теми или иными категориями персонала АЭС и населения (см. табл. 9.1).

Радиоактивные вещества, попавшие в атмосферу, как отмечалось выше, распространяются под воздействием турбулентной диффузии. По пути переноса радиоактивных веществ в приземном слое атмосферы происходит внешнее облучение людей, попадающих в зону распространения радионуклидов, вследствие бета- и гамма-излучения из шлейфа, а также внутреннее облучение, если радиоактивные вещества попадают в организм ингаляционным путем и инкорпорируются в нем.

Радиоактивное загрязнение территории, открытых водоемов, источников водоснабжения, сельскохозяйственных угодий и людей происходит в результате выпадения радиоактивных осадков из шлейфа под действием силы тяжести, при соприкосновении шлейфа с поверхностью, при вымывании дождем. При этом возникают дополнительные пути переноса радионуклидов к человеку. Эти пути показаны на схеме (рис. 9.1), заимствованной из информационного бюллетеня МАГАТЭ.

Таблица 9.1

Параметры радиационной обстановки при выбросах радиоактивных веществ в атмосферу и характер облучения персонала АЭС и населения

Радиационные факторы, возникающие при выбросе радиоактивных веществ	Параметры радиационной обстановки	Характер облучения
Радиоактивное облако выброса	Мощность дозы гамма-излучения Концентрация радиоактивных веществ (интегральная концентрация по времени)	Внешнее гамма-облучение Внешнее бета-облучение Внутреннее гамма- и бета-облучение
Радиоактивное загрязнение территории	Степень радиоактивного загрязнения поверхностей Концентрация радиоактивных веществ в воздухе за счет поднятой радиоактивной пыли Мощность дозы гамма-излучения от подстилающей поверхности и объектов	Внутреннее облучение за счет вдыхания вторично взвешенных в воздухе радиоактивных веществ Внешнее гамма-облучение
Радиоактивное загрязнение открытой кожи и одежды людей	Степень радиоактивного загрязнения открытых участков кожи и одежды Мощность дозы гамма- и бета-излучения	Внешнее гамма- и бета-облучение
Радиоактивное загрязнение источников водоснабжения	Степень радиоактивного загрязнения воды	Внутреннее гамма- и бета-облучение за счет употребления загрязненной радиоактивными веществами воды
Радиоактивное загрязнение пищевых продуктов	Степень радиоактивного загрязнения пищевых продуктов	Внутреннее гамма- и бета-облучение за счет употребления загрязненных радиоактивными веществами продуктов
Радиоактивное загрязнение с/х угодий	Степень радиоактивного загрязнения Мощность дозы гамма-излучения от загрязненных поверхностей	Внутреннее гамма- и бета-облучение за счет употребления загрязненных радиоактивными веществами продуктов Внешнее гамма-облучение



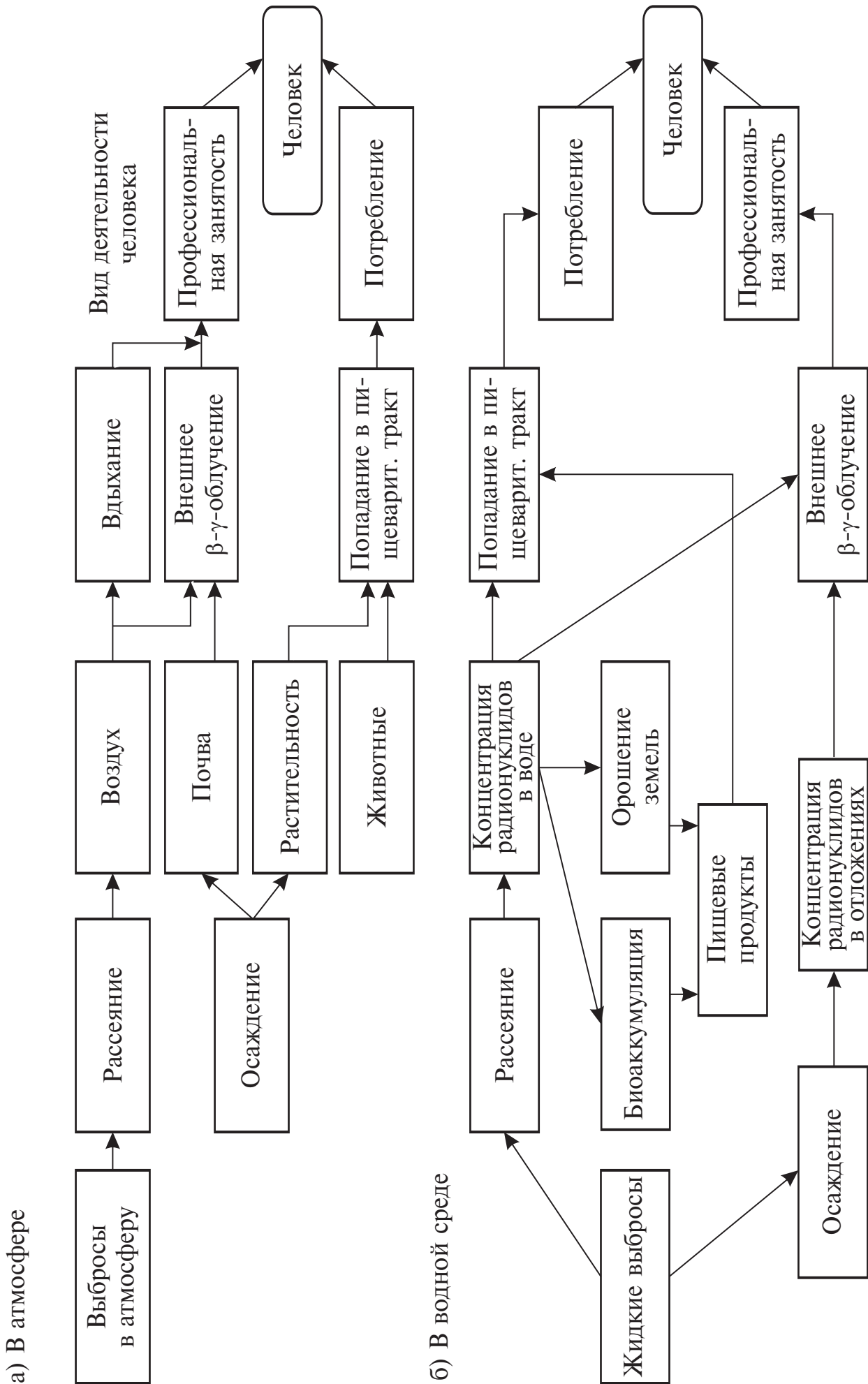


Рис. 9.1. Схема путей переноса радионуклидов к человеку через окружающую среду

Радиоактивные вещества, попадающие в водную среду при осаждении из облака выброса или при непосредственном сбросе, разносятся под влиянием течений и турбулентной диффузии. Они могут быть в ионной, молекулярной форме, в коллоидном состоянии и принимают участие в химических и физико-химических процессах, происходящих в водной среде. В частности, радиоактивные вещества могут адсорбироваться в донных отложениях. Пути переноса радиоактивных веществ через водную среду к человеку показаны на рис. 9.1.

Основным параметром, по которому оценивается в конечном счете радиационный ущерб, то есть степень снижения жизнедеятельности и здоровья людей, является эквивалентная эффективная доза облучения (индивидуальная, коллективная или ожидаемая коллективная). Этот параметр определяется через измеряемые или вычисляемые величины и в интегральной форме характеризует меру воздействия ионизирующих излучений на человека. Указанные измеряемые или вычисляемые величины (мощность дозы, концентрация радиоактивных веществ и др.) по аналогии с термином «производные уровни вмешательства для защиты населения», которые применяются МАГАТЭ [44, 124], могут быть названы производными параметрами радиационной обстановки. В данном случае подчеркивается, что существует основной параметр, которым является доза облучения, а все остальные, то есть мощность дозы, концентрация радиоактивных веществ, степень радиоактивного загрязнения, являются производными, вспомогательным, хотя каждый из этих параметров имеет вполне понятный физический смысл и важное самостоятельное значение.

Связь между искомой величиной эквивалентной дозы облучения и производными параметрами определяется целым рядом факторов, в частности, условиями облучения, характером и радионуклидным составом загрязнения и т.п. Для каждого производного параметра она выражается соответствующим соотношением. Например, связь между эквивалентной дозой внешнего облучения и концентрацией радиоактивных веществ в воздухе выражается формулой [48]:

$$D = K_1 E \int_0^{t_1} C(t) dt \quad (9.1)$$

где:  $D$  — эквивалентная доза внешнего облучения;  
 $C(t)$  — концентрация РВ в воздухе как функция от времени;  
 $E$  — эффективная поглощенная энергия;  
 $K_1$  — коэффициент, согласовывающий размерности и учитывающий отношение тормозных способностей биологической ткани и воздуха.

Соотношение для определения дозы внутреннего облучения имеет вид:

$$D = \frac{K_2 W f}{\lambda_{эф}} (1 - e^{-\lambda_{эф} t_2}) \int_0^{t_1} C(t) dt \quad (9.2)$$

где:  $\bar{D}$  — эквивалентная доза внутреннего облучения;  
 $W$  — количество воздуха, вдыхаемого человеком в единицу времени;  
 $f$  — коэффициент органотропности;  
 $\lambda_{эф}$  — эффективная константа распада радионуклида (с учетом константы биологического выведения);  
 $t_1$  — время нахождения в радиоактивном облаке;  
 $t_2$  — время внутреннего облучения;  
 $\bar{K}_2$  — коэффициент, согласовывающий размерности.

Приведенные выше и подобные им соотношения используются при моделировании радиационного воздействия на персонал АЭС и население, анализе и определении уровня радиационного риска.

## 9.2. Прогнозирование радиационной обстановки с использованием методов теории игр

В настоящее время существует довольно большое количество методов прогнозирования, основанных на эвристическом и математическом подходах, а также на их сочетании. Однако прогнозирование радиационной обстановки осуществляется главным образом математическими методами, предусматривающими широкое применение моделей процесса распространения радиоактивных веществ в окружающей среде.

Основываясь на анализе современных подходов к прогнозированию негативных воздействий при различного рода событиях и явлениях экстремально-го характера, можно выделить два основных математических метода прогнозирования радиационной обстановки: детерминированный и вероятностный. Следует отметить, что при прогнозировании радиационной обстановки может найти практическое применение также метод, базирующийся на теории игр и статистических решений.

Первый из указанных выше методов основывается на определении уровней радиационных полей и пространственно-временных параметров зон радиоактивного загрязнения с помощью функциональных зависимостей, связывающих эти величины с исходными данными детерминированного характера. При этом указанные зависимости выражаются в аналитической, графической или табличной формах.

Учет стохастического характера исходной метеорологической и другой информации, а также процессов распространения радиоактивных веществ в окружающей среде носит ограниченный характер. При проведении расчетов берутся за основу наиболее вероятные либо средние значения исходных параметров. При отображении радиационной обстановки на электронных устройствах, картах и схемах зоны радиоактивного загрязнения, как правило, изображаются в виде эллипсов, хотя на практике зоны радиоактивного загрязнения, как правило, далеки от эллипсовидной формы. Рассматриваемый метод приемлем при прогнозировании радиационной обстановки на небольших рас-

стояниях от источников опасности и при малых временных параметрах процесса загрязнения.

Положение осевой линии радиоактивного следа считается детерминированным. Однако стохастическая природа распределения радиоактивных веществ в облаке выброса при его движении в турбулентной атмосфере учитывается. В случае прогноза обстановки при ядерных взрывах обычно учитывается также дисперсия эпицентра взрыва. Детерминированный метод находит достаточно широкое применение в штабах войск и органах управления гражданской обороны при прогнозировании радиационной обстановки после возможных ядерных взрывов. Он также применяется при оценке возможных последствий аварий на радиационно опасных объектах.

Второй метод основан на вероятностном подходе к заданию исходных данных и получению прогнозной информации. В этом методе, по возможности, в полной мере учитывается стохастическая природа параметров, характеризующих источник радиационной опасности, а также процессов формирования и распространения радиоактивных загрязнений окружающей среды и уровней полей излучений. При этом методе прогнозирования, в силу изменчивости параметров ветра, точное местоположение радиационного следа, образующегося при аварийных выбросах или взрывах на местности, не определяется, а лишь прогнозируется район, в пределах которого с определенной гарантированной вероятностью этот след будет находиться. Такой подход к оценке пространственно-временных параметров радиоактивного загрязнения наиболее приемлем при оперативном прогнозировании. При заблаговременном прогнозировании обстановки прогнозирование радиоактивного загрязнения целесообразно производить с учетом розы ветров. При этом вместо определения местоположения следа с той или иной гарантированной вероятностью проводится многовариантная оценка, находится диаграмма вектора вероятности положения осевой линии следа.

Прогнозирование и оценка радиационной обстановки может проводиться и с использованием теории игр со случайными ходами.

Такое прогнозирование радиационной обстановки может рассматриваться как один из новых малоизученных в приложении к данной проблеме методов. В этом методе прогнозирование сочетается с оценкой обстановки и выбором наиболее приемлемых мер и средств по обеспечению радиационной безопасности.

Как известно, теорию игр составляет математическая теория конфликтных ситуаций. Ее задачей является выработка рекомендаций по рациональному образу действий в условиях неопределенности. При прогнозировании радиационной обстановки неопределенность проявляется в неоднозначности метеоусловий, исходных данных по характеру и параметрам выброса радиоактивных веществ и т.д. Ситуации, возникающие в процессе прогнозирования радиационной обстановки, условно могут быть отнесены к конфликтным. Формирование тех или иных условий обстановки здесь связано не с сознательной деятельностью противостоящей стороны, а с некоторыми факторами, имеющими случайный характер. В играх такого рода, наряду с так называемыми личными ходами,

имеют место случайные ходы. Для каждого случайного хода правила игры определяются распределением вероятностей возможных исходов.

Вариант действий той или иной стороны, выбор которого определяется совокупностью правил, в теории игр носит название стратегии. Принятие решения о выборе стратегии в ряде случаев может зависеть от обстоятельств, связанных с недостаточностью информации о погодных и иных условиях. Подобная ситуация возникает при выборе стратегии, определяющей формирование радиационной обстановки. Такого рода стратегии обычно называют «стратегиями природы». Выбор стратегии природы, как правило, осуществляется исходя из известных величин вероятности реализации условий, при которых происходит формирование радиационной обстановки.

Стратегии природы принимаются в качестве стратегий противостоящей стороны. Стратегии выражаются вариантами мер и действий по обеспечению радиационной безопасности.

Каждая из стратегий природы содержит набор метеопараметров, принимаемых во внимание при прогнозировании радиационной обстановки, и характеризуется вероятностью реализации. Стратегии, соответствующие различным вариантам мер и действий по обеспечению радиационной безопасности, определяются совокупностью и результативностью этих мер и действий. Причем все стратегии, относящиеся к нашей стороне, рассматриваются при одной и той же ситуации. Каждая из этих стратегий характеризуется набором вариантов радиационной обстановки по числу принятых для анализа вариантов метеоусловий.

Для решения задачи выбора оптимальной стратегии должна разрабатываться матрица, элементами которой являются показатели, характеризующие качество выигрыша, то есть полезность и эффективность стратегии. Качество выигрыша определяется набором параметров радиационной обстановки, от которых зависит степень ее опасности, выражаемая через интегральный показатель. Интегральный показатель может интерпретироваться, например, как уровень радиационного риска. Матрица представлена в виде таблицы (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Матрица показателей

$A_i$	$P_j$				
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	...	$P_n$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	...	$a_{2n}$
$A_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	...	$a_{3n}$
...	...	...	...	...	...
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	...	$a_{mn}$

Наиболее простым случаем выбора подходящей стратегии является случай, когда какая-либо из стратегий по всем показателям превосходит другие, то есть матрица содержит доминирующую стратегию. В общем случае, когда ни одна стратегия не доминирует над другой, проводится анализ матрицы выигрышей. Для проведения этого анализа в ряде случаев целесообразно преобразование матрицы с введением понятия риска применения стратегии. Под риском применения стратегии, в соответствии с теорией игр и статистических решений, понимается разность между максимальным для данной стратегии природы значением показателя качества выигрыша и его величиной при рассматриваемой стратегии обеспечения радиационной безопасности:

$$r_{ij} = b_j - a_{ij}, \quad (9.3)$$

где:  $r_{ij}$  — риск при  $i$ -й стратегии;  
 $b_j$  — максимальное значение показателя качества выигрыша.

При использовании матрицы как с элементами  $a_{ij}$ , так и  $r_{ij}$  выбор оптимальной стратегии проводится по максимальному значению математического ожидания выигрыша. Величина математического ожидания выигрыша для каждой из стратегий вычисляется по формуле:

$$a_i = P_1 \cdot a_{i1} + P_2 \cdot a_{i2} + \dots + P_n \cdot a_{in}, \quad (9.4)$$

где:  $P_1, P_2, \dots, P_n$  — вероятность реализации стратегии природы.

Имеется в виду, что величины  $P_1, P_2, \dots, P_n$  заранее известны, исходя из многолетнего опыта по определению метеопараметров в данном районе.

Рассмотренный подход к определению стратегии может применяться при обосновании решений на применение мер и средств обеспечения радиационной безопасности с учетом всех возможных вариантов метеоусловий.

Задача по оценке радиационного воздействия с использованием теории игр со случайными ходами и статистических решений может ставиться и несколько иначе. В качестве стратегий противостоящей стороны могут быть приняты не метеорологические условия распространения радиоактивных веществ в окружающей среде, а совокупности исходных событий возникновения, характерных особенностей развития аварий, иными словами, различные аварийные ситуации.

Выбор такого рода стратегии противоположной стороной, как и в рассмотренном ранее случае, осуществляется случайным ходом. Для каждого случайного хода правила игры определяются распределением вероятности возможных исходов, то есть выбором той или иной стратегии. При разработке множества стратегий учитываются все возможные происшествия, аварии и катастрофы для каждого из радиационно опасных объектов.

Наши стратегии, как и в предыдущем случае, будут выражаться различными вариантами мер и действий по обеспечению радиационной безопасности. Однако фиксированными здесь являются метеоусловия. Каждая из стратегий характеризуется набором вариантов радиационной обстановки по числу принимаемых во внимание вариантов происшествий, аварий и катастроф.

Элементы матрицы, разрабатываемой для решения задачи, как и прежде, характеризуют эффективность стратегий через интегральный показатель радиационного воздействия на людей, другие популяции, сообщества и объекты биосферы.

Выбор оптимальной стратегии здесь также может проводиться по величине математического ожидания выигрыша.

Рассмотренные задачи, по существу, являются вариантами (частными случаями) одной общей задачи, суть которой состоит в обосновании мер по обеспечению радиационной безопасности с учетом стохастической природы факторов, определяющих формирование и степень опасности радиационной обстановки.

С помощью теории игр со случайными ходами может быть решена и иная задача, принципиально отличающаяся по своей постановке: по обоснованию условий, определяемых стохастическими факторами, применительно к которым целесообразно проводить оценку радиационного воздействия и разработку мер по обеспечению радиационной безопасности.

При решении этой задачи учитываются две группы случайных факторов: факторы, характеризующие метеоусловия, и факторы, характеризующие исходные события возникновения и развития аварии. В связи с этим реализация стратегий с обеих сторон определяется вероятностными законами. Задача рассматривается в рамках игры, характеризующейся только случайными ходами. В качестве интегрального показателя выигрыша, численные значения которого, как и в предыдущих случаях, являются элементами игровой матрицы, может быть использован уровень радиационного риска.

В данной задаче, в отличие от предыдущей, следует предусматривать выбор оптимальных стратегий обеих сторон. Методика выбора остается прежней, то есть сводится к определению и анализу математических ожиданий величины интегрального показателя. Совокупность двух выбранных значений этих показателей дает возможность однозначно ответить на поставленный в задаче вопрос и сформулировать те условия, применительно к которым следует проводить анализ радиационной обстановки, оценку радиационного воздействия и разработку мер по обеспечению радиационной безопасности.

В заключение необходимо отметить, что нами сделана лишь попытка рассмотреть возможные пути использования теории игр со случайными ходами, методы статистических решений для целей анализа радиационной опасности, возникающей в тех или иных ситуациях, и выработки адекватных мер по обеспечению безопасной жизнедеятельности населения и работы персонала объектов с ядерными технологиями. Целесообразно дальнейшее совершенствование и развитие методов теории игр и статистических решений применительно к решению задач по информационно-интеллектуальной поддержке процессов принятия решений при управлении радиационным риском и обеспечении радиационной безопасности.

### **9.3. Методологическая схема информационной поддержки и определения зон повышенного риска при выявлении и оценке радиационной обстановки**

Методология расчетов по выявлению и оценке радиационной обстановки ориентирована на выработку данных, необходимых для обеспечения органов управления необходимой информационно-интеллектуальной поддержкой для принятия управленческих решений.

Схемой расчетов предусматривается:

- формирование информационного поля постоянной и переменной исходной информации и ввод ее в ЭВМ;
- моделирование процессов формирования зон радиоактивного загрязнения, распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и нанесения радиационного ущерба. Проведение расчетов по моделям и расчетным соотношениям;
- графическое отображение зон радиоактивного загрязнения, соответствующих уровням риска, при которых принимаются определенные управленческие решения;
- прогнозирование динамики развития и оценка радиационной обстановки.

В состав постоянной информации, вводимой в базы данных заблаговременно, представляется целесообразным включать:

а) исчерпывающую характеристику объектов ядерного топливного цикла, а также других радиационно опасных объектов, включая описания и возможные сценарии развития аварий, в том числе проектных и запроектных. Например, для АЭС в этой характеристике должны содержаться следующие сведения:

- типы и мощности используемых ядерных реакторов, количество и типы энергоблоков, их надежность, безопасность, состояние;
- уровни возможных аварий по шкале МАГАТЭ, а также категории аварий;
- варианты аварий, исходя из возможных причин, сценарии развития, возможный радионуклидный состав выбросов;

б) возможные последствия аварий в зависимости от их уровней и вариантов. Зоны распространения и выпадения радиоактивных веществ. Зоны радиационного риска при авариях;

в) набор типовых метеорологических ситуаций с приведением данных по параметрам ветра, атмосферной стратификации и интенсивности турбулентного обмена в атмосфере;

г) матрицу значений основных параметров радиационной обстановки по уровням и вариантам аварий, типам метеоусловий, а также другие результаты предварительных расчетов.

В состав переменной информации, поступающей с началом аварии и при ее развитии, следует включать конкретные сведения, содержащие:



- наименование, местоположение, характер объекта аварии, его фактическое состояние и т.п.;
- данные о характере, масштабах, причине аварии, количестве аварийных (поврежденных) структурных элементов объекта;
- данные о метеопараметрах, стратификации пограничного слоя атмосферы и т.п.;
- другие данные, принимаемые во внимание при прогнозировании и оценке радиационной обстановки.

Моделирование процессов формирования зон радиоактивного загрязнения, распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и нанесения радиационного ущерба осуществляется на основе современных представлений о закономерностях турбулентной диффузии в воздушной и водной средах, с учетом стохастического характера метеорологических и других параметров, закономерностях гидрогеохимических процессов, обуславливающих миграцию радиоактивных веществ в почвенных и других геоструктурах и перенос их в подземных водах, закономерностях формирования производных параметров радиационной обстановки (мощности дозы излучения, концентрации радиоактивных веществ, степени поверхностного загрязнения объектов окружающей среды), а также о закономерностях переноса радиоактивных веществ по трофическим цепям и формирования основного параметра, по которому оценивается радиационный ущерб эффективной эквивалентной дозой облучения.

При проведении этой работы предполагаются широкие научные обобщения и использование ранее разработанных моделей, которые адекватно отражают реальные процессы переноса вещества и энергии в природе, а также различного рода расчетных соотношений, нашедших реализацию и рекомендуемых МАГАТЭ, как, например, формул, связывающих концентрацию радиоактивных веществ в радиоактивном облаке с дозой бета- и гамма-облучения, степень радиоактивного загрязнения кожи и одежды с дозой бета- и гамма-облучения.

Вычисления на ЭВМ по моделям и расчетным соотношениям позволяют получить всю необходимую информацию для оценки уровня радиационного риска.

Логическим продолжением, а точнее говоря, составным элементом имитационного численного моделирования является графическое отображение зон радиоактивного загрязнения в заданной системе координат в виде изолиний, соответствующих уровням параметров радиационной обстановки, при которых принимаются управленческие решения на:

- укрытие населения;
- принятие контрольных мер по доступу в зону загрязнения;
- введение стабильного йода;
- эвакуацию;
- отселение людей;
- дезактивацию.

Как будет показано ниже, эти зоны могут быть названы зонами повышенного риска.

Завершающий и весьма важный этап в проведении расчетов посвящается прогнозированию динамики развития и оценке радиационной обстановки в целом по району, затронутому аварией, а также по отдельным наиболее важным объектам и территориям. На этом этапе предусматривается формирование в системе управления базами данных (СУБД) и в базе знаний нескольких блоков информации. При этом каждый последующий блок развивает по составу и содержанию информации предыдущие и вносит определенные уточнения. Таких блоков информации должно быть по крайней мере три — по числу фаз радиационно опасной аварии.

Для полной и детальной оценки радиационной обстановки может применяться экспертная система, реализующая дедуктивный принцип получения необходимой информации.

Применение такой экспертной системы целесообразно для уточнения и детализации динамики развития обстановки на отдельных объектах.

В свою очередь, методология определения зон, где уровни радиационного риска превышают установленные допустимые значения, строится в соответствии с рассмотренным выше подходом к зонированию территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Здесь под зонами возможного радиоактивного загрязнения имеются в виду части территории, ограниченные изолиниями с уровнями радиационных параметров, при которых принимаются определенные управленческие решения по защите населения.

Характер мер защиты и критериальные значения радиационных параметров, при которых принимаются управленческие решения, зависят от фазы (этапа) аварии.

Как уже отмечалось выше, в процессе развития аварии, связанной непосредственно с выбросом радиоактивных веществ, обычно выделяется четыре основные фазы [115]: начальная, ранняя, промежуточная и поздняя (восстановительная).

Основываясь на представлениях о динамике развития аварии, ее фазах и радиационной обстановке, можно установить критериальные уровни параметров, при которых принимаются управленческие решения. В табл. 9.3 приведены потенциальные пути облучения и защитные меры, рекомендуемые МАГАТЭ на различных фазах радиационно опасной аварии [115]. По этим мерам принимаются управленческие решения.

Решения о мерах защиты населения от радиоактивного облучения на ранней и промежуточной фазах развития аварии должны приниматься на основании сравнения оценочных (прогнозируемых) доз с приведенными в табл. 6.4, 6.5 и 6.6 дозовыми критериями для нижнего и верхнего уровней радиационного воздействия.

Если прогнозируемое облучение не превышает нижний уровень дозового критерия (уровень А), то меры, перечисленные в табл. 9.3, проводить не следует.

Если прогнозируемое облучение превосходит нижний уровень дозового критерия, но не достигает его верхнего уровня (уровня Б), то решение по проведению мер, перечисленных в табл. 9.3, может быть отсрочено. Оно должно приниматься с учетом конкретной радиационной обстановки и местных усло-

вий. Для этого используются данные радиационного контроля и обследования окружающей среды в заранее выбранных точках в зоне распространения аварийного выброса.

Таблица 9.3

Потенциальные пути облучения на разных фазах аварии и меры по предотвращению радиационных поражений

Фаза аварии	Потенциальный путь облучения	Меры по предотвращению радиационных поражений
Ранняя	Внешняя радиация от аварийного объекта	Укрытие, эвакуация, контроль доступа
	Внешняя радиация от шлейфа	Укрытие, эвакуация, контроль доступа
	Вдыхание радиоактивных веществ, содержащихся в шлейфе	Укрытие, введение стабильного йода, эвакуация, контроль доступа
	Загрязнение радиоактивными веществами кожи и одежды	Укрытие, эвакуация, дезактивация людей
Промежуточная	Внешняя радиация от загрязненной поверхности земли и объектов	Эвакуация, переселение, дезактивация земли и сооружений
Поздняя	Вдыхание повторно-взвешенных радиоактивных веществ	Отселение, дезактивация земли и сооружений
	Употребление загрязненной пищи и воды	Контроль пищи и воды

В том случае, когда прогнозируемое облучение достигает или превосходит верхний уровень, проведение мер защиты является обязательным. По критериальным значениям эквивалентной дозы облучения рассчитываются критериальные величины производных параметров радиационной обстановки, которые играют роль производных уровней вмешательства, являющихся основанием для принятия решений по мерам защиты. Расчет производится с помощью имитационных моделей переноса и рассеивания радиоактивных веществ, учитывающих все возможные пути попадания их в организм человека.

Полученные данные используются при оценке радиационной обстановки и определении уровня риска. Управленческие решения на проведение мероприятий по снижению уровня радиационного риска считаются необходимыми, если выполняется условие:

$$\sum_P \sum_i \frac{a(i, P)}{ПУВ(i, P)} \geq 1, \quad (9.5)$$

где:  $ПУВ(i, P)$  — произвольный уровень вмешательства (критериальное значение производного параметра радиационной обстановки) для  $i$ -го радионуклида при  $P$ -ом пути облучения;

$a(i, P)$  — величина измеряемого или рассчитываемого при прогнозировании обстановки параметра для  $i$ -го радионуклида при  $P$ -ом пути облучения.

При оперативном управлении радиационным риском на основе рассмотренных выше подходов и суждений расчетным путем определяются границы зон, внутри которых радиационный риск превышает определенные уровни, являющиеся критериями для принятия управленческих решений по мерам радиационной защиты, обеспечивающим снижение риска.

Стратегия и организация проведения предусмотренных мер радиационной защиты должны быть такими, чтобы новый уровень риска был приемлемым с учетом всех факторов, принимаемых во внимание при расчетах риска, в том числе затрат на выполнение защитных мероприятий.

Ранее уже отмечалось, что к числу зон повышенного радиационного риска, для которых проводятся рассматриваемые обоснования и расчеты, в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ по мерам защиты, относятся:

- зоны риска, в которых для снижения уровня риска необходимо укрытие населения в зданиях и защитных сооружениях;
- зоны риска, где снижение уровня риска может быть достигнуто введением населению стабильного йода;
- зоны риска, из которых следует отселить население в зоны приемлемого риска;
- зоны риска, где снижение уровня риска может быть достигнуто проведением дезактивации.

Однако при таком довольно большом числе зон графоаналитический метод оценки радиационной обстановки связан с определенными трудностями. Было бы удобнее пользоваться некоторыми обобщенными понятиями о зонах повышенного риска. Основываясь на установленных в нашей стране нормах и критериях для принятия управленческих решений и взглядах на планирование мероприятий по защите населения в случае аварии на АЭС, представляется целесообразным ввести в рассмотрение следующие зоны повышенного радиационного риска.

**Первая зона** повышенного радиационного риска (зона риска проведения экстренных мер радиационной защиты) населения — территория, в пределах которой доза облучения всего тела человека за время формирования радиоактивного следа или доза внутреннего облучения отдельных органов может превысить верхний дозовый предел, установленный для эвакуации.

**Вторая зона** повышенного риска (зона риска проведения предупредительных мер радиационной защиты) населения — территория, в пределах которой доза облучения всего тела человека за время формирования радиоактивного следа или доза внутреннего облучения отдельных органов может превысить

верхний дозовый предел, установленный для укрытия населения и проведения йодной профилактики.

**Третья зона** повышенного радиационного риска (зона риска введения ограничительных мер радиационной защиты) населения — территория, на которой доза облучения всего тела человека или отдельных органов за 1 год может превысить нижний предел для потребления пищевых продуктов.

Размеры и положение границ описанных зон повышенного радиационного риска зависят от многих факторов стохастической природы. Поэтому они могут быть определены вероятностными методами.

