

Министерство образования Российской Федерации  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Химический факультет

---

**А.А. Швыряев, В.В.Меньшиков**

**ОЦЕНКА РИСКА  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ  
В ИССЛЕДУЕМОМ РЕГИОНЕ**

*Допущено Советом по химии Учебно-методического объединения  
по классическому университетскому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по специальности 011000 – Химия*



**Издательство  
Московского университета**

**Москва 2004 г.**

УДК 614.8  
ББК 26.23  
Ш35

Рецензенты:

**Чл.-корр. РАН, д.х.н, профессор Олейников Н.Н.** МГУ им. М.В. Ломоносова,  
**д.х.н, профессор Богдановский Г.А.** МНЭПУ – МГУ им. М.В. Ломоносова.

**Швыряев А.А., Меньшиков В.В.**

Ш35 Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 124с.

ISBN 5-211-05995-6

Учебное пособие подготовлено на кафедре химической технологии Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, ответственной за реализацию учебного курса «Техногенные системы и экологический риск».

Разработка программы: м.н.с. Химического факультета МГУ  
Иван Александрович Швыряев

В учебном пособии рассмотрены вопросы оценки риска от систематического и аварийного загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. Излагаются основные методы и алгоритмы сравнительной оценки риска на конкретных примерах. Приводится математическое обеспечение, в основу которого положены известные подходы к моделированию распределения примесей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В ходе выполнения задания студенту с помощью информационно-моделирующей системы предлагается осуществить количественную оценку риска состояния атмосферного воздуха в г. Усть-Каменогорск в результате воздействия промышленных предприятий и провести сравнительный анализ наиболее неблагоприятных воздействий с целью выдачи рекомендаций по снижению риска для здоровья населения от выбросов токсичных веществ. Данное учебное пособие позволяет студентам, обучающимся по специальности 011000-Химия, при отсутствии учебников по данной дисциплине успешно подготовиться и выполнить предлагаемые расчетные задания.

Для студентов высших учебных заведений. Настоящее учебное пособие может быть полезно также научным работникам и специалистам в области охраны окружающей среды, контроля и прогноза загрязнений.

УДК 614.8  
ББК 26.23

ISBN 5-211-05995-6

© Швыряев А.А., Меньшиков В.В., 2004

© Химич. факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004

# Содержание

Содержание .....	3
Введение .....	4
Глава 1. Анализ риска .....	7
1.1 Основные положения .....	7
1.2 Требования к проведению анализа риска .....	9
Глава 2. Алгоритмы построения вероятностных зон поражения при выбросах токсикантов в атмосферу .....	12
2.1 Количественные показатели риска .....	12
2.2 Методические особенности расчета распространения (рассеивания) выбросов в атмосфере .....	14
2.3 Обобщенный алгоритм расчета вероятности гибели людей (риска) при возникновении выбросов токсикантов .....	21
Глава 3. Процедура анализа риска для региона .....	37
3.1 Основные положения .....	37
3.2 Этапы общего анализа загрязнения объектов окружающей среды в результате выбросов стационарных источников при нормальном функционировании производств .....	41
3.3 Основные элементы процедуры оценки риска для здоровья .....	50
3.1.1 Идентификация опасности .....	50
3.1.2 Оценка воздействующих доз .....	54
3.1.3 Оценка зависимости «доза-эффект» .....	58
3.1.4 Характеристика риска .....	62
Глава 4. Последовательность процедуры оценки экологического риска от систематического загрязнения атмосферы .....	63
4.1 Выбор предприятий и загрязняющих веществ для проведения процедуры оценки риска для здоровья населения .....	63
4.2 Характеристика населения региона и анализ данных по плотности населения .....	67
4.3 Многолетние климатические данные региона г. Усть-Каменогорск .....	68
4.4 Принципы построения вероятностных полей превышения пороговых концентраций для выбросов загрязняющих веществ .....	69
4.5 Расчет среднегодовых концентраций в рецепторных точках .....	73
4.6 Количественное оценивание риска угрозы здоровью, обусловленного загрязняющими веществами .....	75
4.7 Основные уравнения для расчета риска, используемые в программном комплексе «RoSP» .....	77
4.8 Методика оценки риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы, обусловленного выбросами стационарных источников .....	79
4.9 Описание работы с информационно-моделирующей системой «RoSP» .....	85
4.10 Пример расчета .....	90
Заключение .....	94
Литература .....	97
Приложение 1 .....	100
Приложение 2 .....	114
Сведения об авторах .....	123

*Памяти нашего учителя академика В.А. Легасова  
посвящаем свой скромный труд.  
Авторы*

## **Введение**

Методология оценки риска воздействия химических веществ на состояние здоровья населения начала использоваться в США с 80-х годов. Начиная с этого времени, было разработано значительное количество методов для установления различных видов риска и различных причин, обусловивших необходимость проведения такой оценки. На сегодняшний день эта методология широко применяется в большинстве развитых стран мира и рекомендована Всемирной Организацией Здравоохранения в качестве ведущего инструмента при определении количественного ущерба для здоровья от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды.

Наука о риске сформировалась в последней четверти прошлого века, она, безусловно, будет одной из ведущих в настоящем столетии. Причиной этого является значимость проблем, связанных с риском. В индустриально развитых странах постоянно растет финансирование научных исследований в области анализа и оценки риска.

Подход на основе анализа риска, как некоторой количественной оценки, особенно важен на региональном уровне, в первую очередь для регионов, где сосредоточен значительный потенциал опасных производств и объектов в сочетании со сложной социально-политической обстановкой и недостаточным финансированием.

Исходным этапом в процессе оценки риска является определение границ изучаемого региона и идентификация источников опасности.

Риск при нормальном функционировании промышленных объектов может быть обусловлен за счет выбросов или утечки вредных или опасных веществ, сбросов неочищенных стоков, захоронения опасных и высокотоксичных отходов и др. в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормативы и оказывающих постоянное воздействие на здоровье населения и окружающую среду.

*Первый шаг* в анализе постоянных выбросов заключается в установлении их источников, количественных характеристик, а также физических и химических свойств выбрасываемых в окружающую среду веществ.

*Второй шаг* заключается в идентификации реципиентов и описании процесса переноса загрязняющих веществ в выбросах от источника к реципиенту (главным образом путем использования математических моделей). Моделирование переноса выбросов от источника к реципиенту позволяет оценить количественную характеристику опасности.

*Следующий шаг* состоит в идентификации или установлении зависимостей «доза-эффект» между опасностью и эффектами так, чтобы эффекты или риск могли быть определены количественно.

Определение величины опасного воздействия от данного источника является одним из начальных этапов количественной оценки риска. Точность и правильность решения данной задачи во многом определяет точность и правильность всей дальнейшей работы.

Охрана окружающей среды в непосредственной близости к промышленным предприятиям является весьма актуальной задачей, требующей решения целого комплекса научных и практических проблем.

Расчетно-практические семинары по данному курсу направлены на изучение методов математического моделирования, используемых в природоохранной деятельности для оценки воздействия на окружающую среду. Рассматриваются примеры оценки последствий для здоровья населения техногенных воздействий с использованием процедуры оценки риска.

Предлагаемые в пособии математические методы, позволяют проводить:

- построение математических моделей загрязнения атмосферы;
- прогноз и экономическую оценку возможных последствий на основе методов математического моделирования;
- разработку систем контроля и управления загрязнением атмосферного воздуха на основе математических моделей;
- разработку научно обоснованных методов долгосрочного планирования мероприятий, направленных на сокращение выбросов токсичных веществ.

Наиболее эффективно решение этих задач может быть обеспечено при использовании новых информационных технологий (ГИС), позволяющих объединить в единую интегрированную структуру информационные системные программные комплексы для контроля и управления качеством атмосферного воздуха для конкретного региона.

**Методическое пособие позволяет:**

- познакомить студентов с принципами количественной оценки возможных негативных последствий от систематических воздействий техногенных систем на природу и человека;
- научить студентов уметь идентифицировать техногенные опасности, оценивать конкретные риски, анализировать результаты оценки рисков.

Основная часть настоящего учебного пособия – содействовать подготовке специалистов химиков в области оценки и снижения экологического риска, обусловленного использованием химикатов. Оценка

экологического риска является важнейшей частью процесса принятия решений, касающихся охраны окружающей среды и экологической безопасности. По мнению авторов, специалист химик должен владеть методами качественного и количественного оценивания экологического риска, приемами анализа и сопоставления различных точек зрения в процессе принятия решений.

Наличие предлагаемой разработанной экспертной системы позволяет студентам ознакомиться с принятой в мировой практике процедурой анализа и оценки риска и в какой-то степени – управления риском в промышленном регионе. Кроме того, появляется возможность оценить степень опасности для региона того или иного вида техногенной деятельности, выявлять приоритетные направления деятельности по снижению опасности, например, путем первоначального ранжирования потенциально опасных производств и объектов и сделать консервативные оценки от загрязнения атмосферного воздуха стационарными источниками. В ходе работы была создана некоторая система, позволяющая использовать необходимую информацию о регионе в компьютерном виде, справочно-аналитические материалы, относящиеся к проблеме оценки риска, методики расчета радиуса зон загрязнения опасными веществами, методики расчета воздействий для населения, а в последствии алгоритмы управления риском на уровне отдельных предприятий и региона.

Перечисленные задачи определили структуру и содержание настоящего учебного пособия. Авторы будут благодарны за все замечания и советы, касающиеся нового учебного пособия и направленные на совершенствование обучения основам экологической безопасности.

Предлагаемая задача может служить отправной точкой для тех, кто желает в дальнейшем продолжить научные исследования в области природоохранной деятельности, разработки новых математических моделей и методов оценки и прогнозирования последствий техногенной деятельности для здоровья населения.

Авторы будут благодарны всем, кто сочтет возможным прислать свои отзывы, критические замечания или предложения к сотрудничеству в представленном направлении деятельности.

В учебных материалах используются цитаты и опубликованные разделы статей других авторов, которым принадлежат как авторское право, так и права интеллектуальной собственности.

***Составители благодарят*** м.н.с. кафедры химической технологии Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова ***Захарову Т.В.*** за помощь в компьютерной верстке и при подготовке настоящего выпуска.

# Глава 1. Анализ риска

## 1.1 Основные положения

Ниже приводится описание методологии риск-анализа, разработанного в Центре по безопасности химической промышленности (CCPS) США [3]. Мы посчитали целесообразным изложить этот метод (с некоторыми сокращениями и изменениями) в варианте, предложенном профессорами РГУ нефти и газа в учебном пособии [4].

Анализ риска является частью *системного подхода к принятию политических решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба имуществу и окружающей среде*, называемого в нашей стране *обеспечением промышленной безопасности*, а за рубежом - *управлением риском*. При этом *анализ риска* или *риск-анализ (Risk Analysis, Process Hazard Analysis)* определяется как *систематическое использование имеющейся информации для выявления опасностей и оценки риска для отдельных лиц или групп населения, имущества или окружающей среды*. Анализ риска заключается в выявлении (идентификации) опасностей и оценке риска. **Опасность** - *источник потенциального ущерба либо вреда или ситуация с возможностью нанесения ущерба*, а **риск (Risk)** или **степень риска (level of risk)** - *это сочетание частоты или вероятности и последствий определенного опасного события*. **То есть понятие риска всегда включает два элемента: частоту, с которой происходит опасное событие, и последствия опасного события**. Применение понятия риска, таким образом, позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий.

**Риск, фактически, есть мера опасности.**

**Идентификация опасности** – *процесс выявления и признания, что опасность существует и определение ее характеристик*. Завершается выбором дальнейшего направления деятельности.

**Оценка риска** - это использование доступной информации и научно-обоснованных прогнозов для оценки опасности воздействия вредных факторов окружающей среды и условий на здоровье человека. **Оценка риска** включает в себя анализ частоты, анализ последствий и их сочетание.

### Эффективность оценки риска существенно зависит от уровня:

- 1) развитости и точности расчетных методик;
- 2) вспомогательных средств для применения методик на практике (баз данных, системы получения информации и пр.);
- 3) квалификации и компетентности экспертов, осуществляющих анализ риска;
- 4) организации анализа риска, включающей вопросы выбора объектов для анализа, финансирования экспертизы и способы привлечения наиболее квалифицированных специалистов для экспертизы.

В более широком понимании риска как меры опасности количественные критерии риска могут быть разными. Соответственно конечной целью анализа риска может быть определение **социального, потенциального или экологического риска** или вероятности реализации определенного нежелательного события. Использование конкретных процедур для анализа риска может иметь отличие, но неизменной остается необходимость идентификации опасностей, оценки риска и разработки, если нужно, рекомендаций по снижению риска.

**Методы проведения анализа риска определяются выбранными критериями приемлемого риска.** При этом критерии могут задаваться нормативно-правовой документацией или определяются на этапе планирования риск-анализа. *Понятие риска используется для измерения опасности и обычно относится к индивидууму или группе населения, имуществу или окружающей среде.* Чтобы подчеркнуть, что речь идет об измеряемой величине, используют понятие «степень риска» или «уровень риска».

Уровни приемлемого риска, в том числе и индивидуального, определяются в каждом конкретном случае. Такой подход расширяет сферу использования метода анализа риска и придает процессу более творческий характер, что крайне необходимо для анализа опасности.

Все большее распространение находят критерии приемлемого риска на основе результатов экспертных оценок. В этих подходах производства обычно разбиваются по степени риска на четыре (или больше) группы с высоким, промежуточным, низким или незначительным уровнем риска. При таком подходе высокий уровень риска считается, как правило, неприемлемым, промежуточный требует выполнения программы работ по уменьшению уровня риска,



низкий уровень считается приемлемым, а незначительный вообще не рассматривается.

*Основным требованием к выбору критерия приемлемого риска при проведении анализа риска является не его строгость, а обоснованность и определенность.* Правильный выбор приемлемого риска и его меры позволит сделать и процедуру, и результаты анализа риска ясными и понятными, что существенно повысит эффективность управления риском.

*На разных этапах жизненного цикла опасного объекта могут определяться конкретные цели анализа риска.*

## **1.2 Требования к проведению анализа риска**

Процесс проведения риск-анализа должен содержать последовательность следующих процедур:

- планирование и организация работ;
- идентификация опасностей;
- оценка риска;
- разработка рекомендаций по управлению риском.

На каждом этапе анализа риска должна оформляться документация.

### *Планирование и организация работ*

Анализ опасности должен соответствовать сложности рассматриваемых процессов, наличию необходимых данных и квалификации специалистов, проводящих анализ. При этом более простые, но ясные методы анализа должны иметь преимущества перед более сложными, но не до конца ясными и методически обеспеченными.

**На этапе планирования должны быть четко выявлены управленческие решения, которые должны быть приняты, и требуемые выходные данные риск-анализа, служащие основанием для принятия решений.**

При определении критериев приемлемого риска нужно учитывать особенности существующих опасностей и отличительные характеристики проводимых работ.

В этап планирования входит также тщательное ознакомление с анализируемой системой. Целью ознакомления является определение базы необходимых знаний и данных для включения их в риск-анализ.

### Идентификация опасностей

**Основная задача этапа идентификации опасностей** – выявление (на основе информации о безопасности данного объекта, данных экспертизы и опыта работы подобных систем), а также ясное и четкое описание всех присущих системе опасностей. Это ответственный этап анализа, так как не выявленные на этом этапе опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения.

На этом же этапе проводится предварительная оценка опасностей с целью выбора дальнейшего направления деятельности. Это может быть:

- решение прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей;
- решение о проведении более детального анализа риска;
- выработка рекомендаций по уменьшению опасностей.

### Оценка риска

**Помните, для сложных технических систем точность расчетов индивидуального риска даже в случае наличия всей необходимой информации не лучше одного порядка.** В этом случае проведение полной количественной оценки риска более полезно для сравнения различных вариантов (например, проектов), чем для заключения о степени безопасности объекта.

**Оценка риска включает в себя анализ частоты, анализ последствий и анализ неопределенностей.** Однако, когда последствия незначительны или частота крайне мала, достаточно оценить один параметр. При оценке вероятности событий можно воспользоваться статистическими данными.

**Имеется много неопределенностей, связанных с оценкой риска.** Их анализ является необходимой составной частью оценки риска. Как правило, основными источниками неопределенностей служат информация по надежности оборудования и человеческим ошибкам, а также допущения применяемых моделей аварийного процесса. Чтобы правильно интерпретировать величины риска, необходимо понимать неопределенности и их причины. Анализ неопределенности – это перевод неопределенности исходных

параметров и предположений, использованных при оценке риска, в неопределенность результатов. Источники неопределенности должны, по возможности, идентифицироваться. Основные параметры, к которым анализ является чувствительным, должны быть представлены в результатах.

#### Разработка рекомендаций по уменьшению риска

**Процесс риск-анализа заканчивается разработкой рекомендаций.**

Рекомендации могут признать существующий риск приемлемым или указывать меры по уменьшению риска.

**Меры по уменьшению риска могут иметь технический, эксплуатационный или организационный характер.** В выборе типа мер решающее значение имеет общая оценка действенности мер, влияющих на риск.

**При разработке мер по уменьшению риска необходимо учитывать, что:**

- в первую очередь разрабатываются и внедряются простейшие и связанные с наименьшими затратами рекомендации, направленные на повышение безопасности;
- степень снижения риска, которая может быть достигнута за счет внедрения той или иной рекомендации, как правило, заранее неизвестна;
- ресурсы, направляемые на уменьшение риска, ограничены;
- на разработку каждой рекомендации затрачивается много времени и средств;
- значительное вложение средств с целью дополнительного снижения более или менее «терпимого» риска неразумно.

В стадии эксплуатации опасного объекта эксплуатационные и организационные меры могут компенсировать ограниченные возможности для принятия крупных технических мер по уменьшению опасности. Это имеет большое значение при проведении риск-анализа действующих объектов.

Отчет о риск-анализе должен документировать процесс анализа риска. Размеры отчета зависят от целей риск-анализа, однако в нем должны быть отражены: задачи и цели; исходные данные и ограничения, определяющие пределы риск-анализа; описание

анализируемой системы; методология анализа; результаты идентификации опасности; описание используемых моделей, их исходные параметры и возможность применения; исходные данные и их источники; результаты оценки риска; анализ неопределенностей; рекомендации.

## Глава 2. Алгоритмы построения вероятностных зон поражения при выбросах токсикантов в атмосферу

### 2.1 Количественные показатели риска

Согласно РД 08-120-96 при проведении декларирования опасных производственных объектов следует рассматривать следующие количественные показатели риска [3]:

**Индивидуальный риск** – частота поражения отдельного индивидуума в результате воздействия исследуемых факторов опасности.

**Коллективный риск** – ожидаемое количество смертельно травмированных в результате возможных аварий за определенный период времени.

**Социальный риск** – зависимость частоты событий, в которых пострадало на том или ином уровне число людей, больше определенного, от этого определенного числа людей.

**Потенциальный территориальный риск** – пространственное распределение частоты реализации негативного воздействия определенного уровня.

Рассмотрим взаимосвязи между этими показателями. При проведении анализа риска определяются различные сценарии аварий. Каждому сценарию аварии предписывается своя частота реализации ( $\lambda$ , 1/год) и вероятностная зона поражения ( $P(x,y)$ ), которая рассчитывается исходя из физических процессов протекания аварий и характеристики негативного воздействия на человека или другие субъекты воздействия. Для получения **поля потенциального территориального риска  $R(x,y)$**  проводится суммирование всех вероятностных зон поражения с учетом частоты их реализации на рассматриваемой территории (в предположении малости произведения  $\lambda_j * P_j(x,y)$ ):

$$R(x,y) = \sum_1^J \lambda_j * P_j(x,y)$$

Для оценки риска необходимо построить распределение персонала или населения ( $N(x,y)$ ) на рассматриваемой территории. Это распределение отражает количество субъектов воздействия, находящихся в конкретном месте в среднем в год. Тогда **коллективный риск (F)** определяется как

$$F = \int_s N(x, y) * R(x, y) ds$$

Для определения среднего показателя индивидуального риска для субъектов воздействия ( $N$ ) из всех субъектов следует выделить только ту часть ( $N_R$ ), которая подвергается риску. Это связано с тем, что определенная часть субъектов может находиться за пределами негативного влияния опасного производственного объекта.

$$N_R = \int_s N(x, y) ds, N(x, y) \in R(x, y) > 0$$

Средний индивидуальный риск оценивается как  $R_{ind} = F/N_R$ . Кроме показателя среднего индивидуального риска, зная  $N(x,y)$  и  $R(x,y)$ , можно построить распределение субъектов воздействия по уровням риска ( $N(R)$ ),  $N$ - $R$  диаграмму. Эта информация важна для оценки количества субъектов, находящихся под высоким уровнем риска. Более того, распределение субъектов по территории весьма неравномерно и по этой причине в ряде случаев все субъекты могут быть разбиты на группы по их территориальной или производственной специфике. Для каждого территориального распределения  $N_r(x,y)$  групп субъектов можно определить показатели коллективного ( $F_r$ ) и индивидуального  $R_{r\_ind}$  риска.

Показатели социального риска определяются исходя из частоты реализации ( $\lambda$ , 1/год) и вероятностной зоны поражения ( $P(x,y)$ ) для каждого сценария аварии с учетом распределения субъектов  $N(x,y)$  на рассматриваемой территории. Количество пострадавших ( $N_*$ ) при конкретном сценарии аварии рассчитывается по формуле:

$$N_* = \int_s N(x, y) * P(x, y) ds$$

а частота этого события есть  $\lambda$ . Рассчитав количество пострадавших для всего спектра сценариев ( $J$ ), можно построить  $F$ - $N$  диаграмму, просуммировав все частоты сценариев аварий, для которых количество пострадавших больше наперед заданной величины.

## 2.2 Методические особенности расчета распространения (рассеивания) выбросов в атмосфере

Проблема турбулентного переноса и рассеивания различных примесей в атмосфере относится к числу наиболее сложных проблем современной науки. Ее решению посвящено весьма значительное число как фундаментальных, так и прикладных исследований, обзор которых дан в [5-8]. Поэтому в настоящей работе акцентируется внимание только на тех ее аспектах, которые имеют выраженный методический характер и непосредственно влияют на достоверность построения полей токсического поражения и расчет показателей риска.

Размеры зоны токсической опасности при выбросах токсиканта зависят как от мощности выброса, так и от характеристик атмосферного переноса, прежде всего от скорости ветра и от категории (класса) устойчивости (стабильности) атмосферы. Категории различаются в основном интенсивностью вертикального перемешивания воздуха. Наиболее неустойчивая категория “А” отмечается при слабом ветре и сильной солнечной радиации, когда воздух, нагретый теплом от земной поверхности, всплывает. Обычно это состояние возникает после полудня или несколько раньше. Категория “С” наблюдается при усилении ветра от умеренного до сильного и чаще всего вечером при ясном небе или днем при низких кучевых облаках, а также летними ясными днями при высоте солнца  $15 \div 30^\circ$ . Нейтральная категория “D” соответствует условиям сплошной облачности как днем, так и ночью, когда влияние прямых солнечных лучей незначительно. Устойчивые категории “E” и “F” фиксируются обычно ночью при чистом небе или слабой облачности, когда земная поверхность выхолаживается и над ней устанавливается инверсионный слой. Естественная конвекция при этом подавляется. Стабильность повышается с ростом скорости ветра и снижением интенсивности солнечного облучения. Облачность проявляется по-разному. Ночью ее снижение усиливает охлаждение Земли, образование температурной инверсии. Днем, наоборот, конвективные потоки и неустойчивость усиливаются.

В литературе нет общепринятого критерия определения категорий стабильности [9], однако большинство исследователей пользуются простейшей классификацией (Паскуилла) по вертикальному градиенту температур – см. таблицу 1.

Таблица 1

## Классификация классов устойчивости по Паскуиллу

Градиент температуры ( $\Delta T/\Delta Z$ ), град./100м	Класс устойчивости
<-1,9	А – сильная конвекция
-(1,9÷1,7)	В – конвекция
-(1,7÷1,5)	С – умеренная конвекция
-(1,5÷0,5)	Д – нейтральная
-0,5÷+1,5	Е – инверсия
+(1,5÷4,0) и более	Ф – сильная инверсия

Поскольку состояние устойчивости атмосферы по существу определяется интенсивностью вертикальных конвективных течений, оно может существенно измениться и в течение суток. Характерное распределение стабильности атмосферы в течение дня для средних широт представлено на рис. 1 для различных времен года. Как видно, распределение состояний устойчивости атмосферы в холодное и теплое время года весьма отличаются. Так, в холодное время года доминируют нейтральное и стабильное состояния атмосферы, а в теплое время года: ночью – стабильное, а днем – неустойчивое. Для мощных вертикальных высокоскоростных выбросов или высокотемпературных выбросов, а также в случаях расположения источника выброса на значительной высоте от поверхности земли весьма важным является учет зависимости слоя перемешивания (приземный слой атмосферы с примерно постоянным касательным напряжением сдвига) от состояния атмосферы. По данным зарубежных исследователей высота слоя перемешивания в среднем изменяется от 100 м ночью до 2000 м в дневное время [10]. При этом максимальное значение высоты слоя перемешивания достигается через 3-4 часа после восхода солнца.

Для описания зависимости реализации того или иного класса устойчивости атмосферы от скорости ветра “U” были проанализированы данные станций наблюдений в США [11] и в РФ (Обнинский ИЭМ) [12]. Результаты представлены на рис.2. Значительное их различие свидетельствует о необходимости использования только “местной” метеоинформации, строго соответствующей определенному типу земной поверхности (равнинная, холмистая и т.д.).

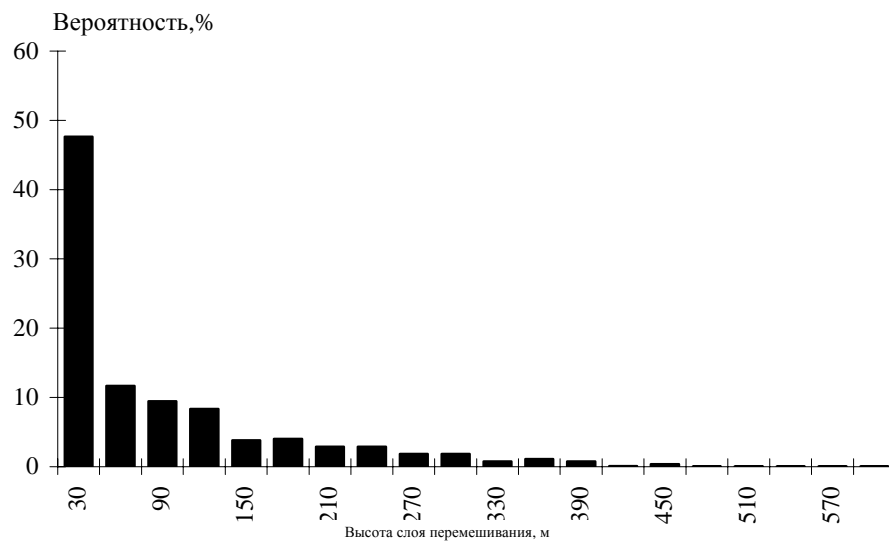
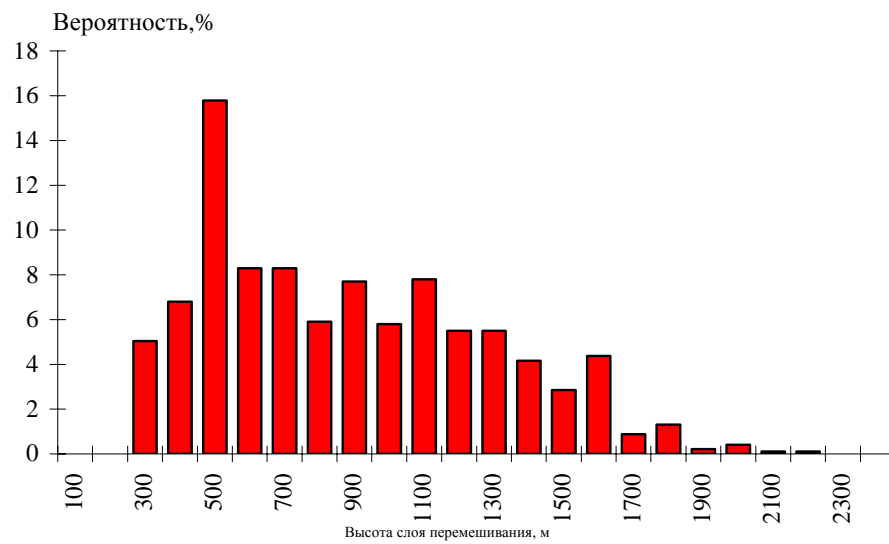
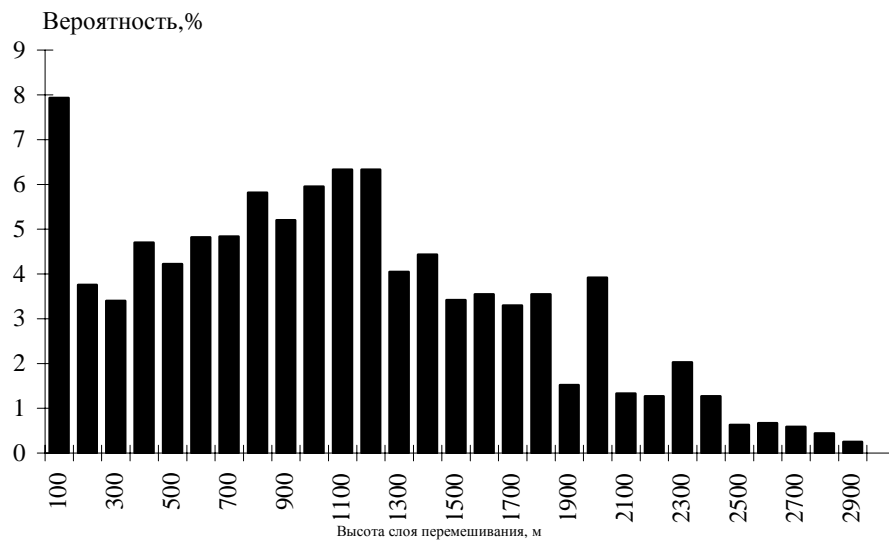
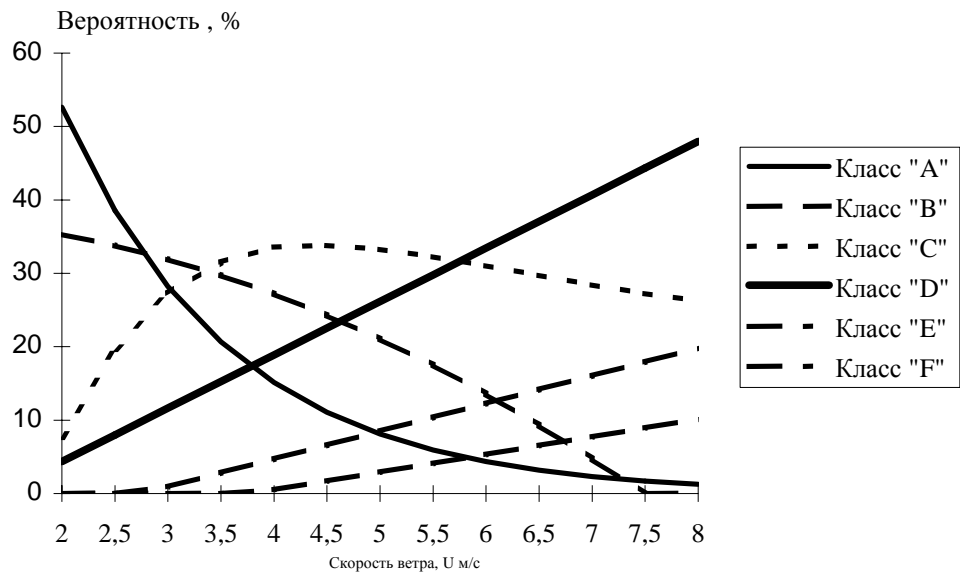


Рис. 1. Распределение частоты реализации различной высоты слоя перемешивания для различных атмосферных условий



А



Б

U м/с	апрель-сентябрь (IV-IX)						октябрь-март (X-III)					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
0-1	1.4	7.0	29.8	23.7	4.0	34.1	0.0	0.1	5.3	17.2	20.8	56.6
2-3	3.2	10.5	36.5	28.7	3.8	17.3	0.0	0.0	5.8	23.0	26.0	45.2
4-5	2.2	12.4	39.6	31.0	3.7	11.1	0.0	0.1	6.4	26.0	28.1	39.4
6-7	4.3	11.9	39.4	31.5	3.4	9.5	0.1	0.2	6.7	27.3	29.0	36.7
8-10	4.3	12.2	40.4	32.8	3.7	6.6	0.0	0.2	5.9	26.0	27.2	49.7

Ри. 2. Распределение классов устойчивости в зависимости от скорости ветра.

(по данным: А – Р.Макнаут, Б – Бызова)

Известно, что скорость ветра существенно изменяется с высотой. В прикладных исследованиях наиболее часто используется степенная зависимость вида

$$U(z) = U_0 (z/z_0)^p$$

где  $U_0$  – скорость ветра на “стандартной” высоте  $z_0$  (обычно  $z_0=10$  м).

Значения показателя “ $p$ ” также зависят от класса устойчивости атмосферы и “шероховатости” поверхности  $\Delta_0$  (таблица 2).

Таблица 2

Зависимость параметра “ $p$ ” от величины шероховатости поверхности для различных классов устойчивости атмосферы.

Категория стабильности атмосферы	Параметр шероховатости $\Delta_0$ , м			
	0,01	0,1	1	3
A	0,05	0,08	0,17	0,27
B	0,06	0,09	0,17	0,28
C	0,06	0,11	0,20	0,31
D	0,12	0,16	0,27	0,37
E	0,34	0,32	0,38	0,47
F	0,53	0,54	0,61	0,69

И, наконец, рассмотрим связь между категориями устойчивости атмосферы и характеристиками турбулентного переноса и масштабами переноса примеси. Не меняя существа вопроса, проведем анализ для простейшего случая переноса “нейтральной” примеси от точечного источника постоянной мощности  $G_0$ . Тогда распределение концентрации примеси на оси следа ( $y=0$ ) на поверхности земли ( $z=0$ ) равно

$$C(x,0,0) \approx \frac{G_0}{2\pi \cdot U \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)}$$

Обычно коэффициенты дисперсии в горизонтальном и вертикальном направлении  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  вычисляют по эмпирическим соотношениям. Наиболее известны номограммы “Гиффорда-Паскуилла” [9], составленные по наблюдениям концентрации на

равнинной местности (см. рис. 3) и поэтому названные “сельскими”. Кривые, представленные на рис. 3, могут быть аппроксимированы формулами

$$\sigma_i = \exp[a_i + b_i \ln x + c_i (\ln x)^2]$$

где  $x$  – расстояние, м ( $10^2 \leq x \leq 10^4$ );  $i=y; z$ .

Коэффициенты аппроксимации  $a_i$ ,  $b_i$  и  $c_i$  даны в таблице 3.

Таблица 3.

Константы формул, аппроксимирующих кривые Гиффорда-Паскуилла (по Тэрнеру).

Константы	Категория стабильности атмосферы					
	A	B	C	D	E	F
$a_y$	-1,104	-1,634	-2,054	-2,555	-2,754	-3,143
$b_y$	0,9878	1,0350	1,0231	1,0423	1,0106	1,0148
$c_y$	-0,0076	-0,0096	-0,0076	-0,0087	-0,0064	-0,0070
$a_z$	4,679	-1,999	-2,341	-3,186	-3,783	-4,490
$b_z$	-1,7172	0,8752	0,9477	1,1737	1,3010	1,4024
$c_z$	0,2770	0,0136	-0,0020	-0,03116	-0,0450	-0,0540

Бриггс провел аналогичные наблюдения в городской местности, и поэтому его коэффициенты иногда называют “городскими”. Для нестабильной атмосферы городские коэффициенты  $\sigma_y$  выше сельских приблизительно до 5 км, но потом существенно снижаются. С учетом стабильности (для категории “F”) позиция превышения городских коэффициентов увеличивается до 40 км. Расхождения коэффициентов  $\sigma_z$  еще более существенны (см. рис. 3).

Представленные выше данные об изменениях и корреляциях между основными параметрами атмосферного переноса свидетельствуют о необходимости построения предельно четких логических схем различных вариантов (исходов) развития аварийного процесса в атмосфере, построенных по принципу “деревьев событий”. Очевидно также, что по целому ряду характеристик (шероховатость дневной поверхности, функции распределения скорости ветра и

классов стабильности атмосферы в разрезе года и др.) “функции переноса” непосредственно связаны и с “функцией источника” (давление насыщенных паров, температура воздуха и поверхности грунта и др.) т.е. с мощностью выброса.

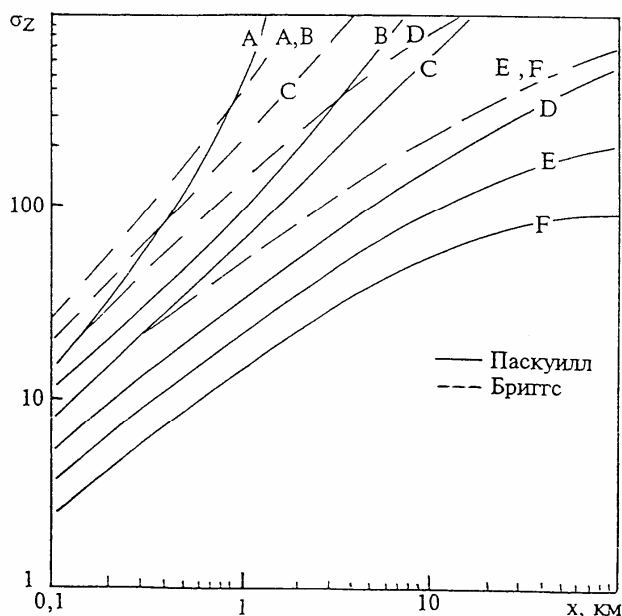


Рис. 3. Изменение дисперсионного коэффициента  $\sigma_z$  с расстоянием по ветру.

На сегодня в литературе [13] имеется обширная информация о построении как сложных (трехмерных), так и более простых моделей переноса, основанных на эмпирических данных.

Для прогноза распределения концентраций токсиканта вокруг источника используем простейшую модель Гаусса турбулентной диффузии.

Математическое выражение для концентрации вещества от точечного источника с постоянной мощностью —  $Q_*$  (кг/с) записывается в виде:

$$C(x,y,z,t) = \frac{f(A) \cdot Q_*}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

где  $Q_*$  — мощность источника (кг/сек);  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  — дисперсионные параметры, зависящие от устойчивости атмосферы и расстояния от источника «x»,(м);  $U$  — скорость ветра м/сек ;  $H$  — высота

источника (м);  $x, y, z$  – осевая, поперечная и вертикальная координаты;  $f(A)$  – доля примеси в слое перемешивания (“А” – высота слоя перемешивания).

Эта зависимость применительно к реальным условиям выброса с концентрацией  $C_0$  корректируется введением понятия виртуального источника. В этом случае вычисляют  $x_0$  таким образом, чтобы в точке ( $x=0, y=0, z=H$ ) соблюдалось равенство:

$$C_0 = \frac{f(A) \cdot Q}{2\pi \cdot U \cdot \sigma_y(x_0) \cdot \sigma_z(x_0)}.$$

А при дальнейших расчетах параметры дисперсии корректируются с учетом значения  $x_0$ , т.е.  $\sigma_y = \sigma_y(x+x_0)$ ;  $\sigma_z = \sigma_z(x+x_0)$

Как правило, для относительно небольших значений высот подъема факела ( $H < 100 \div 200$  м)  $f(A) = 1$ .

### **2.3 Обобщенный алгоритм расчета вероятности гибели людей (риска) при возникновении выбросов токсикантов**

Смертельное поражение человека, находящегося в районе источника токсической опасности, зависит от многих факторов: от общих объемов и продолжительности выброса токсического вещества при аварии; от состояния атмосферы, скорости и направления ветра во время выброса и распространения вещества в атмосфере; от типа (специфики воздействия) самого вредного вещества; от места нахождения человека по отношению к источнику в момент аварии; наконец, от состояния здоровья самого человека и от его поведения во время аварии.

Все эти факторы можно разделить на две группы:

1. технологические и климатические факторы, не зависящие от человека, подвергающегося негативному воздействию;
2. факторы, которые в той или иной степени определяются или зависят от человека – факторы жизнедеятельности, местонахождения, поведения, состояния здоровья и т.д.

На факторы 1-ой группы (интенсивность и продолжительность выброса, а также тип токсического вещества, состояние атмосферы, направление и сила ветра, время существования вещества в атмосфере и т.д.) человек, находящийся в районе аварии, повлиять не может. С

точки зрения абстрактного человека, попавшего в зону аварии, такие факторы являются независимыми от него, т.е. объективными.

Реализация того или иного объективного фактора (из общей группы) носит случайный характер. Мерой случайности является частота или вероятность его появления.

Вероятность поражения (риск), определенная с учетом только объективных факторов, будет являться потенциальным риском.

Поле потенциального риска позволяет оценить общую картину опасности или поражения при возникновении аварии и его можно рассматривать как некоторый фон опасности вокруг объекта с токсическим веществом.

Рассмотрим непосредственно задачу вычисления потенциального риска в предположении, что все частоты и/или вероятности возникновения и существования объективных факторов, влияющих на токсическое поражение человека, нам известны:

1. Частота возникновения аварии с выбросом токсичного вещества в атмосферу –  $\lambda$  (1/год).
2. Объемы (интенсивность) выброса токсичного вещества, которые могут изменяться в зависимости от сценария аварии в некотором диапазоне:  $G_{\min} \leq G \leq G_{\max}$ .

Предполагается, что выделен набор характерных объемов выброса токсичного вещества для данного источника опасности

$$G_{\min} \leq G_k \leq G_{\max} \quad (k=1 \dots K).$$

Каждый из этих объемов может реализоваться со своей частотой  $g_k$ ,

$$\text{причем } \sum_{k=1}^K g_k = 1.$$

3. Данные о розе ветров и состоянии атмосферы в районе источника опасности:
  - ◆ набор характерных для данной местности скоростей ветра  $0 \leq U_\ell \leq U_{\max}$  ( $\ell=1 \dots L$ );
  - ◆ набор характерных состояний атмосферы – обычно максимальное число классов устойчивости атмосферы принимается равным шести (по Паскуиллу): А, В, С, D, E, F;
  - ◆ общее число румбов, из которых состоит роза ветров – М (чаще всего 8 или 16);

Известно, что каждая из скоростей ветра  $U_\ell$  реализуется в любом из географических направлений, т.е. внутри каждого из румбов с порядковым номером –  $m$  ( $m=1\dots M$ ) с частотой  $P_{\ell,m}^n$ , где  $n = 1, \dots, N$  – номер временного интервала в разрезе года (сезона или месяца), требующего дифференциации по сочетанию метеорологических параметров для данной местности.

Набор этих частот

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\ell=1}^L P_{\ell,m}^n = 1$$

Учет состояний атмосферы необходимо проводить согласно известной информации о частоте повторяемости того или иного класса устойчивости атмосферы в зависимости от скорости ветра, причем для данной местности и желательно для каждого временного интервала. Предположим, что такие частоты есть – ( $\bar{P}_{\ell,a}^n$ ,  $\ell=1\dots L$ ,  $a=1\dots 6$ ),  $n=1\dots N$ ), где “ $a_j$ ” – определяет класс устойчивости атмосферы: А –  $a=1$ ; В –  $a=2$ ; С –  $a=3$ ; D –  $a=4$ ; Е –  $a=5$ ; F –  $a=6$ , причем  $\sum_{a=1}^6 \bar{P}_{\ell,a}^n = 1$

Для выделения класса устойчивости атмосферы в условиях влияния других факторов необходимо определить условную частоту, например, повторяемости скорости ветра при классе устойчивости атмосферы “ $a_j$ ”. Условная частота для скорости ветра будет иметь вид:

$$P_{\ell,m/a}^n = P_{\ell,m}^n \cdot \bar{P}_{\ell,a}^n / \left( \sum_{a=1}^6 \bar{P}_{\ell,a}^n \right).$$

Очевидно, что

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\ell=1}^L \sum_{a=1}^6 P_{\ell,m/a}^n = 1$$

Приведенные выше частоты полностью описывают основные (наиболее общие) “объективные” факторы, влияющие на величину потенциального риска.

Прежде чем перейти к процедуре вычисления количественных показателей потенциального риска, необходимо оценить размер области (территории), в каждой точке которой риск возможен, т.е. имеет ненулевое значение. Для этого нужно знать максимальное расстояние от источника аварии, на которое может распространиться

вредное вещество (с определенным уровнем концентрации) в атмосфере, т.е.

$$R_* = \max(r_{k,\ell/a}^n), k=1...K, \ell=1...L, a=1...6, n=1...N$$

где  $(r_{k,\ell/a}^n)$  – расстояние, на которое распространяется опасное облако, при сценарии аварии  $k$  (то есть соответствующей интенсивности выброса), скорости ветра  $U_\ell$ , классе устойчивости атмосферы “ $a_j$ ”, во временном интервале (в разрезе года) –  $n$ . Эти расстояния определяются по результатам проведения численного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих закономерности истечения и рассеяния (распространения) в атмосфере опасного вещества и учитывающих характерные диапазоны изменения объективных факторов ( $k, \ell, a, n$ ).

Таким образом, поле риска будет ограничиваться кругом радиуса  $R_*$  с центром в источнике аварии.

При расчете потенциального риска необходимо учесть еще один фактор, определяющий уровень токсичности самого вещества. Этот фактор носит название “пробита” –  $P_R$ , учитывает специфические особенности физиологического воздействия и количество поглощенного вещества (дозу), которое может смертельно воздействовать на “абстрактного” человека, находящегося в зоне аварии, и имеет вид:

$$P_{R_{n,k,\ell,a}}(x,y) = \alpha + \beta \cdot \ln[D_{n,k,\ell,a}(x,y)]$$

где  $D_{n,k,\ell,a}(x,y)$  – токсодоза вредного вещества – интегральная величина

$$D_{n,k,\ell,a}(x,y) = \int_0^{T_k} C_{n,k,\ell,a}^v(x,y,t) dt$$

где  $C_{n,k,\ell,a}^v(x,y,t)$  – функция концентрации токсичного вещества в точке  $(x,y)$ ,  $T_k$  – время экспозиции;  $\alpha, \beta, v$  – константы, характеризующие как специфику токсиканта, так и выделенную группу людей (группу риска);  $(x,y)$  – координаты предполагаемого места нахождения абстрактного человека внутри круга радиуса  $R_*$

Обычно в специальной медицинской литературе для характеристики острого ингаляционного воздействия газообразных токсических веществ приводятся значения концентраций, вызывающих 50% поражение при экспозиции в течение некоторого



времени “Т” (LCT50). Эта характеристика по существу определяет интегральную меру токсиканта, при получении которой возможен летальный исход у 50% субъектов в группе (например, методика “ТОКСИ”).

Знание функции пробита в точке  $P_R(x,y)$  позволяет определить вероятность (степень) поражения в точке через интеграл Гаусса:

$$A_{n,k,\ell,a}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr_{n,k,\ell,a}} e^{-(z-5)^2/2} dz$$

Особо отметим практический прием проверки правильности использования из литературы констант пробит-функции. Если известны константы ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$ ), а также значение LCT50, и при подстановке концентрации для 50% поражения в уравнение для пробит функции получится значение  $P_R = 5$ , то константы применяются для выражения  $A(P_R-5)$ . Если же  $P_R = 0$ , то  $-A(P_R)$ .

Для различных токсичных и вредных веществ пробит-функция имеет различные константы, определяемые в результате специальных медико-биологических исследований и отнесенные к среднестатистическому составу населения или, если это оговорено специально, к определенному контингенту (группе) людей. В таблице 4 приведены константы для вычисления пробит-функции летального поражения для некоторых химических веществ, рекомендованные Центром изучения безопасности химических процессов Американского института инженеров-химиков для технического персонала заводов [3].

Таблица 4

Константы для вычисления пробит – функции летального поражения технического персонала (С - ppm, Т – мин).

Вещество	$\alpha$	$\beta$	$\nu$
Акролеин	-9.931	2.049	1
Акрилонитрил	-29.42	3.008	1.43
Аммиак	-35.90	1.85	2
Бензол	-109.78	5.3	2
Бром	-9.04	0.92	2
Угарный газ	-37.98	3.7	1
Четыреххлористый	-6.29	0.408	2.5

углерод			
Хлор	-8.29	0.92	2
Формальдегид	-12.24	1.3	2
Соляная кислота	-16.85	2.00	1.00
Цианистоводородная кислота	-29.42	3.008	1.43
Фтористоводородная кислота	-35.87	3.354	1.00
Сероводород	-31.42	3.008	1.43
Бромистый метил	-56.81	5.27	1.00
Метилизоцианат	-5.642	1.637	0.653
Двуокись азота	-13.79	1.4	2
Фосген	-19.27	3.686	1
Окись пропилена	-7.415	0.509	2.00
Двуокись серы	-15.67	2.10	1.00
Толуол	-6.794	0.408	2.5

Как уже отмечалось, результат токсикологического воздействия зависят от текущего состояния человека, его возрастных и физических данных и ряда других особенностей. Это приводит к тому, что зачастую эффект воздействия может изменяться в 2-5 раз при поглощении одной и той же дозы токсиканта. Более того, в ряде зарубежных работ значения пробит-функций приведены с учетом поведения людей и их физиологической активности [14]. Более подробно с применением этого метода для оценки масштабов поражения можно ознакомиться в работах [3, 14].

В инженерной практике для прогноза эффектов острого токсического воздействия на человека часто используются систематизированные лабораторные материалы, полученные на различных группах животных. Для характерных случаев поражения газообразными токсикантами обычно выбираются материалы по крысам, имеющим близкие к человеку физиологические системы дыхания и кровообращения. При этом за счет корректирующих коэффициентов учитывается более высокая у крыс скорость поглощения или абсорбции – (примерно в 5 раз) и большая

интенсивность дыхания в стрессовых ситуациях (примерно в 2 раза). Для принимаемой в качестве типового примера 30-ти минутной экспозиции с постоянной концентрацией

$$LCT50_{\text{чел}} \approx \frac{3,3}{10} * LCT50_{\text{крыс}}$$

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что при оценке риска токсического поражения для населения в качестве консервативной оценки наиболее целесообразно принимать критерии воздействия, которые вызывают поражение у наиболее уязвимой части населения (нижние кривые функций поражения).

Представленное выше выражение для  $A_{n,k,\ell,a}(x,y)$  учитывает количественные характеристики всех “объективные” факторов (n,k,ℓ,a), влияющих на величину поражения, кроме частотных характеристик этих факторов и направления ветра, характеризующегося случайной величиной  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$  ( $\varphi=0$  принимается за восточное направление).

Поскольку токсическая опасность в виде облака (шлейфа) вредного вещества распространяется в атмосфере в основном по ветру, который изменяет свое направление независимо от параметров источника и случайным образом, то значение доли поражения  $A_{n,k,\ell,a}$  в конкретной точке (x,y) будет лишь одним из возможных значений поражения.

Для того чтобы учесть при вычислении  $A_{n,k,\ell,a}(x,y)$  направление ветра, необходимо найти зависимость  $A_{n,k,\ell,a}$  от полярного угла  $\varphi$ , т.е. определить функцию поражения как функцию от случайной величины  $\varphi$ . Эта зависимость устанавливается с помощью процедуры интерполяции функции  $A_{n,k,\ell,a}(x,y)$ , которая определена численным решением в прямоугольной сетке  $(x_i, y_j)$ , на полярную сетку  $(\rho_\eta, \varphi_\mu)$ . Таким образом, функция поражения –  $A_{n,k,\ell,a}(\rho, \varphi)$  определена как функция случайной величины  $\varphi$ .

Плотность распределения случайной величины  $\varphi$  можно представить на основании метеорологической информации в виде гистограммы – ступенчатой функции (рис. 4):

$$\Psi_{\ell/a}^n(\varphi) = \left\{ \frac{M}{2\pi} \cdot P_{\ell,m/a}^n, \quad (m-1)\frac{2\pi}{M} < \varphi < m\frac{2\pi}{M}; m = 1 \dots M \right\}$$

$$n=1 \dots N, \quad \ell=1 \dots L, \quad a=1 \dots 6$$

Фактически  $\Psi$  есть дискретная плотность распределения совокупности случайных, независимых временных и погодных факторов:  $n, l$  при условии  $a$  и  $\varphi$ , результатом интегрирования (суммирования) которой по всем этим факторам в соответствии с законами вероятности есть 1, т.е.

$$\sum_{n=1}^N \sum_{\ell=1}^L \sum_{a=1}^6 \int_0^{2\pi} \Psi_{\ell/a}^n(\varphi) d\varphi = \sum_{n=1}^N \sum_{\ell=1}^L \sum_{a=1}^6 \sum_{m=1}^M P_{\ell,m/a}^n = 1.$$

Математическое ожидание токсического поражения в произвольной точке полярной сетки  $(\rho_\eta, \varphi_\mu)$  для условий  $(n, k, \ell, a,)$  будет определяться как

$$\bar{A}_{n,k,\ell,a}(\rho_\eta, \varphi_\mu) = \int_0^{2\pi} A_{n,k,\ell,a}(\rho_\eta, |\varphi_\mu - \varphi|) \Psi_{\ell/a}^n(\varphi) d\varphi.$$

Здесь под интегралом аргумент  $|\varphi_\mu - \varphi|$  означает, что функция  $A_{n,k,\ell,a}(x, y)$  симметрична относительно оси  $\varphi = \varphi_\mu$ , поскольку предполагается, что токсическая опасность (токсическое облако) также симметрична относительно этой же оси (рис. 4).

Полное математическое ожидание в точках полярной сетки  $(\rho_\eta, \varphi_\mu)$  учитывает частотные характеристики остальных объективных факторов и имеет вид:

$$\bar{A}(\rho_\eta, \varphi_\mu) = \lambda \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K g_k \sum_{\ell=1}^L \sum_{a=1}^6 \bar{A}_{n,k,\ell,a}(\rho_\eta, \varphi_\mu).$$

Тем самым определено поле потенциального риска. Изолинии  $\bar{A}(\rho_\eta, \varphi_\mu) = \text{const}$  – есть уровни равного риска.