Граница зоны в этом случае будет интерпретироваться как геометрическое место точек, где с определенной вероятностью, например, равной 0,9, будет превышать соответствующий дозовый предел, а уровень риска проведения экстренных, предупредительных или ограничительных мер, в зависимости от характера зоны риска, составит величину, равную этой вероятности.

Как правило, границы зон повышенного риска для каждого радиационно опасного объекта будут определяться заранее, в расчете на возможную общую радиационную аварию или же с учетом всех возможных аварий, при которых происходит распространение радиоактивных продуктов за пределы санитарно-защитной зоны, в соответствии с рассмотренной ранее методологией анализа и оценки риска.

В число зон повышенного радиационного риска могут быть включены и другие зоны. В частности, зоны, в пределах которых возможны те или иные радиационные поражения людей, в том числе смертельные. Введение в рассмотрение такого рода зон может оказаться полезным при решении задач, связанных с оценкой санитарных потерь персонала аварийного объекта и населения и планированием мер по оказанию медицинской помощи пострадавшим при радиационной или ядерной аварии.

Для определения границ зон риска радиационных потерь персонала радиационно опасных объектов и населения необходимо проведение соответствующих расчетов, с учетом характера радиационных поражений, а также их возможных ближайших и отдаленных последствий, возникающих при тех или иных дозовых нагрузках. Методика этих расчетов составляет отдельную задачу, не рассматриваемую в данной работе.

## **9.4. Методика прогнозирования заражений окружающей среды при авариях на объектах, обладающих высокой химической опасностью**

В число объектов, обладающих наиболее высокой химической опасностью, принято включать объекты, где производятся, используются или хранятся аварийно химически опасные вещества (АХОВ).

Как уже отмечалось выше, в настоящее время принято в качестве количественной меры токсичности АХОВ использовать величины их концентраций

и доз вещества. Причем наиболее часто пользуются такими характеристиками, как: пороговая концентрация, предел переносимости, смертельная концентрация, значения токсических доз, соответствующих определенному эффекту поражения.

Значения токсодоз являются постоянными лишь для сравнительно кратковременных экспозиций, не превышающих 40—60 минут. При более продолжительных воздействиях или при малых концентрациях имеют большее значение величины пороговых токсодоз, особенно для тех АХОВ, которые частично выводятся из организма. В общем случае при авариях на объектах, производящих, потребляющих или хранящих АХОВ, в составе выбросов может быть не одно, а несколько АХОВ. При таких условиях оценка суммарного эффекта представляет достаточно сложную задачу, так как результат от комбинированного воздействия нескольких АХОВ может быть не равным сумме эффектов отдельного действия. С учетом этих соображений при анализе и оценке возможной химической обстановки и создании системы мониторинга целесообразно исходить из условия:

$$\frac{D_1}{(PC\tau_{50})_1} + \frac{D_2}{(PC\tau_{50})_2} + \dots + \frac{D_n}{(PC\tau_{50})_n} \leq 1, \quad (9.6)$$

где:  $D_1, D_2, \dots, D_n$  — ожидаемые дозы АХОВ при ингаляционном воздействии;

$(PC\tau_{50})_1, (PC\tau_{50})_2, \dots, (PC\tau_{50})_n$  — пороговые токсодозы АХОВ.

При указанном условии комбинированное воздействие  $n$ -го числа АХОВ приведет лишь к появлению начальных симптомов поражения у 50 % людей.

Следует отметить, что, хотя основными токсикологическими характеристиками, по которым оценивается поражающее воздействие АХОВ, являются токсические дозы, доступными для измерения и вместе с тем достаточно представительными параметрами служат концентрации АХОВ. При прогнозировании и оценке химической обстановки используется пороговая смертельная концентрация, а также концентрация, соответствующая пределу переносимости. В табл. 9.4 приведены значения предела переносимости и средней смертельной концентрации для АХОВ различных классов токсичности.

В таких аварийных ситуациях, когда воздушная среда заражается несколькими АХОВ, допустимые концентрации компонентов определяются исходя из условия:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (9.7)$$

где:  $ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$  — предельно-допустимые концентрации компонентов.

Если последнее условие выполняется, то  $C_1, C_2, \dots, C_n$  могут считаться допустимыми. Высказанные соображения относятся к случаю, когда все АХОВ однонаправленного действия. Если в выбросе содержатся токсичные вещества, не обладающие однонаправленным характером действия, то эффект дейст-

Критериальные значения концентраций АХОВ  
различных классов токсичности

Критериальная концентрация	Уровни критериальных концентраций, мг/м <sup>3</sup>			
	АХОВ 1-го класса (чрезвычайно опасные)	АХОВ 2-го класса (высоко-опасные)	АХОВ 3-го класса (умеренно-опасные)	АХОВ 4-го класса (малоопасные)
Пределы переносимости (ПДК <sub>крз</sub> в воздухе)	Менее 0,1	0,1—1	1,1—10	Более 10
Средняя смертельная	Менее 500	500—5 000	5 001—50 000	Более 50 000

**Примечание.** Значения предела переносимости соответствуют ПДК для АХОВ в пределах рабочей зоны и используются в качестве критерия при оценке выполнимости требований безопасности в производстве.

вия АХОВ оценивается по наиболее токсичному веществу и критериальной величиной является его предельно-допустимая концентрация. Критериальные значения концентраций АХОВ различных классов токсичности представлены в табл. 9.4. Все вышеизложенное о критериальных концентрациях АХОВ имеет важное значение при обосновании структуры химического мониторинга.

К пространственно-временным параметрам химической обстановки, формирующейся при аварийных выбросах АХОВ, следует отнести:

- размеры и конфигурацию зон заражения территорий и объектов с опасными плотностями АХОВ;
- размеры и конфигурацию зон распространения первичного и вторичного облака зараженного АХОВ воздуха;
- продолжительность поражающего действия АХОВ.

Зона заражения АХОВ с опасными плотностями включает площадь района аварии и площадь заражения территории и объектов за пределами аварийной зоны, где произошло осаждение АХОВ из облака выброса при его перемещении в приземном слое атмосферы.

Пространственно-временные параметры химической обстановки, складывающейся при авариях на объектах с АХОВ, оказывают влияние на функциональную структуру химического мониторинга и учитываются при его разработке.

Как известно, одной из важных функций системы мониторинга является прогнозирование химического заражения окружающей среды.

Анализ современных взглядов на прогнозирование химического заражения окружающей среды АХОВ показывает, что его основным содержанием в системе мониторинга должно быть:

- определение глубины зоны заражения АХОВ;

- определение площади зоны заражения АХОВ;
- определение времени подхода зараженного воздуха к наиболее важным

объектам и продолжительности поражающего действия АХОВ.

Проведение расчетов по определению указанных выше параметров основывается на теории турбулентной диффузии в приземном слое атмосферы и ее применении к процессам формирования и распространения первичного и вторичного облаков АХОВ, а также теории бурного, неустойчивого и стационарного испарения химических веществ, происходящего при вскрытии или разрушении емкостей, магистральных трубопроводов и т.п. Эти расчеты могут проводиться с помощью математических моделей процессов выбросов АХОВ из оболочек, формирования и распространения облаков, содержащих эти вещества в газообразном, парообразном, аэрозольном виде, или упрощенных формул, включающих заранее рассчитанные коэффициенты для учета тех или иных факторов, а также таблиц.

Как уже ранее отмечалось, в настоящее время существует достаточно большое количество математических моделей, адекватно отражающих реальные процессы распространения примесей. Однако для решения задач прогнозирования заражения окружающей среды АХОВ удобно пользоваться упрощенной методикой, рекомендуемой в руководящем документе Госгидромета СССР и Гражданской обороны СССР РД 52.04.253-90, приведенной в приложении 2.

В соответствии с этим документом при прогнозировании глубины зоны заражения АХОВ предусматривается определение количественных характеристик выброса АХОВ в первичном и вторичном облаках по эквивалентным значениям по отношению к хлору и с использованием таблиц. При этом под эквивалентным количеством АХОВ понимается такое количество хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу заражения при данной степени вертикальной устойчивости атмосферы количеством АХОВ, перешедшим в первичное (вторичное) облако. Что очень важно, методикой предусматривается расчет глубины зоны заражения как при аварии на химически опасном объекте, так и при разрушении такого рода объекта.

Определение площади зоны заражения АХОВ включает расчеты по упрощенным формулам площади зоны возможного заражения для первичного (вторичного) облака АХОВ и площади фактического заражения. Под площадью возможного заражения АХОВ в этом случае понимается площадь территории, в пределах которой под воздействием изменения направления ветра может перемещаться облако АХОВ, под площадью зоны фактического заражения АХОВ — площадь территории, зараженной АХОВ в опасных для жизни пределах.

Определение времени подхода зараженного воздуха к объекту основывается на данных по скорости переноса переднего фронта облака зараженного воздуха, выбираемых из таблицы. Продолжительность поражающего действия АХОВ оценивается по времени его испарения с площади разлива.



## 9.5. Методики прогнозирования химических загрязнений воздушной среды городов

Прогнозирование загрязнений атмосферы городов и промышленных районов в настоящее время привлекает широкое внимание ученых и организаторов природоохранной деятельности в связи с необходимостью адекватного реагирования на изменения экологической обстановки и предотвращения сверхдопустимых техногенных воздействий. Заметим, что в данном случае более правильно говорить о загрязнении воздушной среды городов, ибо промышленные выбросы содержат кроме АХОВ значительное количество загрязняющих веществ.

При нормальном (безаварийном) функционировании объектов, являющихся источниками загрязнения воздушной среды, признается целесообразным проводить два вида прогнозирования [140]:

- прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха в районе расположения отдельных источников;
- прогнозирование загрязнения атмосферы по городу в целом.

Первый вид прогнозирования применяется для источников, обладающих существенными особенностями и являющихся в условиях данного города наиболее значительными источниками выбросов вредных веществ в атмосферу. Примерами таких источников служат промышленные, энергетические и другие предприятия. Этот вид прогнозирования, в частности, приемлем и для аварийных случаев. Прогнозирование первого вида отличается достаточной простотой, то есть при его реализации используются модели физических процессов распространения примесей для одиночного источника.

При втором виде прогнозирования необходимо учитывать сложный механизм загрязнения воздушной среды от большого числа источников. Это достигается теоретическим анализом и в значительной мере путем применения прогностических схем, составляемых по материалам наблюдений, которые проводятся для определения годового и суточного хода метеорологических и других параметров. При предсказании вероятного роста концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе города предусматривается использование прогностических схем, разрабатываемых на основе опытных многолетних наблюдений.

Оперативное прогнозирование загрязнения атмосферы по городу включает два вида прогноза [140]:

- предварительный — на сутки вперед;
- уточненный — на 6—8 часов вперед (утром — на текущий день, днем — на вечер и ночь).

При осуществлении прогнозирования применяется ряд методов, которые в дальнейшем будут описаны.

В различных структурах экологического мониторинга могут найти применение оба указанных выше вида прогнозирования. В связи с этим остановимся на их рассмотрении.

В соответствии со сложившимися взглядами [140], смысл первого вида прогнозирования сводится к предсказанию установленных заранее условий погоды, вызывающих высокие концентрации примеси в приземном слое воздуха в районе источника, и к расчету создаваемых выбросами данного источника концентраций примесей. Имеется в виду, что неблагоприятные метеорологические условия устанавливаются на основании результатов теоретических исследований и расчетов и охватывают все случаи увеличения концентрации за счет влияния атмосферных процессов.

В общем случае методикой прогнозирования предусматривается:

— проведение расчетов по определению максимальных концентраций примесей при нормальных метеорологических условиях для объектов, являющихся главными источниками поступления вредных веществ в атмосферу, и на основе этого выбор источников, для которых следует составлять прогнозы;

— определение для каждого из выбранных источников неблагоприятных метеоусловий, при которых создается опасное загрязнение воздуха.

Расчет максимальных концентраций может быть проведен с помощью формул, которые вытекают из теории турбулентной диффузии и распространения примесей в приземном слое атмосферы, развитой в ряде упоминавшихся ранее работ отечественных и зарубежных авторов. В частности, для проведения расчетов можно пользоваться формулами [125]:

а) для горячих выбросов

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot m \cdot n \cdot \eta \cdot F}{H^2} \sqrt{\frac{N}{q \cdot \Delta T}}, \quad (9.8)$$

б) для холодных выбросов

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot N \cdot \eta}{H^3 \sqrt{H}} \cdot \frac{D}{8q}. \quad (9.9)$$

В этих формулах:

*A* — коэффициент, учитывающий неблагоприятные условия вертикального и горизонтального турбулентного перемешивания (для данного географического района имеет постоянное значение);

*M* — количество выбрасываемого вещества, г/с;

*m, n* — коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника;

*η* — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;

*F* — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ;

*H* — высота источника, м;

*N* — количество одинаковых по высоте, другим параметрам и расположенных близко друг от друга источников;

- $q$  — суммарный расход выбрасываемой групповым источником газовой-душной смеси, м<sup>3</sup>/с;
- $\Delta D$  — разность температур ГАС и атмосферного воздуха, °С;
- $D$  — диаметр устья источника (трубы), м.

Результаты расчетов используются при выборе объектов, включаемых в прогноз. Строго говоря, прогнозирование должно осуществляться для всех источников, которые при аномально неблагоприятных метеорологических условиях с учетом наложения выбросов создают концентрации, превышающие установленные нормы.

Неблагоприятные метеорологические условия характеризуются такими параметрами, как: скорость ветра, направление ветра, высота нижней границы приподнятой инверсии.

Опасные скорости ветра обычно рассчитываются по соответствующим методикам, содержащимся в нормативных документах [125]. Неблагоприятными направлениями ветра считаются такие, при которых перенос примесей может распространяться на районы города с плотной застройкой, районы расположения детских и лечебных учреждений и т.п. К неблагоприятным относятся также направления, при которых в наибольшей степени происходит наложение выбросов ряда источников.

На основании выполненных для ряда городов исследований оказалось возможным выделить комплексы опасных метеопараметров, которые могут использоваться при прогнозировании загрязнения воздуха [140]. Эти комплексы параметров следующие:

- а) для высоких источников с горячими выбросами:
- скорость ветра у земли 3—7 м/с, приподнятая инверсия с нижней границей на высоте 100—200 м над источником выбросов;
  - штиль у поверхности земли, на высоте выбросов скорость ветра в 1,5—2 раза превышает опасную скорость ветра  $u_m$ , рассчитываемую по формулам, которые приводятся в нормативных документах;
  - скорость ветра более 2 м/с, туман;
  - неблагоприятное направление ветра при его скорости 3—7 м/с;
  - фактический рост приземных концентраций до значений  $C_M$  и более под факелом объекта при скорости ветра 3—7 м/с;
- б) для высоких источников с холодными выбросами:
- скорость ветра у земли 0—2 м/с, приподнятая инверсия, нижняя граница которой расположена выше источника;
  - скорость ветра 0—2 м/с, туман;
  - неблагоприятное направление ветра при его скорости не более 3 м/с;
  - штиль у поверхности земли, на уровне выбросов скорость ветра 2—4 м/с;
  - фактический рост концентраций под факелом объекта при слабом ветре;
- в) для низких источников неорганизованных выбросов:
- штиль в приземном слое воздуха, устойчивая стратификация атмосферы, приземная инверсия.

Ответственный и непростой этап прогнозирования связан с вероятностной оценкой возникновения неблагоприятных метеоусловий. Для прогноза уровня загрязнения некоторые параметры, в частности скорость ветра, требуется предсказывать с большей точностью, чем в обычных прогнозах. Считается [140], что при наличии прогностических карт давления это не представляет особых трудностей. В меньшей степени разработан вопрос прогнозирования аэрологических характеристик, от которых зависит уровень загрязнения воздуха, в частности приподнятых и приземных инверсий, вертикального градиента температуры воздуха и др. Однако возможности прогноза этих характеристик в настоящее время имеются [140].

Второй вид прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха — прогнозирование по городу в целом — проводится с одновременным учетом действия всех источников загрязнения и основывается на результатах анализа влияния метеорологических и синоптических условий на уровень концентрации поллютантов.

Для оценки степени загрязнения атмосферы используются различные обобщенные показатели [125, 140].

Наиболее простым показателем является нормированная концентрация примесей  $\bar{C}^*$ , осредненная по всему городу и всем срокам наблюдений:

$$\bar{C}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{\bar{C}_i}, \quad (9.10)$$

где:  $\bar{C}_i$  — средняя за день концентрация в  $i$ -м пункте наблюдения;  
 $\bar{C}_i$  — среднесезонная концентрация в том же пункте;  
 $N$  — число пунктов наблюдения.

В качестве другого показателя используется коэффициент при первом члене разложения функции концентрации по естественным ортогональным функциям (собственным функциям матрицы коэффициентов ковариации между концентрациями примесей в различных точках города):

$$a_i = \sum_{i=1}^N \phi_{1i} \cdot c'_i, \quad (9.11)$$

где:  $\phi_{1i}$  — компоненты первой естественной ортогональной функции;  
 $c'_i$  — отклонение концентрации от ее среднего значения в пункте наблюдения ( $c'_i = c_i - \bar{c}_i$ ).

Естественные ортогональные функции определяются по фактическим данным наблюдений. При разложении поля концентрации примесей на естественные ортогональные функции количество членов равно числу постов наблюдения. Наибольшее количество информации об изменчивости загрязнения воздуха содержится в первом члене, который описывает одновременные колебания концентраций по всему городу. Поэтому коэффициент при первом члене разложения используется в качестве показателя степени загрязнения атмосферы города в целом.

Наибольшее распространение получил третий показатель загрязнения воздушной среды города в целом — параметр  $P$ , характеризующий загрязнение воздуха на тот или иной день. Он определяется как отношение числа наблюдений  $m$ , результаты которых удовлетворяют условию  $c_i = \bar{c}_i \cdot a$  (здесь  $c_i$  — концентрация в любом пункте наблюдения,  $\bar{c}_i$  — среднесезонная концентрация в том же пункте наблюдения,  $a$  — коэффициент, значение которого принимается обычно равным 1,5), к общему числу наблюдений в течение одного дня на всех стационарных пунктах  $n$ . [125, 128, 140].

$$P = \frac{m}{n}. \quad (9.12)$$

В зависимости от величины параметра  $P$  выделяют три уровня загрязнения воздуха в городе в целом:

- высокий, когда  $P > 0,35$ ;
- повышенный, когда  $0,20 < P \leq 0,35$ ;
- пониженный, когда  $P \leq 0,20$ .

При прогнозировании загрязнения воздуха в городе применяется ряд методов. Основные из них следующие:

- метод распознавания образов;
- метод последовательной графической регрессии;
- метод линейного регрессионного анализа.

Прогнозирование методом распознавания образов состоит в определении сходства конкретной ситуации с ситуацией, характерной для того или иного уровня загрязнения воздуха города в целом.

При этом опираются на определенные прогностические правила [128]. В соответствии с этими правилами предусматривается краткосрочное прогнозирование комплексов метеорологических параметров, являющихся признаками (предикторами) определенного уровня загрязнения воздуха. Краткосрочное прогнозирование полей метеорологических элементов осуществляется с заблаговременностью до 72 часов.

Прогностические правила связывают метеорологические синоптические условия с ожидаемым уровнем загрязнения атмосферы.

В соответствии с этими правилами высокий уровень загрязнения атмосферы по городу в целом ( $P > 0,35$ ) формируется при соблюдении одной из следующих групп метеорологических условий:

- ночью или утром данного дня очень слабый (до 1 м/с) ветер или безветрие (ситуация застоя воздуха), а накануне наблюдалось повышенное значение  $P$  ( $P' \geq 0,3$ ) (оправдываемость правила более 60 %);
- днем (по данным наблюдений в 15.00) безветрие или очень слабый ветер, а накануне  $P' > 0,15$  (оправдываемость правила около 60 %);
- относительно высокая температура воздуха при слабом (до 5 м/с) ветре в утренние часы данного дня, а накануне  $P' > 0,3$ ;

— умеренный (3—6 м/с) ветер и неустойчивая стратификация днем сменяются безветрием вечером, а накануне  $P' > 0,15$  (оправдываемость правила около 60 %);

— во второй половине предшествующего дня  $P' \geq 0,4$ , а в последующий день не ожидается усиления ветра или выпадения значительных осадков (оправдываемость правила около 70 %);

— скорость ветра 0—1 м/с, наблюдается туман или приподнятая инверсия.

Высокий уровень загрязнения атмосферы не наблюдается, если в холодную половину года, а также летом в ночные и утренние часы при скорости ветра 0—1 м/с отсутствует приземная инверсия (оправдываемость правила 97 %). При этом уровень загрязнения воздуха будет пониженным, если:

— скорость ветра на уровне флюгера превышает 6 м/с (оправдываемость правила 75 %);

— умеренный или сильный дождь (оправдываемость правила около 90 %);

— накануне во второй половине дня  $P' < 0,15$  (оправдываемость правила около 90 %).

Поскольку в приведенных прогностических правилах важное значение имеет показатель загрязнения воздуха в предшествующий прогнозу день  $P'$ , то чем более поздние данные о концентрациях используются для расчета этого показателя, тем точнее будет прогноз.

Правила прогнозирования, основывающиеся на анализе синоптических условий, сводятся к следующему:

— если ожидается формирование стационарного антициклона при  $P' > 0,15$ , предсказывается высокий уровень загрязнения воздуха (оправдываемость правила около 80 %);

— если наблюдается прохождение быстро сменяющихся антициклонов и гребней, а также распространение на город холодной восточной периферии антициклона, не следует ожидать высокого уровня загрязнения воздуха (оправдываемость правила близка к 100 %);

— если имеет место развитый циклон, уровень загрязнения воздуха будет пониженным (оправдываемость правила около 95 %).

При прогнозировании уровня загрязнения воздушной среды рассматриваемым методом исходят из фактической метеорологической ситуации, характеризующейся определенным числом параметров (предикторов), а также показателем загрязнения атмосферы в городе в предшествующие моменты времени, и устанавливают ее сходство с ситуацией, соответствующей тому или иному уровню загрязнения. Набор параметров метеообстановки, характеризующих ситуацию, относится к определенному фиксированному моменту времени.

Совокупность характеристик ситуации  $x_1, x_2, \dots, x_n$  формально рассматривают как точку в  $N$ -мерном пространстве (фазовом пространстве ситуаций). В качестве характеристик (предикторов) обычно выбирают: скорости ветра на высоте 10 м ( $U_{10}$ ) и 500 м ( $U_{500}$ ), разности температур воздуха у земной поверхности ( $T_0$ ) и на высоте 500 м ( $T_{500}$ )  $\Delta T = T_0 - T_{500}$ , параметр  $P'$  за предшествующий

щий день, нижнюю границу приподнятой инверсии ( $H_2$ ), градиент приземного давления  $\left(\frac{\Delta P}{\Delta H}\right)$  [140].

Для разработки прогностической схемы применительно к тому или иному городу набирается статистический материал по численным значениям выбранных для прогноза предикторов. Значения предикторов разносятся по трем группам, соответствующим высокому, повышенному (среднему) и пониженному уровням загрязнения воздушной среды города. В каждой группе определяются средние значения и дисперсии предикторов. В табл. 9.5 для примера приведены значения этих статистических параметров для Санкт-Петербурга по данным [140].

Таблица 9.5

Статистические параметры случайных значений предикторов для Санкт-Петербурга

Предикторы	Зима, 1-я половина дня			Лето, 2-я половина дня		
	Уровни загрязнения атмосферы					
	высокий	повышенный	пониженный	высокий	повышенный	пониженный
$P'$	0,34/0,08	0,22/0,12	0,16/0,08	0,38/0,13	0,27/0,11	0,16/0,07
$U_{10}$	—	—	—	2,8/1,2	3,1/1,6	2,9/1,8
$U_{500}$	9,3/4,16	11,0/6,3	10,4/4,4	7,8/3,4	7,4/4,2	8,0/4,2
$\Delta T$	0,0/4,06	0,8/4,06	4,6/3,55	—	—	—
$\Delta P/\Delta H$	1,3/0,94	1,8/1,18	1,7/0,99	—	—	—
$H_2$	346/519	376/471	708/348	747/645	863/620	864/562

Воспользовавшись заранее подготовленной информацией по средним значениям предикторов и их среднеквадратическим отклонениям, представляется возможным для любой фактической ситуации оценить ее «расстояние» (близость) до ситуаций, соответствующих тому или иному уровню загрязнения воздуха. Для этого рассчитываются величины:

$$P_j^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \overline{x_{ij}})^2}{\sigma_{ij}^2}, \quad (9.13)$$

где:  $\overline{x_{ij}}$  — среднее значение  $i$ -й характеристики (предиктора) в группе уровня загрязнения;

$x_i$  — фактическое значение  $i$ -й характеристики (предиктора);

$\sigma_{ij}^2$  — дисперсия значений характеристики (предиктора) в группе уровня загрязнения;

$N$  — количество предикторов, используемых для проведения оценки;

$P_j^2$  — «расстояние» от произвольной точки в фазовом пространстве ситуаций до центра тяжести  $j$ -й группы уровня загрязнения.

При проведении прогнозирования по приведенной формуле рассчитываются величины  $P^2$  для высокого, повышенного и пониженного уровней загрязнения воздуха. На основании полученных данных делается вывод о принадлежности фактической ситуации к той или иной группе. Основанием для этого является наименьшее из трех значений величины «расстояния»  $P^2$ .

Оправдываемость прогнозов по уровню загрязнения атмосферы составляет 73—75 % [140].

Метод последовательной графической регрессии основан на использовании для прогноза загрязнения воздуха предварительно составляемых корреляционных графиков, которые выражают зависимость уровня загрязнения от определенного числа предикторов. Причем для реализации метода предусматривается вначале построение корреляционных графиков, на которых выражаются зависимости предиканта (уровня загрязнения воздуха) от двух предикторов. Эти два предиктора по возможности выбираются таким образом, чтобы характер связи между загрязнением воздуха и одним из них зависел от значения другого. Общее количество используемых предикторов, а следовательно, и число корреляционных графиков не ограничивается. Непременным условием является наличие связи между этими предикторами и уровнем загрязнения воздуха. Для построения графиков используется вся имеющаяся информация по результатам наблюдений в данном городе за несколько лет.



## **Глава 10**

# **Государственное управление радиационной и химической безопасностью**

### **10.1. Субъекты государственного управления радиационной и химической безопасностью**

С учетом достаточно большого и разностороннего опыта обеспечения радиационной, а также и химической безопасности, накопленного в государстве за годы эксплуатации АЭС, других объектов ядерного топливного цикла, кораблей и судов с ЯЭУ, объектов с химическими технологиями к числу основных направлений деятельности по обеспечению радиационной и химической безопасности, которая должна осуществляться различными органами и структурами государства, следует отнести:

- определение государственной политики и основных стратегий по обеспечению радиационной и химической безопасности в различных условиях обстановки;

- научное обоснование, установление и поддержание приемлемых и оправданных на данном этапе социально-экономического развития общества уровней радиационного и химического риска для профессионалов, занятых опасной в радиационном и химическом отношении деятельностью, и населения;

- нормативно-правовое обеспечение в сфере радиационной и химической безопасности, установление и реализация принципов и порядка возмещения компенсаций за повышенный радиационный и химический риск («платы» за риск), а также регламентация условий жизнедеятельности и особых режимов проживания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате радиационных аварий;

- на основе определенной системы субъектов управления и их структур, на которые российским законодательством и нормативными правовыми документами возлагаются те или иные задачи в области радиационной и химической безопасности, создание и обеспечение функционирования двух взаимосвязанных, но отдельных систем: единой системы государственного управления в сфере радиационной безопасности (ЕСГУРБ); единой системы государственного управления в сфере химической безопасности (ЕСГУХБ).

Последнее направление имеет особенно важное значение. Без создания указанных систем государственного управления радиационной и химической безопасностью, которая охватывала бы все иерархические уровни и включала

в предметную область соответствующие структуры всех федеральных органов исполнительной власти, на объектах которых в той или иной мере применяются ядерные и химические технологии, невозможно эффективно решить задачи по обеспечению радиационной и химической безопасности. На взгляд авторов, такого рода системы, с учетом их характера и особенностей, состоящих в том, что в их структуре неизбежно наличие определенной совокупности субъектов управления (органов управления с надзорными, контрольными, экспертными, координационными и другими функциями), а также в значительной роли нормативно-правовых аспектов и информационной составляющей в управленческом процессе, могли бы быть названы концептуально-материальными.

Что же следует понимать под государственным управлением в сферах радиационной и химической безопасности?

Как известно, государственное управление — это практическое организующее и регулирующее воздействие государства через систему своих структур на общественную и частную жизнь людей в целях ее упорядочения, сохранения или преобразования, опирающееся на его властную силу.

В структуре государства функции государственного управления, к которым относятся конкретные виды управляющих воздействий на управляемые отношения, процессы, явления и т.п., определенным образом распределяются и рассредоточиваются по вертикали и горизонтали в управленческих функциях различных государственных органов, их звеньев и подсистем. При этом ряд важных функций остается за государственными органами общей компетенции и сохраняется управляющее воздействие государства. Важно отметить, что управление, осуществляемое указанными органами, звеньями и подсистемами, осуществляющими деятельность в той или иной области, сохраняет статус государственного управления, но носит функциональный характер.

Если говорить о характере управляющего воздействия, то необходимо отметить, что функции государственного управления обеспечиваются всей силой государства, управленческие же функции государственных органов — теми полномочиями и организационными возможностями, которые предоставлены данному органу.

На наш взгляд, государственное управление в сферах радиационной и химической безопасности — это организационная, координационная и контрольная деятельность определенных органов исполнительной власти, других государственных структур, направленная на установление и поддержание научно обоснованного и в социально-экономическом отношении оправданного уровня защищенности от вредного воздействия ионизирующих излучений, опасных химических веществ, радиационного и химического рисков всех категорий населения, а также обеспечение регулирования этого уровня с учетом новых достижений науки, изменяющихся условий, ресурсных и иных возможностей.

Рассматриваемые системы государственного управления, на взгляд авторов, должны представлять собой совокупности указанных органов и структур всех иерархических уровней государственного управления, имеющих в их

распоряжении учреждений, сил и средств соответствующего назначения, связей между ними, а также специально созданных координационных органов, объединенных общей целевой функцией. При этом одному из федеральных органов исполнительной власти должна быть отведена главная роль — роль органа управления системой и координации усилий всех других органов исполнительной власти и структур в реализации ее целевой функции, а также проведении государственной политики в сфере обеспечения радиационной или химической безопасности.

## **10.2. Целевая функция и построение единой системы государственного управления в сфере радиационной безопасности**

Целевая функция ЕСГУРБ видится в обеспечении необходимого научно обоснованного и в социально-экономическом отношении оправданного на данном этапе развития общества уровня защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующих излучений, с учетом радиационного риска техногенных аварий и катастроф, а также опасностей и угроз радиационного характера, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий.

Безусловно, что уровень риска имеет разные значения для условий мирного и военного времени. В мирное время при принятой приемлемой и оправданной величине уровня риска должно обеспечиваться необходимое качество жизни людей и устойчивость природной среды, в военное время — определенный установленный применительно к конкретным условиям показатель выживания людей.

Тот или иной уровень качества жизни, удовлетворяющий общество на данном этапе его развития является аргументом оправданности величины риска, при которой достигается требуемое качество жизни.

Как известно, качество жизни людей обычно характеризуется четырьмя показателями: здоровьем (долгожительством); знаниями (осведомленностью); уровнем потребностей; достижением определенного индекса прав человека.

Основным показателем, по которому с достаточно высокой степенью доверия можно судить о качестве жизни, является уровень здоровья, оцениваемый, как правило, величиной средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОППЖ).

Принимая во внимание сформулированные выше соображения, а также положения, изложенные в федеральных законах «Об использовании атомной энергии», «О лицензировании отдельных видов деятельности» [149, 151] и в статье Б.Г. Гордона «О законотворчестве в области использования атомной энергии» [23], представляется целесообразным выделить два основных взаимосвязанных и взаимозависимых, но вместе с тем отдельных направления

деятельности ЕСГУРБ. Эти направления деятельности выражаются в следующем.