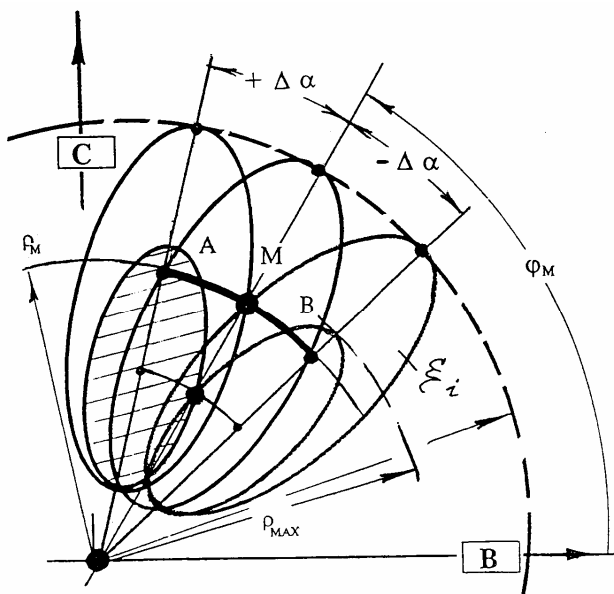
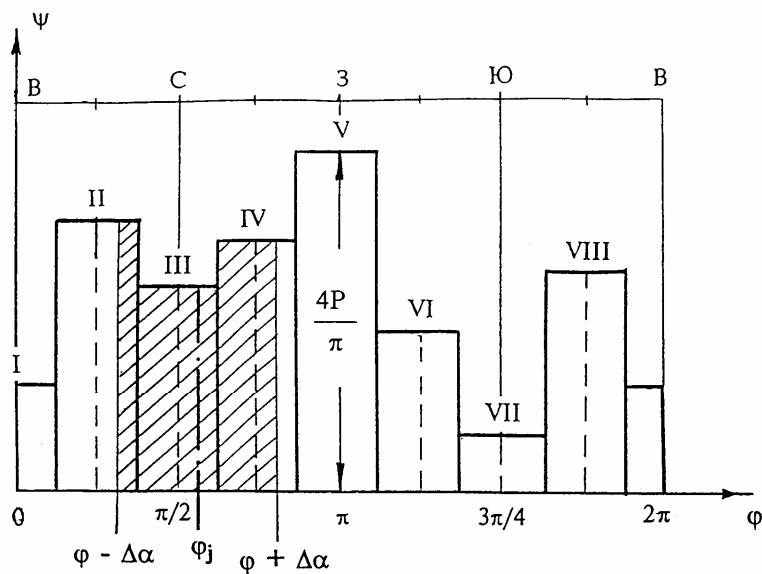


Рис. 4. К построению поля токсического поражения

Если при определении поражения в точке  $(\rho, \varphi)$  учесть еще и “субъективные” факторы, т.е. факторы, определяющие присутствие, жизнедеятельность и поведение человека, характерные для данной точки, в частотном или вероятностном выражении, то можно получить значение уже реального риска.

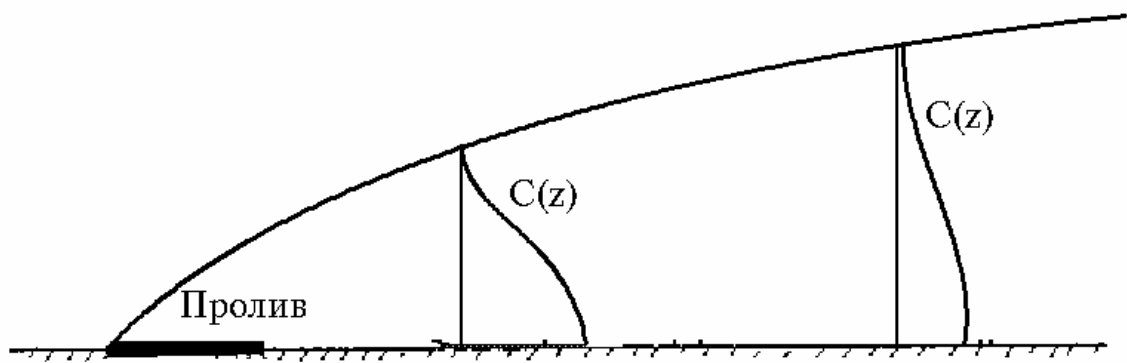
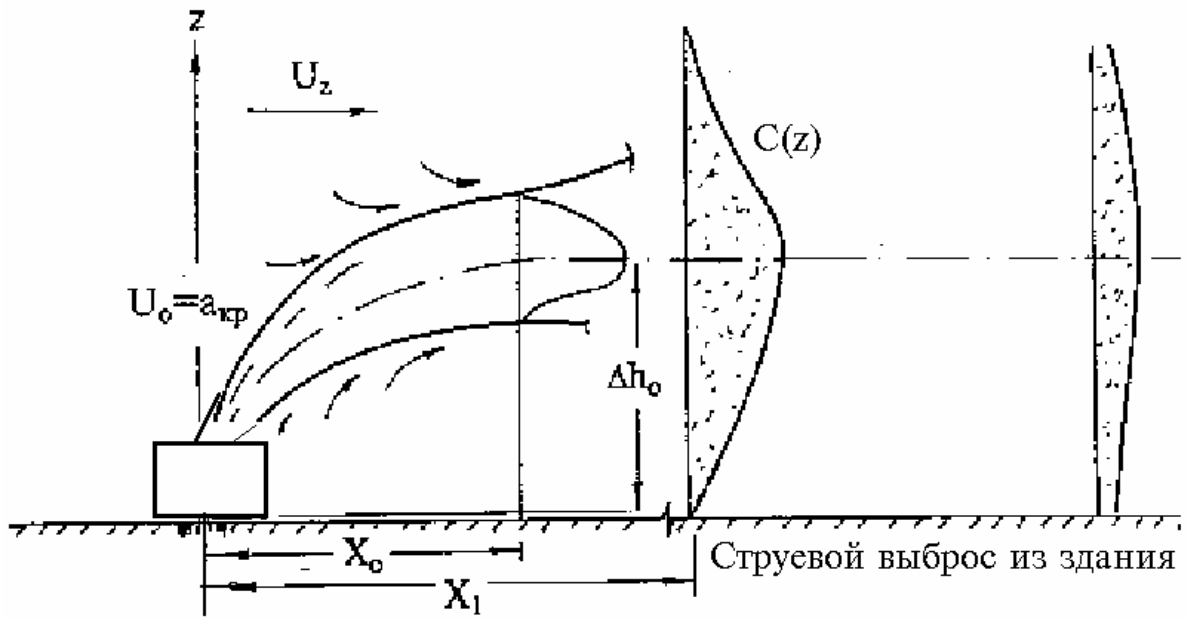
В заключение следует отметить, что максимальное число расчетов значений  $\bar{A}_{n,k,l,a}(\rho_\eta, \varphi_\mu)$  будет равно  $N * K * L * 6$  для каждой точки  $(\rho_\eta, \varphi_\mu)$ . Важно подчеркнуть, что точность вычислений  $\bar{A}(\rho_\eta, \varphi_\mu)$  зависит при этом не только от точности численных методов при решении различных краевых задач истечения и рассеяния опасного вещества, но и от степени достоверности, детализации и полноты

количественных и частотных характеристик объективных (а при определении реального риска и “субъективных”) факторов.

Представленный алгоритм расчета количественных характеристик поражения людей при аварийном выбросе в наиболее общем виде учитывает влияние определяющих технологических и климатологических факторов, принимающих случайные значения в пределах соответствующих характерных диапазонов изменения.

Как будет показано ниже, в большинстве случаев этот алгоритм может быть упрощен, что позволяет существенно снизить трудоемкость вычислений без сколь-нибудь заметного влияния на точность прогноза.

Рассмотрим более подробно методические особенности построения зоны токсического поражения, вызванного выбросом токсиканта. В зависимости от сценария возникновения и развития аварии, в частности, результирующего направления истечения, а также исходного поля скорости интегрального потока, точка касания шлейфом поверхности земли может находиться либо в непосредственной близости от “источника”, либо отстоять от него на определенное расстояние (на рис. 5  $x = x_1$ ). Примем, что за весь рассматриваемый период “времени негативного воздействия” направление и сила ветра, а также градиент температуры по высоте остаются неизменными. Под действием турбулентного переноса газа в атмосфере, начиная от точки касания шлейфа, на поверхности земли будет формироваться некоторый характерный “след” (с граничной концентрацией  $C_*$ ) с изменяющейся в общем случае во времени геометрией. Пусть на момент времени  $\tau_j$  этот “след” имеет вид, представленный на рис. 6. Внутри “следа” имеет место существенная неоднородность по концентрациям токсиканта, а его контур ( $C \equiv C_*$ ) характеризует лишь текущую площадь зоны, в пределах которой возможна реализация ущерба различных степеней тяжести (от незначительного отклонения от физиологических норм до летального исхода).



Испарение из лужи разлития

Рис. 5. Варианты выброса токсического газа.

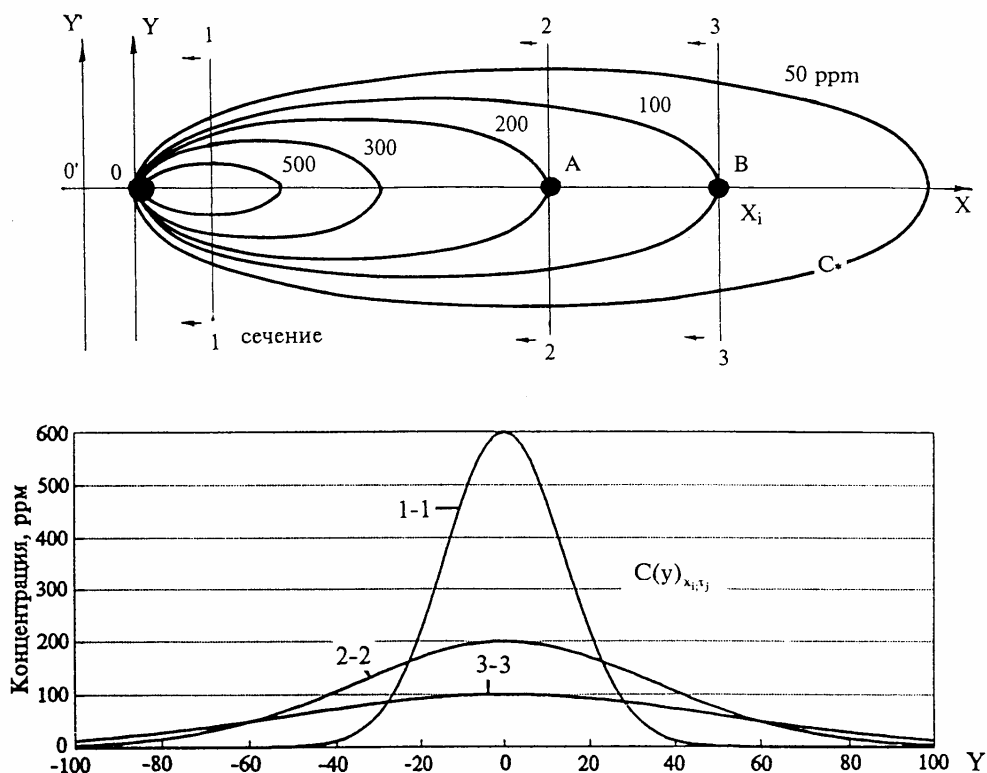


Рис. 6. Распределение концентрации  $C(x,y)_{t_j}$  токсиканта в “следе” шлейфа.

Как было отмечено выше, для эффектов острого токсического поражения крайне важное значение имеет не только общая величина дозовой нагрузки, но и динамика изменения концентрации в конкретной точке. Для рассматриваемого ниже случая выброса токсиканта с постоянным расходом из “наземного” источника рассчитанные функции  $C(\tau)$  для двух характерных точек территории (“А” и “В”), оказавшихся на оси движения шлейфа (попавших в зону токсического “следа”), представлены на рис. 7, а соответствующие значения доз  $D(y)_{x_i}$  для периода экспозиции  $T_0 = 30$  мин – на рис. 8. (Расчеты проведены в данном случае для людей, находящихся на открытом воздухе).

В общем случае токсическая нагрузка должна рассчитываться отдельно для людей, находящихся на открытом воздухе и в служебных или жилых помещениях с различной кратностью естественного или принудительного воздухообмена. Если принять, что попавший внутрь помещения токсичный газ “мгновенно” распределяется по всему объему ( $V$ ) помещения, а кратность воздухообмена ( $\omega$ ) есть величина постоянная, то изменение



концентрации токсиканта внутри помещения  $C_{в}(\tau)$  связано с аналогичным изменением концентрации снаружи помещения  $C_{н}(\tau)$ , уравнением:

$$\frac{dC_{\%}(\tau)}{d\tau} = \frac{1}{T} \cdot [C_{н}(\tau) - C_{\%}(\tau)]$$

где:  $T=V/\omega$  – характеристическое время воздухообмена.

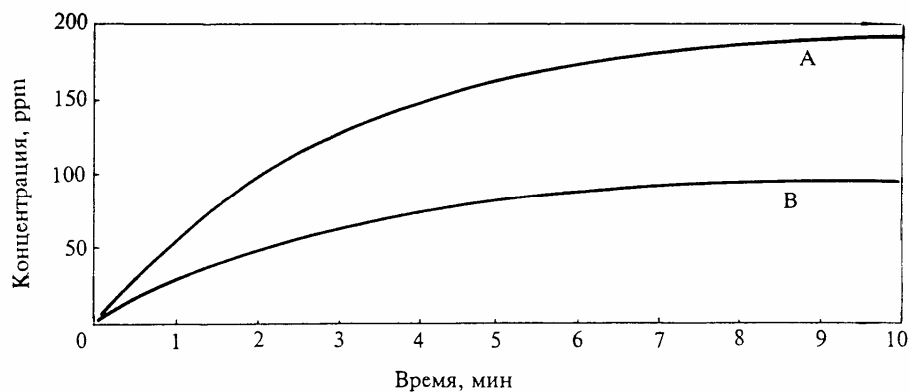
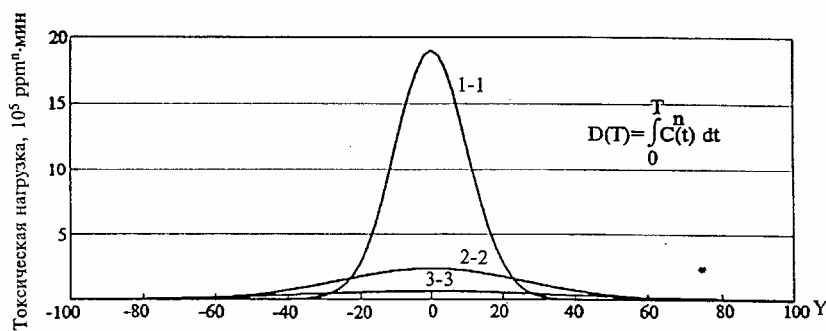
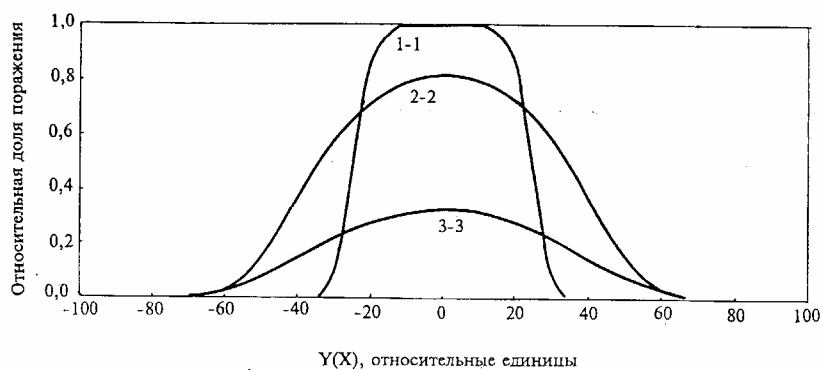


Рис. 7. Изменение во времени концентрации в характерных точках на оси “следа”.



A



B

Рис. 8. К расчету количественных характеристик токсического поражения (время экспозиции 30 мин).

Данное дифференциальное уравнение может быть решено после подстановки конкретного вида функции  $C_H(\tau)$ . Практический интерес представляют два возможных варианта изменения вида функции  $C_H(\tau)$ :

- ◆ концентрация снаружи постоянна;
- ◆ концентрация снаружи распределена по нормальному закону.

Для первого случая при  $C_B(\tau)=0$ ;  $C_H(\tau) = \text{const} = C_0$

$$C_в(\tau) = C_0 \times [1 - \exp(-\tau/T)] \text{ при } \tau \rightarrow \infty, C_в \rightarrow C_0$$

Аналогичное решение получается в случае, когда в помещении концентрация токсиканта в момент времени  $\tau=\tau_0$ ;  $C_B(\tau_0)=C_0^*$ , а снаружи равна нулю (обратный “отток”):

$$C_в(\tau) = C_0^* \times \exp[-(\tau-\tau_0)/T]$$

В обоих случаях время достижения в помещении половинной от максимально возможной концентрации ( $\tau_2$ ) будет составлять величину:

$$\tau_2 = T \times \ln 2 = 0.69 \times T$$

Если концентрация снаружи является нормально распределенной по времени, что характерно для распространения облака от мгновенных источников выброса, то, решая эту задачу также как и предыдущую, для максимальной концентрации в помещении получим

$$C_{B,\max} = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot (2\pi)^{-1/2} \cdot \frac{1}{T}$$

где:  $\sigma_y, \sigma_z$  – коэффициенты поперечной и вертикальной атмосферной дисперсии – м;  $Q$  – масса выброса – м<sup>3</sup>;  $U$  – скорость ветра – м/с;  $c$  – концентрация токсиканта, в долях единицы.

Обычно принимается, что кратность естественного воздухообмена жилых или административных помещений  $\omega \leq 2$ .

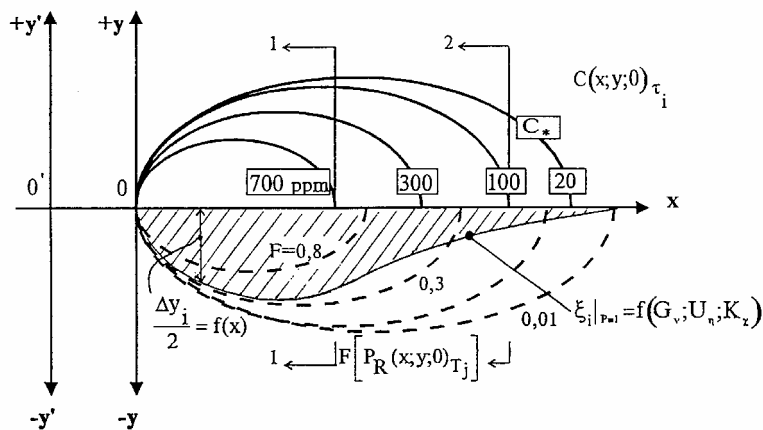
Рассчитав распределение функции  $D(x,y)_T$  и выделив конкретную группу риска, т.е подобрав для нее числовые коэффициенты пробит-функции, далее можно перейти к определению вероятности (или доли в %) поражения людей (с использованием приведенной выше функции Гаусса) и построить подобную функции  $C(x,y)$  распределение функции  $A(P_R)$  в пределах исходно выделенной зоны потенциальной опасности. В качестве иллюстрации сказанного на рис. 8 В построены профили поражения при 30-ти минутной экспозиции для трех

характерных сечений (1-1, 2-2 и 3-3, рис. 6) исходного физического поля концентраций (вернее для определенного набора точек пространства, расположенных на линиях перпендикулярных осевой линии движения облака).

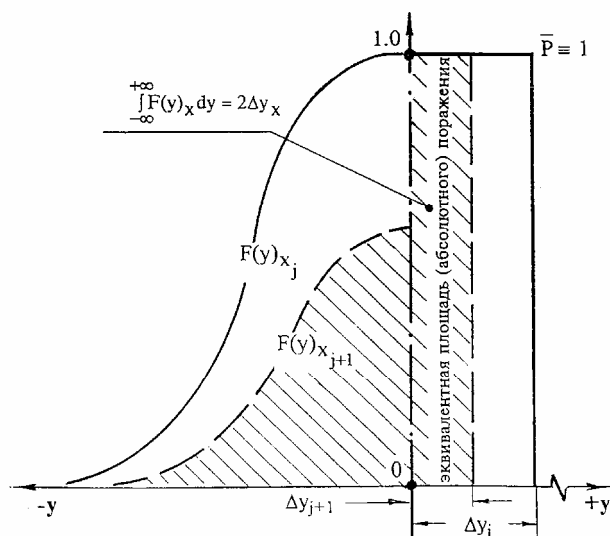
Как следует из этого рисунка, по мере удаления от оси облака относительная доля (или мера) поражения уменьшается для различных (перпендикулярных оси) сечений по различным законам, причем они существенно отличаются друг от друга даже по своим максимальным значениям (на оси “следа”), что крайне затрудняет проведение комплексного анализа риска. Напомним, что, согласно принятой в международной практике терминологии, индивидуальный риск трактуется как вероятность именно гибели человека. В этой связи был предложен [14] методический подход, заключающийся в замене функции распределения относительного поражения (неоднородного по площади “следа”) функцией “абсолютного” поражения с однородным распределением (вероятности  $P \equiv 1$ ) в пределах площади. Построение для эквивалентной площади токсического следа  $S_{\text{эк}}(\tau)$  дает

$$\int_{X_o(\tau)-Y_o(\tau)}^{X_o(\tau)+Y_o(\tau)} \int F(P_R) dYdX = F(1) \int_{S_{\text{эк}}(\tau)} dS$$

Отмеченные положения проиллюстрированы на рис. 9А. Из приведенного анализа следует, что эквивалентная “зона абсолютного токсического поражения” имеет характерный листообразный вид. На рис. 9В представлено влияние возможных изменений в годовом (сезонном) разрезе характеристик атмосферного переноса (скорость ветра, класс устойчивости атмосферы) на потенциальную площадь абсолютного поражения. Как следует из полученных данных, при инверсионных состояниях атмосферы (при положительном градиенте температур) и умеренных скоростях ветра (2,0÷2,5 м/с) площадь возможного поражения резко возрастает.



A



B

Рис. 9. Эквивалентирование зоны токсического поражения

Расчет индивидуального риска в некоторой точке территории вокруг источника опасности требует, во-первых, обоснования вероятности попадания выбранной точки в зону воздействия негативных факторов и, во-вторых, определения вероятности возникновения летального исхода (абсолютного поражения) при характерной интенсивности и общем времени действия негативных факторов на человека (как представителя биологического вида).

Очевидно, что рассмотренная логическая схема расчета характеризует лишь частный случай общего вероятностного спектра изменения как “функции источника” (объем, интенсивность и тип выброса; термодинамические особенности фазовых превращений жидкости; теплофизические свойства и “сезонные” характеристики “подстилающей” поверхности и т.п.), так и функций переноса (географическое направление и сила ветра, состояние устойчивости атмосферы и т.п.) для конкретного технологического объекта. Для проведения полноценного анализа риска очевидна необходимость

учета не только отдельных, но полного спектра физически обоснованных сценариев аварий для всех опасных объектов, а также всех возможных функций переноса (в характерном годовом разрезе изменения как самого технологического цикла производства или режимов хранения различных веществ, так и состояния ландшафта и атмосферы). А это однозначно требует перехода к построению полей потенциальной опасности и полей потенциального ущерба (риска).

## **Глава 3. Процедура анализа риска для региона**

### **3.1 Основные положения**

Методология анализа риска воздействия вредных факторов окружающей среды на здоровье населения является новым, относительно молодым, но интенсивно развиваемым во всем мире междисциплинарным научным направлением. Принципиальные положения этой методологии, заключающиеся, в частности, в выделении в единый процесс принятия решений по оценке риска и управления им, сформулированы в США в начале 80-х годов.

Следовательно, концепция риска в целом представляет собой системный подход, включающий основные элементы: оценку риска, управление риском и восприятие риска. Это два взаимосвязанных аспекта единого процесса принятия решений, основанного на характеристике риска.

В настоящее время более разработанными представляются проблемы идентификации опасностей и процедуры оценки риска при нормальном и аварийном функционировании опасных производств и объектов. Вопросы управления рисками для промышленного региона пока находятся на концептуальной стадии и требуют разработки нетрадиционных методов и подходов на междисциплинарном уровне [15].

**Процедуру анализа риска для региона можно представить следующими этапами [16]:**

1. Создание базы данных для изучаемого региона, в которую входит информация о географии региона, метеорологии, топографии, инфраструктуре, распределении населения и демографии, расположении промышленных и иных потенциально опасных производств и объектов, основных транспортных потоках, хранилищах промышленных и бытовых отходов и т.д.

2. Идентификация и инвентаризация опасных видов хозяйственной деятельности, выделение приоритетных объектов для дальнейшего анализа. На этом этапе выявляются и ранжируются по степени опасности виды хозяйственной деятельности в регионе.
3. Количественная оценка риска для окружающей среды и здоровья населения, включающая: количественный анализ воздействия опасностей в течение всего срока эксплуатации предприятия с учетом риска возникновения аварийных выбросов опасных веществ; анализ воздействия опасных отходов; анализ риска при транспортировке опасных веществ.
4. Анализ инфраструктуры и организации систем обеспечения безопасности.
5. Разработка и обоснование стратегий и оперативных планов действий, призванных эффективно реализовывать решения в сфере безопасности и гарантировать достижение поставленных целей.
6. Формулировка интегральных стратегий управления и разработка оперативных планов действий, включающая: оптимизацию затрат на обеспечение промышленной безопасности; определение очередности осуществления организационных мероприятий по повышению устойчивости функционирования и снижения экологического риска при нормальной эксплуатации объектов региона, а также в чрезвычайных ситуациях. Система управления риском должна содержать технические, оперативные, организационные и топографические элементы.

**Оценка риска в общем виде** подразумевает процесс идентификации, оценки и прогнозирования негативного воздействия на окружающую среду и/или здоровье и благосостояние людей в результате функционирования промышленных и иных производств и объектов, которые могут представлять опасность для населения и окружающей среды.

Сегодня в нашей стране дальнейшее развитие методологии социально-гигиенического мониторинга во многом связано с практическим внедрением концепции риска. В рамках нормативного подхода рассматривается оценка экологического риска, где рецептором (чувствительным звеном) является человек. Сравнительный анализ при такой оценке риска позволяет принять обоснованное решение о первоочередных мероприятиях по

минимизации риска для здоровья людей от загрязнений объектов окружающей среды.

При проведении оценок риска для здоровья населения общая схема оценки риска рис. 10, как правило, реализуется в упрощенном варианте, который выделен жирными линиями на рис. 10. В этом случае ограничиваются исследованием реального, не связанного с аварийными ситуациями, воздействия на окружающую среду источников опасности. Эта же упрощенная схема реализуется также в случае оценки риска для здоровья, связанного с существующим уровнем загрязнения окружающей среды различными химическими веществами.

### ОЦЕНКА РИСКА

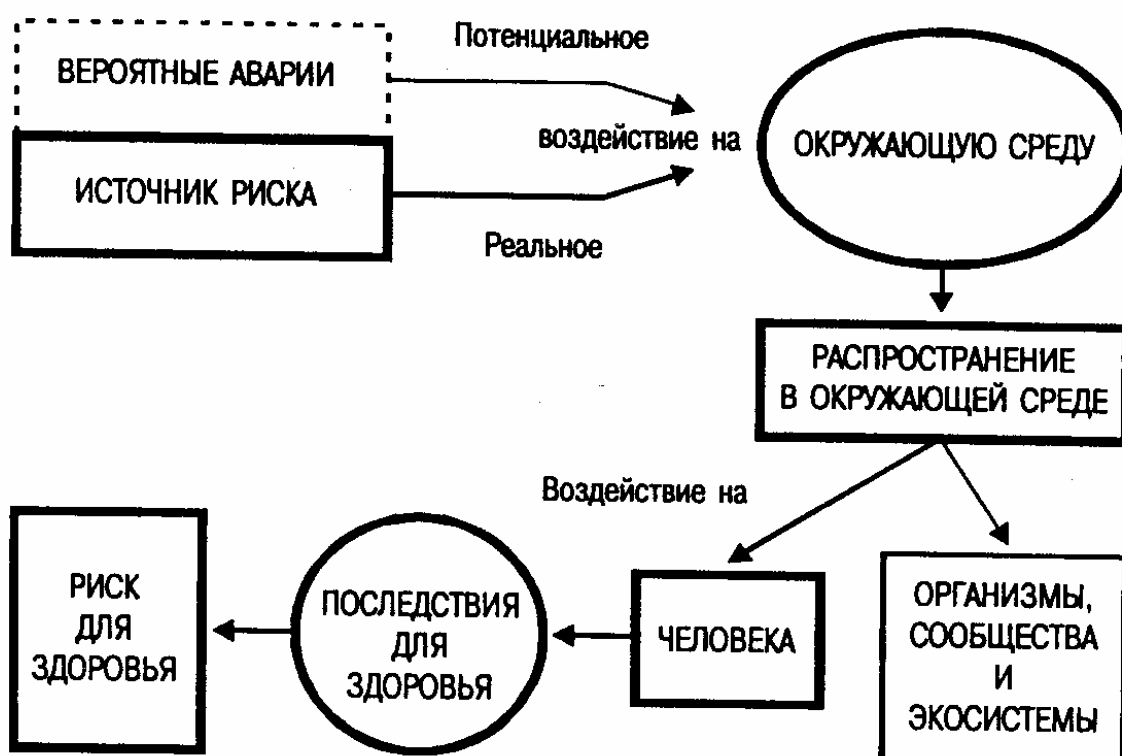


Рис. 10. Обобщенная схема проведения процедуры оценки риска [17]

Согласно определению Национальной академии наук США [15], **оценка риска – это использование доступной научной информации и научно обоснованных прогнозов для оценки опасности воздействия вредных факторов окружающей среды и условий на здоровье человека.** При этом подчеркивается, что риск для здоровья человека, связанный с загрязнением окружающей среды, возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:

- существование самого источника риска (токсичного вещества в объектах окружающей среды или продуктах питания; технологического процесса, предусматривающего использование вредных веществ и т.п.);
- присутствие данного источника риска в определенной, вредной для человека дозе;
- подверженность населения воздействию упомянутой дозы токсичного вещества. Перечисленные условия образуют в совокупности реальную угрозу или опасность для здоровья человека.

Исходя из такой структуризации самого риска, выделяются основные элементы процедуры его оценки, которые подразделяются на четыре стадии (фазы), рассматриваемые ниже более подробно:

1. Идентификация опасности;
2. Оценка воздействующих доз (экспозиции);
3. Оценка зависимости «доза – эффект» (ответ);
4. Характеристика риска.

Согласно общепринятому подходу, разработанному US EPA [18] процедуру оценки риска для здоровья можно представить следующей схемой (рис.11).

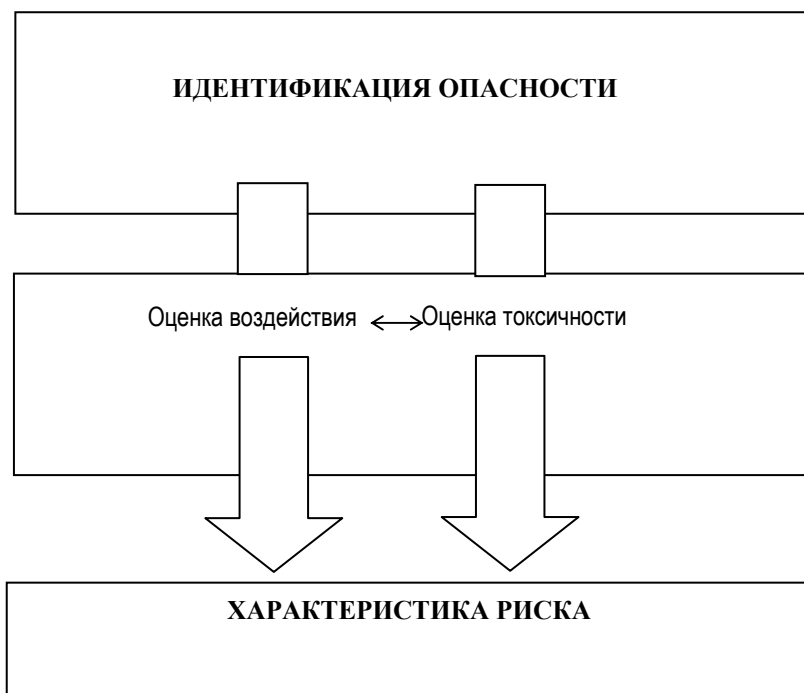


Рис.11. Схема проведения процедуры оценки риска



Риск при нормальном функционировании промышленных объектов может быть обусловлен за счет выбросов или утечки вредных или опасных веществ, сбросов неочищенных стоков, захоронения опасных и высокотоксичных отходов и др. в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормативы и оказывающих постоянное воздействие на здоровье населения и окружающую среду. Постоянные выбросы составляют:

- загрязнители воздуха — выбросы из дымовых труб, выхлопных труб автотранспорта, выбросы летучих веществ из промышленной вентиляции, при сжигании различных материалов на открытом огне и т.д.;
- загрязнители воды — сброс стоков в поверхностные водоемы, перелив из очистных прудов, неточечные источники, такие как ливневые стоки с городских дорог; загрязнение подземных вод вследствие выщелачивания почвы, разгрузки поверхностных водоемов, утечек из трубопроводов, сбросов из инжeksiрующих скважин.

## **3.2 Этапы общего анализа загрязнения объектов окружающей среды в результате выбросов стационарных источников при нормальном функционировании производств**

### *3.2.1 Этапы общего анализа [19]*

**Шаг 1.** Идентифицировать источники постоянных выбросов.

**Шаг 2.** Охарактеризовать источники выбросов: отбор предприятий и веществ для последующей оценки.

При наличии системы мониторинга можно воспользоваться данными прямых измерений. При отсутствии системы мониторинга или в случае, когда система не обеспечивает полноты данных, можно рассчитать выбросы на основе объемов предельно допустимых выбросов (ПДВ). При отсутствии мониторинга и данных по ПДВ можно воспользоваться для первичной оценки данными, полученными для аналогичных объектов, с применением балансовых методов расчета, при этом следует предварительно проверить, насколько корректно применение этих результатов к изучаемому объекту.

**Шаг 3.** Выбрать для изучения предполагаемую схему миграции загрязнителей в принимающей среде: воздухе, воде, почве.

**Шаг 4.** Используя соответствующие модели и расчетные коды, оценить рассеивание в принимающей среде.

- Если принимающей средой является воздух, рассчитать концентрации загрязняющих веществ при наихудших погодных условиях для процесса рассеивания в данном регионе, используя известные модели и расчетные коды. Перейти к шагу 5.
- Если принимающей средой является вода, необходимо рассчитать концентрации загрязняющих веществ в заданный момент времени и на заданном расстоянии от источника выброса. Перейти к шагу 6.
- Если принимающей средой является почва, необходимо оценить критическую нагрузку. Перейти к шагу 6.

**Шаг 5.** Для оценки концентраций загрязняющих веществ, как функции расстояния и времени, используются модели рассеивания в атмосфере. Рассчитать среднегодовые концентрации канцерогенов и суммы взвешенных частиц (PM 10), NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO и др. в рецепторных точках.

- Для расстояний до 50-80 км от источника выброса рекомендуется простая Гауссова модель.
- При сложных метеоусловиях и для тяжелых газов рекомендуется модифицированная Гауссова модель.

**Шаг 6.** Принимая во внимание плотность населения, рассчитать число людей, подверженных воздействию постоянных концентраций вредных веществ в импактной зоне (импактная зона — зона, где концентрация вредных веществ больше предельно допустимой для каждого данного типа вещества).

**Шаг 7.** Используя зависимости «доза-эффект» в оценке риска для населения, оценить количество людей, подвергающихся определенному эффекту (смертность, заболеваемость), т.е. оценка индивидуального и популяционного риска.

**Шаг 8.** Оценить воздействие на окружающую среду. Для этого рекомендуется воспользоваться временной типовой методикой определения ущерба от загрязнения окружающей среды либо воспользоваться результатами экспертных оценок.

Нередко и исследователи, и административные лица сталкиваются с целым рядом трудностей, которые лимитируют

возможности анализа имеющихся проблем. К таким лимитирующим факторам относится, прежде всего, ограниченность финансов, времени и данных. В таких ситуациях необходимо решить, сможет ли применение более сложных методов анализа устранить те неопределенности, которые имеют место при использовании упрощенного анализа, т.е. необходимо определить уровень анализа.

При этом важно учитывать следующее:

- Оценка риска не всегда требует использования углубленных методов или обширного сбора данных, можно получить практически результаты, имея минимум информации;
- Экспресс-оценка — снижает достоверность выводов, но дает общее представление о масштабе проблемы;
- Результаты экспресс-оценки больше всего подходят для проведения сравнительных или относительных оценок и менее — для абсолютных;
- Экспресс-оценка и сравнительный анализ полученных на этой основе значений рисков подходит для исключения маловажных и выявления наиболее значимых проблем, требующих дальнейшего точного анализа;
- Более точный, более специфичный подход при анализе риска
- потребует больше ресурсов;
- Начинать анализ необходимо с использования более простых методик и затем переходить к более сложным;
- Более сложный анализ предпочтителен для двух-трех проблем, связанных с высоким риском.

Сравнительный анализ рисков представляет, безусловно, более глубокий уровень анализа по отношению к экспресс-оценке отдельных составляющих риска. Наивысшим по глубине и комплексности является региональный анализ риска, краткое описание элементов которого будет дано в следующем подразделе.

**Таким образом, выбирая уровень проведения анализа, следует помнить правило: «Если полученная в результате анализа информация не повлияет на решение, нет смысла тратить время и деньги на ее получение».**

В данном руководстве мы посчитали целесообразным привести процедуру сравнительного и регионального анализа риска для

здоровья населения в редакции авторов учебного пособия [17] с некоторыми сокращениями и добавлениями.

### *3.2.2 Сравнительный анализ рисков*

Сравнительный анализ рисков позволяет из сопоставления рисков различного происхождения выделить наиболее значимые составляющие риска и, имея ограниченные ресурсы, рационально их распить на снижение основных рисков с учетом результатов экономического анализа, технологических ограничений и политических опросов и, таким образом, установить приоритеты в области охраны окружающей среды и здоровья. Т.е. сравнительный анализ рисков позволяет:

- Выбрать приоритетную проблему и решить ее комплексно;
- Выбрать направление инвестирования, которое наиболее реально и рационально, и тем самым
- Позволяет получить максимальную выгоду для всего населения.

**Процедура сравнительного анализа риска включает несколько этапов:**

#### 1. Определение проблемы;

- Выбор самой проблемы (какие риски будут включены, какие нет — выбираются решаемые проблемы, т.е. такие риски, которыми можно управлять);
- Определение масштаба сравнительного анализа: локальный, городской или районный, региональный, национальный или федеральный, глобальный или международный;
- Будут ли включены в анализ риски, привносимые из других мест (например, за счет трансграничного переноса загрязнителей);
- Будет ли включена оценка экологической ситуации и качества жизни или только оценка состояния здоровья;
- Выбор способа ранжирования:
  - по типу последствий воздействия (например, злокачественные новообразования, заболевания органов дыхания, риск для детей и т.п.);
  - по типу производства;
  - по компонентам окружающей среды (вода, почва, воздух);

- по местоположению.
2. Сбор данных — определение типа и объема информации, необходимых для оценки риска, и оценка риска.
  3. Определение методов сравнения и расстановка приоритетов в проблемах окружающей среды:
    - Выбор признаков для сравнения:
      - число или частота случаев;
      - индивидуальный риск;
      - пространственное распределение риска;
      - обратимость и тяжесть последствий;
      - тенденция изменения риска со временем;
      - биоаккумуляция загрязнителей, устойчивость, влияние на будущие поколения;
      - достоверность (или неопределенность);
      - полнота анализа (все ли необходимые данные были включены);
      - качество собранных данных;
    - Выбор системы оценки для каждого признака:
      - качественная;
      - присвоение баллов на основании определенных критериев;
      - какой тип баллов будет использоваться (обычный или пропорциональный);
    - Выбор принципа сложения баллов,
    - Сравнительная оценка и расстановка приоритетов.

Результаты сравнительной оценки и анализа риска в зависимости от масштаба исследуемых проблем могут быть использованы правительственными органами на федеральном и региональном уровнях, службами здравоохранения и охраны природных ресурсов, другими министерствами (энергетики, сельского хозяйства), экологическими службами крупных промышленных объединений или предприятий. Важно, чтобы лица, принимающие решения, понимали цели применяемых методов, их ограничения и сильные стороны.

Российские ученые провели исследования воздействия загрязнения воздушного бассейна промышленных городов России на здоровье проживающего населения [17]. На основе этих данных получены оценки числа дополнительных ежегодных смертей, обусловленных загрязнением окружающей среды.

Результаты полученных оценок степени риска смерти от загрязнения атмосферного воздуха в сравнении с другими видами риска смерти от ведущих групп болезней, природных явлений и катастроф представлены в таблице СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ [17].

Результаты анализа показали, что наиболее опасны для здоровья населения городов России (из включенных в анализ риска загрязняющих веществ) повышенные концентрации «классических» загрязняющих веществ (взвешенных веществ и диоксида азота), относительно них менее опасны канцерогенные загрязняющие вещества, среди которых относительно высокий риск создается в большей мере за счет загрязнения воздушной среды винилхлоридом, мышьяком и кадмием.

Все полученные таким образом результаты следует рассматривать как первые и в достаточной степени предварительные. Необходимы дальнейшие более углубленные исследования как по расширению списка контролируемых загрязняющих веществ, методов их контроля, так и по уточнению количественных оценок риска для здоровья населения с учетом не только смертности, но и заболеваемости и последующего исследования на стадии управления риском.

### *3.2.3 Региональный анализ рисков*

- Региональный анализ рисков предполагает комплексный подход с охватом проблем, создаваемых различными видами источников загрязнения, и их последствиями. Такой анализ позволяет выявить взаимосвязь проблем и оценить различные аспекты их влияния на окружающую среду и здоровье населения на уровне региона. При проведении регионального анализа риска необходимо четко выделить основные объекты анализа, для которых изучается степень риска в процессе исследования.

Следует определить **воздействия**, которые будут рассматриваться в этой связи и которые оказывают влияние на здоровье экономику, благосостояние общества и благополучие окружающей природной среды.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТЕПЕНИ РИСКА СМЕРТИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ [17]

Факторы опасности для здоровья	Диапазон риска					
	< 10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> >
<b>Загрязнение атмосферного воздуха:</b>						
Взвешенные вещества				-----*		
Диоксид азота				-----*		
Мышьяк			*			
Кадмий			*			
Винилхлорид			-----*			
Никель			*			
Бензол		-----*				
Бенз(а)пирен	-----*					
Формальдегид	*					
<b>Болезни со смертельным исходом:</b>						
Заболевания сердца					x	
Злокачественные новообразования					x	
Заболевания сосудов мозга				xx		
Бронхит хронический				x x		
Диабет сахарный			x			
Алкоголизм хронический			xx			
<b>Самоубийства и самоповреждения:</b>						
Убийства					x	
<b>Несчастные случаи:</b>						
автомобильный транспорт					x	
падения					x	
утопления				xx		
пожары, ожоги				x		
прочие				x		
<b>Природные явления:</b>						
Наводнения, цунами			o o			
Землетрясения			o			
Тайфуны, циклоны, бури			o			
Грозы		o				
Ураганы, торнадо	o					

**Выбор района исследования** не является простой и однозначной задачей. При выборе района необходимо учитывать следующие факторы:

- Район должен быть выбран по своим физическим и промышленным/экономическим показателям, а не по административным границам;
- Район следует выбирать на основе предприятий и систем, вызывающих беспокойство населения;
- Четкие границы нельзя провести до начала анализа опасности, т.к. априорно нельзя определить район, на который может распространяться воздействие;
- Необходимо рассматривать и учитывать различную деятельность в пределах воздушного и водного бассейнов;
- Системы транспорта, используемые для перевозки опасных материалов от объекта к объекту, могут потребовать рассмотрения районов, удаленных от рассматриваемой области;
- В случае анализа системы, такой, например, как электростанция на угле, компоненты которой, такие, как шахта, могут находиться на значительном удалении от рассматриваемой области, следует использовать соответствующую информацию, а не специальный анализ этого компонента.

**Информация**, необходимая для проведения регионального анализа риска, включает:

- Общее состояние окружающей среды:
  - данные мониторинга загрязнения атмосферного воздуха: средние и максимальные концентрации SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, пыли и других контролируемых загрязнений в промышленных и сельских районах;
  - данные мониторинга воды, включая питьевую воду;
  - данные о загрязнении продуктов питания;
  - данные мониторинга почвы: распределение кислот, нитратов, фторидов, тяжелых металлов и др. соединений;
- Демографическую ситуацию:
  - половозрастная структура и численность населения;
  - средняя продолжительность жизни мужчин и женщин;
  - средняя длительность проживания населения в анализируемом регионе или населенном пункте;
- Географическую информацию:
  - плотность и распределение населения;
  - главные транспортные магистрали;
  - топография;



- системы рек и других водных бассейнов;
- климатические и метеорологические данные;
- фактическое и предполагаемое использование земли и зонирование;
- размещение предприятий.

**Виды и объекты антропогенной деятельности,** рассматриваемые в процессе проведения анализа:

- Сельское хозяйство, промышленность, в том числе химическая и биохимическая, нефте- и газопереработка, металлургия, пищевая промышленность, взрывные работы и др.;
- Объекты трубопроводного и других видов транспорта;
- Производство и распределение энергии;
- Переработка и захоронение отходов;
- Обработка воды и др.

Чтобы определить **возможные источники опасности** от перечисленных антропогенных видов деятельности, необходима **информация:**

- О конкретных производствах:
  - общее описание производственных процессов;
  - используемые, обрабатываемые и хранимые исходные и вспомогательные материалы, а также производимые продукты;
  - выбросы в атмосферу, твердые и жидкие отходы (среднее и максимальное количество);
  - способы утилизации и места захоронения отходов;
  - транспортировка вредных материалов и веществ;
  - транспортировка исходных и производимых материалов (включая трубопроводы);
  - число и виды средств транспортировки опасных материалов, которые можно предоставить;
  - использование прилегающих земель (деятельность, крупные магистрали и заселенные районы).

Региональный анализ риска требует четкого планирования каждой части анализа. После разработки плана региональной оценки и анализа риска с учетом перечисленных выше объектов и факторов можно приступить к поэтапному его выполнению.

### 3.3 Основные элементы процедуры оценки риска для здоровья

#### 3.1.1 Идентификация опасности

**Опасность** – это способность химического соединения наносить вред организму и/или относительная токсичность вещества или смеси веществ.

**Идентификация опасности** – это первая стадия в структуре оценки риска, где проводится обобщение всей доступной информации, касающейся конкретного региона, источников загрязнений и их природы.

На первом этапе – постановка задачи – формулируются цель оценки, задачи и определяется схема последующего анализа и характеристики риска. В результате вырабатываются концептуальные модели [18].

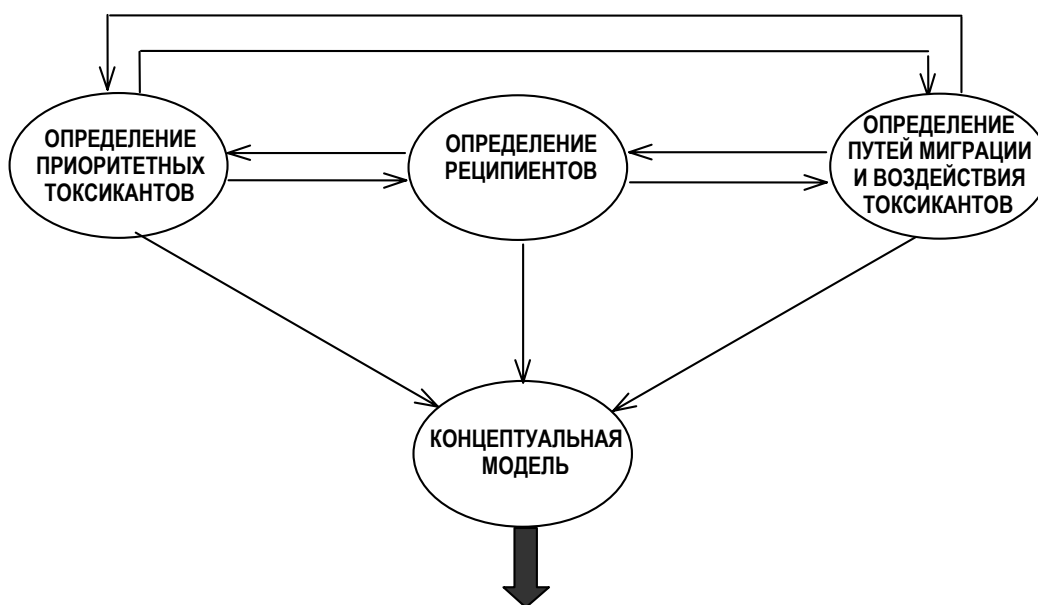


Рис.12. Проведение идентификации опасности

Целью первого этапа оценки риска является идентификация (распознавание) потенциальной опасности, то есть установление наличия возможной угрозы для здоровья в исследуемом регионе от выявленных химических веществ с учетом их способности наносить вред организму, популяции, подверженной воздействию, и условий этого воздействия на основе имеющихся данных о поведении и распространении химического вещества в окружающей среде, токсичности его для человека или экосистемы; типах ущерба здоровью и заболеваний, с которыми может быть связано воздействие

данного химического агента; путей экспозиции (ингаляционном, пероральном, кожном) и т.д.

Как правило, **идентификация опасности предусматривает:**

1. Сбор и анализ данных обо всех источниках загрязнения объекта исследования;
2. Выявление и определение вредных факторов;
3. Предварительную формулировку сценария и маршрутов воздействия потенциальных вредных факторов;
4. Выбор наиболее приоритетных для исследования вредных химических веществ.

Сбор и анализ обширной и многоплановой информации об источниках загрязнения, инвентаризация всех загрязнителей в объекте исследования и объемы эмиссий необходимы в дальнейшем для определения путей распространения и воздействия химических веществ в конкретных объектах или регионах, загрязненных выбросами, периодов времени наибольшего и наименьшего воздействия в момент исследований и оценки воздействия в прошлом.

При выявлении и определении вредных факторов рассматриваются два аспекта: **теоретический и практический**. **Теоретический аспект** включает методологию установления тех признаков или свойств химических веществ, которые позволяют отнести их к вредным для здоровья человека факторам. **Практический аспект** заключается в рассмотрении принципов выбора из всего многообразия химического загрязнения конкретного вредного вещества, или группы веществ, для проведения исследований по количественной оценке риска в определенном регионе.

Так как на практике обычно невозможно провести достаточно полную оценку рисков для всех загрязняющих веществ, присутствующих в исследуемом регионе, а также для всех возможных путей их поступления в организм человека, вследствие огромного объема необходимых аналитических исследований и отсутствия адекватных данных о свойствах потенциально токсичных ксенобиотиков, то вполне оправданным является снижение числа учитываемых факторов путем отбора ограниченного числа химических веществ, которые в наибольшей степени определяют существующие риски для здоровья населения в данной местности. Выбор приоритетных для исследования химических веществ представляет собой достаточно сложный практический процесс. Для

обоснованности сделанного выбора химическое вещество анализируется с учетом ряда требований.

**К таким требованиям относятся:**

- частота и тяжесть неблагоприятных эффектов, наблюдаемых в состоянии здоровья населения при воздействии токсического агента, при этом особенно важны необратимые или длительно протекающие изменения в организме, вызывающие канцерогенный эффект, или приводящие к генетическим дефектам, уродствам и другим нарушениям развития у потомства;
- постоянный или длительный характер действия;
- широкое распространение вещества в окружающих человека микросредах и его уровни воздействия, способные вызывать неблагоприятные изменения в состоянии здоровья у населения;
- устойчивость токсического вещества к воздействию других факторов, его стабильность и накопление в объектах окружающей среды или в организме, включение в пищевые цепи или в природные процессы циркуляции веществ;
- трансформация химического вещества в объектах окружающей среды или в организме человека, приводящая к образованию продуктов, имеющих большую токсичность, чем исходное вещество;
- величина популяции населения, подверженного воздействию химического вещества, а также возможность его воздействия на лиц, имеющих повышенную чувствительность к данному токсиканту.

При идентификации потенциальной опасности химических веществ на первом этапе оценки риска анализ ведется, в основном, на качественном уровне и при этом следует учитывать, что опасность представляет собой общее понятие и существует независимо от того, наблюдалось или нет воздействие химического вещества на какой-либо живой организм, потенциально чувствительный к такому воздействию, и не зависит от специфики местных условий. Напротив, риск рассчитывается количественно и является результатом фактического или потенциального воздействия химического соединения и зависит от уровня воздействующих доз и характеристик местных условий. *Без экспозиции не будет риска, независимо от степени опасности химического вещества.*

**Следовательно, если опасность – общий признак взаимодействия химического соединения с биологической системой, то риск – специфический признак частной ситуации.**

Таким образом, в процессе идентификации опасности осуществляется отбор химических соединений для исследований на следующих этапах оценки риска путем последовательного анализа общего списка всех химических веществ, выявленных в исследуемой зоне. На этом же этапе целесообразно акцентировать внимание на тех путях воздействия, которые явно доминируют по степени потенциальных рисков.

**Концептуальная модель, являющаяся продуктом, вырабатываемым при постановке задачи – это письменное описание предполагаемых связей между контингентом населения и воздействующими на них стрессорами.**

Сложность таких моделей зависит от числа стрессоров, количества учитываемых конечных точек оценки, характера эффектов и характеристик контингента населения. Разработка концептуальных моделей помогает выяснить, что известно и какой информации недостает для проведения оценки. По мере накопления данных модели могут изменяться.

Идентификация опасности, как и любой другой этап оценки риска, должна заканчиваться характеристикой неопределенностей, т.е. всех тех неучтенных или недостаточно точных учтенных факторов, систематических или случайных ошибок измерений или оценок, которые могут повлиять на конечные результаты характеристики риска.

Следующий шаг процедуры оценки риска для здоровья представлен на рис.13 [18].

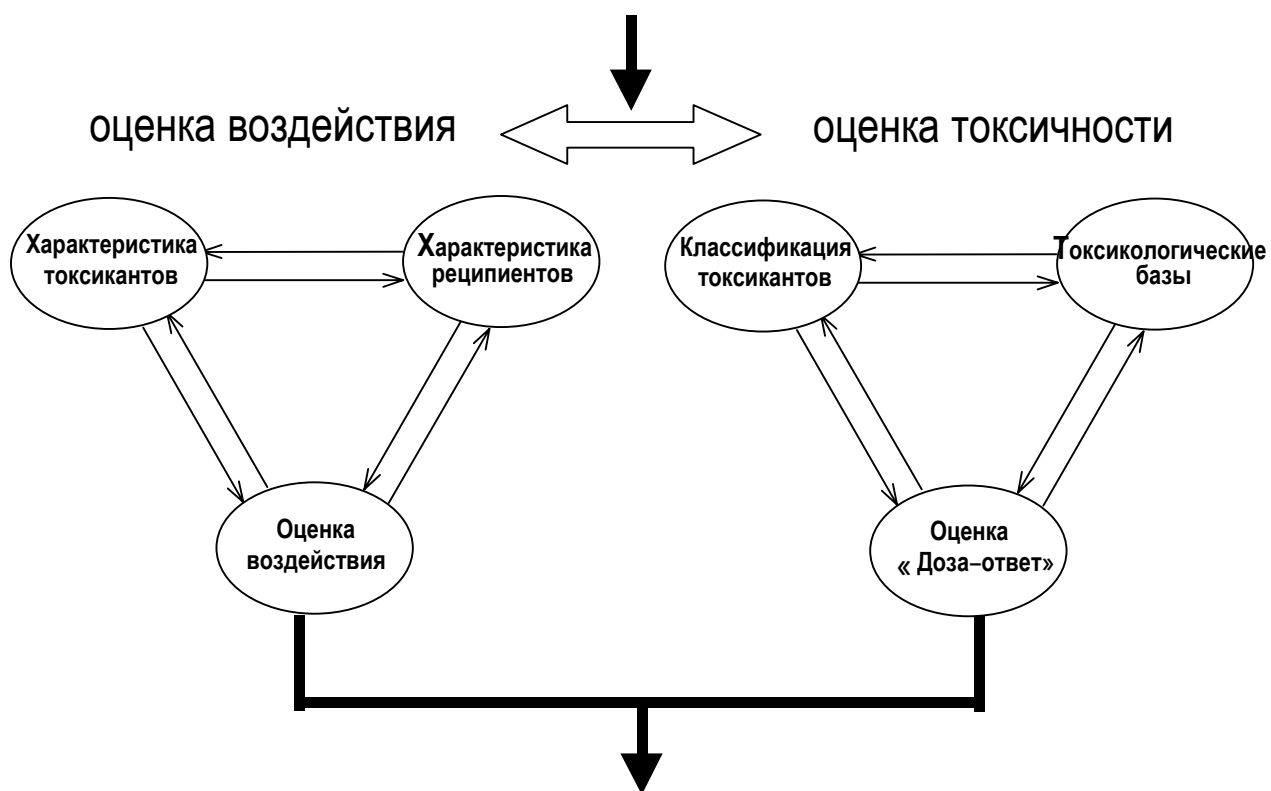


Рис.13. Этап анализа риска для здоровья.