Во-первых, государственное управление и координирование разработки и реализации необходимых мер в федеральных органах исполнительной власти, в других структурах и организациях, функционирующих на территории Российской Федерации, независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности по обеспечению радиационной безопасности при использовании ядерных установок и источников ионизирующих излучений различного назначения, обращении с ядерными материалами и радиоактивными веществами и т.п.

Во-вторых, государственное регулирование уровня радиационной безопасности для населения, персонала радиационно опасных объектов, окружающей среды, уровня риска возникновения радиационных аварий и катастроф, а также других опасностей и угроз, возникающих при использовании ядерных установок, источников ионизирующих излучений различного назначения, обращении с ядерными материалами и радиоактивными веществами и т.п., предусматривающее: разработку соответствующих норм и правил по обеспечению радиационной безопасности; лицензирование деятельности, связанной с использованием атомной энергии и обращением с источниками ионизирующих излучений; осуществление надзора за обеспечением радиационной безопасности.

К сожалению, в настоящее время Единая система государственного управления радиационной безопасностью в стране отсутствует. Однако предпосылки для ее формирования имеются.

Сегодня действующими федеральными законами и положениями [95, 100, 101, 104, 151] определены федеральные органы исполнительной власти, на которые возлагается государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии. К их числу отнесены:

- Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор);
- Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) Минздравсоцразвития России;
- Государственная противопожарная служба МЧС России.

При этом под государственным регулированием при использовании атомной энергии понимается деятельность указанных органов и структур исполнительной власти, направленная на организацию разработки, утверждение и введение в действие норм и правил в области использования атомной энергии, выдачу разрешений (лицензий) на право ведения работ в области использования атомной энергии, осуществление надзора за безопасностью, проведение экспертиз и инспекций, контроля за разработкой и реализацией мероприятий по защите персонала радиационно опасных объектов и населения и охране окружающей среды в случае аварии при использовании атомной энергии. Таким образом, на органы регулирования безопасности возлагается ответственность за выдачу официальных разрешений (лицензий), осуществление необходимых рассмотрений и оценок деятельности по обеспечению безопасно-

сти, инспекций, применение санкций, а также за разработку принципов, критериев, положений и руководств в области регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

Вместе с тем, заметим, что к видам деятельности в области использования атомной энергии относится не только деятельность непосредственно связанная с созданием и эксплуатацией ядерных установок, источников ионизирующих излучений, обращением с ядерными материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами и т.п. В их число также входят различного рода научные исследования и опытно-конструкторские работы с применением источников ионизирующих излучений; мероприятия по контролю за радиационной обстановкой на территории Российской Федерации, учету и контролю ядерных материалов и радиоактивных веществ, а также другие меры и действия, обуславливающие возникновение радиационных опасностей.

Очевидно, что деятельность органов государственного регулирования при использовании атомной энергии нельзя рассматривать в отрыве от этих направлений использования атомной энергии и источников ионизирующих излучений различного характера.

Напротив, следует исходить из того, что она является важной составной частью управленческой деятельности, несущей нагрузку по определению граничных условий и основных параметров программы для организации этой деятельности и ее упорядочению с учетом вновь возникающих реалий.

В соответствии с федеральными законами «О радиационной безопасности населения» и «Об использовании атомной энергии» государственное управление в области обеспечения радиационной безопасности осуществляется Правительством Российской Федерации, специально уполномоченными на то федеральными органами исполнительной власти, а также органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации. При этом весьма важная роль отводится Росатому, на который возлагается государственное управление использованием атомной энергии, а также координация деятельности в указанной сфере иных федеральных органов исполнительной власти. Положением об этом федеральном агентстве определено, что одной из его задач является обеспечение радиационной безопасности. Однако она непосредственно касается лишь предприятий и организаций ядерного топливного цикла. При выполнении указанной задачи, в частности, предусматривается выработка предложений по формированию и осуществлению государственной политики в области обращения с радиоактивными отходами, разработка соответствующих отраслевых и федеральных целевых программ и организация их реализации.

Вместе с тем в нашей стране наряду с Росатомом использованием источников ионизирующих излучений, а также решением тех или иных задач по обеспечению радиационной безопасности персонала радиационно опасных объектов и населения занимается ряд других федеральных органов исполнительной власти. В частности, к их числу можно отнести: Минобороны России, Минздравсоцразвития России, Минобрнауки России, Минпромэнерго России, МЧС России и др. Все они несут определенные, свойственные им функции

государственного управления в области обеспечения радиационной безопасности подведомственных объектов. В каждом из них предусматривается применение безопасных технологий — то ли производства, то ли использования в мирных и оборонных целях атомной энергии, ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий на их основе или обращения с этими материалами и веществами. Однако все это осуществляется под контролем не только ведомственных, но и в обязательном порядке государственных надзорных органов.

Как уже отмечалось, к числу надзорных органов исполнительной власти, несущих функции по регулированию уровня радиационной безопасности, относятся Ростехнадзор, Роспотребнадзор и МЧС России.

Весьма важная роль здесь принадлежит Ростехнадзору, структуры которого занимают ключевое положение в системе государственного регулирования уровня радиационной безопасности при использовании атомной энергии.

На Ростехнадзор в соответствии с действующим положением о нем [104] возлагается государственный надзор за безопасностью при производстве, обращении и использовании в мирных и оборонных целях атомной энергии, ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий на их основе. Ростехнадзор несет определенные функции управленческо-координационного характера, в пределах своей компетенции принимает решения, обязательные для федеральных органов исполнительной власти, предприятий и организаций, расположенных на территории Российской Федерации, независимо от их подчиненности и форм собственности, а также для должностных лиц и граждан.

Основные задачи Ростехнадзора в части, касающейся регулирования и установления необходимого уровня радиационной безопасности, сводятся к следующему [4]:

— участие в формировании и реализации совместно с другими федеральными органами исполнительной власти системы правовых, экономических и организационно-технических мер по обеспечению радиационной безопасности, а также установление критериев, правил и норм в области радиационной безопасности;

— надзор за соблюдением федеральными органами исполнительной власти, предприятиями, организациями и гражданами законодательства Российской Федерации в части обеспечения ядерной и радиационной безопасности при производстве, обращении и использовании атомной энергии, ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий на их основе, обеспечения безопасности ядерных энергетических установок кораблей, переданных на утилизацию предприятиям промышленности, а также за соблюдением правил и норм по ядерной и радиационной безопасности;

— надзор за организацией и состоянием хранения и учета ядерных материалов и радиоактивных веществ, обращением с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными материалами, их утилизацией и захоронением;

— надзор за обеспечением гарантий физической защиты ядерных технологий, материалов и их нераспространения, а также контроль совместно с МИД

России за выполнением на территории России международных соглашений в этой области;

— проведение экспертиз безопасности ядерно- и радиационно опасных объектов (изделий) и производств (технологий);

— принятие решений по выдаче разрешений (лицензий) на виды деятельности, разработка предложений по совершенствованию порядка выдачи этих разрешений (лицензий);

— проведение единой научно-технической политики, организация и координация научных исследований по обоснованию принципов и критериев, требований правил и норм в области радиационной безопасности;

— организация и осуществление надзора за обеспечением необходимого уровня квалификации персонала, осуществляющего эксплуатацию ядерно- и (или) радиационно опасных объектов (изделий), и ведомственный контроль за радиационной безопасностью поднадзорных объектов;

— регулярное информирование государственных органов и населения об изменении состояния радиационной безопасности на поднадзорных объектах.

Ростехнадзор наделен широкими правами. В частности, он может запрещать применение изделий и технологий, не обеспечивающих радиационную безопасность персонала, населения и окружающей среды, выдавать руководителям и другим должностным лицам предприятий, организаций и войсковых частей обязательные для исполнения предписания об устранении выявленных нарушений условий действия разрешений (лицензий), требований правил и норм радиационной безопасности, а также причин и условий, приводящих к таким нарушениям, и о приостановке работ, проводимых с нарушениями требований по радиационной безопасности и представляющих опасность для здоровья людей и окружающей среды.

Ростехнадзору дано право утверждать нормативно-технические документы по радиационной безопасности, обязательные для исполнения всеми юридическими и физическими лицами на территории Российской Федерации, приостанавливать действие или аннулировать (изымать) выданные разрешения (лицензии) на право ведения разрешенной деятельности в случае выявления нарушения законодательства Российской Федерации, относящегося к использованию атомной энергии, ядерных материалов и радиоактивных веществ, или при нарушении условий действия разрешений (лицензий).

Важные функции по государственному регулированию уровня радиационной безопасности несет на себе Минздравсоцразвития России, которое разрабатывает нормативные правовые акты, содержащие современные санитарно-гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности, критерии безопасности и (или) безвредности факторов среды обитания человека, несоблюдение которых создает угрозу жизни и здоровью человека.

На Минздравсоцразвития России возложено осуществление контроля за ведением радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий. Как известно, такого рода паспортизация введена в России с 1998 года в целях оценки вредного воздействия радиационных факторов на население,

планирования и проведения мероприятий по обеспечению его радиационной безопасности, а также анализа эффективности этих мероприятий.

Весьма важная и большая роль в системе государственного управления радиационной безопасностью принадлежит и МЧС России.

В соответствии с Положением о МЧС России, это министерство является федеральным органом исполнительной власти, проводящим государственную политику, осуществляющим управление и координирующим деятельность федеральных органов исполнительной власти в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также обеспечения пожарной безопасности.

Таким образом, в компетенцию МЧС России входит проведение государственной политики, управление и координация деятельности федеральных органов исполнительной власти в части, касающейся обеспечения радиационной безопасности и выживания населения в мирное и военное время при опасностях, угрозах и воздействиях, связанных с возможными авариями, разрушением и поражением объектов ядерно-топливного цикла, а также других радиационно опасных объектов, в контексте реализации целевых функций единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны.

В поле компетенции МЧС России находятся также некоторые функции по регулированию уровня безопасности. В частности, они касаются разработки проектов законов и иных нормативных правовых актов по вопросам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, гражданской обороны, преодоления последствий радиационных аварий и катастроф, а также рассмотрения деклараций безопасности промышленных объектов и их экспертизы. МЧС России является органом государственного регулирования пожарной безопасности при использовании атомной энергии.

Таким образом, есть все основания полагать, что роль федерального органа исполнительной власти, координирующего деятельность федеральных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности и возглавляющего Единую систему государственного управления в сфере радиационной безопасности, должна принадлежать МЧС России.

На взгляд авторов, в любых условиях в деятельности ЕСГУРБ должен соблюдаться принцип коллегиальности руководства.

Для реализации этого принципа представляется целесообразным создание Межведомственной комиссии по чрезвычайным ситуациям и обеспечению пожарной безопасности, на которую должны быть возложены задачи по управлению радиационной безопасностью населения и территорий.

Таким образом, нами в порядке постановки проблемы сформулированы некоторые соображения по построению и целевой функции Единой системы государственного управления радиационной безопасностью. Авторы будут благодарны за конструктивные замечания и пожелания, направленные на уточнение и развитие высказанных взглядов.



### **10.3. Целевая функция и построение единой системы государственного управления в сфере химической безопасности**

Как известно, проблема обеспечения химической безопасности населения и производственных коллективов не является новой, она возникла одновременно со вступлением человечества в эпоху «большой химии», сопровождающимся широким развитием химической промышленности, а также использованием химических технологий практически во всех видах хозяйственной деятельности. В настоящее время в России функционирует более 3 500 производств и объектов с химическими технологиями, обладающих повышенной опасностью.

Сегодня стало совершенно очевидным, что как бы ни были экологически чистыми современные химические технологии, функционирование большинства промышленных объектов практически невозможно без выброса в атмосферу или сброса в другие среды в тех или иных количествах загрязняющих веществ. Например, даже в США, где очистным системам и безотходным технологиям уделяется достаточно большое внимание, ежегодный выброс в атмосферу загрязнителей составляет около 150 млн. тонн.

Таким образом, в современных условиях объективно существует необходимость в обеспечении химической безопасности населения, а также персонала производственных и иных объектов. Решение этой важной и актуальной задачи, на наш взгляд, невозможно без построения эффективной системы государственного управления в сфере химической безопасности.

Государственное управление в области химической безопасности по смыслу и формальным признакам решаемых управленческих задач имеет много общего с управлением в сфере радиационной безопасности, о чем наши взгляды сформулированы выше.

Заметим, что под химической безопасностью нами понимается состояние защищенности людей настоящего и будущего поколений, а также объектов окружающей среды от вредных воздействий различного рода факторов химической природы антропогенного происхождения, а под обеспечением химической безопасности — осуществление определенных мер и действий, исключающих или снижающих до научно обоснованных, приемлемых и оправданных в социально-экономическом отношении уровней химического загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок вредных химических и аварийно химически опасных веществ для населения и персонала объектов с химической технологией.

Основываясь на общей теории управления и высказанных выше соображениях, государственное управление в области обеспечения химической безопасности определим как непосредственное руководство и координацию деятельности определенных органов исполнительной власти, других государственных структур, направленной на установление и поддержание научно обоснованного, приемлемого и в социально-экономическом отношении оправдан-

ного уровня защищенности всех категорий населения и окружающей среды от вредного воздействия различного рода факторов химической природы, а также обеспечение регулирования этого уровня с учетом новых достижений науки, изменяющихся условий, ресурсных и иных возможностей.

Как и в случае формирования системы радиационной безопасности, Единая система государственного управления в области обеспечения химической безопасности (ЕСГУХБ) должна включать совокупность указанных выше органов и структур всех иерархических уровней государственного управления, имеющих в их распоряжении организаций, сил и средств соответствующего назначения, связей между ними, а также специально созданных координационных органов, объединенных общей целевой функцией. Из всей совокупности органов и структур, входящих в ЕСГУХБ, выделяется один из федеральных органов исполнительной власти, которому отводится роль органа управления системой. В основе выбора этого органа должны быть положены соображения, связанные с возможностью наиболее эффективной реализации целевой функции.

Целевая функция ЕСГУХБ, на наш взгляд, состоит в организации управленческого процесса с применением современных технологий и автоматизированных систем в интересах обеспечения научно обоснованного, приемлемого и оправданного в социально-экономическом отношении уровня защищенности всех категорий населения и окружающей среды от различных факторов химической природы, формирующихся при техногенных воздействиях аварийного и иного характера (например, вызванных террористическими актами), при разгерметизации затопленных или иным образом захороненных в прошлом химических боеприпасов, разрушении баз переработки и хранения химических отходов, при угрозе применения и применении отравляющих веществ противником в ходе военных действий и т.п.

Анализ действующих в стране федеральных законов и положений о федеральных органах исполнительной власти, утвержденных указами Президента Российской Федерации или постановлениями Правительства Российской Федерации, которые так или иначе касаются химической безопасности (имеются в виду: «Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов»; «Федеральный закон о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; «Федеральный закон о защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»; «Федеральный закон о гражданской обороне»; «Положение о Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»; «Положение о Ростехнадзоре» и др.), так же как и в случае радиационной безопасности, позволяет выделить две основные составляющие государственного управления в сфере обеспечения химической безопасности.

Первая составляющая — определение государственной политики и стратегии в сфере обеспечения химической безопасности населения и территорий в мирное и военное время, государственное управление и координация разработки и реализации необходимых мер по обеспечению химической безопасно-

сти при использовании химических технологий в процессе хозяйственной и иной деятельности, в том числе при обращении с химическими отходами, а также другими материалами и объектами, опасными в химическом отношении. В качестве объектов управления в данном случае могут рассматриваться любые федеральные органы исполнительной власти, другие структуры и организации, независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, где ведется указанная деятельность, а также все категории населения и территории.

Вторая компонента — государственное регулирование уровня химической безопасности для всех категорий населения, включая персонал объектов, использующих химические технологии, окружающей среды и территорий, а также уровней риска возникновения аварий, катастроф, других опасностей и угроз, связанных с использованием химических технологий в промышленном производстве и других сферах, при котором предусматривается: разработка соответствующих норм и правил по обеспечению химической безопасности; лицензирование деятельности промышленных и других объектов, применяющих химические технологии и относящихся к категории опасных производственных объектов; осуществление надзора за обеспечением химической безопасности.

Указанные составляющие, по сути, выражают два основных взаимосвязанных и взаимозависимых направления, по которым осуществляется государственное управление обеспечением химической безопасности. Вполне определенный вклад в решение задач этого управления вносится каждым из упоминавшихся нами ранее федеральных органов и структур исполнительной власти. Содержание и удельная значимость этого вклада определяются их функциональными обязанностями и сложившимися в государстве традициями.

Анализ основных нормативных и правовых актов по вопросам, в той или иной мере касающихся управления химической безопасностью на государственном уровне [95, 100, 103, 147, 149, 150, 154], показывает, что основным федеральным органом исполнительной власти, на который главным образом возлагается ответственность за выработку и реализацию государственной политики в области обеспечения химической безопасности населения и территорий, как в мирное, так и в военное время, а также государственное управление и координирование усилий соответствующих органов и структур по научному обоснованию, установлению и поддержанию оправданных в социально-экономическом отношении уровней риска возникновения и воздействия на население и территории вредных факторов химической природы, является Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России).

Кроме того, МЧС России несет ответственность за ряд вопросов государственного регулирования в сфере химической безопасности. Они касаются экспертизы деклараций безопасности промышленных объектов, в частности производственных объектов, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются и хранятся опасные химические вещества, некоторых над-

зорных функций, нормирования в области защиты населения и территорий и т. п.

Такого рода суждения вытекают из содержания законов: «О защите населения и территорий...», «О гражданской обороне», «О промышленной безопасности», а также «Положения о МЧС России». В указанных нормативных и правовых актах сформулированы положения, касающиеся государственного управления по обеспечению защиты и безопасности населения и территорий при различного рода техногенных воздействиях, а также от опасностей, в том числе химического характера, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий. Эти положения в полной мере распространяются на государственное управление обеспечением химической безопасности. Важно отметить, что значительная их часть относится к условиям военного времени.

Таким образом, главным органом управления, т.е. основным субъектом управления в системе ЕСГУХБ, на наш взгляд, следует считать МЧС России.

К числу других органов управления, которые осуществляют государственное нормативное регулирование, разрешительные, лицензионные, контрольные и надзорные функции, относятся: Ростехнадзор и Роспотребнадзор.

Ростехнадзор организует и осуществляет нормативное регулирование в области промышленной безопасности и федерального надзора за выполнением требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, приемке в эксплуатацию и эксплуатации опасных производственных объектов. Заметим, что под промышленной безопасностью понимается состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий. При этом к опасным производственным объектам относят объекты, на которых получают, уничтожаются такие опасные вещества, как аммиак, акрилонитрил, хлор; используются, перерабатываются, образуются, хранятся и транспортируются: оксид этилена, цианистый водород, фтористый водород, сернистый водород, диоксид и триоксид серы, метилизоцианат и др.

На Ростехнадзор возлагаются также специальные разрешительные, контрольные и надзорные функции в области промышленной безопасности. Что очень важно, Ростехнадзор осуществляет руководство созданием и деятельностью функциональной подсистемы контроля за химически опасными объектами в составе Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, деятельность которой координирует МЧС России. Совместно с МЧС России Ростехнадзор устанавливает порядок осуществления экспертизы промышленной безопасности, требования к оформлению заключения экспертизы.

Кроме того, на него возлагается лицензирование видов деятельности в области промышленной безопасности, а также согласование планов предупреждения и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на море, речных акваториях и во внутренних водоемах.

Перечисленные выше функции свидетельствуют о важной роли Ростехнадзора в государственном регулировании обеспечения химической безопасности.

Роспотребнадзор (Госсанэпиднадзор), главной задачей которого является обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения, предупреждение, выявление и ликвидация опасного и вредного влияния среды обитания человека на его здоровье, разрабатывает и утверждает в установленном порядке санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы, относящиеся и к сфере обеспечения химической безопасности. Функции этой службы распространяются на контроль за выполнением указанных правил и нормативов при: осуществлении мероприятий по охране от загрязнения атмосферного воздуха, воздуха рабочей зоны производственных и других помещений; установлении санитарно-защитных зон промышленных предприятий; сборе, переработке, обезвреживании, захоронении и утилизации производственных и других отходов, содержащих вредные вещества, в том числе химической природы; проведении государственной регистрации потенциально опасных химических веществ.

Нами отмечены лишь самые основные задачи, решаемые субъектами управленческого процесса в Единой системе государственного управления в области обеспечения химической безопасности. Они, безусловно, нуждаются в уточнении и расширении.

Как и в любой системе управления, в ЕСГУХБ наиболее важные в практическом отношении исполнительные функции несут объекты управленческого процесса. Эти объекты могут быть подразделены на три категории:

— федеральные органы исполнительной власти, другие структуры и организации, осуществляющие хозяйственную и иную деятельность, связанную с применением тех или иных химических технологий и возникновением опасностей и угроз химической природы;

— объекты, являющиеся источниками вредных химических воздействий, куда следует отнести предприятия химической промышленности, другие предприятия и организации, где используются химические технологии, ведутся исследования химического характера и т.п.;

— объекты — реципиенты вредных воздействий факторов химической природы, к числу которых относятся все категории населения, территории и окружающая среда.

На такого рода объектах предусматривается реализация выработанных соответствующими органами ЕСГУХБ государственной политики и стратегии в сфере обеспечения химической безопасности, выполняются требования по обеспечению уровней риска, не превышающих установленные пределы, санитарные правила и нормы, а также текущие указания и распоряжения органов, осуществляющих государственное регулирование уровня химической безопасности.



## **Глава 11**

# **Оценка эффективности управления радиационной и химической безопасностью**

### **11.1. Критерии оценки эффективности**

Уровни риска, выраженные в вероятностных величинах или через математическое ожидание ущерба, являются важными показателями радиационной и химической безопасности персонала потенциально опасных объектов, населения, а также в целом рассматриваемых социально-экономических и организационно-технических систем того или иного уровня. Чем меньшее значение имеет уровень риска, тем выше степень безопасности.

Однако этот показатель при всех его положительных свойствах не имеет прямой связи с целевыми функциями управленческого процесса в сферах радиационной и химической безопасности, осуществляемого на различных иерархических уровнях. Поэтому с его помощью не представляется возможным оценить достаточность принимаемых мер для обеспечения безопасности, достижения требуемого уровня защищенности. Возникает необходимость использования других, дополнительных показателей.

Оценка достигнутого уровня безопасности может быть проведена с помощью количественных показателей, отражающих все основные виды деятельности рассматриваемой социально-экономической или организационно-технической системы того или иного уровня в экономической, социальной, научно-технической и других сферах, которые направлены на реализацию целевых функций радиационной и химической безопасности.

В соответствии с современными взглядами, в условиях мирного времени необходимый уровень безопасности устанавливается на основе приемлемых балансов между опасностями (рисками) и выгодами, между затратами и выгодами, между стоимостью и эффективностью. Эти балансы оцениваются с учетом экономических возможностей, социальных предпочтений и ограничений воздействий радиационного и химического характера.

Анализ современных взглядов на обеспечение безопасности при техногенных воздействиях и оценка возникающих при этом последствий показывает, что для оценки уровня радиационной и химической безопасности в общем случае целесообразно иметь, по крайней мере, два показателя, отражающие соответственно уровень безопасности человека и окружающей среды.

В качестве таких показателей, которые бы обладали необходимой представительностью в рамках социально-экономических систем федерального, реги-

онального, территориального и местного уровней, по мнению авторов, могут быть выбраны достигнутые при реальных ресурсных ограничениях и влиянии других экономических факторов:

— качество жизни и уровень защищенности человека, а также степень соответствия этого показателя научно обоснованному значению;

— качество и устойчивость природной среды, а также степень соответствия этого показателя потребностям нынешнего и будущих поколений людей.

Качество жизни людей, как известно, характеризуется четырьмя частными показателями: здоровье, уровень потребностей и степень их удовлетворения, уровень знаний, степень реализации прав человека.

При анализе и оценке уровня радиационной и химической безопасности практический смысл имеют главным образом два первых взаимосвязанных показателя: здоровье и потребление.

В чрезвычайных ситуациях качество жизни во многом определяется уровнем первоочередного жизнеобеспечения, а также обеспечения жизнедеятельности населения. От содержания, объема и организации этих направлений деятельности существенно зависит здоровье людей.

Для оценки уровня здоровья человеческого сообщества в целом и отдельных его структур в настоящее время все более широкое применение находит величина средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОППЖ). Величина СОППЖ в значительной мере зависит от степени удовлетворения потребностей человека. В данном случае имеются в виду прежде всего потребности в пище, одежде, а также материальные и иные потребности, вытекающие из жизненных реалий. Степень удовлетворения потребностей людей является однозначной функцией валового национального продукта.

Таким образом, величина СОППЖ, точнее говоря, степень соответствия достигнутой величины СОППЖ научно-обоснованному ее значению при современном уровне развития общества, является достаточно представительным количественным частным показателем уровня радиационной, химической и экологической безопасности человека как структурного элемента социально-экономической системы того или иного уровня.

Как известно, под качеством природной среды понимается совокупность ее свойств, характеризующих условия удовлетворения потребностей человека и других живых организмов. Эти условия определяются состоянием компонентов природных ландшафтов, биологической, химической, физической чистотой воздуха, воды, почв, содержанием в них инородных или токсических веществ.

Указанные свойства существенно зависят от устойчивости биогеохимических циклов, протекающих в экосистемах и природно-территориальных комплексах, от потенциальных возможностей природных систем к саморегуляции и гармонизации естественных процессов.

Величина каждого из указанных показателей зависит от многих факторов. Одни из них играют положительную роль и способствуют увеличению показателя, другие, наоборот, обуславливают уменьшение его величины. Основные из этих факторов в дальнейшем будут рассмотрены.



Выбранные показатели характеризуют основные направления деятельности в сфере управления радиационной и химической безопасностью и защиты, касающиеся человека и окружающей среды.

Для условий мирного времени интегральным показателем будет показатель качества жизни. Этот интегральный показатель имеет более широкий смысл, чем частный показатель с аналогичным названием. Он функционально зависит и от уровня защищенности населения от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, и от качества и экологической устойчивости окружающей среды и, по существу, отражает свойства всех трех частных показателей достигнутого уровня безопасности в рассматриваемых областях.

При определении величин рассмотренных показателей предусматривается учет ресурсных ограничений и других экономических факторов. От объективной оценки экономических факторов во многом зависит направленность и содержание управленческих решений.

## **11.2. Методологические основы оценки эффективности управления радиационной и химической безопасностью социально-экономических систем**

На основе теории исследования операций и методологических принципов оценки эффективности [42, 79, 80, 92] представляется возможным сформулировать следующие соображения и положения.

Критерии эффективности управления безопасностью социально-экономических систем тесно связаны с целевыми функциями и интегральными показателями достигнутого уровня этого вида безопасности и из них вытекают.

В соответствии с современными взглядами на оценку эффективности управленческого процесса, эффективность управления безопасностью может рассматриваться в двух аспектах: как эффективность функционирования системы управления, т.е. совокупности органов управления, средств управления и информационного обеспечения и т.п. или в контексте оценки эффективности мер и действий по реализации целевых функций или тех или иных задач по обеспечению безопасности.

Представляется, что более приемлемым является оценка эффективности управления через количественную меру достигнутого результата.

Как известно, при оценке эффективности той или иной сложной системы используются иерархический комплекс критериев эффективности, включающий основные и частные критерии.

В данном случае в качестве основных критериев для условий мирного времени целесообразно выбрать:

— вероятность сохранения качества жизни на научно обоснованном и в социально-экономическом отношении оправданном на данном этапе развития общества уровне;

— относительное повышение качества жизни за счет мер и действий по управлению радиационной и химической безопасностью СЭС.

Оба критерия являются количественными и представительными, они отражают меру достижения основной целевой функции обеспечения радиационной и химической безопасности и защиты в мирное время путем управления рисками и величиной наносимого социально-экономическим системам ущерба.

Частными (дополнительными) критериями эффективности управления радиационной и химической безопасностью могут быть:

— относительное увеличение средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОППЖ) за счет предпринимаемых мер и действий по управлению радиационной и химической безопасностью;

— относительное снижение уровня риска воздействия факторов радиационной и химической обстановки на человека, природную среду и структурные элементы социально-экономических систем, обусловленное соответствующими мерами и действиями.

Определение рассмотренных выше основных (интегральных) и частных критериев предусматривается с учетом ресурсных ограничений и других экономических факторов.

Указанные критерии отражают определенные стороны деятельности по обеспечению радиационной и химической безопасности и имеют немаловажное практическое значение. В частности, это относится к уровням риска тех или иных воздействий радиационного и химического характера и математическому ожиданию наносимого при них ущерба. Как уже отмечалось ранее, категория риска может найти широкое применение при оценке результатов управленческой деятельности в рассматриваемой сфере. Методология оценки риска описана нами ранее. Здесь же представляется целесообразным остановиться лишь на одном из подходов к оценке величины СОППЖ, которая является важным показателем качества жизни и используется для определения частного (дополнительного) критерия эффективности управления этими видами безопасности. Заметим, что в широком смысле средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни является показателем, отражающим степень защищенности человеческого сообщества от всех видов неблагоприятных воздействий и уровень потребления.

Величина СОППЖ функционально зависит от объема потребления из национального дохода и отчислений на развитие системы безопасности.

Сложную функцию величины СОППЖ через указанные параметры от времени принято называть функцией полезности общественного развития [69].

Эта функция выражается в виде:

$$\langle T \rangle(t) = \langle T \rangle[c(t), z(t)] \quad (11.1)$$

где:  $\langle T \rangle(t)$  — СОППЖ на рассматриваемый момент  $t$  (как правило, на текущий год);  
 $\langle T \rangle$  — СОППЖ, усредненная по рассматриваемому временному интервалу общественного развития;

$c(t)$  и  $z(t)$  — компоненты балансового соотношения:

$$y(t) = u(t) + c(t) + z(t), \quad (11.2)$$

где:  $y(t)$  — национальный доход, произведенный в год;

$u(t)$  — размер накопления;

$c(t)$  — объем потребления из национального дохода;

$z(t)$  — отчисления из национального дохода на систему безопасности.

Величина  $\langle T \rangle$ , входящая в соотношение (11.1), определяется по формуле [69]:

$$\langle T \rangle = \frac{1}{t_{op}} \int_0^{t_{op}} \langle T \rangle(t) dt. \quad (11.3)$$

Функция полезности в рассматриваемой модификации обладает всеми характерными для нее свойствами [69].

Прежде всего следует отметить такое ее свойство, как неотрицательность первых частных производных

$$\frac{\partial \langle T \rangle(c, z)}{\partial c} \geq 0, \quad \frac{\partial \langle T \rangle(c, z)}{\partial z} \geq 0. \quad (11.4)$$

Это свойство означает монотонность роста средней продолжительности жизни как с повышением уровня безопасности, связанным с увеличением отчислений из национального дохода на систему безопасности, так и с увеличением объема потребления населения из национального дохода.

Второе важное свойство функции полезности состоит в том, что ее вторые частные производные являются неположительными

$$\frac{\partial^2 \langle T \rangle(c, z)}{\partial c^2} \leq 0, \quad \frac{\partial^2 \langle T \rangle(c, z)}{\partial z^2} \leq 0. \quad (11.5)$$

Последние неравенства свидетельствуют о том, что с увеличением величины продолжительности жизни необходимые отчисления из национального дохода будут существенно возрастать. При приближении этой величины к биологически возможной продолжительности жизни расходы на обеспечение безопасности могут оказаться чрезмерно высокими и неэффективными.

Этот важный теоретический вывод находит убедительное подтверждение при анализе характера кривой (рис. 11.1), построенной на основе статистических данных [69] снижения числа преждевременных смертей людей двух категорий (мужчин Великобритании и городского населения Канады) с увеличением дохода на душу населения.

Рассматриваемое свойство функции полезности и опытные данные свидетельствуют о том, что СОППЖ подчиняется экономическому закону уменьшения отдачи.

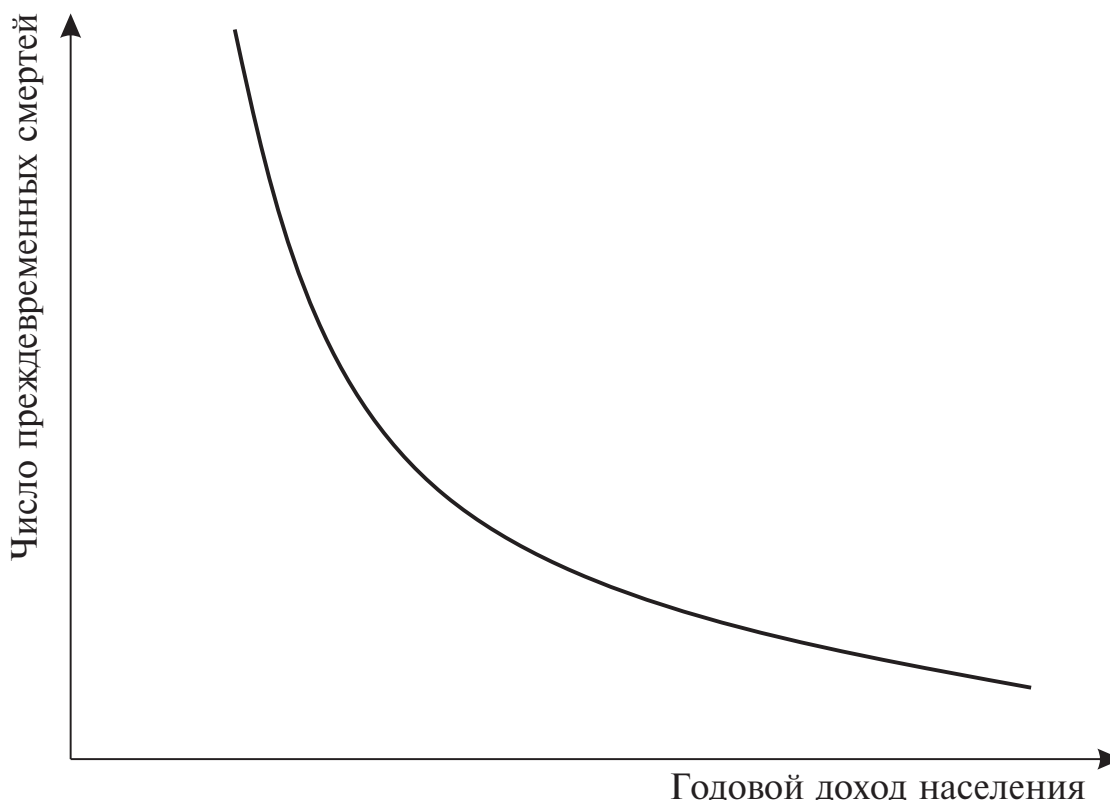


Рис. 11.1. Снижение смертности с увеличением доходов населения

Для проведения исследований и решения практических задач необходимо знать конкретное выражение функции полезности. Нахождение этого выражения связано с большими трудностями. В работе [69] приводятся несколько выражений для функции полезности, имеющих эмпирический характер.

Относительное увеличение СОППЖ за счет осуществления мер и действий по обеспечению безопасности может быть выражено достаточно простой формулой:

$$\Delta T = \frac{\langle T \rangle(t) - \langle T_0 \rangle(t)}{\langle T_0 \rangle(t)}, \quad (11.6)$$

где:  $\langle T_0 \rangle(t)$  — СОППЖ на расчетный момент без учета мер и действий по обеспечению безопасности и защиты;

$\langle T \rangle(t)$  — СОППЖ на расчетный момент с учетом указанных выше мер и действий.

Для определения СОППЖ можно воспользоваться и иным подходом, если известны научно обоснованная биологически возможная продолжительность жизни, а также изменение ее величины за счет факторов, связанных с условиями обитания и хозяйственной деятельностью человека.

В соответствии с этим подходом формула для определения величины СОППЖ в общем виде может быть записана следующим образом:

$$\text{СОППЖ} = \text{БПЖ} - \sum_{i=1}^n \Delta T_i, \quad (11.7)$$

где: БПЖ — биологически возможная продолжительность жизни;

- $\Delta T_i$  — снижение или увеличение продолжительности жизни, обусловленное  $i$ -м фактором;
- $n$  — число учитываемых факторов.

При оценке СОППЖ для того или иного состояния рассматриваемой социально-экономической системы в условиях мирного времени, на наш взгляд, необходимо, по крайней мере, учитывать:

- снижение СОППЖ за счет, если можно так выразиться, постоянной (фоновой) составляющей техногенных, природных и экологических воздействий;
- снижение СОППЖ за счет реализации, в соответствии с уровнем риска техногенных и экологических воздействий, связанных с внедрением новых технологий, хозяйственных и градостроительных проектов и т.п.;
- увеличение СОППЖ за счет постоянных, осуществляемых на регулярной основе отчислений на потребление из национального дохода;
- увеличение СОППЖ за счет повышения качества окружающей среды;
- увеличение СОППЖ за счет дополнительных отчислений из национального дохода на развитие системы безопасности и снижение риска, производимых при реализации новых хозяйственных проектов, технологий и т.п.

Таковы некоторые соображения по методологии оценки величины СОППЖ.

В заключение приведем блок-схему предлагаемой системы показателей достигнутого уровня и критериев эффективности управления радиационной и химической безопасностью (рис. 11.2).

### **11.3. Методологические основы оценки эффективности управления радиационной и химической безопасностью организационно-технических систем (радиационно и химически опасных объектов)**

Как уже ранее отмечалось, в предметной области радиационной и химической безопасности может быть выделен ряд сложных организационно-технических систем, каждая из которых выполняет те или иные конкретные функции.

Деятельность такого рода организационно-технической системы и ее функции могут быть связаны с предупредительными мерами, обеспечением подготовки населения к действиям в чрезвычайных ситуациях, его защитой от поражающих факторов радиационных и химических аварий и катастроф.

При рассмотрении методологических основ оценки эффективности управления в организационно-техническую систему может включаться совокупность технических систем, инженерных сооружений и организационных структур, непосредственно участвующих в процессе выполнения той или иной операции. Следует, однако, заметить, что система, осуществляющая опреде-



Рис. 11.2. Критерии эффективности управления радиационной и химической безопасностью социально-экономических систем

ленную операцию в сфере радиационной и химической безопасности, может участвовать и в других операциях, то есть может быть многоцелевой. Основным объектом оценки эффективности в сфере управления радиационной и химической безопасностью, следовательно, будет функционирование таких многоцелевых систем при решении определенных задач.

Необходимо исходить из того, что эти системы являются эргономическими, так как их элементами являются технические системы и человеческие коллективы, динамическими, поскольку их функции зависят от времени, и стохастическими.

Анализ обычно используемых подходов к оценке действенности операций приводит к выводу о том, что при оценке эффективности управления радиационной и химической безопасностью на уровне организационно-технических систем целесообразно иметь систему частных критериев по основным действиям, осуществляемым для обеспечения радиационной и химической безопасности и её функционирования по основным направлениям, а также интегральный критерий эффективности.

Интегральный критерий эффективности может быть представлен как вектор, составляющими которого являются частные критерии:

$$\langle W_1, W_2, \dots, W_n \rangle \quad (11.8)$$

Исходя из анализа представлений об основных целевых функциях и направлениях мер и действий по обеспечению радиационной и химической безопасности, представляется целесообразным в качестве основных составляющих интегрального критерия эффективности принять:

- частный критерий эффективности мер и действий по предупреждению возникновения аварий и катастроф на радиационно и химически опасных объектах (включая работу по совершенствованию потенциально опасных технологий и технологических процессов);

- частный критерий эффективности мер и действий по предупреждению развития возникающих аварий и катастроф, оперативному реагированию на предпосылки к их возникновению, предотвращению возможного ущерба;

- частный критерий эффективности мер и действий по обеспечению функционирования системы управления радиационной и химической безопасностью (пунктов управления, систем связи, оповещения и сбора информации) для решения задач по своему предназначению;

- частный критерий эффективности мер и действий сил и средств, привлекаемых для решения задач по обеспечению радиационной и химической безопасности, включая силы и средства наблюдения, контроля, спасения и ликвидации последствий радиационных и химических аварий;

- частный критерий эффективности мер и действий по обеспечению подготовки населения к действиям в чрезвычайных ситуациях радиационного и химического характера, подготовки руководителей и специалистов;

- частный критерий эффективности мер и действий по накоплению и использованию резервов материально-технических, финансовых, информационных и других ресурсов;

- комплекс частных критериев эффективности защиты населения от поражающих факторов радиационного и химического характера, а также использования систем и средств инженерной, радиационной, химической и медицинской защиты, проведения эвакуационных мероприятий, отселения населения и принятия других мер защиты.

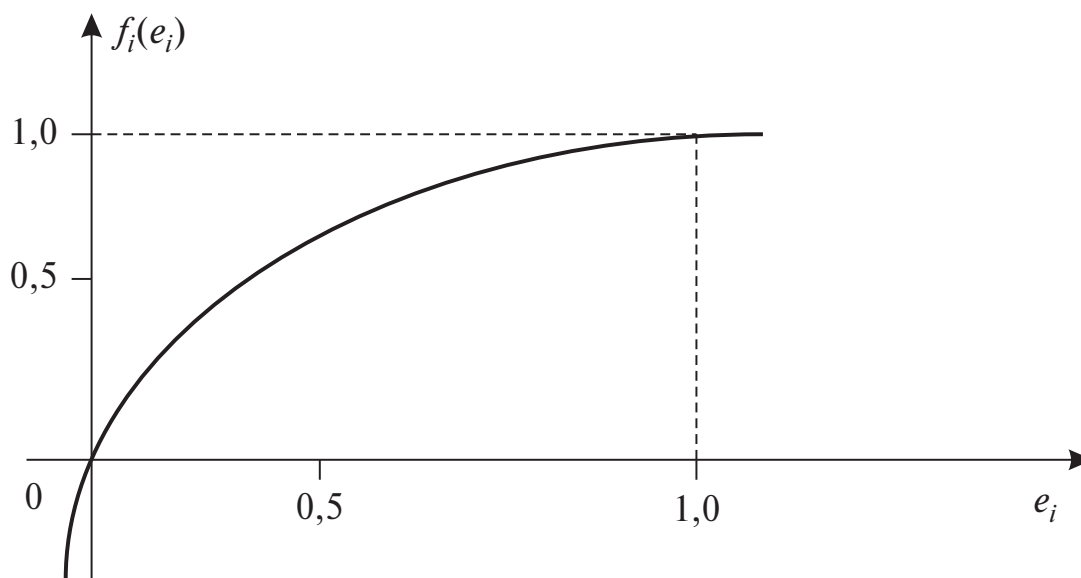
Поскольку все перечисленные выше частные критерии являются составляющими интегрального критерия, необходимо, чтобы все они имели одну и ту же количественную меру, т.е. выражались в одинаковых единицах измерения.

В качестве такой меры целесообразно принять вероятность достижения того или иного желаемого результата действий при определенном объеме ресурса. Иными словами, это вероятность достижения поставленной цели с учетом определенных условий.

Таким образом, частным критерием эффективности радиационной и химической безопасности на уровне организационно-технических систем может быть вероятность выполнения мер и действий в той или иной области этой безопасности и защиты (выполнения тех или иных ее функциональных задач) в требуемом объеме при установленных ресурсных ограничениях.

Для определения количественных значений этих критериев, то есть частных показателей эффективности, может быть предложен следующий методологический подход.

Путем анализа опытных данных, расчетов и экспертных оценок для каждого из критериев устанавливаются графические зависимости их значений от количества затрачиваемых ресурсов. При построении графиков величины показателей и указанных выше ресурсов откладываются на координатных осях в относительных единицах, с тем чтобы в дальнейшем было возможным найти интегральный показатель интенсивности. Вид графика для определения того или иного частного показателя эффективности приведен на рис. 11.3.



Где:  $e_i$  — относительное количество затрачиваемых ресурсов (отношение фактического количества затрачиваемых ресурсов к их количеству, при котором полностью обеспечиваются меры и действия в той или иной области безопасности и защиты);  
 $f_i(e_i)$  — функция, показывающая закономерности изменения искомого частного критерия в зависимости от  $e_i$ . Значения функции  $f(e_i)$  выражаются в относительных единицах от 0 до 1.

Рис. 11.3. Вид графика для определения частного критерия эффективности управления радиационной и химической безопасностью

Индекс  $i$  означает, что рассматривается  $i$ -й частный критерий эффективности управления безопасностью.

Для построения графиков могут использоваться фактические данные о состоянии защиты населения и территорий от воздействия радиационных и химических факторов, данные отчетных материалов по проведенным проверкам и инспекциям, а также специально организуемых экспертных оценок.

Здесь необходим такой объем исходной информации, который бы позволил определить с помощью графика для каждого значения относительного количества затрачиваемых ресурсов среднюю величину искомого частного критерия, приближающуюся по своему значению, в соответствии с законом боль-



ших чисел (теоремой Чебышева), к математическому ожиданию. Это математическое ожидание отношения объема мер и действий, которые могут быть выполнены при данном расходе ресурсов, к объему мер и действий, необходимому для полного достижения цели защиты в рассматриваемой области (выполнения той или иной функциональной задачи), может интерпретироваться как вероятность достижения частной цели.

Основанием для такой интерпретации опять-таки будет достаточно большой объем исходной информации, то есть объем выборки, позволяющий рассматриваемое математическое ожидание считать частотой события, состоящего в том, что выполняются определенные меры и действия по обеспечению безопасности.

Частота события, в свою очередь, в соответствии с теорией вероятностей, с некоторыми оговорками, может быть принята за величину вероятности этого события.

С учетом высказанных соображений становится ясным, что с помощью графиков, задавшись величиной затраченных ресурсов на выполнение определенных мер и действий по одному из направлений обеспечения радиационной и химической безопасности, можно определить значение частного показателя эффективности.

В качестве интегрального критерия эффективности управления радиационной и химической безопасностью на уровне организационно-технических систем, исходя из вышесказанного, следует рассматривать вероятность выполнения определенных мер и действий в требуемом объеме при установленных ресурсных ограничениях.

Нахождение величины этого критерия при известных значениях частных критериев может быть сведено к развязке неопределенности путем перехода от многокритериальной задачи к однокритериальной.

Поскольку частные критерии эффективности следует отнести к равноважным (имеющим неодинаковую значимость и вес), то для указанного перехода могут быть использованы аддитивные и мультипликативные функции, которые в нашем случае имеют вид:

$$f(e) = \sum_{i=1}^7 \frac{\alpha_i f_i(e_i)}{s_i}; \quad (11.9)$$

(аддитивная функция)

$$f(e) = 1 - \prod_{i=1}^7 \left( 1 - \frac{\beta_i f_i(e_i)}{s_i} \right). \quad (11.10)$$

(мультипликативная функция)

В этих формулах коэффициенты  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  отражают относительный вклад частных критериев в обобщенный (интегральный).

Величины  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  могут быть определены экспертным путем.

По данным, полученным по формулам (11.9) и (11.10), строится график интегрального критерия эффективности.

Необходимо заметить, что некоторые частные критерии эффективности могут рассматриваться как интегральные. Например, это относится к критерию оценки эффективности защищенности населения.

Как уже отмечалось, при оценке эффективности защищенности населения учитывается, что она складывается из инженерной, радиационной, химической и других видов защиты. Для каждого из этих видов защиты населения может быть построен график зависимости  $f_{ij}(e_{ij})$ , где индексом  $j$  обозначен вид защиты.

Далее, в соответствии с рассмотренной методологией развязки неопределенности, находится обобщенный критерий эффективности для рассматриваемой сферы защиты, который при определении интегрального критерия выполняет роль частного.

Помимо количественной оценки, в ряде случаев целесообразно проводить качественную оценку эффективности.

В общем случае качество любой системы — это свойство или совокупность свойств системы, обуславливающих ее пригодность для использования по назначению. Качество же целенаправленного процесса функционирования системы обуславливается свойствами процессов. Процессы, протекающие в эргономических системах, как известно, характеризуются довольно широким набором свойств. Это и длительность, и оперативность, и результативность, и ресурсоемкость и т.д. Но наиболее важными свойствами таких процессов, которые следует учитывать в сфере радиационной и химической безопасности, на наш взгляд, являются такие собирательные свойства, как экономичность, определяемая результативностью и ресурсоемкостью, и эффективность, зависящая практически от всех факторов, влияющих на процесс проведения операции, и таких свойств процессов, как результативность, ресурсоемкость и оперативность.

При качественной оценке эффективности процессов функционирования систем могут применяться определенные показатели их свойств, совокупность которых образует вектор качества. С помощью булевой алгебры может быть составлена совокупность условий и предикатов, на основе которых осуществляется оценивание качества процесса.

При решении практических задач по качественной оценке эффективности функционирования систем в сфере радиационной и химической безопасности допустим и более простой подход: сравнение достигнутых показателей по тем или иным направлениям обеспечения безопасности с нормативными данными. Для этого необходимо иметь систему нормативных показателей по основным направлениям деятельности в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности при типовых (наиболее часто проявляющихся) техногенных авариях радиационного и химического характера.

## Заключение

Работая над монографией, авторы пришли к твердому убеждению, что проблемы радиационной и химической безопасности, несмотря на постоянное к ним внимание со стороны ученых и специалистов-практиков, проявляющиеся в последние десятилетия в связи с крупными радиационными и химическими авариями (на АЭС в Три Майл Айленде, на Чернобыльской АЭС, на химических заводах в Севезо и Бхопале и др.) и достигнутые успехи в их решении, и сегодня являются весьма актуальными и не до конца исследованными.

Особенно это касается управленческой деятельности, в том числе государственного управления, в сфере обеспечения радиационной и химической безопасности, методов количественной оценки опасностей и угроз в этой сфере, выбора и обоснования адекватных им вариантов выхода из проблемных ситуаций, принятия решений, оценки эффективности планируемых и реализуемых мер и действий.

По мнению авторов, отмеченные и другие вопросы заслуживают пристального внимания со стороны как ученых, так и специалистов, занятых на радиационно и химически опасных объектах, а также в органах управления, надзора и контроля. Представляется, что проведение теоретических исследований и выработка необходимых эффективных мер практического характера по этим направлениям явится достойным вкладом в совершенствование и развитие такой важной междисциплинарной отрасли научных знаний и сферы практической деятельности, как радиационная и химическая безопасность.

## **Приложение 1**

# **Методика оценки радиационной обстановки при разрушении ядерного реактора на атомной электростанции**

В настоящей Методике изложены сведения о масштабах и степени радиоактивного загрязнения местности, а также порядок прогнозирования и оценки радиационной обстановки в случае разрушения ядерного реактора типа РБМК и ВВЭР на атомных электростанциях (АЭС).

Методика позволяет определять: дозы внешнего гамма-облучения при прохождении радиоактивного облака и при расположении на следе облака; дозы внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радиоактивных веществ; дозы облучения щитовидной железы; дозы внешнего гамма-облучения при преодолении следа облака; допустимое время пребывания на загрязненной местности; допустимое время начала преодоления загрязненного участка на маршруте движения.

Рекомендуется для использования в территориальных звеньях РСЧС и на объектах экономики при планировании мероприятий по защите персонала и населения при крупных авариях на АЭС.

Методика разработана ВНИИ ГОЧС совместно с ЦСИ ГЗ и Департаментом по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций МЧС России.

## **Введение**

Основная часть действующих в России атомных электростанций имеет водо-водяные реакторы типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и уран-графитовые реакторы канального типа РБМК-1000.

При нормальной эксплуатации АЭС накапливаемые в реакторе радиоактивные продукты деления ядерного топлива практически не попадают в окружающую среду в количествах, превышающих предельно допустимые.

Однако существует потенциальная опасность аварийного выброса радиоактивных веществ (РВ), в том числе в результате разрушения реактора, последствия которых могут привести к радиационным поражениям персонала АЭС и населения.

Выброшенные из поврежденного реактора РВ в виде газов, паров и аэрозолей образуют, как правило, облако, которое распространяется по направлению ветра и вызывает радиоактивное загрязнение окружающей среды.

Поражающее воздействие на население при этом происходит за счет в основном внешнего гамма-облучения от проходящего облака и загрязненной радиоактивными выпадениями местности, внутреннего облучения в результате ингаляционного поступления РВ в организм человека.

Масштабы радиационных последствий при разрушении реактора, определяющие радиационную обстановку, зависят от типа реактора, характера аварии или разрушения, а также метеорологических условий.

Под радиационной обстановкой понимают масштабы и степень радиоактивного загрязнения местности и атмосферы, оказывающие воздействие на жизнедеятельность населения и условия проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР).

Под оценкой радиационной обстановки понимается решение основных задач по выявлению показателей обстановки, определяющих степень радиоактивного загрязнения местности и приземного слоя атмосферы и оказывающих влияние на жизнедеятельность населения и условия проведения АСДНР, в том числе анализ различных вариантов действий в зонах загрязнения и выбор наиболее целесообразных из них, при которых обеспечиваются дозовые нагрузки, не превышающие допустимые (установленные) нормы облучения различных категорий населения и спасателей.

## 1. Общие положения

1.1. Данная Методика предназначена для выявления и оценки радиационной обстановки в случае разрушения АЭС с реакторами типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и РБМК-1000 методом прогнозирования и по данным радиационной разведки.

1.2. Радиационная обстановка в районе размещения аварийной АЭС и степень радиационной опасности для населения зависят от типа разрушенного реактора, количества и состава выброшенных в окружающую среду РВ, расстояния до АЭС, метеорологических условий, состояния подстилающей поверхности и других причин.

1.3. В Методике рассматривается радиационная обстановка при наиболее опасных авариях, отнесенных к 7 классу по шкале МАГАТЭ.

Такие аварии сопровождаются отказом всех систем безопасности и разрушением корпуса реактора и, как следствие этого, значительному выбросу РВ в окружающую среду.

1.4. Метеорологические условия в момент разрушения ядерного реактора характеризуют направление и динамику рассеяния радиоактивных веществ (РВ), выброшенных в атмосферу.

Динамика рассеяния РВ определяется степенью вертикальной устойчивости атмосферы и скоростью распространения облака выброса.

Рассматривается три основных типа устойчивости атмосферы:

— неустойчивая (конвекция), характерная для солнечной летней погоды;

- безразличная (изотермия), характерная для переменной облачности в течение дня, облачного дня и облачной ночи, а также дождливой погоды;
- устойчивая (инверсия), характерная для ясной ночи, морозного зимнего дня, а также для утренних и вечерних часов.

1.5. Все приведенные в Методике значения даны для условий открытой местности и незащищенного населения. Параметры радиационной обстановки в пределах санитарно-защитной зоны АЭС (до 3-х км) не рассматриваются.

1.6. Методика позволяет определять:

а) при выявлении радиационной обстановки:

- размеры прогнозируемых зон радиоактивного загрязнения местности, ограниченных изолиниями доз внешнего гамма-облучения за определенные промежутки времени от 1 суток до 1 года;
- прогнозируемые размеры участков местности, ограниченных изолиниями доз облучения щитовидной железы детей и взрослого населения за время прохождения облака;

- мощность дозы внешнего гамма-излучения на следе облака;

б) при оценке радиационной обстановки:

- дозу внешнего гамма-облучения при прохождении радиоактивного облака;
- дозу внешнего гамма-облучения при расположении на следе облака;
- дозу облучения щитовидной железы для детей и взрослого населения;
- дозу внешнего гамма-облучения при преодолении следа облака;
- допустимое время начала преодоления следа облака;
- допустимое время пребывания на загрязненной территории;
- допустимое время начала работ на загрязненной территории.

## **2. Выявление и оценка радиационной обстановки методом прогнозирования**

Выявление и оценка радиационной обстановки производится в целях определения влияния радиоактивного загрязнения местности и приземного слоя атмосферы на жизнедеятельность населения и условия проведения АСДНР на загрязненных территориях.

Выявление и оценка возможной радиационной обстановки при разрушении ядерного реактора методом прогнозирования проводятся как заблаговременно, при планировании мероприятий защиты населения на случай возникновения аварий на АЭС, так и в начальный период развития аварии, когда данные радиационной разведки отсутствуют или поступают в недостаточном объеме.

При заблаговременном выявлении радиационной обстановки методом прогнозирования в качестве исходных данных используют наиболее вероятные средние метеорологические условия.

При выявлении и оценке радиационной обстановки в момент аварии в качестве исходных данных используют реальные метеорологические условия. В

большинстве случаев при расчетах можно принимать, что степень вертикальной устойчивости атмосферы сохраняется неизменной:

- утром и вечером — не более 3 часов;
- днем и ночью, весной и осенью, днем зимой и ночью летом — не более 6 часов;
- днем летом и ночью зимой — не более 9 часов.

В связи с этим в рамках данной Методики не может быть обеспечена удовлетворительная точность прогноза на расстояниях более 200 км.

## **2.1. Выявление радиационной обстановки**

При выявлении радиационной обстановки решаются следующие задачи:

- определение размеров зон радиоактивного загрязнения местности и отображение их на картах (планах, схемах);
- определение размеров зон облучения щитовидной железы детей и взрослого населения за время прохождения радиоактивного облака и отображение их на картах (планах, схемах);
- определение мощности дозы внешнего гамма-излучения на следе радиоактивного облака.

Исходными данными для выявления радиационной обстановки методом прогнозирования являются:

- а) информация об АЭС; тип реактора (РБМК, ВВЭР); электрическая мощность ядерного реактора  $W_{\text{э}}$ , МВт; координаты АЭС ( $X_э$ ,  $Y_э$ ), км; астрономическое время разрушения реактора  $T_p$  (дата и время);
- б) метеорологические характеристики: скорость ветра на высоте 10 м  $V_0$ , м/с; направление ветра на высоте 10 м,  $\psi$  град; облачность (ясно, переменная, сплошная);
- в) при необходимости дополнительная информация приводится отдельно при рассмотрении каждой конкретной задачи.

### **2.1.1. Определение размеров зон радиоактивного загрязнения**

Зоны радиоактивного загрязнения представляют собой участки местности, ограниченные изолиниями доз внешнего облучения, которые может получить незащищенное население при открытом расположении на местности за промежуток времени, определяемые с момента начала выброса РВ (время формирования заданной дозы облучения). Фактическое время формирования дозы облучения меньше на время подхода облака  $t_n$ .

Дополнительная информация:

- заданная доза внешнего гамма-облучения при открытом расположении,  $D_0$ , мЗВ; значения доз внешнего облучения  $D_0$  выбираются, как правило, в соответствии с критериями для принятия решения (Приложение 4, табл. 1);
- время формирования заданной дозы внешнего облучения  $t_{\phi}$  (в интервале от 1 часа до 1 года с момента начала выброса РВ в атмосферу).

#### Порядок решения задачи

1. По данным Приложения 2 определяется степень вертикальной устойчивости атмосферы, соответствующая погодным условиям и времени суток.

2. На карте (плане) обозначается положение аварийного реактора и в соответствии с заданным направлением ветра черным цветом наносится ось следа радиоактивного облака.

3. По табл. 20 Приложения 1 определяется глубина прогнозируемой зоны радиоактивного загрязнения  $L_x$ , соответствующая заданным значениям дозы внешнего облучения  $D_0$  и времени ее формирования  $t_{\phi}$ , погодным условиям, типу реактора.

В случае отсутствия в таблице заданных значений  $D_0$  и  $t_{\phi}$  прогнозируемая глубина зоны определяется методом линейной интерполяции.

4. Максимальная ширина зоны (на середине глубины) определяется по формуле:

$$L_y = a \times L_x, \text{ км}, \quad (1)$$

где:  $a$  — коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости атмосферы (табл. 1 приложения 1).

5. Площадь зоны радиоактивного загрязнения определяется по формуле:

$$S = 0,8 \times L_x \times L_y, \text{ км}. \quad (2)$$

6. Используя найденные размеры, зоны в масштабе карты отображаются в виде правильных эллипсов черным цветом для ранней фазы аварии и синим — для средней фазы аварии.

При решении задач с разрушением реакторов типа ВВЭР-440 глубина зон радиоактивного загрязнения определяется умножением данных, рассчитанных для реактора ВВЭР-1000, на коэффициент 0,663:

$$L_x (\text{ВВЭР-440}) = 0,663 \times L_x (\text{ВВЭР-1000}). \quad (3)$$

### Пример 1

В 23.00 26 мая произошло разрушение реактора РБМК-1000 на Ивановской АЭС с выбросом РВ в атмосферу.

Метеоусловия: скорость ветра на высоте флюгера (10 м)  $V_0=5$  м/с, направление ветра  $\psi = 90^\circ$ , облачность переменная.

Определить размеры зон возможного радиоактивного загрязнения, на территории которых необходимо проводить защитные мероприятия по укрытию и эвакуации населения.

### Решение

1. Согласно Приложению 2 для заданных метеоусловий (лето, ночь, переменная облачность,  $V_0=5$  м/с) наиболее вероятная степень вертикальной устойчивости атмосферы — изотермия.

2. По табл. 1 Приложения 4 определяем, что верхние критериальные значения дозы облучения  $D_0$ , при которой нужно проводить укрытие населения, соответствует 50 мЗв за первые 10 суток, эвакуацию взрослого населения — 500 мЗв за первые 10 суток, эвакуацию детей и беременных женщин — 50 мЗв за первые 10 суток.

3. Глубину зон радиоактивного загрязнения определяем по табл. 7 Приложения 1.



$$L_x(50, 10 \text{ суток}) = 163 \text{ км};$$

$$L_x(500, 10 \text{ суток}) = 30 \text{ км}.$$

4. По формуле (1) определяем максимальную (на половине длины) ширину зоны. Для этого по табл.1 Приложения 1 находим коэффициент **a** для изотермии (**a** = 0,06). Тогда:

$$L_y(50, 10 \text{ сут}) = a \times L_x(50, 10 \text{ сут}) \times 163 = 9,8 \text{ км};$$

$$L_y(500, 10 \text{ сут}) = a \times L_x(500, 10 \text{ сут}) = 0,06 \times 30 = 1,8 \text{ км}.$$

5. По формуле (2), приведенной выше, определяем площадь зон радиоактивного загрязнения:

$$S(50, 10 \text{ сут}) = 0,8 \times L_x(50, 10 \text{ сут}) \times L_y(50, 10 \text{ сут}) = 0,8 \times 163 \times 9,8 = 1278 \text{ км}^2;$$

$$S(500, 10 \text{ сут}) = 0,8 \times L_x(500, 10 \text{ сут}) \times L_y(500, 10 \text{ сут}) = 0,8 \times 30 \times 1,8 = 43 \text{ км}^2.$$

6. Результаты вычислений сводим в таблицу

Наименование зон	Размеры зон		
	$L_x$ , км	$L_y$ , км	S, км <sup>2</sup>
Укрытие населения (50 мЗв за первые 10 сут)	163	9,8	1 278
Эвакуация детей и беременных женщин (50 мЗв за первые 10 сут)	163	9,8	1 278
Эвакуация взрослого населения (500 мЗв за первые 10 сут)	30	1,8	43

7. Используя найденные размеры, зоны отображаются на картах, планах, схемах в соответствующем масштабе.

### 2.1.2. Определение размеров зон облучения щитовидной железы

Зоны облучения щитовидной железы представляют собой участки местности, ограниченные изолиниями доз, которые может получить незащищенное население при ингаляционном поступлении РВ за время прохождения облака.

Дополнительная информация: заданная доза облучения щитовидной железы при открытом расположении  $D_{жс}$ , мЗв.

#### Порядок решения задачи

1. По приложению 2 определяется степень вертикальной устойчивости атмосферы, соответствующая погодным условиям и времени суток.