### 3.1.2 Оценка воздействующих доз

На втором этапе оценки риска проводится оценка воздействия (экспозиции), которая представляет собой один из важнейших и, как правило, наиболее точных из всех четырех этапов исследования риска.

**Экспозиция (воздействие)** – контакт организма (рецептора) с химическим, физическим или биологическим агентом. Величина экспозиции определяется как измеренное или рассчитанное количество агента в конкретном объекте окружающей среды, находящееся в соприкосновении с так называемыми пограничными органами человека (дыхательные пути, пищеварительный тракт, кожа, слизистые) в течение какого-либо точно установленного времени. **Экспозиция может быть выражена как общее количество вещества в окружающей среде** (в единицах массы, например, мг/м<sup>3</sup>), или как величина воздействия – масса вещества, отнесенная к единице времени (например, мг/день), или как величина воздействия, нормализованная с учетом массы тела (мг / кг-день).

**Оценка экспозиции** – достаточно сложное измерение или определение частоты, продолжительности и путей воздействия химических соединений, находящихся в окружающей среде,

сопряженное с описанием также природы воздействия, размера и характера экспонируемых популяций. **Наиболее важными шагами при оценке экспозиции являются:** определение маршрутов воздействия; идентификация той среды, которая переносит загрязняющее вещество; определение концентраций загрязняющего вещества; определение времени, частоты и продолжительности воздействия; идентификация подвергающейся воздействию популяции.

Оценка воздействия базируется на прямых и не прямых (косвенных) методах исследования, включающих непосредственное измерение образцов проб в разных средах, персональный мониторинг загрязнителей в зоне дыхания, использование биологических маркеров, опросников, суточных дневников и на основе полученных данных с помощью математического моделирования.

Оценка экспозиции может рассматривать прошлые, настоящие и будущие воздействия с различными параметрами для каждой фазы, т.е. моделирование будущих, измерение настоящих и анализ суммирования биологических эффектов для прошлых воздействий.

В целом оценка воздействия включает **три основных этапа.**

Первый этап – **характеристика окружающей обстановки**, которая предусматривает анализ основных физических параметров исследуемой области (климат, гидрогеологические условия, растительность, тип почвы и др.) и характеристику популяций, потенциально подверженных воздействию (места проживания, виды деятельности, демографический состав, расположение жилых районов относительно исследуемого вредного участка, существующее зонирование территории и т.д.; части населения, которые потенциально могут быть подвержены вредному воздействию, чувствительные субпопуляции и др.).

Второй этап – **идентификация маршрутов воздействия и потенциальных путей распространения. Маршрут воздействия** - путь химического вещества от источника до экспонируемого организма. Описывает уникальный механизм, посредством которого индивидуум или популяция подвергаются воздействию химического вещества, точку воздействия и путь поступления. Если точка воздействия отдалена от источника, то маршрут воздействия включает в себя также транспортную (в случае межсредовых переходов) и воздействующую среды. На этом этапе оценки экспозиции выявляются те пути, посредством которых выделенные популяции могут подвергаться воздействию. Каждый путь воздействия

характеризует механизм воздействия исследуемых факторов, связанных с определенными источниками загрязнения окружающей среды, на население. **Оценка маршрута воздействия** включает характеристику: источников загрязнения, выбросов и сбросов химических веществ, мест их нахождения; вероятной судьбы химических соединений в окружающей среде (персистентность, распределение, транспорт, межсредовые переходы); мест проживания и видов деятельности экспонируемых популяций. Для каждого маршрута воздействия определяются **точки воздействия** (точки потенциального контакта человека с химическими веществами) и **пути поступления** (например, ингаляционный, пероральный, через кожу).

**Составными частями полного маршрута воздействия являются:**

- Источник и механизм выброса химического вещества в окружающую среду;
- Среда распространения химического вещества (например, воздух, грунтовые воды);
- Место потенциального контакта человека с загрязненной окружающей средой (точка воздействия);
- Контакт человека с химическим веществом при потреблении воды, продуктов питания, дыхания и через кожные покровы.

Третий этап – **количественная характеристика экспозиции** предусматривает установление и оценку величины, частоты и продолжительности воздействий для каждого анализируемого пути, идентифицированного на 2-м этапе. Наиболее часто **этот этап состоит из двух стадий:**

- оценка воздействующих концентраций;
- расчет поступления.

**Оценка воздействующих концентраций** включает определение концентраций химических веществ, воздействующих на человека в течение периода экспозиции. **Концентрация** – это содержание конкретного загрязняющего вещества в конкретной среде (например, воздушной) на единицу ее объема (например,  $\text{мкг/м}^3$ ) в определенный промежуток времени. Все замеры концентраций прямо или косвенно связаны с временным интервалом. Даже так называемые приборы непрерывного действия имеют предельное, порой весьма короткое время отклика, и поэтому их показания отражают среднее (или



приближенное к среднему) значение фактических концентраций в течение ограниченного времени.

Воздействующие концентрации оцениваются с использованием данных мониторинга и/или путем моделирования распространения и поведения химических веществ в окружающей среде.

**Моделирование поведения и распространения вредных веществ в среде** – это процесс количественного определения концентраций химических соединений в среде путем эмпирических или теоретических вычислений. Моделирование может быть использовано как для прогнозирования возможных концентраций веществ в исследуемом объекте окружающей среды в будущем, так и для расчетного определения концентраций в текущий момент времени. Наиболее целесообразно проведение моделирования поведения и распространения химического вещества в окружающей среде при невозможности прямого определения концентрации в среде, при невозможности прямого определения среды в точке потенциального загрязнения для прогнозирования будущих концентраций.

Моделирование чаще всего используют в двух случаях: при прогнозировании распространения веществ от различных источников; в том случае, если отсутствуют эффективные и приемлемые методы измерения концентраций токсичных веществ, воздействию которых подвергается население.

Следует отметить, что имеющиеся на сегодня нормативные документы, регламентирующие размещение санитарно-защитной зоны предприятия обеспечивают среднегодовое значение концентраций загрязняющих веществ на границе санитарно-защитных зон, не превышающее предельно допустимых концентраций для населенных пунктов. Расчет производится для средних скоростей ветра по 8-румбовой схеме. Эти параметры окружающей среды лишь в незначительной степени характеризуют сложные процессы рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере и не гарантируют, что в определенной точке за пределами санитарно-защитных зон при определенных условиях концентрации загрязняющих веществ не превысят максимально разовые концентрации для населенных пунктов. На сегодня имеется весьма широкое научное обоснование для моделирования подобных процессов. В рамках западных подходов к оценке качества окружающей среды исследуется распределение в течение года максимальных часовых концентраций в местах конкретного проживания населения или других важных

природных объектов вблизи источника выбросов ЗВ. Этот подход позволяет количественно ответить на вопросы:

- с какой вероятностью может быть превышен предельный уровень концентраций в заданной точке;
- какова будет средняя концентрация в течение года;
- с какой вероятностью можно ожидать превышения предельного уровня концентраций в кратное количество раз и т.п.

В целом при использовании математических моделей для оценки концентраций веществ в атмосфере, необходимо учитывать все ограничения и допущения, принятые при разработке моделей и в ходе расчетов, и проверять реалистичность принятых параметров математических моделей.

### 3.1.3 Оценка зависимости «доза-эффект»

Третьим этапом анализа риска является **оценка зависимости «доза – эффект»**, отражающей количественную связь между уровнем воздействия и возникающими в результате этого вредными эффектами в состоянии здоровья (собственно ответ или реакция). **Два основных типа вредных эффектов определяются при оценке риска:** канцерогенный и неканцерогенный. **Канцерогены** - это такие соединения, которые индуцируют опухоли после длительного времени хронического воздействия, в целом при оценке риска в течение всей жизни. Канцерогены не имеют уровня, ниже которого они были бы безопасны для здоровья, т.е. не обладают порогом действия (беспороговые эффекты). **Неканцерогены** - это вещества, вызывающие остальные неблагоприятные изменения в состоянии здоровья, в частности повышение уровней заболеваемости и смертности, которые могут быть обусловлены как кратковременным (острым), так и длительным (хроническим) воздействием.

Значительный прогресс сделан в количественном описании функций «доза» – эффект  $\mu_i(a)$  или  $m_i(a)$  для ионизирующего излучения. В то же самое время эти функции плохо известны для токсичных химических веществ. Некоторое продвижение в установлении значений функций «доза» – эффект сделано для химического канцерогенеза (для химических веществ, вызывающих раковые заболевания при их воздействии на человека). Пока эти функции установлены в виде пожизненных коэффициентов риска, нормированных на единицу концентрации вещества в среде обитания человека.

Эффекты действия загрязняющих веществ всегда зависят

некоторым образом от количества загрязняющего вещества или его дозы в организме. Величина дозы, в свою очередь, зависит от путей поступления в организм. Загрязняющие вещества могут иметь различные эффекты в зависимости от того, поступают ли они при вдыхании (ингаляционно), с водой и пищей (перорально), или абсорбируются через кожу, или воздействие происходит путем внешнего облучения.

Кривые «доза – эффект» характеризуют зависимость между дозой загрязнителя и ответной реакцией (эффектом организма).

**Пороговые эффекты воздействия загрязняющих веществ** или другого техногенного фактора характеризуются тем, что некоторые количества загрязняющего вещества ниже определенного уровня концентраций – порога – не вызывают никаких отрицательных последствий для здоровья населения. Функции реакции организма на воздействие выше порогового уровня, как правило, имеют S-образную форму и характеризуются дозой  $LD_{50}$  или концентрацией  $LC_{50}$ .

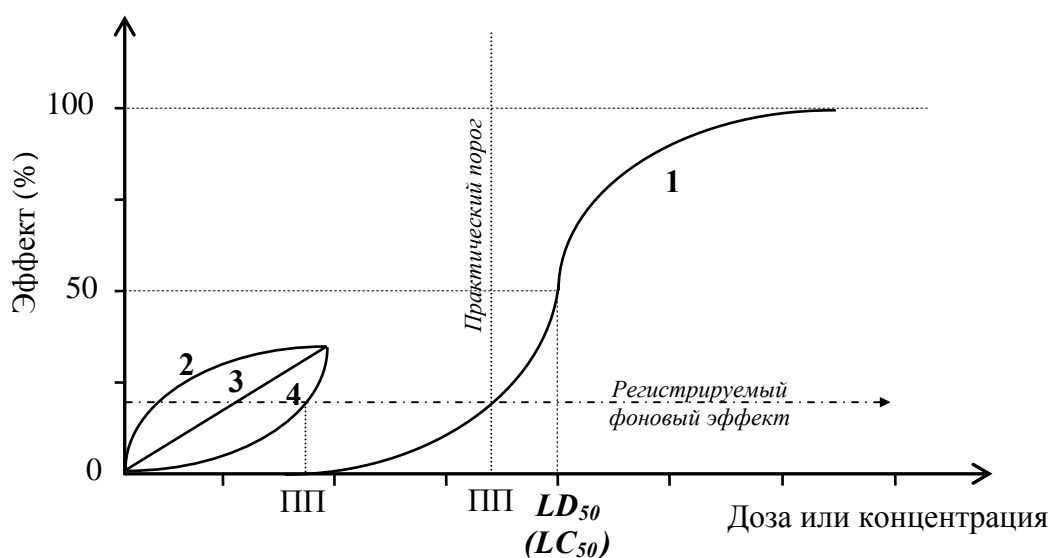


Рис. 14. Возможные формы зависимостей «доза – эффект» по работе [17]

Кривая (1) на рис. 14 показывает, что если подобная S-образная зависимость эффекта от дозы имеет место, то никаких изменений в метаболизме человеческого организма не наблюдается, пока не будет достигнута критическая концентрация или доза. Это критическое значение и называется порогом и обозначено на рис.14 (ПП). Практический порог (ПП) характеризует границу статистически регистрируемого эффекта, когда последний превышает колебание существующего фонового уровня эффектов.

На рис. 14 изображены четыре основные формы возможных кривых при действии специфических химических загрязняющих веществ и других техногенных факторов и реакции (отклика) организма. Кривые 2, 3 и 4 относятся к беспороговым зависимостям. Предполагается, что существуют эффекты (которые, правда, не всегда можно зарегистрировать) при любой конечной концентрации загрязняющего вещества или сколь угодно малом нехимическом воздействии. Подобные кривые отражают, главным образом, класс стохастических эффектов для здоровья.

Итак, **эффекты воздействия** можно подразделить на **пороговые** и **беспороговые**. К **беспороговым** относятся **канцерогенные и генетические эффекты**, вызванные действием на геном человека, т.н. мутагенов, или радиационного облучения в малых дозах. Действие мутагенов носит вероятностный характер, и многие мутагены одновременно являются канцерогенами. **К пороговым эффектам** относятся эффекты больших доз радиоактивного облучения (лучевая болезнь разной степени тяжести, катаракта, определенные формы легочных заболеваний и др.), часть эффектов физических факторов воздействия и большинство токсических эффектов, вызываемых токсикантами (**неканцерогенами**).

Общей характерной особенностью неканцерогенов является наличие порога действия вещества. Пороговые значения концентраций, как правило, выше ПДК, и чем меньше известно о действии данного загрязняющего вещества, тем большие величины коэффициента запаса используются при установлении ПДК для такого загрязняющего вещества. Однако при проведении оценок риска смерти от действия неканцерогенных загрязнителей используются часто консервативные предположения и беспороговом характере их действия с использованием линейных зависимостей «доза – эффект».

В настоящее время многими международными научными организациями и большинством авторов, исследующих проблему биологических эффектов малых доз, признается, что **главными отрицательными для здоровья человека эффектами являются:**

- увеличение частоты злокачественных новообразований определенных органов (или тканей);
- увеличение частоты некоторых наследственных болезней у потомков.

Оба класса эффектов носят стохастический (вероятностный) характер при этом эффекты очень незначительны, поэтому не могут быть измерены непосредственно (например, в эксперименте) и для

оценки эффектов малых доз используют известную зависимость "доза-эффект" в области больших и средних доз, эту зависимость экстраполируют, используя определенные гипотезы и модели, в область малых доз.

В общем случае зависимость "доза-эффект" (с учетом биологической реакции организма на действие больших и средних доз) для эффектов индуцирования злокачественных новообразований может быть представлена следующим выражением:

$$f(D) = (a_0 + a_1 D + a_2 D^2) \cdot (-A_1 D - A_2 D^2)$$

где  $a_0, a_1, a_2, A_1, A_2$  - параметры;  $D$  - доза для всего тела (или определенного органа);  $f(D)$  – дополнительная частота возникновения раковых заболеваний (или их специфических форм, характерных для данного органа). При переходе к малым дозам, как правило, это выражение приводится либо к линейному виду

$$f(D) = a_1 D$$

либо к линейно-квадратичному виду

$$f(D) = a_1 D + a_2 D^2$$

При проведении оценок риска стохастических эффектов наиболее употребительна линейная форма зависимости "доза-эффект". Этот же вид зависимости используется и для целей регламентирования (или ограничения сверху) воздействия на персонал и население. Такой подход считается осторожным, поскольку оценки эффектов, проводимые по линейной зависимости "доза-эффект", будут наиболее вероятно несколько завышенными.

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 концентрацию (количество) вредного вещества в той или иной среде, например, в воздухе, воде. Пользоваться таким понятием, как концентрация, при оценке риска удобней, так как 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 с их метаболитами. Например, при воздействии бенз(а)пирена канцерогенные последствия вызывает не он сам, а его метаболит.

### *3.1.4 Характеристика риска*

Характеристика риска представляет собой завершающую часть оценки риска и начальную фазу управления риском. На этом этапе интегрируются все данные, полученные в процессе идентификации опасности, оценки зависимости «доза-ответ» и оценки экспозиции; проводится совокупный анализ степени надежности полученных данных; описываются риски для отдельных факторов и их сочетаний, а также характеризуется вероятность и тяжесть возможных неблагоприятных эффектов на здоровье человека.

Расчет рисков и их характеристика проводится отдельно для канцерогенных и неканцерогенных эффектов.

Для канцерогенов процесс характеристики риска заключается в определении числа ожидаемых дополнительных случаев рака, используя концентрации, полученные в точках - рецепторах, и факторы потенциала. Во внимание принимаются следующие **основные вида риска:**

- **индивидуальный канцерогенный риск в течение всей жизни**, который определяется как дополнительный (над фоновым) риск для индивидуума заболеть раком в течение жизни при воздействии конкретного вещества в определенной концентрации или дозе;
- **годовой популяционный онкологический риск** определяется в виде числа дополнительных случаев рака, ожидаемых в течение каждого года, на определенное количество населения в изучаемом регионе в результате воздействия конкретной дозы канцерогена.
- **индивидуальный дополнительный канцерогенный риск** при воздействии атмосферных загрязнителей в течение всей жизни является функцией 3-х основных факторов (1) ингаляционной среднесуточной дозы, рассчитываемой из концентрации в атмосферном воздухе, установленной в точке-рецепторе путем использования моделей рассеивания атмосферных загрязнителей; (2) вероятности, что конкретное химическое соединение провоцирует образование опухоли;

(3) продолжительности воздействия. Используя методы, разработанные Агентством по охране окружающей среды США, расчет индивидуального дополнительного канцерогенного риска в течение всей жизни проводится путем перемножения концентрации в точке-рецепторе на фактор потенциала и общую часть времени в течение жизни, когда наблюдалось воздействие.

## **Глава 4. Последовательность процедуры оценки экологического риска от систематического загрязнения атмосферы**

Информационно-моделирующая система «RoSP» предназначена для региональной сравнительной оценки воздействия выбросов промышленных объектов в атмосферу. При постановке задачи оценки риска от воздействия стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха определяется территория, для которой решается конкретная задача. В качестве промышленного региона для проведения оценки риска выбран район г. Усть-Каменогорска с реальным расположением промышленных предприятий.

### **4.1 Выбор предприятий и загрязняющих веществ для проведения процедуры оценки риска для здоровья населения**

При выборе источников и/или соединений для последующей оценки риска для здоровья от загрязнения окружающей среды можно использовать следующие критерии:

- выброс в окружающую среду канцерогенных веществ;
- выброс в окружающую среду веществ, действующих на репродуктивную функцию;
- класс опасности выбрасываемых в окружающую среду веществ и соединений;
- кратность превышения предельно допустимых концентраций (ПДК).

В таблице 6 представлены величины ПДК и классы опасности загрязняющих веществ – основных компонентов выбросов промышленных предприятий рассматриваемого региона.

В данной задаче выбор приоритетных источников и соединений для последующей оценки риска был проведен по более точному

показателю – взвешенному экспозиционному весу – по следующей формуле:

$$\text{Эмиссия} \times \text{Токсичность} \times \text{Популяция} \times \text{Экспозиция} = \\ = \text{Взвешенный экспозиционный вес вещества}$$

**Эмиссия** – количество выбрасываемого соединения (в т/год или баллах);

**Токсичность** (в баллах) устанавливается на основе тяжести влияния на здоровье;

**Популяция** – количество населения, подвергающееся воздействию (численность или баллы);

**Экспозиция** (в баллах) – тип, частота и уровень экспозиции.

Расчитанные по приведенной формуле взвешенные экспозиционные веса для отдельных веществ или соединений ранжируются, что позволяет выбирать приоритетные соединения. В случае выбора предприятия как источника опасности суммируются взвешенные экспозиционные веса веществ и соединений, выбрасываемых предприятием. Взвешенные суммы затем ранжируются и таким образом выявляются приоритетные для анализа риска предприятия источники опасности.

На рис.15 представлена карта региона с указанием расположения жилых районов региона, объектов инфраструктуры и выбранных в результате ранжирования для проведения процедуры оценки риска источников загрязнения атмосферы (усл. обозначение – желтый круг с номером).

В качестве источников загрязнения выбраны следующие объекты:

- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1 - Титано-магниевый комбинат;  | 5 - ТЭЦ №2;                 |
| 2 - Свинцово-цинковый комбинат; | 6 - Конденсаторный завод;   |
| 3 - Машиностроительный завод;   | 7 - Завод минеральной ваты. |
| 4 - ТЭЦ №1.                     |                             |

Цифрой 8 на схеме обозначено проектируемое производство (по заданию преподавателя).



Таблица 6

## ПДК и классы опасности некоторых загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	Величина ПДК (мг/м <sup>3</sup> )		Класс опасности
	Максимальная разовая	Среднесуточная	
Азот (IV) оксид NO <sub>2</sub>	0,085	0,04	2
Сера диоксид SO <sub>2</sub>	0,5	0,05	3
Углерод оксид CO	5,0	3,0	4
TSP (пыль)	0,5	0,15	3
RH (бензол)	0,3	0,1	2
Фтор (неорг.соед.)	0,2	0,03	2
РСI (CHCL <sub>3</sub> , CCl <sub>4</sub> )	0,1	0,03	2
Хлор	0,1	0,03	2
Формальдегид	0,035	0,003	2
Свинец (неорг. соедин. в пересчете на свинец)	0,001	0,0003	1
Мышьяк (неорг. соедин.)	-	0,003	2
Аммиак NH <sub>3</sub>	0,2	0,04	4
Озон O <sub>3</sub>	0,16	0,03	1

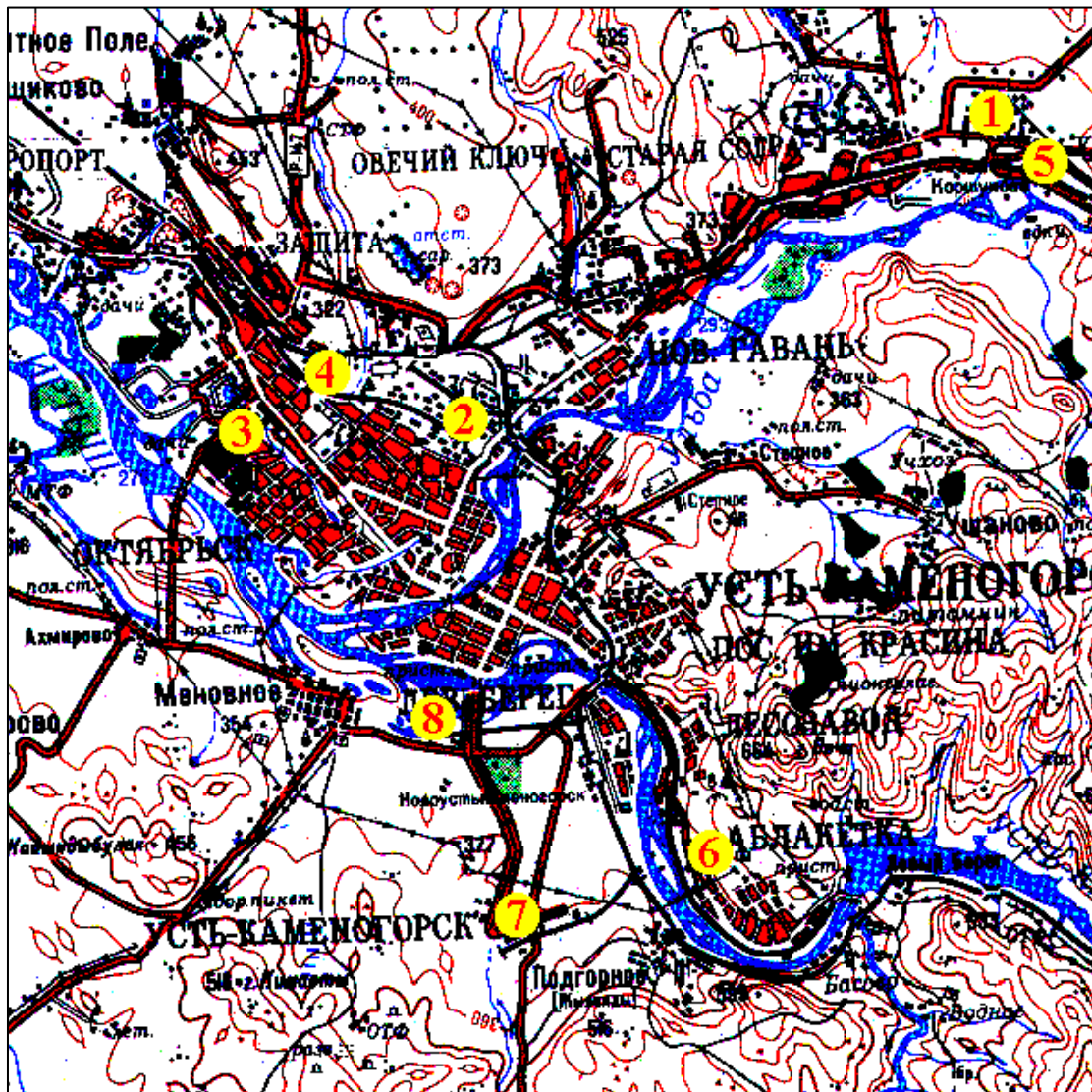


Рис.15. Карта расположения выбранных источников загрязнения

Характеристика годового объема выбросов приоритетных загрязняющих веществ выбранных предприятий исследуемого приведена в таблице 7. Суммарные выбросы семи рассматриваемых предприятий составляют примерно 70% всех выбросов в регионе.

Таблица 7

**Выбросы вредных веществ (тонн/год)  
выбранными предприятиями региона**

<i>№</i>	<i>Производство</i>	<i>CO</i>	<i>пыль</i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>As,Pb</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>R-H</i>
1	Титано-магниевый комбинат	930	575	-	-	-	-
2	Свинцово-цинковый комбинат	24489	1964	54602	213	-	38,9
3	Машиностроительный завод	263,1	227,5	119,1	-	58,9	14,1
4	ТЭЦ №1	1533,2	9982	7302,1	-	8863,9	-
5	ТЭЦ №2	411	2285	2093,2	-	1965,3	-
6	Конденсаторный завод	2,1	18,4	297,7	0,1	21,5	68,4
7	Завод минваты	3434,9	648,1	1564,4	-	174,4	-

#### **4.2 Характеристика населения региона и анализ данных по плотности населения.**

Для количественной оценки воздействия вредных веществ на население региона (~400 000 чел.) выделено шесть микрорайонов. Каждому микрорайону соответствует свое географическое положение и количество населения (таблица 8), на основании которых для каждого микрорайона определяется своя плотность населения.

Таблица 8

**Распределение проживающего в регионе населения по микрорайонам с цветовым определением на карте**

<i>№ района</i>	<i>Кол-во населения</i>
1	90 000
2	60 000
3	100 000
4	50 000
5	40 000
6	60 000

### 4.3 Многолетние климатические данные региона г. Усть-Каменогорск

Город Усть-Каменогорск расположен у слияния рек Иртыша и Ульбы на правом берегу реки Иртыш, в Калбинском горном районе Казахстана. Местность, окружающая город, представляет собой речную долину, окруженную почти со всех сторон отрогами горных хребтов. С востока в 3-4 км подходят западные отроги Ивановского хребта, высоты которого здесь достигают более 800 м над уровнем моря. К западу местность несколько понижается и представляет собой обширную, сильно всхолмленную равнину. К юго-западу и югу местность, постепенно повышаясь, переходит в северные отроги Калбинского хребта, пересеченного глубокими ущельями и долинами горных рек. В северном направлении местность переходит в Ульбинский хребет. Озер и болот в окрестностях нет. Почвы – горные черноземы. Растительный покров представлен ковыльно-разнотравными степями. Характеристики климата в регионе даны в справочнике по климату СССР Вып.18 по КазССР \*. Ниже в таблицах 9 и 10 представлены данные по повторяемости направления ветра и штилей, скоростях ветра.

Таблица 9

Повторяемость направления ветра и штилей, %

	<i>С</i>	<i>СВ</i>	<i>В</i>	<i>ЮВ</i>	<i>Ю</i>	<i>ЮЗ</i>	<i>З</i>	<i>СЗ</i>	<i>Штиль</i>
<i>I</i>	2	2	13	44	4	7	4	24	43
<i>II</i>	4	3	12	35	3	6	9	28	41
<i>III</i>	4	2	11	38	6	8	11	20	31
<i>IV</i>	7	3	13	28	5	8	11	25	27
<i>V</i>	5	4	10	26	5	11	14	25	23
<i>VI</i>	6	4	10	27	5	11	9	28	23
<i>VII</i>	9	5	12	30	5	10	8	21	27
<i>VIII</i>	7	4	9	25	4	8	8	35	33
<i>IX</i>	4	4	9	26	5	13	11	28	36
<i>X</i>	2	2	11	39	5	12	11	18	27
<i>XI</i>	2	2	12	47	6	9	6	16	25
<i>XII</i>	3	2	14	47	3	6	7	18	34
<i>Год</i>	5	3	11	34	5	9	9	24	31

\* Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. 1989. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 18. Казахская ССР. Ленинград. Гидрометеиздат.

**Таблица 10**

**Скорость ветра, м/с и распределение по градациям скоростей, %**

<i>Месяц</i>	<i>Скорость, м/с</i>		<i>Градации скоростей</i>								
	<i>сред.</i>	<i>макс.</i>	<i>0-1</i>	<i>2-3</i>	<i>4-5</i>	<i>6-7</i>	<i>8-9</i>	<i>10-11</i>	<i>12-13</i>	<i>14-15</i>	<i>16-20</i>
<i>I</i>	2.1	16	53	18	14	11	3	1	-	-	-
<i>II</i>	1.9	15	59	14	13	8	3	1	2	-	-
<i>III</i>	1.5	12	58	23	11	5	2	0	1	-	-
<i>IV</i>	2.9	17	33	27	22	12	5	1	0	0	-
<i>V</i>	3.1	19	31	27	21	12	6	2	1	0	0
<i>VI</i>	2.6	16	37	31	19	7	4	1	1	0	-
<i>VII</i>	2.3	16	38	33	19	6	2	1	1	-	-
<i>VIII</i>	2.1	13	42	32	18	5	2	1	-	-	-
<i>IX</i>	2.2	14	43	28	17	7	3	1	1	-	-
<i>X</i>	2.5	15	41	27	18	10	4	0	0	-	-
<i>XI</i>	2.3	15	47	24	16	10	3	0	0	-	-
<i>XII</i>	2.1	16	50	23	16	8	3	0	0	0	-
<i>Год</i>	2.1.	22 2	43	27	17	9	3	1	0	0	0

#### **4.4 Принципы построения вероятностных полей превышения пороговых концентраций для выбросов загрязняющих веществ**

В соответствии с нормативными документами, основным загрязнителем является NOx. Экологическим критерием качества воздуха вне санитарно-защитной зоны является уровень концентрации меньший 0.04 мг/м<sup>3</sup> в течение суток (ПДК<sub>сс</sub> для населенных мест) и максимально разовый уровень концентраций менее 0.085 мг/м<sup>3</sup> (ПДК<sub>мр</sub> для населенных мест). Эти уровни концентрации измеряются за период осреднения 20-30 минут. Научное понимание величины ПДК<sub>мр</sub> включает в себя допустимую вероятность (частоту) его безопасных для реципиента превышений. Само собой разумеется, что уровень этих превышений не должен выходить за рамки логнормального распределения, которому подчиняется распределение концентраций :

$$\ln C_p > \ln C^* + f(P, \sigma)$$

где:  $C_p$  - пороговая концентрация;  $C^*$  - среднее арифметическое (математическое ожидание);

$P$  - вероятность превышения некоторого порогового уровня;

а - дисперсия распределения.

Функция  $f(P,a)$  возрастает по мере уменьшения  $P$ . Поэтому в неявной форме это понимание ПДК<sub>мр</sub> нашло подтверждение в согласованных еще Минздравом СССР «Временных указаниях», признающих состояние атмосферы благополучным, если фон (5% превышения) равен ПДК<sub>мр</sub>. Эта величина связывается с отношением максимально разовой и среднесуточной ПДК. Так для сернистого ангидрида разрешаемая частота превышения может составлять - 1% (86 часов/год); для диоксида азота и оксида углерода (СО) - 10% (860 часов/год).

Для дальнейших расчетов в качестве события негативного воздействия определим превышение концентрации загрязнителей ПДК<sub>мр</sub>, а в качестве критерия качества воздушного бассейна частоту этого превышения на уровне 5%.

Таким образом, задача характеристики качества атмосферного воздуха сводится к построению вероятностного поля превышения ПДК<sub>мр</sub> в регионе размещения промышленного объекта.

Для решения этой задачи необходимо рассчитать для каждого из характерных источников выбросов поля распределения концентраций в окружающей среде для различных метеорологических условий с учетом влияния региональной специфики (высота слоя перемешивания, характеристика шероховатости поверхности и застройки территории). Для каждого из рассчитываемых вариантов критерием зоны негативного влияния является превышение концентрации ЗВ его максимально разового ПДК для населенных мест. После этого на следующем этапе необходимо получить распределение (поле) вероятности наблюдения этого явления (ущерба) в различных точках на территории вокруг источника.

Зона негативного влияния в данной постановке определяется геометрической формой зоны превышения  $C_{ПДКмр}$  и будет описывать совокупность точек, для которых концентрация выше  $C_{ПДКмр}$ .

Поскольку форма зоны зависит от параметров окружающей среды, необходимо учитывать весь спектр ее возможных состояний в пределах характерного периода их изменений (в разрезе года или конкретного сезона - лето, зима).

Рассмотрим подход в приложении к построению вероятностного поля в некоторой точке "А" пространства исходной опасности для выброса ЗВ мощностью  $M_A$  ( $\tau$ ) и дальнейшего его распространения вокруг источника за счет переноса под действием ветра в атмосфере.

Как показано ранее, метеорологическая информация, используемая при расчетах дисперсии в моделях переноса, состоит из расчетных данных по относительной частоте повторяемости ( $P_{v,i}$ , %) скоростей ветра ( $U$ , м/с) по географическим направлениям (по М-румбовой схеме) и в годовом разрезе (таблица 11).

Таблица 11

**Относительная повторяемость  $P_{v,i}$ (%) скоростей ветра по географическим направлениям в годовом разрезе**

1 v		1	2	3	4	5	6	7	8	
	U м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Σ
1	штиль									2.75
2	1-5-2	0.79	0.83	0.95	1.04	0.60	0.73	0.78	0.61	6.33
3	2*3	2.68	3.08	3.57	3.98	2.32	2.71	2.79	2.13	23.26
4	4*5	3.18	3.65	4.23	4.71	2.75	3.20	3.30	2.52	27.53
5	6*7	2.41	2.61	3.00	3.28	1.90	2.28	2.40	1.87	19.76
6	8*9	1.86	1.77	2.00	2.12	1.21	1.54	1.71	1.38	13.59
7	10*11	0.80	0.66	0.73	0.73	0.41	0.57	0.67	0.56	5.13
8	12*13	0.50	0.38	0.41	0.40	0.22	0.32	0.39	0.34	2.96
9	14*15	0.18	0.12	0.12	0.11	0.06	0.10	0.13	0.12	0.93
10	16*17	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.30
11	18*20	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.13
12	21*24	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
13	I	12.49	13.16	15.07	16.42	9.49	11.50	12.24	9.58	100.0

Каждая градация скорости ветра (1) характеризуется, в свою очередь, некоторой вероятностью реализации каждого из шести возможных классов устойчивости атмосферы по Паскуиллу в зависимости от градиента температуры.

После выбора параметров шероховатости для региона и систематизации метеопараметров по  $L$  скоростям ветра и  $b$  классам устойчивости атмосферы ( $k$ ) далее можно рассчитать с помощью соответствующих моделей для  $b \times L$  вариантов зон превышения  $C_{пдк}$  (зон ущерба).

Вероятность появления заданного ущерба в некоторой точке с полярными координатами  $(r, \theta)$  в  $\nu$ -ом секторе  $M$ -румбовой сетки определяется формой "собственной" зоны ущерба (рис.16). Поэтому в общем случае вероятность появления ущерба для всех точек пространства при единичной вероятности исходного события рассматривается как сумма вероятностей реализации различных вариантов зон ущерба  $F(M_A, U_b, k)$ , т.е.

$$R_M(r, \theta) = \sum_{l=1}^L P_{\nu l} \left\{ \sum_{k=1}^6 (P_k(U_l) \times \Phi [ F(M_A, U_l, k) ] \times M / (2\pi) ) \right\}$$

где  $\Phi[F(M_A, U_l, k)] = AB$  – ширина зоны ущерба в  $\nu$ -ом секторе для " $M$ " градаций по направлениям сторон света на расстоянии " $r$ " от источника опасности и при угле " $\theta$ " в полярных координатах.

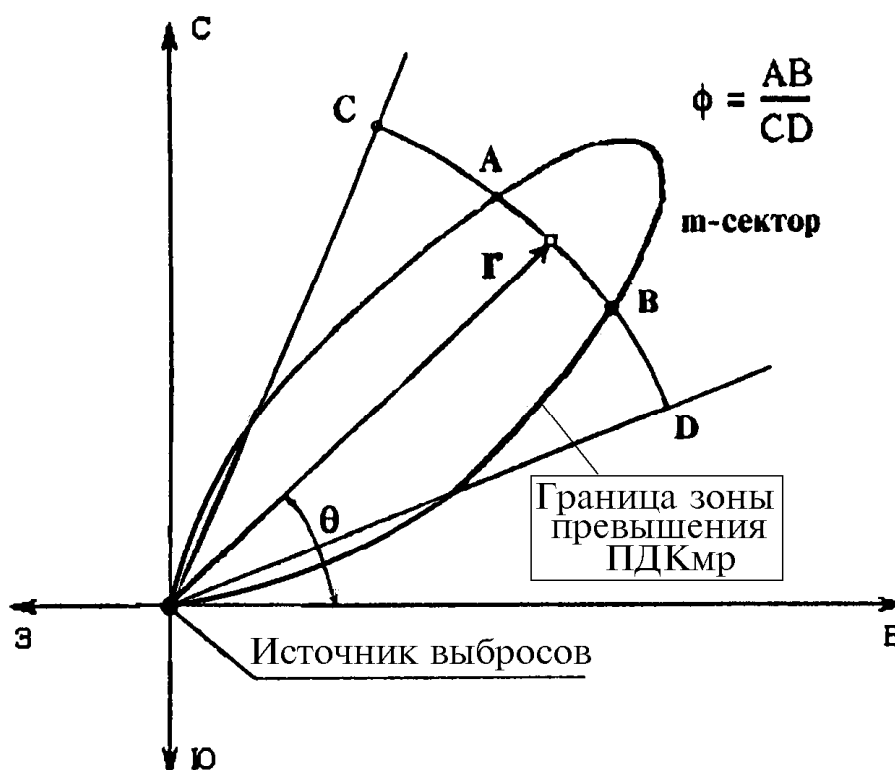


Рис.16. К вычислению вероятности потенциального ущерба в точке  $(r, q)$

Отметим, что суммирование проводится в начале по классам устойчивости атмосферы при заданной скорости ветра, затем по градациям ветра.



Таким образом, в случае влияния состояния окружающей среды на механизм формирования последствий для каждого сценария исходного выброса с мощностью или массой  $M_A$  для построения поля потенциальной опасности необходимо анализировать 6хL вариантов зон ущерба с учетом их относительной вероятности реализации по различным направлениям сторон света.

Расчет поступления предусматривает расчетное установление экспозиций для каждого химического вещества при конкретных путях воздействия. Расчетной величиной оценки экспозиции является доза (количество загрязнителя, полученное организмом с увеличением времени воздействия с учетом массы тела), которая выражается в единицах массы химического соединения, находящейся в контакте с единицей массы тела человека обычно в течение суток, и имеет размерность мг/кг-день.

Поступление химических веществ обычно рассчитывается по формулам, учитывающим воздействующие концентрации, величину контакта, частоту и продолжительность воздействий, массу тела и время осреднения экспозиции. С учетом установленной дозы на следующем этапе оценки риска анализируется зависимость доза–эффект (ответ), связывающая величину воздействующей дозы токсичного вещества с вероятностью появления негативных последствий для здоровья человека.

#### **4.5 Расчет среднегодовых концентраций в рецепторных точках**

Для отобранных предприятий проводится моделирование рассеивания нормализованного выброса в 1г/с для расчета концентраций от нормализованного выброса в рецепторных точках. Если бы все загрязняющие вещества имели бы одинаковые коэффициенты оседания и температуры выбросов, то расчет по модели рассеивания можно было бы провести только один раз (для каждого предприятия). Но поскольку эти параметры могут отличаться для различных загрязняющих веществ, то может потребоваться прогонять модель для каждого выбранного вещества отдельно. В этом случае среднегодовая концентрация рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ср.год.}} = C_{\text{норм.выбр.}} \cdot Q$$

$C_{\text{ср.год.}}$  – среднегодовая концентрация вещества X в мкг/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{норм.выбр.}}$  – концентрация от нормализованного выброса вещества X в (мкг/м<sup>3</sup>) (г/с)<sup>-1</sup>;

**Q** – среднегодовой выброс вещества X в г/с.

Решение задачи расчета среднегодовых концентраций сводится к интегрированию всех возможных концентраций загрязняющих веществ в заданной точке пространства (x,y), которые могут возникнуть в течение года с учетом вероятности реализации определенного из шести характерных классов устойчивости атмосферы при заданной скорости ветра. Поскольку предполагается, что в пределах сектора M-румбовой розы ветров направление ветра распределено равномерно, то среднегодовая концентрация C(x,y) может быть рассчитана по формуле:

$$C(xy)=C(r\theta)=\sum_{i=1}^L P_{vi} \times \left\{ \sum_{k=1}^6 (P_k(U_1) \times \frac{M \times Q \times \gamma(x/U)}{2 \times \sqrt{2} \times \pi^{3/2} \times r \times U_1 \sigma_z}) \times f(A, H, \sigma_z) \right\}$$

**Q** – мощность источника, кг/с;

**P<sub>vi</sub>** – вероятность реализации ветра со скоростью U<sub>i</sub> м/с, в соответствующем секторе M-румбовой схемы;

**P<sub>k</sub>(U<sub>1</sub>)** – вероятность реализации определенного класса устойчивости атмосферы при ветре U<sub>1</sub> (A- 1, B- 2,...,F - 6);

**θ** – направление ветра в полярных координатах;

**r** – расстояние от источника загрязнения до точки (x,y);

**σ<sub>z</sub>** – характеристика дисперсии по вертикали;

**f(A,H,σ<sub>z</sub>)** – функция влияния высоты источника загрязнения (H) и высоты слоя перемешивания (A);

**2×π/M** – угловая доля сектора в M- румбовой схеме ветров;

**γ(x/U)= γ(t)** – функция изменения концентрации по оси шлейфа за счет фотохимических реакций, сухого и влажного осаждения и т.п. во времени.

Для случая простой Гауссовой модели дисперсии невзаимодействующего вещества:

$$\gamma(x/U)=\gamma(t)=1$$

$$f(A, H, \sigma_z) = 2 \times \exp(- H / (2 \times \sigma_z^2))$$

#### 4.6 Количественное оценивание риска угрозы здоровью, обусловленного загрязняющими веществами

В количественных оценках экологического риска, связанного с загрязняющими веществами компонентов окружающей среды, важное место принадлежит величине, называемой частотностью дополнительного риска [1]. Мы предлагаем читателям механизм учета негативных эффектов в варианте, предложенном профессорами Санкт-Петербургского Университета с некоторыми сокращениями и изменениями. Механизмы формирования негативных эффектов, обусловленные уже существующими и дополнительными рисками, учитываются с помощью показателя  $q_e$  – частность вредных воздействий. Для случая одинаковых механизмов воздействия

$$q_e = q_t - q_c$$

где  $q_t, q_c$  – частности появления таких же негативных эффектов в группе риска и контрольной группе.

Если эти механизмы различны:

$$q_e = (q_t - q_c)/(1 - q_c)$$

Для оценки влияния токсиканта, присутствующего в окружающей среде, вводится понятие «риска от дозы  $i$  токсиканта  $j$ », обозначаемого через  $[P_e(D)]_{ij}$  [1]. Фактически величина  $[P_e(D)]_{ij}$  является вероятностью, она зависит от так называемого фактора риска данного токсиканта  $F_r$  и его дозы  $D$ . Доза измеряется в мг, а фактор риска имеет размерность  $(\text{мг})^{-1}$  и представляет собой риск, приходящийся на единицу дозы. Величина фактора риска должна быть установлена в результате специальных исследований. Если связь между дозой и риском линейна, а воздействие токсиканта не имеет порога, то величина  $[P_e(D)]_{ij}$  определяется простой формулой

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

где  $c$  – концентрация токсиканта,  $v$  – его ежедневное поступление в организм,  $t$  – время воздействия токсиканта.

Число тяжелых последствий (например, раковых заболеваний) действия токсикантов на население определяется выражением

$$q_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k [P_e(D)]_{ij} \times N_{ij}$$

где  $N_{ij}$  – количество населения, подвергающееся действию токсикантов;  $k$  – количество токсикантов;  $n$  – количество уровней доз каждого токсиканта.

Символ « $e$ » показывает, что речь идет о дополнительных (excess) случаях заболевания, вызванных рассматриваемыми токсикантами (при малых дозах величина  $q_e$  может быть столь незначительна, что ее трудно выявить на фоне «обычных» случаев данного вида рака).

**Выше приведенную формулу можно применять для экспрессных количественных оценок популяционного риска.** Пусть, например, после ввода в строй некоторого промышленного объекта проживающее вблизи население в количестве 10 тыс. чел. в течение 3 лет постоянно (24 часа в сутки) подвергается действию находящегося в воздухе токсиканта-канцерогена, концентрация которого равна  $0,01 \text{ мг/м}^3$ . Сколько дополнительных случаев рака можно ожидать от этого токсиканта за время эксплуатации объекта, если фактор риска токсиканта составляет  $10^{-6} \text{ мг}^{-1}$ ? В данном примере двойное суммирование не требуется, так как  $i = 1$  и  $j = 1$ . Если считать, что средний объем воздуха, вдыхаемый ежеминутно, равен  $7,5 \text{ л/мин}$ , то объем загрязненного воздуха, проходящий через легкие каждого человека ежесуточно, составит:

$$v = 7,5 \text{ л/мин} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{л} \cdot 60 \text{ мин/час} \cdot 24 \text{ ч/день} = 10,8 \text{ м}^3/\text{день}$$

С помощью формул (33) и (34), получим  $q_e = F_r \cdot c \cdot v \cdot t \cdot N = 10^{-6} \text{ мг}^{-1} \cdot 10,8 \text{ м}^3/\text{день} \cdot 0,01 \text{ мг/м}^3 \cdot 365 \text{ дней/год} \cdot (3 \text{ год}) \cdot (10^4 \text{ чел}) = 1,3$ . Таким образом, для приведенных условий рассматриваемый объект может вызвать приблизительно лишь один случай заболевания раком.

**Индивидуальный риск**, как показывает сам термин, определяется вероятностью экстремального вреда – смерти индивидуума вследствие некоторой причины, рассчитываемой для всей его жизни или одного года. Часто в литературе термины «индивидуальный риск» и «вероятность употребляются как синонимы», однако помимо вероятности события здесь присутствует («по умолчанию») его последствие – гибель человека. Федеральные ведомства США, разрабатывающие нормативные акты, в которых устанавливаются стандарты рисков для здоровья, ориентируются на нижний предел теоретического индивидуального риска, равный, согласно нормативам ЕРА (Агентства по охране окружающей среды),  $10^{-6}$ , что соответствует увеличению вероятности смерти на один шанс на миллион за всю жизнь человека, продолжительность которой

принимается равной 70 годам. В расчете на один год приемлемый риск составляет, соответственно,  $10^{-6} : 70 = 1,43 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .

Обозначим через  $q_e$  количество дополнительных случаев тяжелых последствий действия токсиканта на людей, отнесенное к одному году. Оно может быть записано в следующем виде:

$$q_e = \frac{\left[ F_r (\text{ммкг}/^3)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (c \cdot N)_i \right]}{T}$$

В этом выражении подразумевается, что каждая  $i$ -я доза токсиканта действует на количество людей, равное  $N$ ;  $n$  – полное количество доз токсиканта, а  $T$  – время экспозиции, т.е. количество лет воздействия вредного вещества.

#### 4.7 Основные уравнения для расчета риска, используемые в программном комплексе «RoSP»

В программе «RoSP» используются следующие уравнения расчета риска для здоровья населения при ингаляционном воздействии вследствие загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий [20]:

##### 1. для расчета канцерогенного риска

$$R_{\text{инд}} = C \times UR_i$$

$R_{\text{инд}}$  – годовой индивидуальный (дополнительный к фоновому) риск развития рака [ $\text{год}^{-1}$ ];

$C$  – средняя ежедневная концентрация загрязняющего вещества, воздействующая на человека на протяжении всей жизни [ $\text{мкг}/\text{м}^3$ ];

$UR_i$  – единичный риск для ингаляционного воздействия, характеризующий значение риска для одной единицы концентрации загрязняющего вещества в воздухе на один год [ $(\text{мкг}/\text{м}^3) \cdot \text{год}^{-1}$ ].

Для расчета популяционного риска ( $R_{\text{поп}}$ ) число дополнительных (к фоновому) случаев рака в год в данной популяции умножаем на численность популяции (POP):

$$R_{\text{поп}} = R_{\text{инд}} \cdot \text{POP}$$

Таблица 12

**Расчетные значения единичных рисков для выбранных приоритетных загрязняющих веществ при ингаляционном воздействии, используемые в данной задаче**

<i>Вещество</i>	<i>Значение единичного риска [(мкг/м<sup>3</sup>)·год]<sup>-1</sup></i>
Pb	$1,5 \cdot 10^{-7}$
Винилхлорид*	$3 \cdot 10^{-5}$
CO	$1 \cdot 10^{-8}$
SO <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^{-8}$
RCI*	$5 \cdot 10^{-7}$
RH (бензол)*	$1 \cdot 10^{-7}$
NO <sub>x</sub>	$1 \cdot 10^{-7}$
PM(10) и менее	$1,5 \cdot 10^{-7}$
As*	$5 \cdot 10^{-5}$

Примечание: \* – канцерогенные

## 2. для расчета неканцерогенного риска

$$NCHQ = E/RfC$$

- NCHQ*** – коэффициент опасности для неканцерогенных эффектов;  
***E*** – уровень поглощения или экспозиции;  
***RfC*** – референтная (базовая) концентрация, при действии которой на человеческую популяцию, включая ее чувствительные подгруппы, не создается риск развития каких либо уловимых вредных эффектов в течение всего периода жизни, т.е. среднесуточная предельно допустимая концентрация в воздухе населенных мест, обоснованная по резорбтивному или рефлекторно-резорбтивному лимитирующему признаку вредности.

Чем больше величина ***NCHQ*** превосходит единицу, тем более значительную опасность может представлять анализируемое воздействие.

### **3. для расчета суммарного риска**

В методологии оценки риска комбинированное действие канцерогенных факторов принято рассматривать как аддитивное. Для неканцерогенных веществ аддитивность признается в случае их одинакового токсического действия.

*а) суммарный канцерогенный риск рассчитывается по следующей формуле*

$$R_{\text{сум}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$R_{\text{сум}}$  – суммарный канцерогенный риск от воздействия нескольких токсикантов;

$R_1, R_2, R_n$  – канцерогенные риски, обусловленные воздействием компонентов смеси химических веществ.

*б) суммарный неканцерогенный риск рассчитывается по следующей формуле*

$$HI = NCHQ_1 + NCHQ_2 + NCHQ_n$$

$HI$  – индекс опасности воздействия нескольких химических веществ общетоксического характера действия;

$NCHQ_1, NCHQ_2, NCHQ_n$  – коэффициенты опасности для нескольких химических веществ или для разных путей поступления одного и того же вещества.

## **4.8 Методика оценки риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы, обусловленного выбросами стационарных источников**

В этом разделе приводятся формализованные этапы оценки ингаляционного канцерогенного риска и риска дополнительной смертности от вдыхания суммы взвешенных частиц,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  для населения промышленного города от стационарных источников

загрязнения воздушного бассейна. Взвешенные частицы (TSP) при оценке риска в данных методических рекомендациях представлены непосредственно как более специфичные частицы диаметром 10 микрон и менее (PM<sub>10</sub>), а не как общий объем TSP с учетом допущения, принятого в США, что PM<sub>10</sub> = 0.6 × TSP. Методика условно разделена на шесть этапов:

### **Этапы оценки риска**

- 1) Анализ инвентаризации выбросов предприятий по отчетной форме 2ТП-Воздух за прошлый год и отбор предприятий и веществ для последующей оценки риска.
- 2) Анализ данных по плотности населения в городе. Выбор системы координат и рецепторных точек для расчета воздействующих концентраций.
- 3) Моделирование рассеивания выбросов предприятий и расчет среднегодовых концентраций канцерогенов и суммы взвешенных частиц (PM<sub>10</sub>), NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO в рецепторных точках.
- 4) Оценка индивидуального и популяционного канцерогенного риска и риска смертности для населения промышленного города от атмосферных выбросов промышленных предприятий.
- 5) Составление таблиц (матриц) риска.
- 6) Анализ погрешностей и неопределенностей результатов к различным упрощающим предположениям, принятым при оценке риска.

Далее даются детальные инструкции по каждому из этапов.

**1 этап.** При постановке задачи анализа риска от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха четко определяется территория, на которой проводится оценка риска (город или район города). Оценка риска проводится только для предприятий, расположенных на указанной территории. При этом вклад в воздействующую дозу от других источников не учитывается. Обычно на изучаемой территории находится несколько десятков или сотен предприятий, выбросы которых сильно различаются по объему и составу. Поэтому цель первого этапа – отобрать ведущие предприятия, которые обуславливают основной вклад в риск для здоровья. Отдельно отбираются предприятия для оценки канцерогенного риска и риска дополнительных случаев смертности от



воздействия пыли (взвешенных веществ, PM<sub>10</sub>), NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO. Для отбора предприятий необходимо составить выборку из отчетной формы 2ТП-Воздух по следующему образцу: (см. также таблицы 13-14).