2. На карте (схеме) обозначается положение аварийного реактора и в соответствии с заданным направлением ветра черным цветом наносится ось следа радиоактивного облака.

3. По табл. 21—22 Приложения 1 определяется глубина прогнозируемых зон облучения щитовидной железы  $L_x^{жс}$ , соответствующая заданной дозе облучения  $D_{жс}$  с учетом погодных условий, типа реактора и характера его разрушения.

В случае отсутствия в таблице заданных значений  $D_{жс}$  глубина зоны определяется методом линейной интерполяции.

4. Максимальная ширина зоны (на середине длины) определяется по формуле (1), а площадь зоны по формуле (2), приведенных в п.2.1.1.

Пример 2

В 20.00 10.2 произошло разрушение реактора ВВЭР-440 на Ивановской АЭС с выбросом РВ в атмосферу.

Метеоусловия: скорость ветра на высоте флюгера (10 м)  $V_0 = 3$  м/с, направление ветра  $\psi = 180^\circ$ , облачность переменная.

Определить размеры зон облучения, на территории которых производится йодная профилактика детей и взрослого населения.

Решение

1. Согласно данным Приложения 2 для заданных метеоусловий наиболее вероятная степень вертикальной устойчивости атмосферы — инверсия.

2. По табл. 1 Приложения 4 находим, что верхние критериальные значения дозы облучения щитовидной железы, при которой нужно проводить йодную профилактику, составляют:

- для взрослых — 500 мЗв;
- для детей — 250 мЗв.

3. По табл. 22 Приложения 1 и с учетом формулы (3) определяем глубину зон облучения щитовидной железы для детей и взрослого населения

$$L_x^{жс}(500, В) = 0,663 \times 190 = 126 \text{ км};$$

$$L_x^{жс}(250, Д) = 0,663 \times 280 = 186 \text{ км}.$$

4. По формуле (1) определяем максимальную ширину. Для этого по табл. 1 Приложения 1 определяем коэффициент для инверсии ( $a = 0,03$ ).

$$L_y^{жс}(500, В) = a \times L_x^{жс}(500, В) = 0,03 \times 126 = 3,8 \text{ км};$$

$$L_y^{жс}(250, Д) = a \times L_x^{жс}(250, Д) = 0,03 \times 186 = 5,6 \text{ км}.$$

5. По формуле (2) определяем площадь зон облучения щитовидной железы

$$S_{жс}(500, В) = 0,8 \times L_x^{жс}(500, В) \times L_y^{жс}(500, В) = 0,8 \times 126 \times 3,8 = 383 \text{ км}^2;$$

$$S_{жс}(250, Д) = 0,8 \times L_x^{жс}(250, Д) \times L_y^{жс}(250, Д) = 0,8 \times 186 \times 5,6 = 833 \text{ км}^2;$$

6. Результаты вычислений сводим в таблицу

Наименование зоны	Критериальное значение дозы, мЗв	Размеры зон		
		$L_x^{жс}$ , км	$L_y^{жс}$ , км	$S_{жс}$ , км <sup>2</sup>
Зона йодной профилактики:				
взрослых	500	126	3,8	383
детей	250	186	5,6	833

7. Используя найденные размеры, зоны отображаются на карте в соответствующем масштабе.

### 2.1.3. Определение времени подхода радиоактивного облака

#### Дополнительная информация

Расстояние до аварийного реактора по оси следа облака.

Приведенное время подхода радиоактивного облака, отсчитываемое с момента начала выброса РВ в атмосферу, определяется по формуле:

$$t_n = \alpha \cdot \frac{x}{V_0}, \text{ ч}, \quad (4)$$

где:  $x$  — расстояние до аварийного реактора по оси следа радиоактивного облака, км;

$V_0$  — скорость ветра на высоте флюгера (10 м), м/с;

$\alpha$  — коэффициент, учитывающий распределение скорости ветра по высоте и размерность величин  $x$  и  $V_0$  [(ч×с)/(км×м)], (табл. 2 Приложения 1).

Астрономическое время прихода облака определяется по формуле:

$$T_n = t_n + T_p. \quad (5)$$

Время подхода радиоактивного облака является временем начала радиоактивного загрязнения местности.

### 2.1.4. Определение мощности дозы внешнего гамма-излучения на следе радиоактивного облака

#### Дополнительная информация

Координаты точки на следе облака  $X$ (км) относительно аварийного реактора определяются по картам, планам, схемам в соответствующем масштабе.

Время, прошедшее с момента начала выброса,  $t_n$ , ч.

#### Порядок решения задачи

1. По данным Приложения 2 определяется степень вертикальной устойчивости атмосферы, соответствующая погодным условиям и времени суток.

2. По табл. 23—24 Приложения 1 для реакторов типа РБМК-1000 и ВВЭР-1000 определяется мощность дозы гамма-излучения на оси следа облака, приведенная к моменту времени  $t = 1$  ч после начала выброса  $P_1^0$ , мЗв/ч.

Значения  $P_1^0$  в случае разрушения реакторов типа ВВЭР-440 определяются умножением на коэффициент 0,44 значений  $P_1^0$  для реакторов ВВЭР-1000, взятых из табл. 24 Приложения 1:

$$P_1^0(\text{ВВЭР-440}) = 0,44 \times P_1^0(\text{ВВЭР-1000}). \quad (6)$$

1. Определение мощности дозы гамма-излучения на оси следа на момент времени  $t$  (час), после начала выброса  $P_1^0$  (мЗв), производится по формуле:

$$P_t^0 = K_t \times P_1^0, \text{ мЗв}, \quad (7)$$

где:  $K_t$  — коэффициент, определяемый по табл. 25 Приложения 1.

2. Мощность дозы внешнего гамма-излучения в точке с координатами ( $X$ ,  $Y$ ) определяется по формуле:

$$P_t = K_y \times P_t^0, \text{ мЗв/ч}, \quad (8)$$

где:  $K_y$  — поправочный коэффициент, определяемый по табл. 26—28 Приложения 1.

Пример 3

В 15.00 12.07 произошло разрушение реактора РБМК-1000 на Южной АЭС с выбросом РВ в атмосферу. Скорость ветра на высоте флюгера (10 м),  $V_0 = 3$  м/с, направление ветра  $\psi = 270^\circ$ , конвекция.

Определить мощность дозы внешнего гамма-излучения на время  $T$  (18.00 12.07) в точке  $A$  на северной окраине д. Тарасово ( $X = 10$  км,  $Y = 0,5$  км) и точке  $B$  на южной окраине д. Расково ( $X = 25$  км,  $Y = 1,0$  км).

Решение

1. Определим время, прошедшее с момента начала разрушения реактора (время начала облучения):

$$t_H = T - T_p = 18 \text{ час} - 15 \text{ час} = 3 \text{ час}$$

2. По табл. 23 приложения 1 для заданных погодных условий определяем мощности доз гамма-облучения на оси следа, приведенные на 1 час после разрушения реактора

$$\text{в точке } A - P_{1A}^0 = 16 \text{ мЗв/ч};$$

$$\text{в точке } B - P_{1B}^0 = 5 \text{ мЗв/ч}.$$

3. По формуле (7) определяем мощность дозы гамма-излучения на время  $t_H = 3$  ч после начала выброса, используя значение коэффициента  $K_t$  (табл. 25 Приложения 1):

$$P_{3A}^0 = K_t \times P_{1A}^0 = 0,64 \times 16 = 10,2 \text{ мЗв/ч};$$

$$P_{3B}^0 = K_t \times P_{1B}^0 = 0,64 \times 5 = 3,2 \text{ мЗв/ч}.$$

4. По формуле (8), используя данные табл. 26 Приложения 1, определяем на 3 часа после выброса мощность дозы гамма-излучения в точках  $A$  и  $B$ , удаленных от оси следа на 0,5 км и 1 км, соответственно:

$$P_{3A} = K_y \times P_{3A}^0 = 0,95 \times 10,2 = 9,7 \text{ мЗв/ч}$$

$$P_{3B} = K_y \times P_{3B}^0 = 0,94 \times 3,2 = 3,0 \text{ мЗв/ч}$$

Результаты вычислений сведем в таблицу

Наименование точки	Координаты относительно реактора		Время разрушения реактора, $T_p$	Мощность дозы на $t = 3$ ч после начала выброса, мЗв/ч
	$X$ , км	$Y$ , км		
Северная окраина д. Тарасово (точка $A$ )	10	0,5	15.00	9,7
Южная окраина д. Расково (точка $B$ )	25	1,0	15.00	3,0

## **2.2. Оценка радиационной обстановки**

При оценке радиационной обстановки в случае разрушения реактора на АЭС решаются следующие задачи:

- определение дозы внешнего гамма-облучения при прохождении радиоактивного облака;
- определение дозы внешнего гамма-облучения при расположении на следе облака;
- определение дозы внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радиоактивных веществ;
- определение дозы облучения щитовидной железы;
- определение дозы внешнего гамма-облучения при преодолении следа облака;
- определение допустимого времени начала преодоления следа облака;
- определение допустимого времени пребывания на загрязненной территории;
- определение допустимого времени начала работ на загрязненной территории.

Оценка радиационной обстановки производится с использованием карты (схемы) с нанесенными на ней результатами выявления радиационной обстановки.

Исходными данными для оценки радиационной обстановки методом прогнозирования являются:

- а) информация об АЭС
  - тип реактора (РБМК, ВВЭР);
  - электрическая мощность реактора  $W$ , МВт;
  - характер разрушения реактора;
  - координаты АЭС ( $X$ ,  $Y$ ), км;
  - астрономическое время разрушения реактора  $T_p$  (дата и время);
- б) метеорологические характеристики
  - скорость ветра на высоте 10 м —  $V_0$ , м/с;
  - направление ветра на высоте 10 м —  $\psi$ , град;
  - облачность (ясно, переменная, сплошная);
- в) дополнительная информация
  - приводится отдельно при рассмотрении каждой конкретной задачи.

### **2.2.1. Определение дозы внешнего гамма-облучения при прохождении радиоактивного облака**

#### Дополнительная информация

Координаты места расположения  $X$  (км),  $Y$  (км).

#### Порядок решения задачи

1. Определение дозы внешнего гамма-облучения на оси следа (в точке с координатами  $(X, 0)$  при прохождении радиоактивного облака  $D_{обл}^0$ , мЗв для соответствующих метеоусловий в случае разрушения реактора типа РБМК-1000 и ВВЭР-1000 производится по табл. 29—30 приложения 1.

Значения  $D_{обл}^0$  в случае разрушения реакторов типа ВВЭР-440 определяются умножением на коэффициент 0,44 значений  $D_{обл}^0$  для реакторов ВВЭР-1000, взятых из табл. 30 приложения 1.

$$D_{обл}^0 (\text{ВВЭР-440}) = 0,44 \times D_{обл}^0 (\text{ВВЭР-1000}). \quad (9)$$

1. Если место расположения находится в стороне от оси следа, то доза внешнего гамма-облучения при прохождении радиоактивного облака в точке с координатами  $X, Y$  определяется по формуле:

$$D_{обл} = K_y \times D_{обл}^0, \quad (10)$$

где:  $K_y$  — поправочный коэффициент, определяемый по табл. 26—28 Приложения 1.

#### Пример 4

В 15.00 12.07 произошло разрушение реактора РБМК-1000 на Южной АЭС с выбросом в атмосферу. Скорость ветра  $V_0 = 3$  м/с, направление ветра  $\psi = 270^\circ$ , конвекция.

Определить дозу внешнего гамма-облучения при прохождении радиоактивного облака в точках  $A(10; 0,5)$  и  $B(25; 1)$ .

#### Решение

1. Определяем дозу внешнего гамма-облучения в точках  $A$  и  $B$  при прохождении радиоактивного облака, используя данные табл. 29 и 26 приложения 1

$$D_{облA}^0 = K_{y\ облA}^0 \times D_{обл}^0 = 0,95 \times 29,0 = 27,6 \text{ мЗв};$$

$$D_{облB}^0 = K_{y\ облB}^0 \times D_{обл}^0 = 0,94 \times 7,2 = 6,8 \text{ мЗв}$$

### *2.2.2. Определение дозы внешнего гамма-облучения при расположении населения на следе облака*

#### Дополнительная информация

Координаты места расположения  $X(\text{км}), Y(\text{км})$

Время, прошедшее с момента разрушения до начала облучения  $t_n$ , ч.

Время, прошедшее с момента разрушения до конца облучения  $t_k$ , ч.

Коэффициент ослабления радиации  $K_0$ .

#### Порядок решения задачи

1. В месте расположения с координатами  $(X, Y)$  определяется мощность дозы внешнего гамма-излучения  $P_1$ , приведенная к моменту времени  $t = 1$  ч после начала выброса РВ, как это показано в п. 2.4.

2. Доза внешнего гамма-облучения от радиоактивного загрязнения местности за период времени от  $t_n$  до  $t_k$  определяется по формуле:

$$D_{t_n t_k} = \frac{K_D \times P_1}{K_0}, \quad (11)$$

где:  $K_0$  — коэффициент ослабления радиации, определяемый по табл. Приложения 3;

$K_D$  — коэффициент, зависящий от времени начала и конца облучения, определяется по табл. 31 Приложения 1.

Пример 5

В 15.00 12.07 произошло разрушение реактора РБМК-1000 на Южной АЭС с выбросом РВ в атмосферу. Скорость ветра  $V_0 = 3$  м/с, направление ветра  $\psi = 270^\circ$ , конвекция.

Определить дозу облучения населения, укрытого на северной окраине д. Тарасово т.  $A(10; 0,5)$  в подвалах одноэтажных деревянных домов, а на южной окраине д. Расково т.  $B(25; 1)$  — на первых этажах каменных двухэтажных зданий за 1 сутки после разрушения реактора, считая началом облучения время подхода радиоактивного облака.

Решение

1. По табл. приложения 3 определяем коэффициент ослабления радиации:

— для подвалов одноэтажных деревянных домов  $K_0^n = 7$ ;

— для первых этажей каменных двухэтажных зданий  $K_0^1 = 15$ .

2. По формуле 4 определяем время подхода радиоактивного облака к т.  $A(10; 0,5)$  и т.  $B(25; 1)$ :

$$t_{nA} = 0,23 \cdot \frac{10}{3} = 1 \text{ час — деревня Тарасово;}$$

$$t_{nB} = 0,23 \cdot \frac{25}{3} = 2 \text{ часа — деревня Расково,}$$

где:  $\alpha = 0,23$  (табл. 2 приложения 1);  $V_0 = 3$  м/с;  $X_A = 10$ ;  $X_B = 25$ .

3. По табл. 23 и 26 Приложения 1 определяем мощность дозы гамма-излучения на 1 час после разрушения реактора:

$$P_{1A} = 0,95 \times 16,0 = 15,2 \text{ мЗв/ч;}$$

$$P_{1B} = 0,94 \times 5,0 = 4,7 \text{ мЗв/ч.}$$

4. По формуле (11) и табл. 33 приложения 1 определяем дозу облучения населения за 1 сутки после разрушения реактора в точках  $A$  и  $B$ :

$$D_A = \frac{7,4 \cdot 15,2}{7} = 16 \text{ мЗв;}$$

$$D_B = \frac{6,6 \cdot 4,7}{15} = 2 \text{ мЗв.}$$

*2.2.3. Определение дозы облучения щитовидной железы*

Дополнительная информация

Координаты места расположения  $X$ (км),  $Y$ (км).

Порядок решения

1. В случае разрушения реакторов типа РБМК-1000 и ВВЭР-1000 определенные дозы облучения щитовидной железы на расстоянии  $X$ , км по оси следа облака  $D_0^{жс}$  производится по табл. 32—33 приложения 1.

2. Значения  $D_0^{жс}$  в случае разрушения реакторов типа ВВЭР-440 определяются умножением на коэффициент 0,44 значений  $D_0^{жс}$  для реакторов ВВЭР-1000, взятых из табл. 33 приложения 1:

$$D_0^{жс}(\text{ВВЭР-440}) = 0,44 \times D_0^{жс}(\text{ВВЭР-1000}). \quad (12)$$

3. Для определения дозы облучения щитовидной железы детей  $D_0^{жс}$  взрослого населения умножается на коэффициент 2,7.

4. Своевременная проведенная йодная профилактика снижает дозу на щитовидную железу в 100 раз.

#### Пример 6

В 15.00 12.07 произошло разрушение реактора РБМК-1000 на Южной АЭС с выбросом РВ в атмосферу. Скорость ветра  $V_0 = 3$  м/с, направление ветра  $\psi = 270^\circ$ , конвекция.

Определить дозу облучения щитовидной железы взрослого населения д. Тарасово и д. Расково при условии, что йодная профилактика проведена своевременно.

#### Решение

Определение дозы облучения щитовидной железы проводим по формуле:

$$D^{жс} = \frac{B \times K_y \times D_0^{жс}}{K_{ин}}, \quad (13)$$

где:  $B$  — возрастной коэффициент:  $B = 1$  для взрослого населения;  $B = 2,7$  — для детей;

$K_{ин}$  — коэффициент, учитывающий проведение йодной профилактики:  $K_{ин} = 1$ , если йодная профилактика не проводилась;

$K_y$  — коэффициент, учитывающий удаление от оси следа, табл. 28 Приложения 1;

$D_0^{жс}$  — доза облучения щитовидной железы при нахождении на оси следа за время прохождения облака, табл. 32 приложения 1.

По формуле (13), подставляя значения величин  $B$ ,  $K_{ин}$ ,  $K_y$ ,  $D_0^{жс}$  для условий примера 3, получаем:

$$D_A^{жс} = \frac{1 \times 0,95 \times 3\,080}{100} = 29 \text{ мЗв};$$

$$D_B^{жс} = \frac{1 \times 0,94 \times 960}{100} = 9,0 \text{ мЗв}.$$

### *2.2.4. Определение дозы внешнего облучения при преодолении следа облака*

#### Порядок решения

1. На карте (схеме) в соответствии с п.2.1.1 наносится зона возможного радиоактивного загрязнения и предполагаемый маршрут движения.

2. Маршрут движения при необходимости разбивается на несколько ( $n$ ) участков с одинаковым характером изменения мощности дозы облучения по



направлению движения и определяется их протяженность. При этом следует учитывать, что при приближении к оси следа мощность дозы увеличивается, а при удалении — уменьшается.

На момент времени начала преодоления загрязненной территории  $t_n$  согласно п. 2.1.4 определяется мощность дозы облучения  $P_{tn}$  в точках, разграничивающих участки движения.

Доза внешнего гамма-облучения при преодолении следа облака определяется по формуле:

$$D_c = \frac{P_1 \cdot I_1 + P_2 \cdot (I_1 + I_2) + P_3 \cdot (I_2 + I_3) + \dots + P_n \cdot (I_{n-1} + I_n) + P_{n+1} \cdot I_n}{2 \cdot V \cdot K_0}, \quad (14)$$

где:  $n$  — количество участков маршрута движения;  
 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, P_{n+1}$  — мощность дозы излучения в точках, разграничивающих  $n$ -е участки движения на момент времени начала движения,  $t_n$ , мЗв/ч;  
 $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  — протяженность участков движения, км;  
 $V$  — средняя скорость движения на маршруте, км/ч;  
 $K_0$  — коэффициент ослабления транспортных средств.

### Пример 7

В 10.00 10.06 произошло разрушение реактора РБМК-1000 на АЭС с выбросом РВ в атмосферу.

Определить дозу внешнего гамма-облучения эвакуируемого населения, преодолевающего след радиоактивного облака пешим порядком по маршруту. Характеристика маршрута и радиационная обстановка приводятся. Время начала движения 3 часа после разрушения, средняя скорость движения 4 км/час. Спад мощности дозы гамма-излучения за время движения по маршруту не учитывается.

### Решение

1. На карте (схеме) наносим маршрут движения, разбиваем его на участки и определяем их протяженность.

2. Мощность дозы гамма-излучения в граничных точках маршрута на время начала движения (3 часа после начала выброса РВ) определяем согласно п. 2.1.4.

### Исходные данные для расчетов

№ точек	Координаты точек		Мощность дозы гамма-излучения в точке, $P$ , мЗв/ч	Протяженность участка, км
	$X$ , км	$Y$ , км		
1	5,0	0,5	62	1,4
2	5,6	0	65	1,0
3	6,0	0,5	55	6,0
4	9,0	1,9	15	5,0
5	12,0	4,5	0,8	—

3. По формуле (14) определяем дозу внешнего гамма-облучения при преодолении следа

$$D_c = \frac{62 \cdot 1,4 + 65 \cdot (1,4 + 1,0) + 55 \cdot (1,0 + 6,0) + 15 \cdot (6,0 + 5,0) + 0,8 \cdot 5,0}{2 \cdot 4 \cdot 1} = 100 \text{ мЗв.}$$

### 2.2.5. Определение допустимого времени начала преодоления следа

#### Порядок решения

На карту (схему) наносится маршрут движения, а затем определяется его протяженность  $L$  (км) и время движения  $T$  (ч):

$$T = \frac{L}{V}, \quad (15)$$

где:  $V$  — установленная скорость движения по маршруту, км/ч.

Согласно п. 2.1.4 определяется мощность дозы излучения в граничных точках маршрута на момент времени  $t = 24$  ч  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  и по формуле (16) определяется средняя мощность дозы излучения на маршруте движения:

$$P_{24} = \frac{P_1 + P_{n+1}}{2n} + \frac{P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}, \text{ мЗв/ч,} \quad (16)$$

где:  $n$  — количество участков маршрута движения;  
 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, P_{n+1}$  — мощность дозы излучения в граничных точках маршрута на момент времени  $t = 24$  ч, мЗв/ч.

По формуле (17) рассчитывается коэффициент

$$\eta = \frac{D_D \cdot K_0}{P_{24}}, \quad (17)$$

где:  $D_D$  — допустимая (задаваемая) доза облучения на маршруте движения, мЗв;

$K_0$  — коэффициент ослабления радиации транспортными средствами.

По рассчитанным значениям времени движения  $T$  и коэффициента  $\eta$  по графику (рис. 1) определяется допустимое время начала преодоления следа радиоактивного облака  $t_{4н0}$ , ч, отсчитываемое с момента разрушения реактора.

#### Пример 8

Для условий примера 7 определить допустимое время преодоления следа радиоактивного облака, если заданный предел дозы облучения  $D_D = 50$  мЗв.

#### Решение

1. Определяем протяженность маршрута эвакуации по загрязненной территории  $L$  и по формуле (15) время движения эвакуируемого населения  $T$ :

$$L = \sum_{n=1}^4 I_n = 1,4 + 1,0 + 6,0 + 5,0 = 13,4 \text{ км;}$$

$$T = \frac{13,4}{4} = 3,4 \text{ ч.}$$

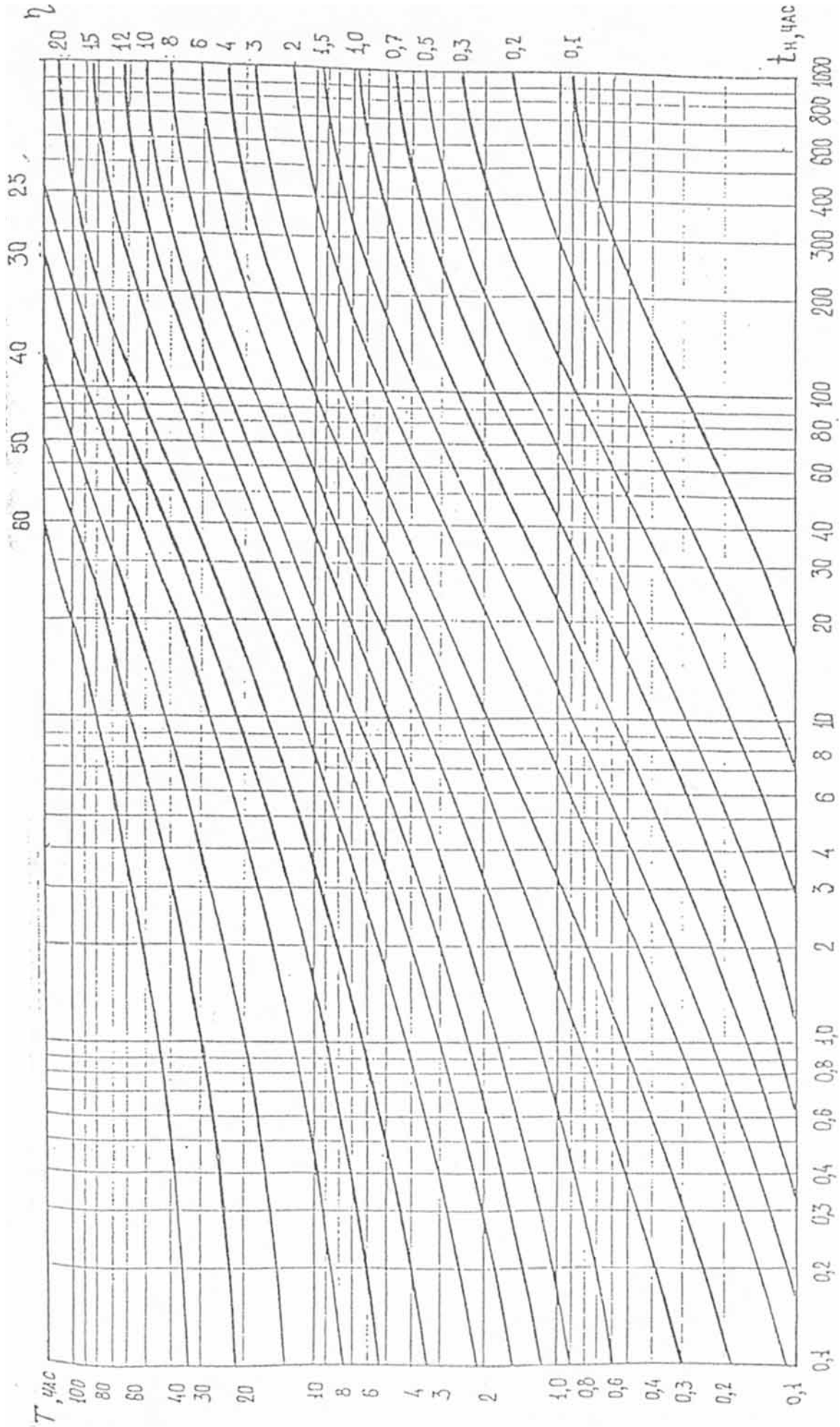


Рис. 1. Зависимость допустимого времени пребывания на загрязненной территории  $T$ , ч, от времени начала облучения  $t_n$ , ч, при различных значениях коэффициента  $\eta$

2. По найденным значениям мощности дозы гамма-излучения на 3 часа после разрушения реактора и коэффициента пересчета  $K_1 = K_{24} = 0,22$  (табл. 25 приложения 1) определяем мощность дозы гамма-излучения в граничных точках маршрута на  $t = 24$  ч после начала выброса:

$$P_{24}^1 = 0,22 \cdot 62 = 13,6 \text{ мЗв/ч};$$

$$P_{24}^2 = 0,22 \cdot 65 = 14,3 \text{ мЗв/ч};$$

$$P_{24}^3 = 0,22 \cdot 55 = 12,1 \text{ мЗв/ч};$$

$$P_{24}^4 = 0,22 \cdot 15 = 3,3 \text{ мЗв/ч};$$

$$P_{24}^5 = 0,22 \cdot 0,8 = 0,2 \text{ мЗв/ч}.$$

3. По формуле (16) определяем среднюю мощность дозы на маршруте на 24 часа после начала выброса

$$P_{24} = \frac{13,6 + 0,2}{2 \cdot 4} + \frac{14,3 + 12,1 + 3,3}{4} = 10 \text{ мЗв/ч}.$$

4. По формуле (17) определяем коэффициент  $\eta$ :

$$\eta = \frac{D_D \cdot K_0}{P_{24}} = \frac{50 \cdot 1}{10} = 5,$$

где:  $D_D = 50$  мЗв — заданная доза облучения.

5. Допустимое время начала преодоления следа определяем по графику (рис. 1). Для этого на вертикальной оси откладываем время  $T = 3,4$  ч, равное продолжительности движения пешей колонны по маршруту, и проводим горизонтальную прямую до пересечения с кривой  $\eta = 1,5$ . Из точки их пересечения опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось и получаем допустимое время начала движения  $t_{4н0} = 14$  ч.

### *2.2.6. Определение допустимого времени пребывания на загрязненной территории*

#### Дополнительная информация

Координаты месторасположения  $X$  (км),  $Y$  (км); время начала пребывания на загрязненной территории, отсчитываемое с момента разрушения реактора АЭС  $t_n$ , ч:

- допустимая (заданная) доза облучения  $D_D$ , мЗв;
- коэффициент ослабления радиации  $K_0$ .

#### Порядок решения

1. Согласно п.2.1.4. определяется мощность дозы внешнего гамма-облучения в месте расположения ( $X$ ,  $Y$ ) на момент времени  $t = 24$  ч после разрушения реактора.

2. По формуле (17) определяется коэффициент  $\eta$ .

3. Если время начала облучения  $t_n$  совпадает с моментом формирования следа облака, последнее определяется по формуле (4).

4. По вычисленному времени  $t_n = t_\phi$  (или по заданному времени начала облучения  $t_n$ ) и коэффициенту  $\eta$ , используя график (рис. 1), определяется допустимое время пребывания на загрязненной территории  $T$ .

### 2.2.7. Определение допустимого времени начала работ на загрязненной территории

#### Дополнительная информация

- координаты места проведения работ ( $X, Y$ ), км;
- продолжительность работы  $T$ , ч;
- допустимая доза облучения  $D_D$ , мЗв.

#### Порядок решения

На карту (схему) наносится место (район) проведения работ и определяются его координаты относительно аварийного реактора. Согласно п. 2.1.4. определяется мощность дозы в месте проведения работ на момент времени  $t = 24$  ч после разрушения реактора.

По формуле (17) рассчитывается значение коэффициента  $\eta$  и по графику (рис. 1) определяется допустимое время начала работ  $t_n$ .

#### Пример 9

В 15.00 12.07 произошло разрушение реактора РБМК-1000 на Южной АЭС с выбросом РВ в атмосферу. Скорость ветра  $V_0 = 3$  м/с, направление ветра  $\psi = 270^\circ$ , конвекция. Допустимая доза облучения 50 мЗв.

Определить:

а) допустимое время пребывания населения на открытой местности в д. Тарасово  $A$  ( $X = 10$  км,  $Y = 0,5$  км), считая, что время начала облучения совпадает с временем прихода радиоактивного облака;

б) допустимое время начала работ в д. Тарасово с продолжительностью первой смены  $T_{4H 0} = 4$  ч.

#### Решение

1. Согласно п. 2.1.4 определяем мощность дозы внешнего гамма-излучения в точке  $A$  на  $t = 24$  ч. Примем значение мощности дозы в точке  $A$  на 3 часа после разрушения  $P_3^A = 26,2$  мЗв/ч. Используя значение  $P_3^A$  и значение коэффициента пересчета  $K_t$  на  $t = 24$  часа (табл. 25 приложения 1), получаем

$$P_{24}^A = 0,22 \cdot 26,2 = 5,8 \text{ мЗв/ч.}$$

2. По формуле (17) определяем коэффициент

$$\eta = \frac{50 \cdot 1}{5,8} = 9.$$

3. По формуле (4) определяем время подхода облака к д. Тарасово

$$t_{nA} = 0,23 \cdot \frac{10}{3} \approx 1 \text{ ч.}$$

4. По вычисленному времени начала облучения и коэффициенту  $\eta$ , используя график (рис. 1), определяется допустимое время пребывания на загрязнен-

ной территории  $T_A$ . Для этого на оси абсцисс откладываем время  $T_A = 1$  ч и проводим вертикальную линию до пересечения с кривой, соответствующей найденному значению коэффициента  $\eta = 9$ . Проведя из этой точки перпендикуляр на ось ординат, получаем допустимое время пребывания на загрязненной территории

$$T_A = 2 \text{ ч.}$$

5. Для определения допустимого времени начала работ первой смены в д. Тарасово на оси ординат графика (рис. 1) откладываем  $T = 4$  ч и проводим прямую до пересечения с линией, соответствующей значению коэффициента  $\eta = 9$ . Опуская из точки пересечения перпендикуляр на ось абсцисс, получаем допустимое время начала работ первой смены:

$$t_H = 5 \text{ ч.}$$

### **3. Выявление и оценка радиационной обстановки по данным разведки**

#### ***3.1. Выявление радиационной обстановки по данным разведки***

Исходными данными для выявления радиационной обстановки по данным разведки являются мощность дозы гамма-излучения и время ее измерения в отдельных точках местности. Мощность дозы гамма-излучения на местности измеряется на высоте 1 м от поверхности земли.

Эти данные служат основой для уточнения принятых решений на проведение мероприятий по защите населения и ведению работ в районах загрязнения. Для этого на карте (схеме) отмечаются точки, где измерена мощность дозы на местности. У каждой из этих точек указывается величина мощности дозы и время ее измерения.

При выявлении радиационной обстановки по данным разведки проводится определение мощности дозы гамма-излучения на заданное время в различных точках зоны загрязнения.

#### ***3.2. Оценка радиационной обстановки по данным разведки***

При оценке радиационной обстановки, выявленной по данным разведки, решаются в основном те же задачи, что и при оценке радиационной обстановки методом прогнозирования.

Решение задач по определению параметров радиационной обстановки осуществляется на карте (плане) с нанесенными значениями уровней радиации на местности, а также месторасположением населения.

Задачи, решаемые при оценке радиационной обстановки:

— определение дозы внешнего гамма-облучения при расположении на загрязненной местности;

- определение дозы внешнего гамма-облучения при преодолении участка загрязненной местности;
- определение допустимого времени начала преодоления участка загрязненного маршрута;
- определение допустимого времени пребывания на загрязненной территории;
- определение допустимого времени начала работ на загрязненной территории.

Решение задач по выявлению и оценке радиационной обстановки по данным разведки осуществляется по тем же формулам, что и методом прогнозирования, с использованием измеренных в ходе разведки мощностей доз гамма-излучения и плотностей радиоактивного загрязнения местности.

## Приложение 1

*Таблица 1*

Значение коэффициента **a** для различных степеней вертикальной устойчивости атмосферы

Коэффициент	Конвекция	Изотермия	Инверсия
<b>a</b>	0,20	0,06	0,03

*Таблица 2*

Значение коэффициента  $\alpha$  для различных степеней вертикальной устойчивости атмосферы

Коэффициент	Конвекция	Изотермия	Инверсия
$\alpha$	0,23	0,20	0,09

Таблица 3

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (конвекция, скорость ветра  $V_0 \leq 2$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	8	19	31	50	80	122	185	240				
10	7	14	25	37	55	85	120	160	270			
50	4	8	11	15	20	30	45	55	90	110	125	230
100	3	6	8	10	13	18	26	32	50	62	72	147
250		3	4	6	7	10	13	16	24	30	35	70
500			3	4	5	6	8	10	14	18	20	40
750				3	4	5	6	7	9	10	12	28
1 000					3	4	5	6	8	9	10	22
2 000							3	4	5	6	7	13
3 000								3	4	4,5	5	10

Таблица 4

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (конвекция, скорость ветра  $V_0 = 3$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	10	20	33	48	70	110	160	200	300			
10	8	16	22	35	50	72	100	123	190	280		
50	4	7	10	13	18	24	33	40	56	80	90	160
100	3	5	6	8	11	14	20	25	34	45	50	95
250			4	5	6	7	10	12	16	22	26	47
500				3	4	5	6	8	10	13	15	26
750					3	4	5	6	7	10	11	19
1 000							4	5	6	8	9	15
2 000								3	4	5	6	9
3 000										3	4	7



Таблица 5

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (конвекция, скорость ветра  $V_0 = 4$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_{\phi}$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	12	23	32	50	68	95	120	190	300			
10	9	16	22	33	45	60	90	110	180	240		
50	4	6	8	11	15	20	26	35	50	65	100	150
100		4	5	7	9	11	15	20	27	37	57	82
250			3	4	5	6	8	10	13	18	27	40
500					3	4	5	6	8	10	14	21
750							3	4	5	7	11	16
1 000								3	4	6	8	12
2 000										3	5	7
3 000											4	5
5 000												3

Таблица 6

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (изотермия, скорость ветра  $V_0 \leq 2$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_{\phi}$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	10	28	55	95	142	200	280					
10	9	26	47	80	120	160	225	270				
50	8	19	30	47	69	90	115	140	200	230	240	
100	6	15	24	35	50	65	85	102	140	160	180	250
250	3	10	16	22	33	42	53	67	92	100	110	170
500		5	10	14	20	27	35	45	60	70	80	110
750			6	10	15	20	28	36	50	60	66	100
1 000			3	7	11	16	22	28	40	47	54	85
2 000					4	8	13	18	26	32	37	60
3 000						3	8	12	18	23	27	47

Таблица 7

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (изотермия, скорость ветра  $V_0 = 5$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	21	55	95	150	230	300						
10	19	45	75	118	170	240	300					
50	10	23	35	47	70	95	135	163	240	300		
100	6	14	22	30	45	60	90	105	150	200	220	
250		5	10	15	22	30	46	56	80	100	120	220
500			3	6	10	16	24	30	45	60	70	130
750					6	10	16	21	32	43	50	95
1 000							6	12	16	25	40	80
2 000							3	7	12	18	21	45
3 000									6	10	12	30

Таблица 8

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (изотермия, скорость ветра  $V_0 \geq 7$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	26	65	110	170	260							
10	22	50	80	120	180	250						
50	10	20	30	45	65	90	120	160	230	300		
100	5	11	18	26	37	50	80	100	140	180	210	
250		3	7	10	16	23	35	47	65	90	100	200
500				3	6	10	18	25	35	50	60	120
750					3	6	11	16	23	33	40	90
1 000						3	8	10	16	24	30	70
2 000								3	7	11	15	37
3 000									3	6	9	24

Таблица 9

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (инверсия, скорость ветра  $V_0 \leq 2$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_{\phi}$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	22	60	95	140	170	190	230	250	290			
10	20	53	85	120	150	170	195	210	242	262	275	
50	14	37	55	70	90	105	125	140	165	180	195	235
100	10	27	40	53	70	80	100	115	137	155	160	200
250	4	14	23	33	45	56	70	85	100	110	120	160
500		4	10	20	29	37	50	60	75	87	93	125
750			5	12	20	28	40	49	63	73	80	110
1 000				7	13	21	32	40	53	64	70	100
2 000						6	15	22	34	43	47	75
3 000							7	13	23	33	37	62

Таблица 10

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (инверсия, скорость ветра  $V_0 = 3$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_{\phi}$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	30	80	120	180	235	280						
10	28	70	100	150	190	235	280					
50	18	40	57	77	100	120	150	185	220	250	275	
100	10	27	42	55	72	90	110	140	165	195	215	290
250		12	20	30	43	53	75	95	110	130	140	210
500			6	14	23	31	46	60	77	95	105	160
750				6	13	22	35	45	60	77	88	130
1 000					7	14	26	35	48	62	70	115
2 000							8	16	26	36	43	80
3 000								6	15	24	30	60

Таблица 11

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
РБМК-1000, км (инверсия, скорость ветра  $V_0 = 4$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_{\phi}$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	36	95	165	240	300							
10	33	75	120	175	230	290						
50	19	37	55	80	105	125	170	220	260			
100	10	24	35	50	70	90	120	145	180	230	250	
250		6	14	24	36	49	67	85	105	130	150	235
500				7	16	25	38	50	65	90	100	180
750					5	14	24	35	47	65	73	130
1 000						5	14	24	35	50	60	100
2 000								5	14	24	32	65
3 000									3	12	20	47

Таблица 12

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (конвекция, скорость ветра  $V_0 \leq 2$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_{\phi}$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	10	24	37	75	120	170	300					
10	8	22	32	60	90	120	210	280				
50	6	12	19	27	40	53	80	110	170	220	250	
100	4	9	13	18	25	35	50	67	100	130	150	300
250	3	5	8	10	14	19	27	35	50	65	73	150
500		4	5	7	9	11	16	21	30	38	45	90
750		3	4	5	6	8	12	16	22	28	34	65
1 000			4	5	6	7	10	12	17	22	26	50
2 000					3	4	6	8	10	13	15	30
3 000						3	4	6	7	9	11	23

Таблица 13

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (конвекция, скорость ветра  $V_0 = 3$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	12	28	51	90	120	240						
10	10	22	39	62	95	150	260					
50	6	11	18	25	35	50	76	110	190	260	300	
100	5	8	12	16	22	30	40	60	100	130	160	
250	3	5	7	9	11	15	20	26	40	55	65	150
500		3	4	5	7	9	12	15	21	29	34	75
750			3	4	5	7	9	11	15	20	24	50
1 000				3	4	5	7	9	12	16	19	40
2 000						3	4	5	7	9	11	21
3 000							3	4	5	7	8	15

Таблица 14

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (конвекция, скорость ветра  $V_0 = 5$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	15	34	55	90	140	220						
10	11	24	38	60	90	140	220	300				
50	6	10	14	19	27	37	55	80	120	180	210	
100	4,5	6,5	9	12	16	20	30	40	60	90	110	220
250	3	4	5	6,5	8	10	14	19	25	36	45	100
500			3	4	5	6	8	11	14	19	23	50
750				3	4	5	6,5	8	10	14	16	34
1 000					3	4	5	6,5	8	11	13	26
2 000							3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	15
3 000								3	4	5	5,5	10

Таблица 15

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (изотермия, скорость ветра  $V_0 \leq 2$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	10	29	60	110	180	260						
10	9	28	28	56	95	150	210	280				
50	9	23	42	65	95	125	170	200	270			
100	8	20	34	50	75	95	125	150	200	240	270	
250	6	15	24	35	47	62	85	100	140	165	190	220
500	4	10	16	24	32	43	56	70	95	120	140	180
750	3	8	13	19	26	34	46	60	80	100	110	150
1 000		5,5	10	15	21	27	39	49	69	85	95	135
2 000			4,5	8	12	18	25	32	45	57	65	96
3 000				4,5	8	12	18	23	33	42	48	75

Таблица 16

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (изотермия, скорость ветра  $V_0 = 5$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	24	75	120	200								
10	20	56	93	180	260							
50	13	30	50	75	110	160	240	300				
100	7	18	27	43	60	90	130	180	280			
250		7	12	19	28	40	60	90	130	180	210	
500			4	7	13	19	28	44	65	90	105	250
750				3	7	11	19	28	42	60	70	180
1 000					4	7	13	20	30	43	50	135
2 000							4	7	13	20	24	65
3 000								3	6	11	15	40

Таблица 17

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (изотермия, скорость ветра  $V_0 \geq 7$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_{\phi}$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	25	75	125	205								
10	21	60	95	170	270							
50	12	30	50	75	110	160	240	295				
100	9	20	32	45	66	91	140	200	290			
250	4,5	10	15	22	34	46	70	95	140	190	225	
500		4,5	8	12	20	26	42	53	80	110	130	270
750			4,5	8	12	18	27	35	55	75	95	200
1 000			3	5	9	13	20	26	41	56	70	150
2 000						4,5	9	12	20	28	36	85
3 000								5	8	13	24	56

Таблица 18

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (инверсия, скорость ветра  $V_0 \leq 2$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_{\phi}$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	24	60	95	135	180	205	240	275				
10	22	53	80	115	145	170	200	230	275	300		
50	15	32	50	70	87	97	120	140	170	190	210	260
100	11	24	36	50	62	72	92	110	130	150	165	210
250	6	15	24	32	45	50	65	77	90	100	115	155
500		7	13	19	26	34	47	57	68	80	90	120
750		3	7	13	19	26	36	45	55	65	70	100
1 000			3	8,5	14	20	28	37	47	55	62	93
2000					4	9	16	22	30	37	42	66
3000						3	9	14	21	27	31	55

Таблица 19

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (инверсия, скорость ветра  $V_0 = 3$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	30	75	115	150	170	187	200	210	220	230	240	260
10	27	62	93	125	143	158	175	185	200	210	220	235
50	16	35	50	67	87	105	120	130	150	160	167	190
100	11	24	35	47	63	75	95	105	125	137	150	170
250	3,5	12	18	25	38	46	60	73	92	105	110	140
500		3	9	14	21	28	40	50	65	75	85	118
750			3	7	14	20	29	38	52	63	70	100
1 000				3	9	14	22	30	42	50	57	90
2 000						3	10	15	23	30	35	63
3 000							3	8	14	20	24	50

Таблица 20

Глубина зоны радиоактивного загрязнения местности при разрушении  
ВВЭР-1000, км (инверсия, скорость ветра  $V_0 = 4$  м/с)

Доза, мЗв	Время формирования заданной дозы внешнего гамма-облучения, $t_f$											
	часы					сутки				месяцы		
	1	3	6	12	24	2	5	10	30	2	3	12
5	37	90	135	195	250							
10	32	70	105	150	190	220	230					
50	17	38	52	70	90	115	145	180	230	260	285	
100	10	25	35	50	65	85	105	130	165	190	215	300
250		8	14	24	34	47	63	80	98	115	130	200
500			3	9	16	26	38	50	65	80	90	140
750					7	15	26	35	45	58	67	115
1 000						7	19	26	36	47	56	96
2 000								8	16	24	32	62
3000									6	14	20	48



Таблица 21

Глубина зон радиоактивного облучения щитовидной железы при  
разрушении реактора РБМК-1000, км

Доза, мГр	Категория населения	Конвекция			Изотермия			Инверсия		
		Скорость ветра, м/с								
		≤2	3	4	≤2	5	≥7	≤2	3	4
50	Взрослые	200	180	160	245	280	>300	230	260	290
	Дети	290	260	230	>300	>300	>300	>260	>300	>300
200	Взрослые	105	88	64	175	195	210	170	200	220
	Дети	185	160	135	230	260	290	210	240	270
250	Взрослые	90	69	51	160	185	195	160	190	205
	Дети	165	140	115	210	240	270	200	235	255
500	Взрослые	50	40	27	130	150	140	135	180	170
	Дети	110	99	66	175	200	220	175	200	210
2 500	Взрослые	14	11	9	60	48	40	77	85	87
	Дети	33	25	19	105	115	100	120	135	140
5 000	Взрослые	10	8	6	40	30	23	60	57	57
	Дети	19	14	11	75	65	55	90	100	105

Таблица 22

Глубина зон радиоактивного облучения щитовидной железы при  
разрушении реактора ВВЭР-1000, км

Доза, мГр	Категория населения	Конвекция			Изотермия			Инверсия		
		Скорость ветра, м/с								
		≤2	3	4	≤2	5	≥7	≤2	3	4
50	Взрослые	260	255	245	245	300	>300	240	280	>300
	Дети	>300	>300	>300	>280	>300	>300	270	>300	>300
200	Взрослые	160	145	120	190	250	260	195	230	280
	Дети	235	225	210	230	300	300	230	270	>300
250	Взрослые	140	125	98	180	235	240	185	220	270
	Дети	220	205	190	220	295	300	220	280	300
500	Взрослые	95	75	54	155	190	190	160	190	225
	Дети	170	150	125	195	255	260	195	235	290
2 500	Взрослые	28	20	14	90	90	78	105	120	130
	Дети	56	46	30	130	156	150	140	170	190
5 000	Взрослые	15	12	9	60	55	45	75	85	90
	Дети	30	24	17	98	110	98	115	135	140

Таблица 23

Мощность дозы гамма-излучения  $P_1^0$  на оси следа облака, приведенная на 1 час после начала выброса при разрушении РБМК-1000, мЗв

Расстояние от реактора, км	Устойчивость атмосферы								
	конвекция			изотермия			инверсия		
	Скорость ветра, м/с								
	≤2	3	5	≤2	3	≥7	≤2	3	4
1	470,0	310,0	180,0	320,0	140,0	100,0	240,0	160,0	105,0
3	130,0	89,0	54,0	290,0	120,0	90,0	220,0	150,0	100,0
5	60,0	42,0	26,0	250,0	99,0	73,0	200,0	135,0	95,0
10	20,0	16,0	10,0	170,0	73,0	51,0	160,0	115,0	85,0
15	13,0	9,0	5,7	110,0	50,0	37,0	140,0	97,0	73,0
20	9,4	6,3	4,1	74,0	37,0	27,0	120,0	84,0	65,0
25	6,9	5,0	3,1	56,0	30,0	23,0	93,0	70,0	55,0
30	5,5	3,9	2,6	44,0	24,0	19,0	76,0	59,0	48,0
35	4,6	3,4	2,1	35,0	20,0	15,0	63,0	50,0	42,0
40	3,9	3,0	1,9	28,0	17,0	13,0	51,0	42,0	36,0
45	3,4	2,6	1,6	25,0	16,0	12,0	44,0	36,0	31,0
50	3,0	2,2	1,5	21,0	14,0	11,0	36,0	32,0	26,0
60	2,5	1,8	1,2	16,0	11,0	8,6	27,0	25,0	21,0
70	2,0	1,5	1,0	12,0	9,0	7,5	19,0	19,0	17,0
80	1,8	1,3	0,9	9,6	7,8	6,4	14,0	15,0	15,0
90	1,5	1,1	0,8	7,8	6,7	5,6	11,0	12,0	12,0
100	1,4	1,0	0,7	6,1	5,9	5,0	8,5	10,0	10,0
200	0,4	0,3	0,2	0,6	1,5	1,5	0,7	1,3	1,3
300	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2

Таблица 24

Мощность дозы гамма-излучения  $P_1^0$  на оси следа облака, приведенная на 1 час после начала выброса при разрушении ВВЭР-1000, мЗв

Расстояние от реактора, км	Устойчивость атмосферы								
	конвекция			изотермия			инверсия		
	Скорость ветра, м/с								
	≤2	3	5	≤2	3	≥7	≤2	3	4
1	1250	840	510	900	320	170	320	200	120
3	350	250	150	700	240	140	280	180	110
5	160	110	68	550	190	110	250	160	105
10	55	39	25	370	110	78	190	130	90
15	35	24	15	260	74	54	120	84	64
20	24	18	11	110	54	40	97	71	56
25	19	13	8,7	90	49	36	78	60	48
30	15	11	6,7	70	39	30	65	50	41
35	12	8,7	5,7	63	37	29	53	43	35
40	11	7,7	5,3	52	32	25	43	36	30
45	9,8	7,0	4,5	46	31	24	35	31	27
50	8,4	6,3	4,0	39	27	21	29	27	23
60	7,0	5,2	3,4	31	24	19	21	20	18
70	5,8	4,4	2,9	24	20	17	15	15	15
80	5,1	3,9	2,6	20	19	15	11	12	12
90	4,4	3,4	2,3	16	15	12	7,7	9,7	8,7
100	3,8	3,2	2,1	14	13	11	5,9	7,7	6,4
200	1,9	1,2	0,7	2,4	2,6	2,3	0,3	0,8	1,4
300	0,2	0,4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,01	0,1	0,2

Таблица 25  
Коэффициент пересчета  $K_T$  значений мощности дозы гамма-излучения на заданное время после разрушения

В	Время, на которое пересчитывается мощность дозы (прошедшее с момента разрушения реактора), час																					
	1	3	6	9	12	18	24	26	48	60	72	84	96	120	144	168	240	480	720	1440	2160	8640
1	1	0,64	0,42	0,30	0,25	0,17	0,14	0,11	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
3	1,56	1	0,66	0	0,39	0,27	0,22	0,17	0,13	0,11	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02
6	2,38	1,52	1	0	0,60	0,40	0,33	0,26	0,19	0,17	0,14	0,13	0,12	0,11	0,16	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
9	3,33	2,13	1,40	1	0,83	0,57	0,47	0,37	0,27	0,23	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,11	0,09	0,06	0,05	0,04	0,03
12	4,00	2,56	1,68	1	1	0,68	0,56	0,44	0,32	0,28	0,24	0,22	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,11	0,07	0,06	0,05	0,04
18	5,88	3,76	2,47	1	1,47	1	0,82	0,65	0,47	0,41	0,35	0,32	0,31	0,26	0,25	0,22	0,20	0,16	0,10	0,08	0,08	0,06
24	7,14	4,57	3,00	2	1,79	1,21	1	0,79	0,57	0,50	0,43	0,39	0,37	0,31	0,30	0,27	0,24	0,19	0,12	0,10	0,09	0,07
36	9,09	5,82	3,82	2	2,27	1,55	1,27	1	0,73	0,64	0,55	0,50	0,47	0,40	0,38	0,35	0,31	0,25	0,16	0,13	0,11	0,09
48	12,50	8,00	5,25	3	3,13	2,13	1,75	1,38	1	0,88	0,75	0,69	0,65	0,55	0,53	0,48	0,43	0,34	0,21	0,18	0,16	0,13
60	14,30	9,10	6,00	4	3,57	2,43	2,00	1,57	1,14	1	0,86	0,79	0,74	0,63	0,60	0,64	0,49	0,39	0,24	0,20	0,19	0,14
72	16,70	10,70	7,00	5	4,17	2,83	2,33	1,83	1,33	1,17	1	0,92	0,87	0,73	0,70	0,63	0,57	0,45	0,28	0,23	0,22	0,17
84	18,20	11,60	7,64	5	4,55	3,09	2,55	2,00	1,45	1,27	1,09	1	0,95	0,80	0,76	0,69	0,62	0,49	0,31	0,26	0,24	0,18
96	19,20	12,30	8,08	5	4,81	3,27	2,69	2,12	1,54	1,35	1,15	1,06	1	0,85	0,81	0,73	0,65	0,52	0,33	0,27	0,25	0,19
120	22,70	14,50	9,55	6	5,68	3,86	3,18	2,50	1,82	1,59	1,36	1,25	1,18	1	0,95	0,86	0,77	0,61	0,39	0,32	0,30	0,23
144	23,80	15,20	10,00	7	5,95	4,05	3,33	2,62	1,90	1,67	1,43	1,31	1,24	1,05	1	0,91	0,81	0,64	0,41	0,33	0,31	0,24
168	26,30	16,80	11,10	7	6,58	4,47	3,68	2,89	2,11	1,84	1,59	1,47	1,37	1,16	1,11	1	0,99	0,71	0,45	0,37	0,34	0,26
240	29,40	18,80	12,40	8	7,35	5,00	4,12	3,24	2,35	2,06	1,76	1,62	1,53	1,29	1,24	1,12	1	0,79	0,50	0,41	0,38	0,29
480	37,00	23,70	15,60	11	9,26	6,30	5,19	4,07	2,96	2,59	2,22	2,04	1,93	1,63	1,66	1,41	1,26	1	0,63	0,52	0,48	0,37
720	58,80	37,60	24,70	17	14,70	10,00	8,23	6,47	4,71	4,12	3,53	3,24	3,06	2,59	2,47	2,24	2,00	1,59	1	0,82	0,77	0,59
1440	71,40	45,70	30,00	21	17,90	12,10	10,00	7,86	5,71	5,00	4,29	3,93	3,71	3,14	3,00	2,71	2,43	1,93	1,21	1	0,93	0,71
2160	76,90	49,20	32,30	23	19,20	13,10	10,80	8,46	6,15	5,38	4,61	4,23	4,00	3,38	3,23	2,92	2,62	2,08	1,31	1,08	1	0,77
8640	100,00	64,00	42,00	30,00	25,00	17,00	14,00	11,00	8,00	7,00	6,00	5,50	5,20	4,40	4,20	3,80	3,40	2,70	1,70	1,40	1,30	1

В — время, на которое определена мощность дозы облучения, час.

Таблица 26

Значение коэффициента  $K_y$  для определения мощности дозы, дозы внешнего и внутреннего облучения в стороне от оси следа (устойчивость атмосферы — конвекция);  $Z$  — расстояние от АЭС по оси

Z, км	Удаление от оси, км															
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	3,5	
1	0,06															
3	0,69	0,22	0,03													
5	0,87	0,54	0,25	0,08	0,02											
10	0,95	0,81	0,63	0,44	0,27	0,16	0,04									
15	0,97	0,89	0,77	0,63	0,49	0,36	0,16	0,02								
20	0,98	0,94	0,84	0,73	0,62	0,5	0,29	0,06	0,01							
25	0,98	0,94	0,88	0,79	0,7	0,59	0,4	0,12	0,02							
30	0,99	0,95	0,9	0,83	0,75	0,66	0,48	0,19	0,05	0,01						
35	0,99	0,96	0,92	0,86	0,79	0,71	0,54	0,25	0,09	0,02						
40	1	0,97	0,93	0,88	0,82	0,75	0,6	0,31	0,13	0,04						
45	1	0,97	0,94	0,89	0,84	0,78	0,64	0,36	0,17	0,06						
50	1	0,98	0,94	0,9	0,86	0,8	0,67	0,41	0,2	0,08						
60	1	0,98	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79	0,49	0,28	0,13	0,01					
70	1	0,98	0,96	0,93	0,9	0,86	0,76	0,54	0,34	0,19	0,02					
80	1	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,79	0,59	0,39	0,23	0,04					
90	1	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,82	0,63	0,44	0,28	0,06					
100	1	0,99	0,97	0,96	0,93	0,9	0,83	0,66	0,48	0,32	0,08	0,01				
200	1	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,82	0,71	0,58	0,03	0,11	0,03			
300	1	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,88	0,8	0,7	0,45	0,24	0,11	0,04	0,01	

Таблица 27

Значение коэффициента  $K_y$  для определения мощности дозы,  
дозы внешнего и внутреннего облучения в стороне от оси следа  
(устойчивость атмосферы — изотермия)

Расстояние от АЭС по оси, км	Удаление по оси, км									
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	6	8	10
3	0,06									
5	0,31	0,01								
10	0,67	0,21	0,03							
15	0,8	0,42	0,14	0,03						
20	0,86	0,56	0,27	0,1	0,03					
25	0,9	0,65	0,37	0,17	0,06	0,02				
30	0,92	0,71	0,46	0,25	0,11	0,04				
35	0,93	0,75	0,52	0,32	0,17	0,08	0,01			
40	0,94	0,78	0,58	0,38	0,22	0,11	0,02			
45	0,95	0,8	0,62	0,43	0,27	0,15	0,03			
50	0,95	0,82	0,65	0,47	0,31	0,18	0,05			
60	0,96	0,86	0,71	0,54	0,39	0,25	0,09			
70	0,97	0,88	0,75	0,6	0,45	0,32	0,13	0,01		
80	0,97	0,9	0,78	0,64	0,5	0,37	0,17	0,02		
90	0,98	0,91	0,8	0,68	0,55	0,42	0,21	0,03		
100	0,98	0,92	0,82	0,71	0,58	0,46	0,25	0,05		
200	0,99	0,96	0,91	0,85	0,77	0,69	0,52	0,23	0,07	0,02
300	0,99	0,97	0,94	0,9	0,85	0,78	0,65	0,38	0,18	0,07

Таблица 28

Значение коэффициента  $K_y$  для определения мощности дозы,  
дозы внешнего и внутреннего облучения в стороне от оси следа  
(устойчивость атмосферы — изотермия)

Расстояние от АЭС по оси, км	Удаление по оси, км											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9
5	0,12											
10	0,5	0,06										
15	0,68	0,21	0,03									
20	0,77	0,35	0,1	0,02								

Расстояние от АЭС по оси, км	Удаление по оси, км											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9
25	0,82	0,46	0,17	0,09	0,01							
30	0,86	0,54	0,25	0,70	0,01							
35	0,88	0,6	0,32	0,14	0,10	0,01						
40	0,9	0,65	0,38	0,20	0,11	0,02						
45	0,91	0,69	0,43	0,25	0,12	0,03						
50	0,92	0,72	0,47	0,29	0,16	0,05						
60	0,93	0,76	0,54	0,35	0,22	0,09	0,01					
70	0,94	0,8	0,6	0,41	0,26	0,13	0,02					
80	0,95	0,82	0,64	0,45	0,30	0,17	0,04					
90	0,96	0,84	0,68	0,49	0,34	0,21	0,06	0,01				
100	0,96	0,86	0,71	0,52	0,37	0,25	0,09	0,02				
200	0,98	0,93	0,85	0,81	0,61	0,52	0,31	0,16	0,07	0,03	0,01	
300	0,99	0,95	0,9	0,81	0,73	0,65	0,47	0,3	0,18	0,1	0,05	0,02

Таблица 29

Доза внешнего гамма-облучения от радиоактивного облака  
при разрушении РБМК-1000, мЗв

Расстояние от реактора, км	Устойчивость атмосферы								
	конвекция			изотермия			инверсия		
	Скорость ветра, м/с								
	≤2	3	5	≤2	3	≥7	≤2	3	4
1	750	560	370						
3	320	240	170	130	69	53	1,4	1,0	0,8
5	130	99	71	320	180	140	46	34	28
10	32	29	21	250	140	110	210	160	140
15	20	15	11	170	98	75	210	170	140
20	13	9,7	9,1	170	70	56	190	150	130
25	8,9	7,2	5,1	91	52	42	170	130	110
30	7,1	5,6	4,0	70	42	34	140	110	98
35	5,6	4,5	3,2	55	35	28	120	98	83
40	4,6	3,8	2,7	45	29	23	110	83	73
45	3,9	3,2	2,3	37	26	21	90	75	65
50	3,4	2,8	2,1	32	22	18	82	66	57
60	2,5	2,1	1,6	23	17	14	62	53	47
70	1,9	1,7	1,4	18	14	1,2	50	43	38

Расстояние от реактора, км	Устойчивость атмосферы								
	конвекция			изотермия			инверсия		
	Скорость ветра, м/с								
	≤2	3	5	≤2	3	≥7	≤2	3	4
80	1,6	1,5	1,1	14	12	10	40	37	32
90	1,3	1,2	0,9	11	11	9,4	34	31	28
100	1,1	1,0	0,8	9,0	9,0	7,9	28	27	25
200	0,17	0,13	0,16	1,0	2,1	2,4	4,7	5,6	7,3
300	0,03	0,02	0,03	0,1	0,5	0,75	0,8	1,2	2,1

Таблица 30

Доза внешнего гамма-облучения от радиоактивного облака при разрушении ВВЭР-1000, мЗв

Расстояние от реактора, км	Устойчивость атмосферы								
	конвекция			изотермия			инверсия		
	Скорость ветра, м/с								
	≤2	3	5	≤2	3	≥7	≤2	3	4
1	520	360	230						
3	230	170	110	96	47	36	90	70	50
5	100	72	50	260	130	96	33	24	19
10	31	23	16	260	110	84	160	130	96
15	17	13	8,7	140	78	59	170	130	110
20	11	7,8	5,5	96	56	45	150	110	96
25	7,8	5,8	4,1	72	43	34	130	100	84
30	5,9	4,5	3,2	54	34	27	110	90	72
35	4,5	3,7	2,6	42	28	23	90	72	66
40	3,7	3,0	2,2	33	23	19	78	66	56
45	3,1	2,6	1,9	27	20	17	66	57	50
50	2,6	2,2	1,6	22	17	14	56	49	44
60	1,9	1,7	1,3	16	14	12	41	38	35
70	1,4	1,5	1,1	11	11	9,2	31	31	28
80	1,2	1,1	0,9	8,4	8	7,6	25	25	23
90	0,9	0,9	0,8	6,6	7,8	6,7	20	20	20
100	0,8	0,8	0,7	5,1	6,6	5,9	16	17	17
200	0,1	0,16	0,2	0,4	2,5	1,7	1,7	2,5	3,8
300	0,01	0,03	0,06	0,03	1,0	0,5	0,2	0,4	0,8



Таблица 31

Значение коэффициента  $K_D$  для определения дозы внешнего гамма-облучения при расположении на следе облака

В	Время конца облучения, $t_x$ , час													
	1	3	6	12	18	24 1 сут.	48 2 сут.	120 5 сут.	240 10 сут.	360 15 сут.	720 30 сут.	1440 60 сут.	2160 90 сут.	8640 360 сут.
0,1	0,95	2,5	4,1	6,1	7,2	8,3	11	15	20	24	31	43	52	123
1	0	1,6	3,2	5,2	6,5	7,4	10	14	19	23	30	42	51	122
3		0	1,6	3,6	4,9	5,8	8,4	13	17	21	29	40	49	120
6			0	2	3,3	4,2	6,8	11	16	19	27	38	48	119
12				0	1,3	2,2	4,8	9,2	14	17	25	36	46	117
18					0	0,9	3,5	7,9	13	16	24	35	44	116
24						0	2,6	7	12	15	23	34	43	115
48							0	4,4	9,1	13	20	31	41	112
120								0	4,7	8,2	16	27	37	108
240									0	3,5	11	22	32	103
360										0	7,7	19	28	100
720											0	11	21	92
1440												0	9,4	81
2160													0	71

В — время начала облучения,  $t_n$ , час.