**Таблица 13**

<b>Выбросы по предприятию X</b>	<b>т/год</b>
Канцероген 1	x
Канцероген 2	x
...	...
Канцероген n	x
<b>Взвешенных веществ всего:</b>	x
в т. ч. вещества 1	x
вещества 2	x
...	...
вещества n	x

Для оценки канцерогенного риска предприятия отбираются по величине приведенного выброса канцерогенов. Приведенный выброс канцерогенов вычисляется для каждого предприятия по формуле:

$$C = \sum SF_i \times E_i$$

**C** – приведенный выброс канцерогенов для данного предприятия;

**SF<sub>i</sub>** – фактор потенциала ингаляционного канцерогенного эффекта для канцерогена *i*;

**E<sub>i</sub>** – объем выброса этого канцерогена в т/г.

Суммирование проводится по всем канцерогенам, выбрасываемым данным предприятием. Далее предприятия ранжируются в порядке убывания величины приведенного выброса и для моделирования рассеивания отбираются лишь те, суммарный приведенный выброс которых составляет 90% от общего приведенного выброса канцерогенов по городу (вычисленному по той же формуле). Для этого полезно составить следующую таблицу, в которой предприятия расположены в порядке убывания приведенного выброса *C*:

Таблица 14

Приведенный выброс канцерогенов	(т/год)(мг/кг-день)
Всего по городу	x
Предприятие 1	x
...	x
...	...
Предприятие n	x

Аналогично отбираются предприятия для расчета риска дополнительных случаев смертности от воздействия пыли (взвешенных веществ,  $PM_{10}$ ), только в этом случае критерием отбора является сумма выбросов твердых веществ (такая позиция уже существует в отчетной форме 2ТП-Воздух) и от воздействия  $NO_x$ ,  $SO_2$  и CO.

**2 этап.** Целью этого этапа является определение координат рецепторных точек, для которых будет произведен расчет рассеивания. Не существует строгого алгоритма разделения. Обычно данные по плотности населения представляются в виде численности жителей по микрорайонам. Рецепторная точка выбирается в центре ячейки, а точнее в ближайшем к нему узле координатной сетки, которая используется в модели рассеивания. К отчету по оценке риска прилагается карта города с нанесенными на нее рецепторными точками и предприятиями, отобранными для оценки риска.

**3 этап.** Целью этого этапа является расчет среднегодовых концентраций каждого из канцерогенов и общетоксических веществ с помощью модели рассеивания

Результатом этого этапа являются вычисленные для каждой рецепторной точки и каждого предприятия среднегодовые концентрации канцерогенов и веществ общетоксического действия. Результаты расчета среднегодовых концентраций для каждого из отобранных предприятий представляются в следующем формате (см. также таблицу 15).

Таблица 15

Среднегодовые концентрации от предприятия X, мг/м <sup>3</sup>	Канцероген 1	Канцероген 2	..... .....	Канцероген n	TSP	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
<i>рецепторная точка 1</i>	x	x	..... ..... .....	x		x	x	x
<i>рецепторная точка 2</i>	x	x	..... ..... .....	x	x	x	x	x
.....	..... .....	..... .....	..... ..... .....	..... .....	..... .....	..... ..... .....	..... ..... .....	..... ..... .....
<i>рецепторная точка б</i>	x	x	..... ..... .....	x	x	x	x	x

**4 этап.** Индивидуальный хронический риск определяется как вероятность развития хронического заболевания или вероятность смерти в результате хронического воздействия и рассчитывается на определенный период воздействия. Период воздействия может меняться от нескольких лет до ожидаемой продолжительности жизни. Поскольку индивидуальный риск вычисляется в рецепторной точке, то делается предположение, что в продолжение всего периода воздействия индивидуум находится в данной точке. Для канцерогенных эффектов обычно вычисляется индивидуальный риск в течение всей жизни, поскольку фактор канцерогенного потенциала обоснован с учетом воздействия в течение всей жизни. При этом делается (довольно нереалистичное) предположение о том, что существующие уровни воздействующих доз сохранятся и в будущем. Ингаляционный индивидуальный канцерогенный риск (R) в течение всей жизни (вероятность получения ракового заболевания от

вдыхания вещества, идентифицированного как вызывающее рак при ингаляционном поступлении) вычисляется как:

$$R = C_{\text{ср.год}} \times SF \times (20 \text{ м}^3/\text{день}) / 70 \text{ кг}$$

$C_{\text{ср.год}}$  – среднегодовая концентрация канцерогена, которая предполагается постоянно воздействующей в течение всей жизни индивидуума, в  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$SF$  – фактор потенциала канцерогенного эффекта при ингаляционном пути поступления, (измеряется как величина, обратная суточной дозе на единицу веса  $[\text{мг}/\text{кг}\text{-день}]^{-1}$ );

$20 \text{ м}^3/\text{день}$  и  $70 \text{ кг}$  – средний суточный объем дыхания и вес тела взрослого человека. Для вычисления годового индивидуального риска установленный риск в течение всей жизни делится на продолжительность жизни при рождении (70 лет) –  $R/70$ .

**5 этап.** Удобное представление результатов оценки риска важно для последующего управления риском. Удобно представить результаты в виде двух матриц: матрицы канцерогенного риска и матрицы неканцерогенного риска. Полный канцерогенный риск от всех предприятий в точке  $i$  получается сверткой по индексам  $j, k$ .

**6 этап.** Целью этого этапа является вычисление погрешностей результатов оценки риска в виде доверительного интервала или среднеквадратичного отклонения. Однако это почти никогда не удается сделать идеально из-за многочисленных факторов неопределенности, вовлеченных в анализ риска. Поэтому ограничиваются анализом обоснованности результатов к различным предположениям, с учетом которых они получены, и качественным описанием возможных источников ошибок. Такими источниками являются неточности в инвентаризации выбросов, погрешности моделирования, предположения о постоянстве численности и структуры населения и объемов выбросов, различные упрощающие предположения (например, пренебрегают изменениями концентраций в зависимости от высоты многоэтажной застройки и различием концентраций снаружи и внутри помещений, рассчитывая только приземные концентрации в атмосферном воздухе). Как правило, точность оценки риска не превышает 300-500%.

## **4.9 Описание работы с информационно-моделирующей системой «RoSP»**

Информационно-моделирующая система «RoSP» представляет собой интерактивную среду, состоящую из нескольких блоков. Пересчет от блока выбросов к блоку концентраций осуществляется моделью распространения загрязняющих веществ. Результаты расчетов концентраций подаются затем на вход модельного блока расчета риска для здоровья.

Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере проводится на основе данных о выбросах промышленных предприятий, как для конкретных метеорологических условий рассматриваемого региона, так и для усредненных в разрезе года. Система обеспечивает высокую производительность, соответствуя современным требованиям к учебным информационно-моделирующим системам, используемым для прогнозирования экологической ситуации в регионе.

**Входными данными** для настоящей модели являются:

- характеристика источника выброса (объем выброса в единицу времени, концентрация загрязняющих веществ, температура, высота трубы и т.д.);
- метеорологические характеристики (скорости ветра, тип устойчивости атмосферы, температура и т.п.). Источником метеоданных служат данные наблюдений метеослужб;
- характеристики местности (город или село, рельеф, наличие и форма близлежащих зданий и т.п.).

**Выходные данные:**

- концентрации загрязняющих веществ в заданной точке с усреднением за заданный период времени;
- максимальные концентрации при самых неблагоприятных атмосферных и погодных условиях.

Первая группа входных данных получается с этапа расчета выбросов. Для получения остальных групп данных необходимо использовать метеорологические и географические базы данных для конкретной территории или сформированные под конкретную задачу.

Предлагаемая модель дает два уровня моделирования: стационарное распределение концентраций при текущих условиях переноса и среднюю картину концентраций за год. Согласно

проведенным U.S. EPA исследованиям, в этом случае модели распространения выброса в воздухе могут быть однотипными, независимо от типа источника – точечного, линейного или площадного, – различаясь только значением параметров.

Агрегирование результатов расчета модели для перехода на уровень средней картины концентраций дает возможность приближенной оценки ожидаемой средней концентрации загрязняющих веществ по выбранной группе населенных пунктов и за интервал времени порядка года. Детальная информация о рельефе и близлежащих зданиях сводится к нескольким обобщенным характеристикам. Атмосферные условия представляются только устойчивым распределением направлений и скорости ветра, характеристики источника сведены к объему выброса и концентрации в нем загрязняющего вещества.

Задача оценки индивидуального риска по используемой методике U.S. EPA ставится в предположении заданности участка местности и неизменности состояния окружающей среды, механизмов распространения токсических веществ и их воздействия на население. Таким образом, в методике отсутствует время и пространство как переменные. В частности, каким бы ни был временной интервал экспозиции, концентрации экстраполируются на «пожизненную экспозицию» и рассчитывается соответствующая доза.

Ущерб для здоровья оценивается двумя величинами: вероятностью приобрести раковое заболевание и индексами опасности неракового заболевания. Интегральная оценка ущерба от набора загрязняющих веществ предполагает аддитивность их воздействия.

*Решение задачи оценки риска разбивается на следующие стадии:*

- идентификация опасности;
- оценка зависимости «доза-эффект»;
- оценка экспозиции;
- характеристика риска.

При **идентификации опасности** используется база качественных, экспертных влияний на здоровье, присутствии на данной территории и т.п. Система поддерживает такую базу знаний в виде гипертекста, который может расширяться и редактироваться самим экспертом.

Для **второго этапа** система предусматривает использование коэффициентов взаимосвязи «доза-эффект», рекомендованных U.S. EPA. Они суммируют большой опыт мировых токсикологических и эпидемиологических исследований и имеют весьма общий характер и большие «коэффициенты запаса».

Для **третьего этапа** система поддерживает среду для выработки экспертом сценариев экспозиции и разбиения населения на экспозиционные группы, адаптированные к рассматриваемой опасности региона.

**Четвертый этап – характеристика риска** – включает его распределение во всевозможных разрезах. Характеристика риска включает ранжирование рисков по группам населения, типам загрязняющих веществ и другим факторам. Такая информация о «группах риска» и «территориях риска» может быть использована для принятия решений в области охраны окружающей среды и здоровья населения, в частности, для установления приоритетных опасностей. А также для оптимизации исследований, связанных с рисками для здоровья человека и передачи проанализированной информации лицу, принимающему решение (ЛПР).

Адаптированный для пользователя интерфейс программы «RoSP» позволяет эффективно проводить расчеты в рамках поставленной учебной задачи.

### **Начало работы**

Для начала работы с программой «RoSP» следует ввести фамилию, имя, отчество и номер учебной группы в опции **Файл\ФИО**, после чего становится доступной опция выбора варианта задания **Файл\Вариант**, в которой следует выбрать номер варианта по заданию преподавателя.

После выбора варианта становятся доступными группы опций **Редактор** и **Расчет**.

### **Описание опций**

#### **Файл**

##### **Файл\ФИО**

опция предназначена для ввода фамилий, имён, отчеств, а также номеров учебных групп студентов. Для начала работы требуется хотя бы одна запись данных. Подтверждение записи производится нажатием кнопки **Ок**.

## **Файл\Вариант**

опция предназначена для выбора варианта задания. Выбор осуществляется нажатием на кнопку с соответствующим номером.

## **Файл\Выход**

осуществляет выход из программы.

## **Сведения**

### **Сведения\Регион**

предоставляет карту региона.

### **Сведения\Население**

предоставляет карту региона с учетом местоположения населения.

### **Сведения\Метеорология**

выводит информацию о розе ветров в виде таблицы.

### **Сведения\Устойчивость**

выводит информацию о классах устойчивости атмосферы в виде таблицы.

### **Сведения\Загрязнение**

предоставляет информацию о ПДК и другие литературные данные.

### **Сведения\ЗВ\Население**

предоставляет информацию о значениях единичных рисков и другие данные из лекционного курса «Охрана природы».

## **Редактор** (становится доступной после выбора варианта)

### **Редактор\Выбросы**



предназначена для изменения параметров выброса (скорость и высота) для каждого из источников загрязнения. Выбор источника загрязнения осуществляется в панели Источник загрязнения №, в нижней панели производится изменение параметров выброса. Подтверждение изменения производится нажатием кнопки Ок.

### **Редактор\Ветер**

предназначена для изменения параметров скорости, устойчивости и направления ветра. В верхних двух панелях следует изменять параметры скорости и устойчивости. Направление ветра характеризует положение стрелки, изменяющееся с помощью кнопок ▲ ▼. Подтверждение изменения производится нажатием кнопки Ок.

### **Редактор\ПДК**

предназначена для изменения параметров предельно допустимых концентраций. Изменение производится в соответствующих панелях. Подтверждение изменения производится нажатием кнопки Ок.

### **Редактор\Риск**

предназначена для изменения значений единичных рисков. Изменение производится в соответствующих панелях. Подтверждение изменения производится нажатием кнопки Ок.

**Расчет** (становится доступной после выбора варианта)

### **Расчет\Концентрации**

производит расчет по концентрациям.

### **Расчет\Среднегодовая конц.**

производит расчет по среднегодовым концентрациям.

### **Расчет\ПДК**

производит расчет ПДК.

### **Расчет\Риск**

производит расчет риска.

## **Окно Подтверждения**

После выбора какой-либо опции из группы **Расчет** появляется таблица, в которой следует выбрать предметы расчета (вещества, входящие в состав выбросов того или иного источника загрязнения) с помощью пометки **галочка**. Запуск произведения расчета производится нажатием кнопки **Расчет**. Выход из окна производится нажатием кнопки **Ок**.

## **Окно Расчета**

Панель **Районы** показывает местоположения районов города. Нажатие кнопки **Анализ** производит анализ воздействия загрязнения на население. Выход из окна производится нажатием кнопки **Ок**.

## **Окно Анализа**

Окно Анализ показывает данные по воздействию загрязнения на население. Выход из окна производится нажатием кнопки **Ок**.

## **Помощь**

### **Помощь\Протокол**

показывает отчет о работе студентов, последними работавших с программой RoSP.

### **Помощь\Задания**

показывает текст варианта задания.

## **4.10 Пример расчета**

Для лучшего усвоения используемой программы приводим несложный пример оценки воздействия выбросов  $SO_2$  источника загрязнения №2 (титано-магниевого комбината, см. таблицу 7) и последовательность операций процедуры оценки риска для исследуемого региона г. Усть-Каменогорска (рис.15).

На первом этапе задаются или проверяются данные по интенсивности выброса в г/с и высоте подъема факела для данного

выброса. Последовательность вызова: Редактор → Выбросы → Источник загрязнения №2 → Выброс 1731.4 → Высота 120. (Параметры скорости выброса и подъем факела задаются преподавателем.)

Для расчета распределения концентрации  $SO_2$  при заданных направлении ветра, его скорости и классе устойчивости атмосферы необходима следующая последовательность вызова: Редактор → Ветер → Скорость ветра 4 → Устойчивость D → Направление  $142^\circ$ .

**Концентрации.** Для расчета распределения концентрации  $SO_2$  при введенных направлении ветра, его скорости и классе устойчивости атмосферы необходима следующая последовательность вызова: Расчет → Концентрации → Выделение нужного элемента для завода №2 → Кнопка **Расчет**.

Результаты расчета концентрации выдаются в виде градации цвета на карте региона. При помещении указателя "мыши" в заданную точку региона в окне справа выдается информация об уровне концентрации в  $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ . Выбор кнопки **Районы** позволяет выдать на экран географическое расположение микрорайонов. Выбор кнопки **Анализ** выдает сводную информацию о нагрузке на население микрорайонов и всего региона в целом.

В нижнем окне N – число человек, на которых оказывается воздействие, I – суммарный индекс нагрузки, равный сумме показателя воздействия (концентрация, ПДК или уровня риска) для всех людей региона, на которых оказывается ненулевое воздействие показателя.

Далее, изменяя вводимые данные по метеоусловиям, варьируется нагрузка на различные микрорайоны региона.

**Среднегодовые концентрации.** Последовательность действий экран №1. Далее следующая последовательность вызова: Расчет → Среднегодовые концентрации → Выделение нужного элемента для завода №2 → Кнопка **Расчет**.

Выбор кнопки **Районы** позволяет выдать на экран географическое расположение микрорайонов. Выбор кнопки **Анализ** выдает сводную информацию о нагрузке на население микрорайонов и всего региона в целом по среднегодовым показателям концентрации. Изменяя положение указателя "мыши" на экране, в правом окне выдается информация об уровне среднегодовой концентрации в заданной точке региона.

**ПДК.** Последовательность вызова аналогична процедуре расчета концентраций при задании в режиме редактора значения ПДК для изучаемого загрязняющего вещества.

**Риск.** Последовательность вызова аналогична процедуре расчета среднегодовых концентраций при задании в режиме редактора значения коэффициентов риска для изучаемого загрязняющего вещества.

Результаты анализа представлены в таблицах 16 и 17.

**Таблица 16**

**Распределение населения по уровням риска**

<i>Уровень риска [1/год]</i>		<i>Кол-во чел.</i>
<i>Обозначение в программе</i>	<i>Численное значение</i>	
(e-5 - e-4)	$10^{-5} - 10^{-4}$	0 чел
(e-6 - e-5)	$10^{-6} - 10^{-5}$	307983 чел
(e-7 - e-6)	$10^{-7} - 10^{-6}$	92680 чел
(e-8 - e-7)	$10^{-8} - 10^{-7}$	0 чел
(e-9 - e-8)	$10^{-9} - 10^{-8}$	0 чел
(e-10 - e-9)	$10^{-10} - 10^{-9}$	0 чел

Таблица 17

## Распределение риска по микрорайонам

<i>№</i>	<i>Цвет микрорайона с цветовым обозначением на карте</i>	<i>Доля в популяционном риске</i>	<i>Индивидуальный риск в микрорайоне</i>	<i>Количество населения, подверженное воздействию</i>
1	Красный	22.7%	1.76608e-06	89964 чел
2	Синий	19.1%	2.22786e-06	59920 чел
3	Зеленый	18.5%	1.29762e-06	99909 чел
4	Голубой	10.1%	1.42316e-06	49923 чел
5	Желтый	21.3%	3.73074e-06	39931 чел
6	Фиолетовый	8.35%	9.59151e-07	61016 чел

Коллективный риск в регионе равен  $0.7 \text{ (год)}^{-1}$ , количество населения 400 663 чел., средний индивидуальный риск для населения региона составляет  $1.75 \times 10^{-6} \text{ (год)}^{-1}$ .

**Замечания.** При расчете концентраций можно объединять все предприятия, в выбросах которых содержится данный тип загрязняющих веществ. При расчете ПДК и риска можно объединять все типы загрязняющих веществ для всех предприятий.

Для удобства заполнения отчета результаты анализа расчетов записываются в файл протокола, который можно вызвать из меню "Помощь" → "Протокол".

## Заключение

Мы вкладываем в слово «технология» смысл, несколько отличающийся от принятого в справочной литературе. В энциклопедиях обычно говорится о технологии как совокупности сведений о различных способах обработки (или переработки) сырья, полуфабрикатов, изделий, об описании этих способов в виде инструкций, графиков, чертежей и пр. В словаре иностранных слов «технология» – это совокупность знаний о способах и средствах проведения производственных процессов. В толковом словаре русского языка (1978 г.) технология есть совокупность производственных процессов в определенной отрасли производства, а также научное описание способов производства.

Все эти формулировки в общем сходны, но все они, на наш взгляд, не отвечают тому значению, которое придается технологиям в век научно-технической революции.

В наши дни изменился сам подход к понятиям «техника» и «технология». Мы привыкли говорить об уровне техники как об одном из основных показателей развития общественного производства. А нужно ведь говорить об уровне технологий. Именно технологии определяют сегодня состояние материального производства

**Технология** – это, прежде всего качественная характеристика современного производства, включающая, помимо описания совокупности производственных процессов (начиная от добычи или получения исходных материалов и кончая готовым продуктом), также описание степени использования новейших достижений науки, степени оптимизации производственных процессов, степени урона, наносимого природе, обществу и человеку, и пр. [30].

Можно, конечно, долго дискутировать по вопросам терминологии. Но едва ли сама по себе такая дискуссия принесет большую пользу. Мы коснулись этого вопроса с единственной целью – привлечь внимание читателя к тому, что **технология** в наши дни – это не просто некий «технологический процесс», воспринимаемый в повседневной жизни как сборник технологических инструкций, технологических карт, предписывающих выполнение в известной последовательности тех или иных операций на данном оборудовании.

**Технологический уровень производства** сегодня следует оценивать с учетом степени использования наиболее эффективных физических явлений, химических, биологических и других процессов. В этом смысле особенно важно быстрее внедрять в производство результаты фундаментальных исследований как теоретических, так и экспериментальных. Причем здесь должны проявить себя и прямые, и обратные связи. Фундаментальные исследования должны рождать революционные технологии, а возникающие в ходе развития технологий проблемы должны становиться объектами серьезных фундаментальных исследований. Только в таком тесном контакте науки и технологии, только в динамике, движении возможен технический прогресс. Теперь уже недостаточно «знать, как делать» («ноу-хау»), нужно еще и понимать «почему нужно делать» так или иначе, т.е. «знать почему» («ноу-вай») [31].

Для оценки потенциала того или иного государства ныне недостаточно знать количественные показатели (сколько выплавляли стали, произвели цемента, добыли нефти и газа и пр.). Существеннейшей характеристикой положения дел в народном хозяйстве той или иной страны теперь является **уровень технологий**: как, какими способами, при каких затратах материалов, энергии, человеческого труда достигнуты те или иные количественные показатели, как плавят сталь, производили цемент, добывали газ и т.д.

Человечество сейчас не готово управлять биосферными процессами. Необходимо коренное переосмысление происходящего, и основной риск, с которым столкнулось человечество, состоит в том, что оно продолжает в любой ситуации задаваться вопросом «что делать?», так и не начав серьезно думать «как делать?», т.е. анализировать возможные альтернативные решения.

Необходима интеграция оценки риска в комплексную всестороннюю оценку технологии или в решение конкретной задачи, чтобы полученные результаты могли быть использованы в процессе принятия решения.

Разработка и совершенствование моделей и методов анализа и оценки природных и техногенных опасностей и рисков так же необходимы, как развитие экономических, политических, юридических, политических и оборонных механизмов. Более того, они должны дополнять друг друга для обеспечения гармоничного развития общества совместно с окружающей его природной средой [31].

Современное научно-техническое развитие выставило человеку до сегодняшнего дня непривычное требование ответственности за свои действия и без умения оценивать и заранее анализировать опасность и риски человечеству не удастся дальше развиваться, ибо оно уже перестало быть малым возмущением в природе.

Предлагаемая для семинаров расчетно-практическая задача позволяет провести первичные консервативные оценки опасности того или иного объекта и проранжировать опасные объекты по сравнительному уровню риска, используя достаточно простые методики и разработанные расчетные коды.

Изучение предложенных методов и моделей, по мнению авторов, позволит будущим специалистам на основе применения предложенного математического аппарата анализа (или дальнейшего развития) минимизировать риск и оптимально им управлять, прежде всего, в районах с высокоразвитой промышленностью.

Полученные знания могут оказаться полезными в практической деятельности при:

- разработке рекомендаций по возможным мерам регионального уровня, нацеленным на снижение негативных воздействий опасных для окружающей среды видов промышленного производства;
- прогнозировании экономического развития регионов с учетом антропогенных нагрузок на окружающую среду;
- выявлении критических областей, где снижение уровня неопределенности приведет к наиболее эффективной оценке достоверности риска и, тем самым, обеспечит наилучшие способы его снижения.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов П.А., Ман-Сунг Им Экологический риск: Учебное пособие.- СПб: Изд-во С.-Петербургского Ун-та, 1999.
2. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию. Учеб. пособие. – СПб: Химиздат, 1999.
3. Меньшиков В.В., Швыряев А.А. Опасные химические процессы и техногенный риск: Учебное пособие. –М.: Изд-во МГУ, 2003.
4. Мартынюк В.Ф., Прусенко Б.Е. Защита окружающей среды в чрезвычайных ситуациях. – М.:ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003.
5. Доброчеев О.В. Рассеяние тяжелых газов в атмосфере. Физический механизм. Математические модели. М.: РНЦ “Курчатовский институт”, 1993.
6. Едигаров А.С. Метод расчета зоны поражения при аварийных выбросах токсичного газа. – Российский химический журнал, 1995, т. 39, № 2, с.94-100.
7. Едигаров А.С. Численный анализ различных моделей турбулентного переноса в задаче диффузии тяжелого газа. – Инженерно-физический журнал, 1991, т.61, № 3, с.501-503.
8. Едигаров А.С. Численный расчет турбулентного течения холодного тяжелого газа в атмосфере. – Ж. вычисл. математики и мат. физики, 1991, т.31, №.9, с.1369-1380.
9. Детков С.П., Детков В.П., Астахов В.А. Охрана природы нефтегазовых районов.- М.: Недра, 1994.
10. Ley B., Bloxam R., Misra P. Atmospheric Model Development Unit Air Quality and Meteorology. – Section Air Resources Branch, 1986.
11. McNaughton D.J. Errors Inherent in Wind Inputs to Unlinked Source and Dispersion Models. – J. Air Waste Manage. Assoc., No. 7, p. 1018-1020.
12. Аверин Л.В., Кондрашков Ю.А., Щевяков Г.Г. Исследование процесса перемешивания на участке взаимодействия струи с поперечным сносящим потоком. –Инженерно-физический журнал. 1985. т.X IX. № 5, с.751-756.
13. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.

14. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А. А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. - М.: «Олита», 1996.
15. Авалиани С.Л., Андрианова М.М., Печенникова Е.В., Пономарева О.В. Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт). - М., 1996.
16. Меньшиков В.В., Швыряев А.А., Захарова Т.В. Анализ риска при систематическом загрязнении атмосферного воздуха опасными химическими веществами. Учебное пособие. – М.: Изд-во Химич. фак. Моск. ун-та, 2003.
17. Быков А.А. и др. Методические рекомендации по анализу и управлению риском воздействия на здоровье населения вредных факторов окружающей среды. – М.: Анкил, 1999.
18. Захарова Т.В., Меньшиков В.В. Проведение оценки риска для здоровья населения от загрязнения подземных и поверхностных вод в районах размещения отвалов промышленных отходов // Проблема оценки риска загрязнения поверхностных и подземных вод в структуре ТЭК. М.: ВНИИГАЗ, 2001, с.с.157-180.
19. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф. – М.: МГФ «Знание», 1999.
20. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска от систематического загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: Методические указания к задаче практикума. – М.: Изд-во Химич.фак. Моск. ун-та, 2002.
21. Волков Э.П. Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС.- М.: Энергоиздат, 1986.
22. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов. - М.: Энергоиздат, 1992.
23. Кузьмин И.И., Пантелеев В.А. Оценка риска от техногенных атмосферных выбросов и задача управления риском в регионе. //Сб.ВИНИТИ «Итоги науки и техники», сер. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - М., 1993. - № 4, с.38-44.
24. Оценка рисков для организмов человека, создаваемых химическими веществами: обоснование ориентировочных величин для установления предельно допустимых уровней экспозиции по показателям влияния на состояние здоровья. Гигиенические

- критерии качества окружающей среды 170. - МПХБ, ВОЗ, Женева, 1995.
- 25.ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения: Издание официальное. – М.: Госстандарт России, 2002.
- 26.Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. N.Y., 1989.
- 27.Кузьмин И.И., Махутов Н.А., Хетагуров С.В. Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты. Спб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та экономики и финансов. 1997.
- 28.Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. 2<sup>nd</sup> Edition with Worked Examples. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. N.Y., 1992.
- 29.Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных катастроф. - М.: МГФ «Знание», 1999.
- 30.Легасов В.А., Чайванов Б.Б., Черноплеков А.Н. Научные проблемы безопасности техносферы. // Безопасность труда в промышленности, 1988, №1, с.44-51
- 31.Гидаспов Б.В., Кузьмин И.И., Ласкин Б.Н., Азиев Р.Г. Научно-технический прогресс, безопасность и устойчивое развитие цивилизации. // Ж.ВХО им Д.И. Менделеева. т. XXXV Химическая безопасность, 1990, с.с. 409-414.