Таблица 32

Доза внутреннего облучения щитовидной железы людей, находящихся на оси следа облака при разрушении реактора РБМК-1000, мЗв

Расстояние от реактора, км	Устойчивость атмосферы								
	конвекция			изотермия			инверсия		
	Скорость ветра, м/с								
	≤2	3	5	≤2	3	≥7	≤2	3	4
1	105000	68250	41250	6,6	2,6	1,9	0,1	0,1	1,0
3	29250	19500	12000	36750	15000	10500	900	610	460
5	12750	9000	5400	54750	22500	16500	12000	8250	6080
10	4430	3080	1950	36750	15750	12000	32250	21750	16500
15	2480	1160	1130	22880	11250	7880	30750	21380	16500
20	1650	1200	750	15750	8250	5930	25500	18750	14250
25	1280	960	580	11250	6150	4960	20250	15750	12000
30	980	720	470	8250	4950	3830	16500	12750	10500
35	830	600	390	6759	4130	3170	13500	10500	9000
40	680	510	340	5400	3530	2720	10600	9000	7500

Расстояние от реактора, км	Устойчивость атмосферы								
	конвекция			изотермия			инверсия		
	Скорость ветра, м/с								
	≤2	3	5	≤2	3	≥7	≤2	3	4
45	590	440	290	4430	3080	2430	9000	7500	6750
50	520	390	290	3680	2700	2060	7270	6680	5930
60	410	320	220	2700	2100	1650	5100	5030	4650
70	340	260	180	2020	1730	1440	3600	3900	3680
80	290	230	160	1500	1480	1170	2630	3080	3000
90	250	200	130	1200	1200	1000	1950	2400	2480
100	220	170	120	980	1050	890	1500	1950	2030
200	55	38	28	120	190	230	91	200	290
300	14,0	8,3	6,8	14	34	58	5,4	20	41

*Таблица 33*

Доза внутреннего облучения щитовидной железы людей, находящихся на оси следа облака при разрушении реактора ВВЭР-1000, мЗв

Расстояние от реактора, км	Устойчивость атмосферы								
	конвекция			изотермия			инверсия		
	Скорость ветра, м/с								
	≤2	3	5	≤2	3	≥7	≤2	3	4
1	204000	138000	84000	13,2	5,2	3,7	0,1	0,1	0,1
3	57600	39000	24000	72000	29400	21000	1800	1200	900
5	25800	17400	10800	108000	45000	32400	24000	16200	12000
10	9000	6000	3840	72000	31800	23400	66000	43800	33000
15	4950	3480	3220	46800	21600	16200	62700	42600	33200
20	3300	2400	1500	31200	16600	12000	50400	36600	28800
25	2460	1800	1140	22200	12000	9000	40200	30660	24600
30	1920	1440	900	16800	9600	7800	32100	25200	21000
35	1620	1200	780	13200	8400	6600	25800	21600	18000
40	1380	1020	660	10800	7200	5460	21000	18000	15600
45	1140	900	580	9000	6000	4800	17400	15600	13200
50	1020	780	520	7200	5480	4040	14400	13200	12000
60	840	600	430	5220	5200	3300	9600	10200	9000
70	660	530	360	3840	3420	2860	7200	7800	7200
80	570	450	310	2940	2880	2370	5040	5940	5520
90	490	400	280	2280	2400	1990	3720	4680	4860
100	430	350	250	1800	2100	1780	2760	3780	4020
200	110	100	85	150	430	420	140	390	820
300	26	28	29	13	89	100	6,7	41	160

## Приложение 2

Таблица для определения степени вертикальной устойчивости атмосферы

Скорость ветра по прогнозу, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	ясно, перем. облач.	сплошная об-лач.	ясно, перем. облач.	сплошная об-лач.	ясно, перем. облач.	сплошная об-лач.	ясно, перем. облач.	сплошная об-лач.
2	ин	из	из(ин)	из	к(из)	из	ин	из
2—4	ин	из	из(ин)	из	к(из)	из	из(ин)	из
4	из	из	из	из	из	из	из	из

*Примечание:*

1. Обозначения: из — изотермия; ин — инверсия; к — конвекция; буквы в скобках — при снежном покрове.

2. «Утро» — период времени, равный 2-м часам после восхода солнца, «вечер» — равный 2-м часам после захода солнца. Промежутки времени между «утром» и «вечером» и между «вечером» и «утром» — соответственно «день» и «ночь».

3. Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимаются в расчетах на момент аварии.

## Приложение 3

Значения коэффициента ослабления гамма-излучения  $K_0$  типовыми производственными и административными зданиями, жилыми домами, защитными сооружениями и транспортными средствами

Типы зданий, укрытий и транспортных средств	Коэффициент		
	в городах		в сельских населенных пунктах
	прилегает магистральная улица	прилегает улица местного значения	
1	2	3	4
Производственные одноэтажные здания (цехи)	7	7	7
Производственные и административные трехэтажные здания:			
первый этаж	5	5	5
второй этаж	7,5	7,5	7,5
третий этаж	6	6	5
Жилые каменные одноэтажные дома:	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>10</u>
первый этаж	12	13	10
подвал	46	50	37

Приложение 1

1	2	3	4
Жилые каменные двухэтажные дома:	<u>18</u>	<u>20</u>	<u>15</u>
первый этаж	19	21	15
второй этаж	17	19	14
подвал	125	135	100
Жилые каменные трехэтажные дома:	<u>27</u>	<u>33</u>	<u>20</u>
первый этаж	23	26	17
второй этаж	33	44	26
третий этаж	27	30	20
подвал	500	600	400
Жилые каменные пятиэтажные дома:	<u>42</u>	<u>50</u>	<u>27</u>
первый этаж	24	26	18
второй этаж	41	50	27
третий этаж	54	68	33
четвертый этаж	57	75	34
пятый этаж	33	33	24
подвал	500	600	400
Жилые деревянные одноэтажные дома:	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
первый этаж	3	3	2
подвал	8	3	7
Жилые деревянные двухэтажные дома:	<u>10</u>	<u>12</u>	<u>8</u>
первый этаж	10	11	7
второй этаж	11	13	9
подвал	14	16	12
Полевые сооружения:			
недезактивированные открытые траншеи, щели, окопы		3	
дезактивированные (или открытые на загрязненной местности) траншеи, щели, окопы		20	
перекрытые щели		40	
укрытия и убежища		400—1000	
Транспортные средства:			
автомобили, автобусы, трамваи, троллейбусы		2	
Грузовые железнодорожные вагоны:			
платформы		1,5	

1	2	3	4
полувагоны		2	
крытые вагоны		2	
пассажирские вагоны		3	
локомотивы (закрытая кабина или будка)		3	
бронетранспортеры, бульдозеры, автогрейдеры		4	
танки и танковые бульдозеры		10	

*Примечание:* подчеркнутые значения коэффициента  $K_0$  являются средними для всего здания или дома (исключая подвалы).

## Приложение 4

### *Критерии для принятия решения о мерах защиты населения в случае разрушения ядерного реактора*

*Таблица 1*

Критерии для принятия решений на ранней фазе после разрушения АЭС, мГр

Защитные меры	Все тело		Отдельные органы	
	нижний уровень	верхний уровень	нижний уровень	верхний уровень
Укрытие, защита органов дыхания и кожных покровов	5	50	50	500
Йодная профилактика				
взрослые	—	—	50*	500*
дети, беременные женщины	—	—	50*	250*
Эвакуация:				
взрослые	50	500	500	5000
дети, беременные женщины	10	50	200*	500*

\* только для щитовидной железы.

*Таблица 2*

Критерии для принятия решений на средней фазе после разрушения АЭС, мЗв

Защитные меры	Все тело		Отдельные органы	
	нижний уровень	верхний уровень	нижний уровень	верхний уровень
Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды	50	50	500	—
Переселение или эвакуация	50	500	не устанавливается	

## Приложение 2

# Методика прогнозирования масштабов загрязнения аварийно химически опасными веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте

Методика<sup>1</sup> предназначена для заблаговременного и оперативного прогнозирования масштабов загрязнения на случай выбросов аварийно химически опасных веществ (АХОВ) в окружающую среду при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте.

Рекомендуется для использования в федеральных органах исполнительной власти, органах управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) при планировании мероприятий по защите рабочих, служащих и населения от АХОВ и принятии мер защиты непосредственно после аварии, а также для использования в работе оперативных групп комплексного анализа по выявлению причин экстремально высокого уровня загрязнения природной среды управлений по гидрометеорологии Росгидромета.

### 1. Общие положения

1.1. Настоящая методика позволяет осуществлять прогнозирование масштабов зон загрязнения при авариях на технологических емкостях и хранилищах, при транспортировке железнодорожным, трубопроводным и другими видами транспорта, а также в случае разрушения химически опасных объектов.

1.2. Методика распространяется на случай выброса АХОВ в атмосферу в газообразном, парообразном или аэрозольном состоянии.

1.3. Масштабы загрязнения АХОВ в зависимости от их физических свойств и агрегатного состояния рассчитываются для первичного и вторичного облаков:

— для сжиженных газов — отдельно для первичного и вторичного; для сжатых газов — только для первичного;

— для ядовитых жидкостей, кипящих выше температуры окружающей среды, — только для вторичного.

<sup>1</sup> При подготовке Методики к новому изданию устаревшее понятие СДЯВ заменено на АХОВ, а Госгидромет СССР — на Росгидромет.

1.4. Исходные данные для прогнозирования масштабов загрязнения АХОВ:

- общее количество АХОВ на объекте и данные о размещении их запасов в технологических емкостях и трубопроводах;
- количество АХОВ, выброшенных в атмосферу, и характер их разлива на подстилающей поверхности («свободно», «в поддон» или «в обваловку»);
- высота поддона или обваловки складских емкостей;
- метеорологические условия: температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м (на высоте флюгера), степень вертикальной устойчивости воздуха (Приложение 1).

1.5. При заблаговременном прогнозировании масштабов загрязнения на случай производственных аварий в качестве исходных данных рекомендуется принимать: выброс АХОВ ( $Q_0$ ) — количество АХОВ в максимальной по объему единичной емкости (технологической, складской, транспортной и др.)<sup>1</sup>, метеорологические условия — инверсия, скорость ветра 1 м/с.

Для прогноза масштабов загрязнения непосредственно после аварии должны браться конкретные данные о количестве выброшенного (разлившегося) АХОВ и реальные метеоусловия.

1.6. Внешние границы зоны загрязнения АХОВ рассчитываются по пороговой токсодозе при ингаляционном воздействии на организм человека.

1.7. Принятые допущения.

Емкости, содержащие АХОВ, при авариях разрушаются полностью.

Толщина  $h$  слоя жидкости для АХОВ, разлившихся свободно на подстилающей поверхности, принимается равной 0,05 м по всей площади разлива; для АХОВ, разлившихся в поддон или обваловку, определяется следующим образом:

а) при разливах из емкостей, имеющих самостоятельный поддон (обваловку):

$$h = H - 0,2,$$

где:  $H$  — высота поддона (обваловки), м;

б) при разливах из емкостей, расположенных группой, имеющих общий поддон (обваловку):

$$h = \frac{Q_0}{F_d},$$

где:  $Q_0$  — количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т;

$d$  — плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup>;

$F_d$  — реальная площадь разлива в поддон (обваловку), м<sup>2</sup>.

Предельное время пребывания людей в зоне загрязнения и продолжительность сохранения неизменными метеорологических условий (степени вертикальной устойчивости атмосферы, направления и скорости ветра) составляет 4 ч. По истечении указанного времени прогноз должен уточняться.

---

<sup>1</sup> Для сейсмических районов — общий запас АХОВ.

При авариях на газо- и продуктопроводах выброс АХОВ принимается равным максимальному количеству АХОВ, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекающими, например, для аммиакопроводов — 275-500 т.

1.8. Термины и определения.

**Аварийно химически опасное вещество (АХОВ)** — это химическое вещество, применяемое в народном хозяйстве, которое при выливе или выбросе может приводить к заражению воздуха на уровне поражающих концентраций.

**Зона загрязнения АХОВ** — территория, на которой концентрация АХОВ достигает значений, опасных для жизни людей.

**Под прогнозированием масштаба загрязнения АХОВ** понимается определение глубины и площади зоны загрязнения АХОВ.

**Под аварией** понимается нарушение технологических процессов на производстве, повреждение трубопроводов, емкостей, хранилищ, транспортных средств, приводящее к выбросу АХОВ в атмосферу в количествах, которые могут вызвать массовое поражение людей и животных.

**Под разрушением химически опасного объекта** следует понимать результат катастроф и стихийных бедствий, приведших к полной разгерметизации всех емкостей и нарушению технологических коммуникаций.

**Химически опасный объект** — объект, при аварии или разрушении которого могут произойти массовые поражения людей, животных и растений АХОВ.

**Первичное облако** — облако АХОВ, образующееся в результате мгновенного (1—3 мин.) перехода в атмосферу части АХОВ из емкости при ее разрушении.

**Вторичное облако** — облако АХОВ, образующееся в результате испарения разлившегося вещества с подстилающей поверхности.

**Пороговая токсодоза** — ингаляционная токсодоза, вызывающая начальные симптомы поражения.

**Под эквивалентным количеством АХОВ** понимается такое количество хлора, масштаб загрязнения которым при инверсии эквивалентен масштабу загрязнения при данной степени вертикальной устойчивости атмосферы количеством АХОВ, перешедшим в первичное (вторичное) облако.

**Площадь зоны фактического загрязнения АХОВ** — площадь территории, загрязненной АХОВ в опасных для жизни пределах.

**Площадь зоны возможного загрязнения АХОВ** — площадь территории, в пределах которой под воздействием изменения направления ветра может перемещаться облако АХОВ.

## 2. Прогнозирование глубины зоны загрязнения АХОВ

Расчет глубины зоны загрязнения АХОВ ведется с помощью данных, приведенных в приложениях 2—5.



## **2.1. Определение количественных характеристик выброса АХОВ**

Количественные характеристики выброса АХОВ для расчета масштабов загрязнения определяются по их эквивалентным значениям.

### **2.1.1 Определение эквивалентного количества вещества в первичном облаке**

Эквивалентное количество  $Q_{э1}$  (т) вещества в первичном облаке определяется по формуле:

$$Q_{э1} = K_1 K_3 K_5 K_7 Q_0, \quad (1)$$

где:  $K_1$  — коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (приложение 3; для сжатых газов  $K_1=1$ );

$K_3$  — коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого АХОВ (приложение 3);

$K_5$  — коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы; для инверсии принимается равным 1, для изотермии 0,23, для конвекции 0,08;

$K_7$  — коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (приложение 3; для сжатых газов  $K_7=1$ );

$Q_0$  — количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

При авариях на хранилищах сжатого газа  $Q_0$  рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = dV_x, \quad (2)$$

где:  $d$  — плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup> (приложение 3);

$V_x$  — объем хранилища, м<sup>3</sup>.

При авариях на газопроводе  $Q_0$  рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = \frac{ndV_r}{100}, \quad (3)$$

где:  $n$  — содержание АХОВ в природном газе, %;

$d$  — плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup> (приложение 3);

$V_r$  — объем секции газопровода между автоматическими отсекателями, м<sup>3</sup>.

При определении величины  $Q_{э1}$  для сжиженных газов, не вошедших в приложение 3, значение коэффициента  $K_7$  принимается равным 1, а коэффициент  $K_1$  рассчитывается по соотношению:

$$K_1 = \frac{C_p \Delta T}{\Delta H_{исп}}, \quad (4)$$

где:  $C_p$  — удельная теплоемкость жидкого АХОВ, кДж/(кг °С);

$\Delta T$  — разность температур жидкого АХОВ до и после разрушения емкости, °С;

$\Delta H_{исп}$  — удельная теплота испарения жидкого АХОВ при температуре испарения, кДж/кг.

### 2.1.2. Определение эквивалентного количества вещества во вторичном облаке

Эквивалентное количество вещества во вторичном облаке рассчитывается по формуле:

$$Q_{92} = (1 - K_1)K_2K_3K_4K_5K_6K_7, \quad (5)$$

где:  $K_2$  — коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (приложение 3);

$K_4$  — коэффициент, учитывающий скорость ветра (приложение 4);

$K_6$  — коэффициент, зависящий от времени  $t$ , прошедшего после начала аварии;

Значение коэффициента  $K_6$  определяется после расчета продолжительности  $T$  (ч) испарения вещества (см. п. 4.2):

$$K_6 = \begin{cases} t^{0,8} & \text{при } t < T \\ T^{0,8} & \text{при } t \geq T \end{cases}$$

При  $T < 1$  ч  $K_6$  принимается для 1 ч;

$d$  — плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup> (приложение 3);

$h$  — толщина слоя АХОВ, м.

При определении  $Q_{92}$  для веществ, вошедших в приложение 3, значение коэффициента  $K_7$  принимается равным 1, а коэффициент  $K_2$  определяется по формуле:

$$K_2 = 8,1 \cdot 10^{-6} \cdot P \cdot \sqrt{m}, \quad (6)$$

где:  $P$  — давление насыщенного пара вещества при заданной температуре воздуха, мм рт. ст.;

$m$  — молекулярная масса вещества.

### 2.2. Расчет глубины зоны загрязнения при аварии на химически опасном объекте

Расчет глубины зоны загрязнения первичным (вторичным) облаком АХОВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте ведется с использованием приложений 2 и 5. Порядок нанесения зон загрязнения на карту (схему) изложен в приложении 6.

В Приложении 2 приведены максимальные значения глубины зоны загрязнения первичным ( $\Gamma_1$ ) или вторичным ( $\Gamma_2$ ) облаком АХОВ, определяемые в зависимости от эквивалентного количества вещества (его расчет проводится согласно п. 2.1) и скорости ветра. Полная глубина зоны загрязнения  $\Gamma$  (км), обусловленной воздействием первичного и вторичного облака АХОВ, определяется:  $\Gamma = \Gamma' + 0,5\Gamma''$ , где  $\Gamma'$  — наибольший,  $\Gamma''$  — наименьший из размеров  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ . Полученное значение сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс  $\Gamma_n$ , определяемым по формуле:

$$\Gamma_n = tv, \quad (7)$$

где:  $t$  — время от начала аварии, ч;

$v$  — скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч (приложение 5).

За окончательную расчетную глубину зоны загрязнения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений.

### Пример 2.1

На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с жидким хлором, находящимся под давлением. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержалось 40 т сжиженного хлора.

Требуется определить глубину зоны возможного загрязнения хлором при времени от начала аварии 1 ч и продолжительность действия источника загрязнения (время испарения хлора).

Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра 5 м/с, температура воздуха 0 °С, изотермия. Разлив АХОВ на подстилающей поверхности — свободный.

### Решение

1. Так как количество разлившегося жидкого хлора неизвестно, то согласно п.1 принимаем его равным максимальному — 40 т.

2. По формуле (1) определяем эквивалентное количество вещества в первичном облаке:

$$Q_{\text{э1}} = 0,18 \cdot 0,23 \cdot 0,6 \cdot 40 = 1 \text{ т.}$$

3. По формуле (12) (см. п. 4.2) определяем время испарения хлора:

$$T = \frac{0,05 \cdot 1,553}{0,052 \cdot 2,34 \cdot 1} = 0,64 \text{ ч} = 38 \text{ мин.}$$

4. По формуле (5) определяем эквивалентное количество вещества во вторичном облаке:

$$Q_{\text{э2}} = (1 - 0,18) \cdot 0,052 \cdot 1 \cdot 2,34 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot \frac{40}{0,05 \cdot 1,553} = 11,8 \text{ т.}$$

5. По приложению 2 для 1 т находим глубину зоны загрязнения для первичного облака:  $\Gamma_1 = 1,68 \text{ км.}$

6. Находим глубину зоны загрязнения для вторичного облака. Согласно приложению 2 глубина зоны загрязнения для 10 т составляет 5,53 км, а для 20 т — 8,19 км. Интерполированием находим глубину зоны загрязнения для 11,8 т.:

$$\Gamma_2 = 5,53 + \left( \frac{8,19 - 5,53}{20 - 10} \right) (11,8 - 10) = 6,0 \text{ км.}$$

7. Находим полную глубину зоны загрязнения:

$$\Gamma = 6 + 0,5 \cdot 1,68 = 6,84 \text{ км.}$$

8. По формуле (7) находим предельно возможные значения глубины переноса воздушных масс:  $\Gamma_{\text{п}} = 1 \cdot 29 = 29 \text{ км.}$

Таким образом, глубина зоны загрязнения хлором в результате аварии может составить 6,8 км; продолжительность действия источника загрязнения — около 40 мин.

### Пример 2.2

Необходимо оценить опасность возможного очага химического поражения через 1 ч после аварии на химически опасном объекте, расположенном в южной части города. На объекте в газгольдере емкостью 2 000 м<sup>3</sup> хранится аммиак. Температура воздуха 40<sup>0</sup>С. Северная граница объекта находится на расстоянии 200 м от возможного места аварии. Затем идет 300-метровая санитарно-защитная зона, за которой расположены жилые кварталы. Давление в газгольдере — атмосферное.

### Решение

1. Согласно п. 1.5 принимаются метеоусловия: инверсия, скорость ветра 1 м/с.

2. По формуле (2) определяем выброс АХОВ:

$$Q_0 = 0,0008 \cdot 2000 = 1,6 \text{ т.}$$

3. По формуле (1) определяем эквивалентное количество вещества в первичном облаке АХОВ:

$$Q_{\text{э1}} = 1 \cdot 0,004 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 0,06 \text{ т.}$$

4. По приложению 2 интерполированием находим глубину зоны загрязнения:

$$Г_1 = 0,85 + \frac{1,25 - 0,85}{0,05} \cdot 0,01 = 0,93 \text{ км.}$$

5. По формуле (7) находим предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс:

$$Г_n = 1 \cdot 5 = 5 \text{ км.}$$

6. Расчетная глубина зоны загрязнения принимается равной 0,93 км как минимальная из  $Г_1$  и  $Г_n$ .

7. Глубина зоны загрязнения для жилых кварталов:

$$0,93 - 0,2 - 0,3 = 0,43 \text{ км.}$$

Таким образом, облако зараженного воздуха через 1 ч после аварии может представлять опасность для рабочих и служащих химически опасного объекта, а также населения города, проживающего на расстоянии 430 м от санитарно-защитной зоны объекта.

### Пример 2.3

Оценить, на каком расстоянии через 4 ч после аварии будет сохраняться опасность загрязнения населения в зоне химического загрязнения при разрушении изотермического хранилища аммиака емкостью 30 000 т.

Высота обваловки емкости 3,5 м. Температура воздуха 20 °С.

### Решение

1. Поскольку метеоусловия и выброс неизвестны, то, согласно п. 1.5, принимаются метеоусловия — инверсия, скорость ветра — 1 м/с, выброс равен общему количеству вещества, содержащегося в емкости — 30 000 т.

2. По формуле (1) определяем эквивалентное количество вещества в первичном облаке:

$$Q_{\text{э1}} = 0,01 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 30\,000 = 12 \text{ т.}$$

3. По формуле (12), приведенной ниже, определяем время испарения аммиака:

$$T = \frac{(3,5 - 0,2) \cdot 0,681}{0,025 \cdot 1 \cdot 1} = 89,9 \text{ ч.}$$

4. По формуле (5) определяем эквивалентное количество вещества во вторичном облаке:

$$Q_{\text{э2}} = (1 - 0,01) \cdot 0,025 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 4^{0,8} \cdot 1 \cdot \frac{30\,000}{(3,5 - 0,2) \cdot 0,681} = 40 \text{ т.}$$

5. По приложению 2 для 12 т интерполированием находим глубину загрязнения для первичного облака аммиака:

$$G_1 = 19,2 + \left( \frac{29,56 - 19,2}{20 - 10} \cdot 2 \right) = 21,3 \text{ км.}$$

6. Аналогично для 40 т находим глубину загрязнения для вторичного облака аммиака:

$$G_2 = 38,13 + \left( \frac{52,67 - 38,13}{50 - 30} \cdot 10 \right) = 45,4 \text{ км.}$$

7. Полная глубина зоны загрязнения:

$$G = 45,4 + 0,5 \cdot 21,3 = 56,05 \text{ км.}$$

8. По формуле (7) находим предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс:

$$G_n = 4 \cdot 5 = 20 \text{ км.}$$

Таким образом, через 4 ч после аварии облако загрязненного воздуха может представлять опасность для населения, проживающего на расстоянии до 20 км.

#### Пример 2.4

На участке аммиакопровода Тольятти—Одесса произошла авария, сопровождавшаяся выбросом аммиака. Объем выброса не установлен. Требуется определить глубину зоны возможного загрязнения аммиаком через 2 ч после аварии. Разлив аммиака на подстилающей поверхности свободный. Температура воздуха 20 °С.

#### Решение

1. Так как объем разлившегося аммиака неизвестен, то, согласно п. 1.7, принимаем его равным 500 т — максимальному количеству, содержащемуся в

трубопроводе между автоматическими отсекаателями. Метеоусловия, согласно п. 1.5, принимаются: инверсия, скорость ветра 1 м/с.

2. По формуле (1) определяем эквивалентное количество вещества в первичном облаке:

$$Q_{\text{э1}} = 0,18 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 500 = 3,6 \text{ т.}$$

3. По формуле (12) определяем время испарения аммиака:

$$T = \frac{0,05 \cdot 0,681}{0,025 \cdot 1 \cdot 1} = 1,4 \text{ ч.}$$

4. По формуле (5) определяем эквивалентное количество вещества во вторичном облаке:

$$Q_{\text{э2}} = (1 - 0,18) \cdot 0,025 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4^{0,8} \cdot 1 \cdot \frac{500}{0,05 \cdot 0,681} = 15,8 \text{ т.}$$

5. По Приложению 2 для 3,6 т интерполированием находим глубину зоны загрязнения для первичного облака:

$$L_1 = 9,18 + \left( \frac{12,53 - 9,18}{5 - 3} \cdot 0,6 \right) = 10,2 \text{ км.}$$

6. По Приложению 2 для 15,8 т интерполированием находим глубину зоны загрязнения для вторичного облака:

$$L_2 = 19,2 + \left( \frac{29,56 - 19,2}{20 - 10} \cdot 5,8 \right) = 25,2 \text{ км.}$$

7. Полная глубина зоны загрязнения:

$$25,2 + 0,5 \cdot 10,2 = 30,3 \text{ км.}$$

8. По формуле (7) находим предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс:

$$L_n = 2 \cdot 5 = 10 \text{ км.}$$

Таким образом, глубина зоны возможного загрязнения через 2 ч после аварии составит 10 км.

### ***2.3. Расчет глубины зоны загрязнения при разрушении химически опасного объекта***

В случае разрушения химически опасного объекта при прогнозировании глубины зоны загрязнения рекомендуется брать данные на одновременный выброс суммарного запаса АХОВ на объекте и следующие метеорологические условия: инверсия, скорость ветра 1 м/с.

Эквивалентное количество АХОВ в облаке загрязненного воздуха определяется аналогично рассмотренному в п. 2.1.2 методу для вторичного облака

при свободном разливе. При этом суммарное эквивалентное количество  $Q_9$  рассчитывается по формуле:

$$Q_9 = 20K_4K_5 \sum_{i=1}^g (K_{2i}K_{3i}K_{6i}K_{7i} \frac{Q_i}{d_i}), \quad (8)$$

где:  $K_{2i}$  — коэффициент, зависящий от физико-химических свойств  $i$ -го АХОВ;

$K_{3i}$  — коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе  $i$ -го АХОВ;

$K_{6i}$  — коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после разрушения объекта;

$K_{7i}$  — поправка на температуру для  $i$ -го АХОВ;

$Q_i$  — запасы  $i$ -го АХОВ на объекте, т;

$d_i$  — плотность  $i$ -го АХОВ, т/м<sup>3</sup>.

Полученные по приложению 2 значения глубины зоны загрязнения  $\Gamma$  в зависимости от рассчитанного значения  $Q_9$  и скорости ветра сравниваются с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс  $\Gamma_n$  (см. формулу (7)). За окончательную расчетную глубину зоны загрязнения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений.

#### Пример 2.5

На химически опасном объекте сосредоточены запасы АХОВ, в том числе хлора — 30 т, аммиака — 150 т, нитрила акриловой кислоты — 200 т. Определить глубину зоны загрязнения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта, — 3 ч. Температура воздуха 0 °С.

#### Решение

1. По формуле (12) определяем время испарения АХОВ:

$$\text{хлора } T = \frac{0,05 \cdot 1,553}{0,052 \cdot 1 \cdot 1} = 1,49 \text{ ч};$$

$$\text{аммиака } T = \frac{0,05 \cdot 0,681}{0,025 \cdot 1 \cdot 1} = 1,36 \text{ ч};$$

$$\text{нитрила акриловой кислоты } T = \frac{0,05 \cdot 0,806}{0,007 \cdot 1 \cdot 0,4} = 14,39 \text{ ч}.$$

2. По формуле (8) рассчитываем суммарное эквивалентное количество АХОВ в облаке загрязненного воздуха:

$$Q_9 = 20 \cdot 1 \cdot 1 (0,052 \cdot 1 \cdot 1,49^{0,8} \cdot 1 \cdot \frac{30}{1,553 + 0,025} \cdot 0,04 \cdot 1,36^{0,8} \cdot 1 \cdot \frac{150}{0,681} + 0,007 \cdot 0,8 \cdot 3^{0,8} \cdot 0,4 \cdot \frac{200}{0,806}) = 60 \text{ т}.$$

3. По Приложению 2 интерполированием находим глубину зоны загрязнения:

$$G = 52,67 + \left( \frac{65,23 - 52,67}{70 - 50} \cdot 10 \right) = 59 \text{ км.}$$

4. По формуле (7) находим предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс:

$$G_n = 3 \cdot 5 = 15 \text{ км.}$$

Таким образом, глубина зоны загрязнения в результате разрушения химически опасного объекта может составить 15 км.

### 3. Определение площади зоны загрязнения АХОВ

Площадь зоны возможного загрязнения для первичного (вторичного) облака АХОВ определяется по формуле:

$$S_g = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot G^2 \cdot \varphi, \quad (9)$$

где:  $S_g$  — площадь зоны возможного загрязнения АХОВ, км<sup>2</sup>;

$G$  — глубина зоны загрязнения, км;

$\varphi$  — условные размеры зоны возможного загрязнения, ... (табл. 1).

*Таблица 1*

Условные размеры зоны возможного загрязнения АХОВ в зависимости от скорости ветра

v, м/с	< 0,5	0,6—1	1,1—2	> 2
φ	360	180	90	45

Площадь зоны фактического загрязнения  $S_\varphi$  (км<sup>2</sup>) рассчитывается по формуле:

$$S_\varphi = K_8 G^2 t^{0,2}, \quad (10)$$

где:  $K_8$  — коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, принимается равным: 0,081 при инверсии; 0,133 при изотермии; 0,235 при конвекции;

$t$  — время, прошедшее после начала аварии, ч.

#### Пример 3.1

В результате аварии на химически опасном объекте образовалась зона загрязнения глубиной 10 км. Скорость ветра составляет 2 м/с, инверсия. Определить площадь зоны загрязнения, если после начала аварии прошло 4 ч.

#### Решение

1. Рассчитываем площадь зоны возможного загрязнения по формуле (9):

$$S_g = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2 \cdot 90 = 78,5 \text{ км}^2.$$



2. Рассчитываем площадь зоны фактического загрязнения по формуле (10):

$$S_{\phi} = 0,081 \cdot 10^2 \cdot 4^{0,2} = 10,7 \text{ км}^2.$$

## 4. Определение времени подхода загрязненного воздуха к объекту и продолжительности поражающего действия АХОВ

### 4.1. Определение времени подхода загрязненного воздуха к объекту

Время подхода облака АХОВ к заданному объекту зависит от скорости переноса облака воздушным потоком и определяется по формуле:

$$t = \frac{x}{v}, \quad (11)$$

где:  $x$  — расстояние от источника загрязнения до заданного объекта, км;  
 $v$  — скорость переноса переднего фронта облака загрязненного воздуха, км/ч (приложение 5).

#### Пример 4.1

В результате аварии на объекте, расположенном на расстоянии 5 км от города, произошло разрушение емкости с хлором. Метеоусловия: изотермия, скорость ветра 4 м/с. Определить время подхода облака загрязненного воздуха к границе города.

#### Решение

1. Для скорости ветра 4 м/с в условиях изотермии по приложению 5 находим, что скорость переноса переднего фронта облака загрязненного воздуха составляет 24 км/ч.

2. Время подхода облака загрязненного воздуха к городу:

$$t = \frac{5}{24} = 0,2 \text{ ч.}$$

### 4.2. Определение продолжительности поражающего действия АХОВ

Продолжительность поражающего действия АХОВ определяется временем его испарения с площади разлива.

Время испарения  $T$  (ч) АХОВ с площади разлива определяется по формуле:

$$T = \frac{hd}{K_2 K_4 K_7}, \quad (12)$$

где:  $h$  — толщина слоя АХОВ, м;  
 $d$  — плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup>;  
 $K_2, K_4, K_7$  — коэффициенты в формулах (1), (5).

Пример 4.2

В результате аварии произошло разрушение обвалованной емкости с хлором. Требуется определить время поражающего действия АХОВ. Метеоусловия на момент аварии скорость ветра 4 м/с, температура воздуха 0 °С, изотермия. Высота обваловки — 1 м.

Решение

По формуле (12) время поражающего действия

$$T = \frac{(1 - 0,2) \cdot 1,553}{0,052 \cdot 2 \cdot 1} = 12 \text{ ч.}$$

## Приложение 1

### *Определение степени вертикальной устойчивости атмосферы по прогнозу погоды*

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	ясно, переменная облачность	сплошная облачность	ясно, переменная облачность	сплошная облачность	ясно, переменная облачность	сплошная облачность	ясно, переменная облачность	сплошная облачность
< 2	ин	из	из(ин)	из	к(из)	из	ин	из
2—3,9	ин	из	из(ин)	из	из	из	из(ин)	из
> 4	из	из	из	из	из	из	из	из

*Примечание:*

1. Обозначения: ин — инверсия; из — изотермия; к — конвекция; буквы в скобках — при снежном покрове.

2. Под термином «утро» понимается период времени в течение 2 ч после восхода солнца; под термином «вечер» — в течение 2 ч после захода солнца. Период от восхода до захода солнца за вычетом двух утренних часов — день, а период от захода до восхода солнца за вычетом двух вечерних часов — ночь.

3. Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимаются в расчетах на момент аварии.

## Приложение 2

### *Глубина (км) зоны загрязнения*

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т								
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20
≤ 1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49
≥ 15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34

Продолжение приложения 2

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т								
	30	50	70	100	300	500	700	1000	2000
≤ 1	38,13	52,67	65,23	81,91	166	231	288	363	572
2	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121	150	189	295
3	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	104	130	202
4	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	81,17	101	157
5	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	67,15	83,60	129
6	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	56,72	71,70	110
7	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	50,93	63,16	96,30
8	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	45,79	56,70	86,20
9	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39	34,24	41,76	51,60	78,30
10	6,50	8,50	10,23	12,54	23,49	31,61	38,50	47,53	71,90
11	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91	29,44	35,81	44,15	66,62
12	5,94	7,67	9,07	11,06	20,58	27,61	35,55	41,30	62,20
13	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45	26,04	31,62	38,90	58,44
14	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46	24,69	29,95	36,81	55,20
≥ 15	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60	23,50	28,48	34,98	52,37

Приложение 3

Характеристики АХОВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубины зоны заражения

АХОВ	Плотность АХОВ, т/м <sup>3</sup>		Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза мг·мин/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
	газ	жидкость			K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>7</sub> для температуры воздуха (°С)				
								-40	-20	0	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Акролеин	—	0,839	52,7	0,2*	0	0,013	3,0	0,1	0,2	0,4	1	2,2
Аммиак хранение под давлением изотермическое хранение	0,0008	0,681 0,681	-33,42 -33,42	15 15	0,18 0,01	0,025 0,025	0,04 0,04	0/0,9 0/0,9	0,3/1 1/1	0,6/1 1/1	1/1 1/1	1,4/1 1/1
Ацетонитрил	—	0,786	81,6	21,6**	0	0,004	0,028	0,02	0,1	0,3	1	2,6
Ацетонциангидрин	—	0,932	120	1,9**	0	0,002	0,316	0	0	0,3	1	1,5
Водород мышьяковистый	0,0035	1,64	-62,47	0,2**	0,17	0,054	3,0	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Водород фтористый	—	0,989	19,52	4	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
Водород хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2	0,28	0,037	0,30	0,4/1	0,6/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Водород бромистый	0,0036	1,490	-66,77	2,4*	0,13	0,055	0,25	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Водород цианистый	—	0,687	25,7	0,2	0	0,026	3,0	0	0	0,4	1	1,3
Диметиламин	0,0020	0,680	6,9	1,2*	0,06	0,041	0,5	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,5/1
Метиламин	0,0014	0,699	-6,5	1,2*	0,13	0,034	0,5	0/0,3	0/0,7	0,3/1	1/1	1,8/1
Метил бромистый	—	1,732	3,6	1,2*	0,04	0,039	0,5	0/0,2	0/0,4	0/0,9	1/1	2,3/1
Метил хлористый	0,0023	0,983	-23,76	10,8*	0,125	0,044	0,056	0/0,5	0,1/1	0,6/1	1/1	1,5/1
Метилакрилат	—	0,953	80,2	6*	0	0,005	0,1	0,1	0,2	0,4	1	3,1
Метилмеркаптан	—	0,867	5,95	1,7**	0,06	0,043	0,353	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,4/1
Нитрил акриловой кислоты	—	0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Окислы азота	—	1,491	21,0	1,5	0	0,040	0,40	0	0	0,4	1	1
Окись этилена	—	0,882	10,7	2,2**	0,05	0,041	0,27	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	3,2/1
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0/0,2	0/0,5	0,3/1	1/1	1,7/1
Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Сероуглерод	—	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
Соляная кислота (концентрированная)	—	1,198	—	2	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
Триметиламин	—	0,671	2,9	6*	0,07	0,047	0,1	0/0,1	0/0,4	0/0,9	1/1	2,2/1
Формальдегид	—	0,815	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0/0,4	0/1	0,5/1	1/1	1,5/1
Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,7/1
Фтор	0,0017	1,512	-188,2	0,2*	0,95	0,038	3,0	0,7/1	0,8/1	0,9/1	1/1	1,1/1
Фосфор трехлористый	—	1,570	75,3	3	0	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
Фосфор хлорокись	—	1,675	107,2	0,06*	0	0,003	10,0	0,05	0,1	0,3	1	2,6
Хлор	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
Хлорпикрин	—	1,658	112,3	0,02	0	0,002	30,0	0,03	0,1	0,3	1	2,9
Хлорциан	0,0021	1,220	12,6	0,75	0,04	0,048	0,80	0/0	0/0	0/0,6	1/1	3,9/1
Этиленимин	—	0,838	55,0	4,8	0	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этиленсульфид	—	1,005	55,0	0,1*	0	0,013	6,0	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этилмеркаптан	—	0,839	35	2,2**	0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7

**Примечания:**

1. Плотности газообразных АХОВ в графе 3 приведены для атмосферного давления; при давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности определяются путем умножения данных графы 3 на значение давления в атмосферах (1 атм — 760 мм рт. ст.).
2. Значения  $K_7$  в графах 9—13 в числителе приведены для первичного, в знаменателе — для вторичного облака.
3. В графе 5 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно по соотношению:  $D-240, K-ПДК_{p,3}$ , где  $D$  — токсодоза, мг·мин/л;  $ПДК_{p,3}$  — ПДК рабочей зоны (мг/л) по ГОСТ 12.1.005-88;  $K$  — для раздражающих ядов (помечены одной звездочкой);  $K$  — для всех прочих ядов (помечены двумя звездочками).
4. Значения  $K_1$  для изотермического хранения аммиака приведено для случая разлива (выброса) в поддон.

## Приложение 4

### *Значение коэффициента $K_4$ в зависимости от скорости ветра*

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$K_4$	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68

## Приложение 5

### *Скорость (км/ч) переноса переднего фронта облака загрязненного воздуха в зависимости от скорости ветра*

Состояние атмосферы (степень вертикаль- ной устой- чивости)	Скорость ветра, м/с														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Инверсия	5	10	16	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Изотермия	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
Конвекция	7	14	21	28											

## Приложение 6

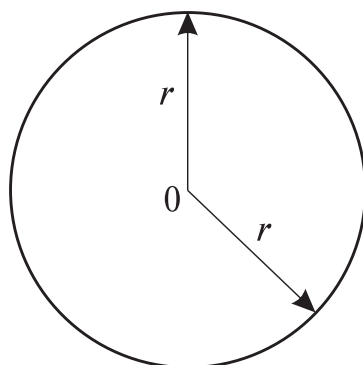
### *Порядок нанесения зон загрязнения на топографические карты и схемы*

Зона возможного загрязнения облаком АХОВ на картах (схемах) ограничена окружностью, полуокружностью или сектором, имеющим угловые размеры  $\varphi$  и радиус, равный глубине зоны загрязнения  $r$ . Угловые размеры в зависимости от скорости ветра по прогнозу приведены в п. 3. Центр окружности, полуокружности или сектора совпадает с источником загрязнения.

Зона фактического загрязнения, имеющая форму эллипса, включается в зону возможного загрязнения. Ввиду возможных перемещений облака АХОВ под воздействием ветра фиксированное изображение зоны фактического загрязнения на карты (схемы) не наносится.

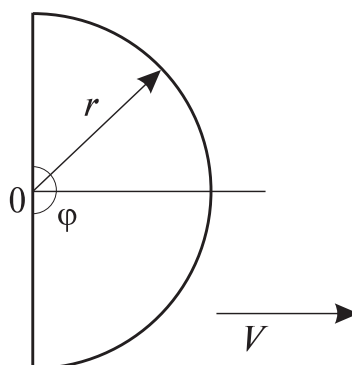
На топографических картах и схемах зона возможного загрязнения имеет вид окружности, полуокружности или сектора.

1. При скорости ветра по прогнозу меньше 0,5 м/с зона загрязнения имеет вид окружности



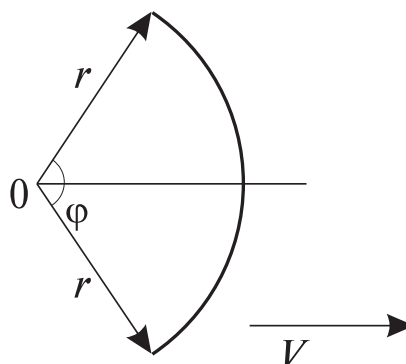
Точка «0» соответствует источнику загрязнения; угол  $\varphi = 360^\circ$ ; радиус окружности равен  $r$ .

2. При скорости ветра по прогнозу 0,6—1 м/с зона загрязнения имеет вид полуокружности



Точка «0» соответствует источнику загрязнения: угол  $\varphi + 180^\circ$ ; радиус полуокружности равен  $r$ ; биссектриса угла совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра.

3. При скорости ветра по прогнозу больше 1 м/с зона загрязнения имеет вид сектора



Точка «0» соответствует источнику загрязнения;

$$\varphi = \begin{cases} 90^\circ & \text{при } v = 1,1 - 2 \text{ м / с;} \\ 45^\circ & \text{при } v > 2 \text{ м / с} \end{cases};$$

радиус сектора равен  $r$ ; биссектриса сектора совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра.

## Литература

1. Абрамова В.Н., Абрамов А.И. А нужна ли нам ядерная энергетика. — М.: ИздАТ, 1992.
2. Автоматизированная информационно-управляющая система Российской системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях. Эскизно-технический проект. — М.: НИИ «Восход» Комитета РФ по информатизации, 1992.
3. Автоматизированная информационно-управляющая система РСЧС. Эскизно-технический проект. — М.: НИИ «Восход», 1992.
4. Атомная энергетика в терминах: Краткий словарь. — М.: Изд-во АТ, 1992.
5. Ахметова Т.И., Мухутдинова Т.З., Мухутдинов А.А. Проблемы аналитического контроля объектов окружающей среды в районе расположения нефтехимических производств. Экология и промышленность России, 2001, февраль, с. 39.
6. Барсуков О.А., Барсуков К.А. Радиационная экология. М.: Научный мир, 2003. 253 с.
7. Безуглая Э. Ю., Расторгуева Г. П., Смирнова И. В. Чем дышит промышленный город. — Л.: Гидрометеиздат, 1991.
8. Бурдаков Н.И., Кульба В.В., Назаретов В.М. Концепция стратегического управления техногенным и природным риском в регионе: Реф. сборник «Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях». — М.: ВИНТИ, 1992, вып. 2.
9. Бурков В.Н., Щепкин А.Т. Механизмы обеспечения безопасности: оценка эффективности. / Вопросы экономики, 1992, № 1.
10. Бурков В.Н. Актуальные вопросы формирования системы экономических механизмов по обеспечению безопасности населения и производства: Материалы первой Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы формирования безопасной среды обитания человека, предупреждения и ликвидация ЧС и роль РСЧС в их решении». — М.: МЧС России, 1993.
11. Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. — С.-Пб.: Наука, 1997.
12. В.А. Владимиров. Гражданская защита как важнейший элемент обеспечения национальной безопасности. Сборник материалов ЦСИ ГЗ МЧС России, выпуск седьмой, 1998.
13. Викторов А.Д. и др. Перспектива использования радиолокационных методов и средств контроля за состоянием воздушной среды в районах расположения атомных, тепловых станций и химических производств. — С.-Пб.: НИИ РЭС ПЧС, 1993.
14. Владимиров В.А. Проблемы ликвидации последствий радиационных аварий. Сборник материалов ЦСИ ГЗ, № 16. — М.: ЦСИ ГЗ, 1999, с. 4.



15. Владимиров В.А. Роль Российской системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях в решении формирования безопасности среды обитания человека, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Материалы первой Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы формирования безопасности среды обитания человека, предупреждения и ликвидации ЧС и роль РСЧС в их решении». — М.: МЧС России, 1993.
16. Владимиров В.А., Измалков В.И. Катастрофы и экология. — М.: Контакт-культура, 2000.
17. Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. — М.: Деловой экспресс, 2002.
18. Воробьев Ю.Л. В свете концепции национальной безопасности Российской Федерации. Информационный сборник № 1 ЦСИ ГЗ МЧС России, 2000.
19. Воробьев Ю.Л. Основные направления государственной стратегии снижения рисков и смягчения последствий ЧС в РФ на период до 2010 года. — М.: МЧС России, РАН, 1997.
20. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. — М.: Экономика, 1986.
21. Ганчев Б.Г., Калишевский Л.Л. и др. Ядерные энергетические установки / Под ред. Н.А. Долежалы. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
22. Гидаспов В.В., Кузьмин Н.И., Ласкин Б.М., Азиев Р.Г. Научно-технический прогресс, безопасность и устойчивое развитие цивилизации. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, 1990, том 35, вып. 4.
23. Гордон Б.Г. О законотворчестве в области использования атомной энергии. — М.: Госатомнадзор, 2003 г.
24. Горелик В.А., Горелов М.А., Кононенко А.Ф. Анализ конфликтных ситуаций в системах управления. — М.: Радио и связь, 1991.
25. Горелик Д.О., Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. — М.: Изд-во стандартов, 1992.
26. ГОСТ Р22.0.05-94. Определение термина «Опасное химическое вещество».
27. ГОСТ Р22.9.05-95 БЧС. Приложение А: «Термины и определения».
28. Гражданская защита / Понятийно-терминологический словарь/ — М.: Геополитика, 2001, 240 с.
29. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
30. Давыдов Б.И. Радиация, человек и окружающая среда. — М.: ИздАТ, 1993.
31. Данилевский Ю.Г., Петухов И.А., Шибанов В.С. Информационная технология в промышленности. — Л.: Машиностроение, 1988.
32. Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов. — С.-Пб.: ДЕАН, 2003, 29 с.
33. Методические указания о порядке разработки плана локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) на химико-технологических объектах (РД-09-536-03).
34. Долгин Н.Н. Управление при аварии на АЭС. Гражданская защита, 1996, № 5.
35. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. — М.: Энергоиздат, 1992.

36. Закон Российской Федерации «Об экологической экспертизе».
37. Закон Российской Федерации «Об экологической безопасности». — М.: 1995.
38. Зуев В.Е. Лазерное зондирование атмосферы: В сб. Достижения в области гидрометеорологии и контроля природной среды. — Л.: Гидрометеиздат, 1987.
39. Измалков А.В. Основные направления решения проблемы управления техногенным и природным риском на региональном уровне. Суздаль, Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, 1993.
40. Измалков А.В. Основы определения уровня социального и индивидуального риска. — С.-Пб.: Сборник «Безопасность жизнедеятельности человека», ЛТА, 1993.
41. Измалков А.В. Показатели результативности и критерии эффективности гражданской защиты. М., Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, Сборник ВИНТИ, выпуск № 2, 1999.
42. Измалков А.В. Управление безопасностью социально-экономических систем и оценка его эффективности. — М., 2003.
43. Измалков А.В. Управление рисками в целях предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Сборник «Риск: наука, обучение, рынок труда», Париж, ЕЦЕНТУР, 1996.
44. Измалков А.В. Экологический риск и безопасность при техногенных преобразованиях недр в процессе горного производства. — М.: ННЦ ГП — ИГД им. А.А. Скочинского, 2003.
45. Измалков А.В., Бодриков О.В. Методологические основы управления риском и безопасностью населения и территорий. — М.: Сборник ВИНТИ «Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях», выпуск 1, 1997.
46. Измалков В.И., Измалков А.В. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. — М.—С.—Пб.: МЧС России, РАН, 1998.
47. Измалков В.И., Измалков А.В. Безопасность и риск при техногенных воздействиях. — М.—С.—Пб.: СпбНИЦЭБ РАН, АГЗ МЧС России, 1994.
48. Измалков В.И., Кутеев В.С. Защита от ионизирующих излучений и теоретические основы очистки радиоактивных вод. — Л.: Военно-морская академия, 1970.
49. Инструкция о порядке государственной регистрации потенциально опасных химических и биологических веществ. Утверждена Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации и Госкомитетом санэпиднадзора 25 мая 1993.
50. Интеллектуализация ЭВМ/ Под ред. Ю.М. Смирнова. — М.: Высшая школа, 1989.
51. Информатизация России. Автоматизированная информационно-управляющая система «Экологическая безопасность России». Основные положения системного проекта. — М.: М-во охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, Комитет РФ по информатизации, 1993.
52. Иоффе А.Ф. Персональные ЭВМ в организационном управлении. — М.: Наука, 1988.
53. Исаев В.С., Владимиров В.А. Аварийно химически опасные вещества. Сборник материалов ЦСИ ГЗ, № 9, — М.: МЧС России, 1998, 62 с.
54. Исследование подходов, разработка методик и компьютерная реализация базовых моделей для анализа радиационной обстановки при попадании радионуклидов в гидрологическую сеть (Шифр «Юнона-Ан»). — М.: ИБРАЭ РАН, 1993.

55. Калениченко С.П. Обнаружение и слежение за радиоактивными и аэрозольными облаками с помощью наземных радиолокационных станций: В сб. «Безопасность жизнедеятельности». —С.-Пб.: НИИ РЭС ПЧС, 1993.
56. Камаев А.В. Концепция риска и сравнительная оценка воздействия ТЭС и АЭС: Информационный бюллетень «Безопасность. Экология. Радиация». — Обнинск: ФЭИ, 1992, выпуск 2.
57. Катастрофы конца XX века (под редакцией Владимирова В.А.). —М.: Геополитика, 2001, с. 159.
58. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений / Пер. с англ./ — М.: Энергоатомиздат, 1983.
59. Коллективные и индивидуальные средства защиты. Контроль защитных свойств. —М.: Деловой экспресс, 2002, 408 с.
60. Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий. ООН, Хельсинки, 17.03.1992 г. Введена в действие решением Правительства РФ № 1118 от 4.11.1993 г.
61. Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте. Составлена в Эспо (Финляндия) 25.02.1991г. Подписана Правительством РФ 6.07.1991 г. Подтверждена Правительством РФ Н-№ 11.ГП от 13.01.1992 г., МИД России.
62. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Утверждена Указом Президента Российской Федерации 1 апреля 1996 г.
63. Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению. — М.: Минздрав России, 1996.
64. Концепция управления безопасностью: Материалы к отчету по проекту 7.1 ГНТП России «Безопасность». — М.: ГКЧС России, 1992.
65. Концепция экологической безопасности (Утверждена Министром охраны окружающей среды и природных ресурсов 24 апреля 1995 г.). —М., 1995.
66. Кормак Д. Борьба с загрязнением моря нефтью и химическими веществами / Пер. с англ./ — М.: Транспорт, 1989.
67. Критерии индивидуального и социального рисков для оценки безопасности атомных станций: РС ВИНТИ «Новости науки и техники». Сер. Атомная энергетика, 1991, № 8.
68. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. — М.: Минприроды России, 1992.
69. Кузьмин И.И., Махутов Н.А, Хетагуров С.В.. Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты. — С.-Пб.: Государственный университет экономики и финансов, 1997.
70. Кузьмин Н.И. Безопасность и техногенный риск: системно-динамический подход. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, 1990, том 35, вып. 4.
71. Лаверов Н.П. Труды Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях», т. 1, — С.-Пб.: Гидрометеиздат, 2000, с. 14.
72. Маршалл В. Основные опасности химических производств. — М.: Мир, 1989.
73. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование / Пер. с англ./ — М.: Мир, 1987.

74. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. РД.52.04.253-90. — Л.: Гидрометеиздат, 1989.
75. Мещеряков С.В. Проблемы экологии в топливно-энергетическом комплексе России. Химия и технология топлив и масел, 2000, № 2, с. 12.
76. Микеев А.К. Противопожарная защита АЭС. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
77. Михно Е.П. Ликвидация последствий аварий и стихийных бедствий. — М.: Атомиздат, 1979.
78. Мишук Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. — М.: Мир, 1990.
79. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981.
80. Морозов Л.М. Петухов Г.Б. Сидоров В.Н. Методологические основы теории эффективности. — Л.: ВИКИ им. Можайского, 1982.
81. Муздыбаев К. Риск ядерной энергетики. — Л.: ИСЭП РАН, 1988.
82. Назаров И.М., Николаев А. Н., Фридман Ш.Д. Основы дистанционных методов мониторинга загрязнений природной среды. —Л.: Гидрометеиздат, 1983.
83. Нормы радиационной безопасности ( НРБ-99 ). —М.: ЦСЭНГСЭ Минздрава России, 1999 г. — 116 с.
84. Зюзин А.В., Семенов В.И. Защита производственного персонала и населения от СДЯВ на химически опасных объектах. — М.: Мединф, 1994, 240 с.
85. О государственной стратегии РФ по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития. Указ Президента РФ 1994г. № 236.
86. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).
87. Отходы атомной промышленности / Пер. с англ./ — М.: Госатомиздат, 1963.
88. Отчет о НИР «Разработка основ управления рисками аварий и катастроф», ЦСИ ГЗ МЧС России, 2000, 142 с.
89. Оценка риска, вызываемого радиационными и другими источниками. Научный комитет Объединенных наций по влиянию атомной радиации (НКОНВАР), материалы 44-й сессии. —Вена, 1993.
90. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере. Киев: КМУГА, 1999.
91. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. — Киев: КМУГА, 1997.
92. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. — М.: Высшая школа, 1989.
93. Положение «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Введено в действие постановлением Правительства РФ от 5 ноября 1995г. № 1113.
94. Положение о войсках гражданской обороны. Утверждено Указом Президента РФ от 27 мая 1996 г. № 784.
95. Положение о Государственной санитарно-эпидемиологической службе РФ. Утверждено постановлением Правительства РФ от 5 июня 1994г., № 625.
96. Положение о Государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РФ от 5 июня 1994г. № 625.

97. Положение о Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Утверждено постановлением Правительства РФ от 5 ноября 1995 г. № 1113.
98. Организация и проведение санитарно-гигиенических мероприятий в зонах химических аварий. — М.: ВЦМК «Защита», 1999, 25 с.
99. Положение о лицензировании деятельности в области использования атомной энергии. Утверждено постановлением Правительства РФ от 14 июня 1997г. № 865.
100. Положение о Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Утверждено указом Президента РФ от 21 сентября 2002г. № 1011.
101. Положение о Министерстве РФ по атомной энергии. Утверждено постановлением Правительства РФ от 5 апреля 1997г. № 392.
102. Соколов Ю.И. Оповещение населения при чрезвычайных ситуациях. — М.: КРУК, 2001, 192 с.
103. Положение о Федеральном горном и промышленном надзоре России. Утверждено постановлением Правительства РФ от 3 декабря 2001 г. № 841.
104. Положение о Федеральном надзоре за ядерной и радиационной безопасностью. № 283-рп, 1992 г., № 350-рп, 1995г.
105. Положение об Агентстве МЧС России по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций. — М.: МЧС России, 1997.
106. Положение об оценке воздействия на окружающую среду в Российской Федерации. Утверждено приказом Минприроды России от 18 июля 1994 г. № 222.
107. Порфирьев Б.Н. Управление в чрезвычайных ситуациях: проблемы теории и практики. — М.: ВИНТИ, 1991.
108. Постановление Правительства Российской Федерации о государственной регистрации потенциально опасных химических и биологических веществ от 12 ноября 1992 г. № 869.
109. Потехин Г.С., Прохоров Н.С., Терещенко Г.Ф. Управление риском в химической промышленности. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, 1990, том 35, вып. 4.
110. Правила и нормы в атомной энергетике. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88), Т-1-011-89. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
111. Правила и нормы в атомной энергетике. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-88) ПНАЭ, Г, направление 2. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
112. Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99). — М.: Росэнергоатом, 2000.
113. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций. /Под общей редакцией Ю.Л. Воробьева/ — М.: КРУК, 2002, 360 с.
114. Примак А.В., Щербань А.Н., Сорока А.С. Автоматизированные системы защиты воздушного бассейна от загрязнения. — Киев: Техника, 1988.
115. Принципы установления уровней вмешательства для защиты населения в случае ядерной аварии и радиационной аварийной ситуации. Серия изданий по безопасности № 72. — Вена: МАГАТЭ, 1988.
116. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях: Реферативный сборник, вып. 5. — М.: ВИНТИ, 1991.

117. Производные уровни вмешательства, используемые для снижения доз облучения населения в случае ядерной аварии и радиационной ситуации. Сер. изданий по безопасности № 81. — Вена: МАГАТЭ, 1989.
118. Ядерная энергетика, окружающая среда и человек. — Вена: МАГАТЭ, 1986.
119. Радиационная защита населения. Рекомендации МКРЗ, публикации 41—43. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
120. Радиационная защита населения. Рекомендации МКРЗ, публ. № 40. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
121. Радиационная защита. Рекомендации МКРЗ, публикация № 26. — М.: Атомиздат, 1978.
122. Романов Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий. Справочное руководство. — М.: ИздАТ, 1993.
123. Руководство по анализу и управлению риском в промышленном регионе. — М.: ГКЧС России, 1992.
124. Руководство по классификации и приоритезации риска от крупных аварий в технологических процессах и связанных с ними промышленных производствах. — МАГАТЭ, 1993.
125. Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы. ОНД-90. Министерство природопользования и охраны окружающей среды. — С.-Пб.: 1992.
126. Руководство по организации контроля природной среды в районе расположения АЭС/ Под ред. К.П. Махонько/ — Л.: Гидрометеиздат, 1990.
127. Экоинформатика /Под ред.акад.РАН Соколова В.Е./ — С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1992.
128. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха. РД.52.04.306-92. — С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1993.
129. Руководящие принципы по предотвращению, готовности к их действиям при химических авариях. (Руководство для органов, промышленности, персонала и прочих заинтересованных сторон). Париж: Директорат окружающей среды. Организация экономического сотрудничества и реализации, 1992.
130. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. — М.: «Радио и связь», 1981.
131. Чухин С.Г. Социально-экономические критерии приемлемости радиационного риска новых радиационных технологий. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
132. Свириденко С.С. Современные информационные технологии. — М.: Радио и связь, 1989.
133. Самойлов О.Б., Усынин Г.Б., Бахметьев А.М., Безопасность ядерных энергетических установок. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
134. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СППОРО-2002). — М.: Минздрав России, 2002.
135. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций СП АС-02. — М.: Минздрав России, 2003.
136. Сафронов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Отраслевое руководство по анализу и управлению риском. — М.: РАО «Газпром», 1996.
137. Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б. Прогнозирование в военном деле. — М.: Воениздат, 1989.

138. Сильнодействующие ядовитые вещества и защита от них/ Под ред. В.А. Владимиро-ва./ — М.: Воениздат, 1989.
139. Соболев И.А. и др. Охрана окружающей среды при обезвреживании радиоактивных отходов. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
140. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
141. Справочник по защите населения от сильнодействующих ядовитых веществ. — М.: МЧС России, 1995, 235 с.
142. Сухоручкин В.К., Гавришин А.Н. Анализ методологических аспектов исследования риска. Репринт ИАЭ. — М.: ИАЭ им. Курчатова, 1984.
143. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. — М.: Химия, 1991.
144. Указ Президента РФ «О федеральных органах исполнительной власти, уполномоченных осуществлять государственное регулирование при использовании атомной энергии».
145. Федеральный закон «О гражданской обороне» от 12 февраля 1998 г. № 28-ФЗ.
146. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ.
147. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ.
148. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ.
149. Федеральный закон «О лицензировании отдельных видов деятельности» — М.: Инфра-М. Выпуск 64/2002.
150. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ.
151. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» — М.: Инфра-М, Выпуск 39/2002г.
152. Федеральный закон РФ «Об охране окружающей природной среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ.
153. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска / Пер. с англ./ — М.: Машиностроение, 1984.

Научное издание

Виктор Алексеевич Владимиров  
Владимир Иванович Измалков  
Александр Владимирович Измалков

**РАДИАЦИОННАЯ И ХИМИЧЕСКАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ**

Монография

Сдано в набор 15.07.2005. Подписано в печать 6.09.2005.  
Формат 70×100 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 34,0. Гарнитура «Таймс».  
Тираж 1000 экз. Заказ № 250-2.

Финансовый издательский дом «Деловой экспресс»  
121099, Москва, Прямой пер., д. 3/4, стр. 1.  
<http://www.dex.ru>, E-mail: [dex@dex.ru](mailto:dex@dex.ru)

ISBN 5-89644-083-9



9 785896 440833 >