## **Приложение 1**

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

### ***ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ СПЕЦКУРСА \****

Приводится систематизация источников и факторы, влияющие на уровень загрязнений объектов. Проводится критический анализ нормативных методик для расчетов загрязнения окружающей среды. Большое внимание уделяется математическому моделированию и методам расчета загрязнений атмосферы, вод и суши. Изложены этапы процесса математического моделирования. Рассматривается математическое моделирование последствий антропогенных воздействий на экосистемы при нормальной работе оборудования и во время аварийных ситуаций. Приводятся методы оценки риска и ущерба наносимого людям и окружающей среде. Излагаются основы подхода к прогнозированию и анализу экологических и экономических характеристик загрязнения.

\* Авторская программа В.В. Меньшикова. (Читает данный спецкурс на химическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова и на экологическом факультете МНЭПУ в течение 5 лет)

## **ВВЕДЕНИЕ**

Обострение экологических проблем на части территории России и, как следствие, ухудшение условий жизнедеятельности и состояния здоровья населения объективно обусловили необходимость законодательного введения статуса специальных зон с серьезным нарушением окружающей природной среды.

Обострение экологической обстановки способствовало резкой интенсификации научных и практических разработок по охране окружающей среды. Управление чистотой окружающей природной среды ставит перед обществом сложную проблему выбора между степенью удовлетворения потребностей в материальных благах, создаваемых современным производством, с одной стороны, и степенью удовлетворения потребности в чистоте окружающей среды, с другой стороны. При практически любых условиях управления чистотой окружающей среды должна быть исключена возможность концентрации загрязнений в размерах, приводящих к необратимому ухудшению здоровья людей и условий развития экологических систем. Для выполнения этого социально-экологического требования к чистоте среды необходима разработка показателей критических условий загрязнения и предельных экологических нагрузок на экосистемы.

Исходной базой планирования природоохранной деятельности является информационная служба мониторинга, государственная статистика и контроль за состоянием природной системы и выбросами примесей от источников загрязнения. Важно подчеркнуть, что единого интегрального показателя состояния (или оценки) экосистем не существует, однако число наиболее репрезентативных показателей может быть сведено к оптимальному минимуму. Показатели означают размер, а параметры – границы интервалов, соответствующих степеням экологического неблагополучия территорий. Параметры приняты либо на основании научных, экспериментальных данных, либо экспертных оценок специалистов.

В условиях широкого применения синтетических химических соединений одной из главных задач является поиск методов, позволяющих предсказывать возможные последствия и оценивать потенциальный риск применения химикатов. Для обоснованного вывода о влиянии загрязнителей на экосистемы и здоровье населения сегодня широкое применение получили методы математического моделирования, которые эффективно используются для решения в условиях поступления большого числа химикатов в объекты окружающей среды.

Данный курс направлен на изучение методов математического моделирования, используемых в природоохранной деятельности, инженерных расчетов и методов математического моделирования. Курс условно разделен на три части.

В первой части рассматриваются содержание понятия качества окружающей среды и нормативные методы оценки загрязнения окружающей среды вредными веществами.

Во второй части представлены вопросы математического моделирования и методы расчета загрязнений объектов окружающей среды. Круг задач, возникающих в процессе математического моделирования, настолько широк и разнообразен, что при подготовке курса пришлось ограничиться изучением ограниченного количества применяемых в настоящее время подходов и методов. Производится знакомство с проблематикой оценки риска, вероятностные подходы, позволяющие моделировать эффекты воздействия на здоровье населения различных факторов загрязнения объектов природы. Для лучшего усвоения предлагаемого материала и получения навыков по экспресс-оценке степени техногенного воздействия промышленных опасных объектов на население, проживающее в индустриально развитых регионах, проводятся расчетно-семинарские занятия.

В третьей части изучаются модели и методы для прогноза и определения тенденций в изменении состояния биосферы. Многие проблемы рассмотрены только в постановочном плане, поэтому курс может служить отправной точкой для тех, кто желает в дальнейшем продолжить научные исследования в области природопользования и природоохранной деятельности, разработки новых математических моделей и методов оценки и прогнозирования последствий антропогенной деятельности для природных объектов и здоровья населения.

Изучение продолжительности методов и моделей позволит будущим специалистам на основе применения предложенного математического аппарата анализа минимизировать риск и оптимально им управлять, прежде всего, в районах с высокоразвитой промышленностью.

Настоящая программа подготовлена для студентов-дипломников химического факультета МГУ и экологического факультета МНЭПУ, специализирующимся на кафедрах химической технологии и техногенной экологии соответственно.

# 1. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## 1.1. ЦЕЛЬ КУРСА

В последнее время со всей остротой встал вопрос об охране окружающей среды от негативного влияния человеческой деятельности. В условиях растущего антропогенного воздействия на природу существующий экологический резерв биосферы должен использоваться таким образом, чтобы обеспечить высокое качество биосферы и способность природы к воспроизводству. Должны быть разработаны надежные меры по предотвращению чрезмерных нагрузок на биосферу. В такой ситуации особенно важна объективная информация о критических факторах антропогенного воздействия, о фактическом состоянии биосферы и прогнозы ее будущего состояния, учет влияния загрязнения объектов окружающей среды на здоровье населения.

**Основная цель** лекционного спецкурса – вооружить будущих специалистов теоретическими знаниями и практическими навыками по использованию математического моделирования и методов расчета загрязнений атмосферы, вод и суши с целью выдачи обоснованных рекомендаций по снижению риска для здоровья населения от загрязнения объектов окружающей среды химическими веществами. Предметом изучения являются численный анализ уровня загрязнений, идентификация и определение концентрации загрязнителя, количественная оценка риска загрязнения атмосферного воздуха в результате воздействия промышленных опасных объектов.

## 1.2. ЗАДАЧИ КУРСА

Задачи данного курса могут быть сформулированы следующим образом:

- Сформировать у студентов научное мировоззрение и логическое мышление;
- ознакомить с критериями оценки изменения среды обитания населения (показатели загрязнения атмосферного воздуха, вод, почв и других компонентов);
- обучить нормативным методам оценки загрязнения окружающей среды;
- ознакомить с методами моделирования, используемыми в природоохранной деятельности;
- обучить количественному анализу экологических процессов с помощью математических инструментов;
- обучить способам установления количественных показателей риска и этапам проведения процедуры оценки риска воздействия на человека и природные среды техногенных источников опасности;

- ознакомить с методами прогнозирования тенденций в изменении состояния биосферы.

### 1.3. МЕСТО КУРСА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ ВЫПУСКНИКА

Курс «Моделирование, расчет и прогноз загрязнений» является логическим продолжением курса «Техногенные системы и экологический риск» и также тесно связан с такими дисциплинами, как «Промышленная экология», «Основы проектирования и экологической экспертизы», «Системная экология», «Поведение химических загрязнителей в биосфере», «Нормирование и планирование снижения выбросов» и др. Изучение данной дисциплины позволит будущим специалистам приобрести знания и практический навык в использовании моделей для описания и прогнозирования состояния и загрязнения окружающей среды, осуществлении их качественного и количественного анализа, в выборе способов решения экологических проблем в условиях профессиональной деятельности.

Знания, полученные при изучении курса, должны побудить будущих специалистов к дальнейшим исследованиям для выработки рекомендаций по предотвращению и уменьшению ущерба, наносимого природе хозяйственной деятельностью человека.

Изучению дисциплины предшествуют курсы классической теории вероятности, математической статистики и линейной алгебры.

### 1.4. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КУРСА

Студенты, успешно освоившие курс должны:

- знать методы оценки загрязнения атмосферного воздуха;
- знать критерии оценки загрязнения водных объектов и деградации водных систем;
- знать критерии экологической оценки состояния почв;
- знать проблемы физического загрязнения селитебной зоны;
- уметь проводить расчет с применением нормативных методов оценки загрязнения окружающей среды вредными веществами;
- знать методы моделирования и методы расчета распространения загрязнений в объектах окружающей среды;
- уметь применять статистические и математические методы в экологическом анализе для проверки правильности экологических теоретических моделей и способов решения экологических проблем;
- уметь прогнозировать последствия антропогенной деятельности для природных объектов и здоровья населения, в том числе с применением программных комплексов, например «ROSP», «ЭФИР-5».



## 2. ТЕМАТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Тема 1 ВВОДНЫЙ РАЗДЕЛ

Цель и задачи спецкурса, его структура, система отчетности и самоконтроля.

Основная и дополнительная литература.

Основные понятия, термины и правовые документы, используемые в спецкурсе, взаимосвязь с другими дисциплинами.

Управление чистотой окружающей природной среды.

Введение в моделирование природоохранной деятельности.

### Тема 2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ОБЩИЕ ВОПРОСЫ)

Взаимосвязь основных факторов в системе «общество – окружающая среда». Воздействие на окружающую среду. Понятие допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду. Проблемы физического загрязнения сельтебной зоны. Характеристика источников и состав загрязнителей. Проблемы теории миграции, трансформации и аккумуляции загрязнителей в окружающей среде. Математическое моделирование экологических систем. Введение в моделирование природоохранной деятельности. Комплексный подход к оценке загрязнения объектов окружающей среды. Организация эффективного химико-аналитического контроля объектов окружающей среды. Система задач, моделей и методов комплексного эколого-экономического прогнозирования и оптимального планирования промышленного производства.

### Тема 3. НОРМАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВРЕДНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Прямые аналитические методы определения. Расчетные методы определения вредных выбросов в атмосферу. Балансовые методы. Методы определения загрязняющих веществ по удельным показателям. Численный анализ уровня загрязнения. Критерии, характеризующие уровень загрязнения атмосферы, литосферы и почвы. Предельно допустимый выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Расчет предельно допустимого сброса сточных вод. Методы расчета санитарно-защитных зон, эффективности систем обезвреживания, необходимой степени очистки производственных сточных вод. Методы и средства снижения техногенного воздействия на ландшафт. Соотношение выбросов и концентраций, нормирование выбросов. Идентификация и определение мощности источников на основе измерения концентрации загрязнителя. Инженерные методы расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

#### Тема 4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Моделирование и системный анализ. Циклическая природа математического моделирования. Этапы процесса математического моделирования. Типы моделей. Процедура построения математических моделей (задание начальных и граничных условий, структурная и параметрическая идентификация, проверка адекватности, исследование чувствительности). Проблемы «минимальной модели». Моделирование загрязнений объектов окружающей среды: почв при разливах углеводородов, моделирование загрязнения водной среды органическими отходами. Модели состояния окружающей среды: распространение вредных примесей в атмосфере. Классификация моделей распространения (диффузионные, статистические). Модели диффузионного типа:

- модели Гауссовского распределения концентрации примеси,
- модель Берлянда,
- модифицированный метод Паскуилла-Гиффорда.

Модели, основанные на решении уравнения сохранения масс:

- без учета химических реакций
- адвекционно-диффузионные уравнения с учетом химических реакций.

Модели замкнутых элементов. Особенности моделей и их применение. Моделирование фотохимических процессов для оценки степени вторичного загрязнения атмосферы. Статистические модели. Концепция модели.

Математическое моделирование экологических последствий аварийных ситуаций промышленных объектов (модели истечения и рассеивания). Подходы к имитационному моделированию. Глобальное моделирование. Комментарии к большой модели.

#### Тема 5. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКА В ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Возникновение и идентификация потенциальных опасностей на промышленных объектах. Прямые и косвенные последствия техногенного воздействия. Выбор критериев и ранжирование наиболее распространенных загрязнителей. Ранжирование потенциальных источников опасности. Основные показатели в методологии оценки риска. Социально-приемлемый риск как критерий принятия решений. Оценка техногенного риска для здоровья населения. Оценка последствий для человека и окружающей среды. Приложение вероятностного подхода к моделированию

стохастических эффектов техногенного воздействия. Принципы расчета показателей систематического риска. Анализ интегральных показателей риска. Использование метода оценки риска для решения природоохранных задач и для принятия решений по страхованию, мерам защиты.

#### Тема 6. ПРОГНОЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ В ИЗМЕНЕНИИ СОСТОЯНИЯ БИОСФЕРЫ

Оценка воздействия на окружающую среду. Методы определения изменений биосферы и воздействий на них. Ранжирование альтернативных вариантов через категории воздействия. Проблема учета неопределенностей. Оценка изменений и тенденций изменений биосферы. Моделирование тенденций временного ряда (построение тренда). Моделирование сезонных и циклических колебаний. Основы подхода к прогнозированию и анализу экологических и экономических характеристик загрязнения. Основные проблемы использования моделей для прогноза. Теоретические основы глобального экологического прогнозирования, прогноз возможных изменений в окружающей среде под влиянием хозяйственной деятельности в России, на планете. Рекомендации по минимизации негативного воздействия. Переход к эре устойчивого развития (Йоханнесбург, 2002).

#### ***ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЯ ИХ НА СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЯХ***

1. Предложите схему процесса загрязнения атмосферного воздуха предприятиями нефтегазового комплекса.
2. Сформулируйте четырехэтапную процедуру процесса математического моделирования.
3. Покажите характер зависимости степени ущерба от относительной массы выброса: как это используется в комплексном подходе к оценке загрязнения объектов окружающей среды.
4. Сформулируйте формальные методы, базирующиеся на ретроспективной информации, которые используются при решении задач прогнозирования.
5. Критерии оценки загрязнения атмосферы, водных объектов.
6. Индикационные критерии оценки.

7. Как учитывается фоновая концентрация загрязняющих веществ при расчете значений ПДВ и ПДС?
8. Сформулируйте особенности математических моделей и укажите проблемы «минимальной модели».
9. Дайте развернутую характеристику (классификацию) моделям распространения и воздействия выбросов в атмосферу; назовите отличия в применении диффузионных и статистических моделей оценки уровня загрязнения атмосферы.
10. Какие физические процессы исследуются при моделировании экологических последствий аварийных ситуаций, позволяющие оценить уровень ущерба?
11. Какая взаимосвязь используется при моделировании загрязнения водной среды органическими отходами? Сформулируйте возможность оптимизировать режимы сброса предприятиями органических отходов в воду.
12. Проблемы физического загрязнения селитебной зоны.
13. Для чего применяется процедура ранжирования наиболее распространенных загрязнителей в оценке риска? Выбор критериев.
14. Построение полей потенциальной опасности. Учет влияния метеорологических и климатических характеристик на показатели риска.
15. Перспективы применения методов оценки риска загрязнения территорий для решения, природоохранных задач.
16. Критерии оценки загрязнения атмосферы, водных объектов.
17. Назовите приоритетные исследования для решения глобальных проблем, выдвинутых международным сообществом.

### ***ТЕМЫ СЕМИНАРОВ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ***

1. Нормативные методики для расчета загрязнения объектов окружающей среды.
2. Методики оценки экологических последствий при техногенных воздействиях.
3. Критерии оценки загрязнения объектов окружающей природной среды.
4. Критерии оптимизации конкретных природоохранных мероприятий.
5. Методы оценки риска и ущерба при загрязнении объектов окружающей среды.
6. Применение методов моделирования для сравнительной оценки риска техногенного воздействия промышленных объектов в регионе (Работа с программой ROSP).

## **ТЕМЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПОД РУКОВОДСТВОМ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ**

1. Организация химико-аналитического контроля объектов окружающей среды.
2. Критерии, характеризующие уровень загрязнения атмосферы, литосферы и почвы.
3. Методы и средства снижения техногенного воздействия на ландшафт.
4. Проблемы физического загрязнения селитебной зоны.
5. Гигиенические критерии оценки качества объектов окружающей среды.
6. Прогноз возможных изменений в окружающей среде под влиянием хозяйственной деятельности в России, на планете. Рекомендации по минимизации негативного воздействия.
7. Переход к эре устойчивого развития (Рио-де-Жанейро, 1992; Йоханнесбург, 2002).

### **3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ (УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН)**

Дисциплина: «Моделирование, расчет и прогноз загрязнений»

Форма обучения: очная

№ п/п	Наименование разделов и тем курса	Аудиторные занятия			Самосто ятельная работа (час)	Виды контроля
		Всего (час)	В том числе			
			Лекци и	Сем, практ занят		
1.	Вводный раздел	2	2	-	2	
2.	Современное состояние и проблемы охраны окружающей среды (общие вопросы)	6	4	2	6	
3.	Нормативные методы оценки загрязнения окружающей среды вредными веществами	14	6	8	10	КР1

4.	Математическое моделирование и методы расчета загрязнений	16	8	8	8	
5.	Модели и методы анализа риска в природоохранной деятельности	14	6	8	10	КР2
6.	Прогноз и определение тенденций в изменении состояния биосферы	8	6	2	8	
	ИТОГО	60	32	28	44	ЗАЧЕТ

#### **4. ФОРМА ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ**

В связи с тем, что предлагаемый курс в значительной степени оригинален, список рекомендуемой литературы включает помимо источников, необходимых в процессе подготовки к зачету также изданные научные и учебные труды, рекомендуемые дополнительно для более глубокого и широкого освоения рассматриваемых в данном курсе проблем.

Для углубления и закрепления знаний и навыков, полученных на занятиях, студенты выполняют самостоятельные и домашние задания. Для проверки знаний предусматривается текущий контроль с применением технических средств обучения.

Итогом курса является зачет.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗДЕЛА**

Рекомендуемая литература

Основная

1. Афанасьев Ю.А., Фомин С.А., Меньшиков В.В. и др. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: Учебное пособие. Часть 2. Специальная – М.: Изд-во МНЭПУ, 2001.
2. Меньшиков В.В., Савельева Т.В. Методы оценки загрязнения окружающей среды: Учебное пособие – М.: Изд-во МНЭПУ, 2000.
3. Быков А.А. Моделирование природоохранной деятельности: Учеб. пособие. - М.: Изд-во НУМЦ Госкомсэкологии России, 1998.
4. Меньшиков В.В., Швыряев А.А., Захарова Т.В. Анализ риска при систематическом загрязнении атмосферного воздуха опасными химическими веществами: Учебное пособие. М.: Изд-во Химич. ф-та МГУ, 2003. – 120 с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, ОНД-86. – М.: Гидрометеиздат, 1987.

Дополнительная

1. Экология, охрана природы и экологическая безопасность: Учебное пособие / Под общей ред. Данилова-Данильяна В.И. - М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.
2. Антропогенные изменения климата / Под ред. Будыко М.И., Израэля Ю.Я. - Л.: Гидрометеиздат, 1987.
3. Балашов А.Л., Максимов В.М. Моделирование загрязнения верхнего почвенного слоя жидкими углеводородами //

- Основные направления в решении проблемы экологического риска топливно-энергетического комплекса. - М.: ВНИИГАЗ, 1994.
4. Волков Э.П. Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
  5. Временные методические рекомендации по расчету предельно допустимых сбросов. (ПДС) загрязняющих веществ в водные объекты со сточными водами. - Л.: Госкомприрода, 1990.
  6. Гидрометеорология Серия 87. Мониторинг состояния окружающей природной среды. Обзорная информация. Коэффициенты превращения (распада) загрязняющих веществ в воде. - Выпуск 1, Обнинск, 1987.
  7. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ. - М.: Медицина, 1986.
  8. ОНД-90 Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы,- СПб: ч.1., 1991, ч. 2., 1992.
  9. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды: Учебное пособие для инженера-эколога / Под ред. Порядина А.Ф., Хованского А.Д. - М.: НУМЦ Минприроды России, 1996.
  10. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985.
  11. Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов - М.: 1995.
  12. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды: Пер. с англ./ Под ред. Моисеева Н.Н. - М.: Мир, 1979.
  13. Сборник типовых расчетов и заданий по экологии: Учебное пособие.- Тверь: 1995.
  14. Управление природоохранной деятельностью в РФ: Учебное пособие. - М.: «Варяг», 1996.
  15. Чепурных Н.В., Новоселов А.Л. Планирование и прогнозирование природопользования. - М.: Интерпракс, 1995.
  16. Гриценко А.И., Аконова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. - М.: Наука,; 1997.
  17. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, 1982.
  18. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. - М.: Госкомгидромет СССР, 1989.



19. Методика расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей. - М.: ВНИИГАЗ; НРЦ ГАЗПРОМА, 1996.
20. Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах. Л.: Гидрометеиздат, 1979.
21. Моисеев Н.Н. Экология человечества глазами математика. - М.: Молодая гвардия, 1988.
22. Савенко В.С. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы. Итоги науки и техники. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. Т.31. - М.: 1991.
23. Экологическое аудирование промышленных производств: Учебное пособие. - М.: НУМЦ Госкомэкологии России, 1997.б
24. Клименко Е.Т. Гауссовская математическая модель рассеяния вредных веществ в атмосфере. - М.: ООП ГАНГ, 1998.
25. Меньшиков В.В. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность и экологичность технических систем: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГУ, - 2003.
26. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска от систематического загрязнения атмосферы в исследуемом регионе : Методические указания к задаче практикума. - М.: Изд-во Химич. фак. Моск. ун-та, 2002.
27. Меньшиков В.В., Швыряев А.А. Опасные химические объекты и техногенный риск: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГУ, 2003.

## Приложение 2

### Глоссарий [25,27]

**Анализ** – метод исследования, состоящий в мысленном или фактическом разложении целого на составные части; всесторонний разбор чего-либо путем рассмотрения его отдельных свойств и составных частей; синоним научного исследования вообще («подвергнуть анализу» означает «изучить»). Познание не сводится только к анализу; в сочетании, переплетении, единстве в синтезом становится возможным познание реальности.

**Анализ риска** – систематическое использование информации для определения источников и количественной оценки риска.

Анализ риска обеспечивает базу для оценивания риска, мероприятий по снижению риска и принятия риска.

Информация может включать в себя исторические данные, результаты теоретического анализа, информированное мнение и касаться причастных сторон.

**Анализ риска для здоровья** – процесс сбора, анализа и сравнения прогнозируемых параметров состояния здоровья отдельного лица с параметрами стандартной возрастной группы, позволяющий предсказать вероятность того, что у этого лица может преждевременно появиться какая-либо проблема со здоровьем, связанная с высоким уровнем заболеваемости и смертности в группе.

**Антропогенное воздействие** – любой вид хозяйственной деятельности человека в его отношении к природе.

**Антропогенные факторы** – факторы, обязанные своим происхождением деятельности человека.

**Безопасность химическая** – это совокупность определенных свойств объектов окружающей среды и создаваемых регламентируемых условий, при которых, с учетом экономических, социальных факторов и научно-обоснованных допустимых дозовых нагрузок химических вредных веществ, удерживаются на разумно низком минимально-возможном уровне риск возникновения аварий на химически опасных объектах, а также риск прямого или косвенного воздействия этих веществ на окружающую среду и человека, и исключаются

отдаленные последствия воздействия химических вредных веществ для настоящего и последующего поколений.

**Вероятность** – мера того, что событие может произойти.

**Вещество опасное химическое** – химическое вещество, прямое или опосредованное воздействие которого на человека может вызвать острые и хронические заболевания людей и их гибель.

**Воздействие на окружающую среду** – любые потоки вещества, энергии и информации, непосредственно образующиеся в окружающей среде или планируемые в результате антропогенной деятельности и приводящие к изменениям окружающей среды.

**Воздействие экологическое** – человеческая деятельность, а также стихийные природные бедствия и катастрофы, в результате которых изменяется окружающая среда и вследствие этого условия существования человека и общества.

**Добавочная доза популяционного риска** – доля заболеваемости, смертности или инвалидности в популяции, связанная с воздействием данного фактора риска, рассчитываемая путем деления добавочного популяционного риска на показатели здоровья в исследуемой популяции.

**Добавочный или атрибутивный риск** – дополнительные случаи развития патологии, обусловленные воздействием факторов риска.

**Допустимая суточная доза (ДСД)** – дневная доза какого-либо химического вещества, которая не дает ощутимо вредных воздействий по всем известным критериям за все время жизни животного или человека. Она выражается в миллиграммах химического вещества на 1 кг массы тела.

**Загрязнение** – привнесение в природную среду или возникновение новых, обычно не характерных для нее физических, химических или биологических веществ и агентов, оказывающих вредное воздействие на человека, флору, фауну и на материалы.

**Загрязнитель** – субъект воздействия на окружающую среду, любое юридическое или физическое лицо, несущее эколого-правовую и

эколого-экономическую ответственность за конкретное воздействие на окружающую среду.

**Загрязняющее вещество** – вещество, способное нанести вред здоровью людей или окружающей среде, присутствующее в тех или иных объектах природной или окружающей среды в количествах, превышающих его естественные (фоновые) содержания.

**Зона экологического риска** – зона, где наблюдаются достоверные изменения свойств природных комплексов, приводящие к негативным для природы и человека последствиям.

**Идентификация риска** – процесс нахождения, составления перечня и описания элементов риска.

Элементы риска могут включать в себя источники и или опасности, события, последствия и вероятность.

Идентификация риска может также отражать интересы причастных сторон.

**Идентификация источников** – процесс нахождения, составления перечня и описания источников.

Применительно к безопасности идентификация источников представляет собой идентификацию опасностей.

**Источник** – объект или деятельность с потенциальными последствиями.

**Канцероген** – фактор, воздействие которого достоверно увеличивает частоту возникновения опухолей (доброкачественных и/или злокачественных) в популяциях человека и/или животных, и/или сокращает период развития этих опухолей.

**Канцерогенная опасность (риск)** – вероятность значительного повышения частоты возникновения опухолей у людей, подвергшихся или подвергающихся воздействию определенных канцерогенных факторов в быту и/или на производстве и коррелирующая с индивидуальными способностями «образа жизни», эндогенными факторами («факторами организма»), загрязнениями окружающей среды или профессиональными вредностями.

**Количественная оценка риска** – процесс присвоения значений вероятности и последствий риска.

**Коммуникация риска** – обмен информацией о риске или совместное использование этой информации между лицом, принимающим решение, и другими причастными сторонами.

**Ксенобиотик** – чужеродное химическое вещество, не присутствующее в норме в окружающей среде, например, пестициды или диоксины.

**Мониторинг окружающей среды** – система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, дающая информацию о состоянии окружающей среды с целью оценки прошлого, настоящего и прогнозов будущего состояния окружающей среды; организационно и технически оформленная государственная (или ведомственная) информационно-измерительная система наблюдений, оценки состояния окружающей природной среды и прогнозирования ее изменений под влиянием природных или техногенных факторов.

**Неопределенность** – неясное, нечетко выраженное положение, ситуация, тенденция; носит как объективный, так и субъективный характер.

**Неопределенность стохастическая** – это неопределенность, описываемая, распределением вероятностей на множестве возможных состояний рассматриваемого объекта; случайность.

**Нормирование санитарно-гигиеническое** – система оценки и контроля допустимых уровней воздействия загрязняющих веществ на человека с целью непосредственной его защиты от вредного влияния этих веществ. Обеспечивается нормативами санитарно-гигиенических ПДК загрязняющих веществ с учетом возможного синергизма их действия.

**Менеджмент риска** – скоординированные действия по руководству и управлению организацией в отношении риска.

Обычно менеджмент риска включает в себя оценку риска, обработку риска, принятие риска и коммуникацию риска.

**Окружающая среда** – совокупность абиотической, биотической и социальной сред, способных совместно и непосредственно оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на

людей и их хозяйство, на животные, растительные и другие организмы.

**Опасность техногенная** – состояние, внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое в виде поражающих воздействий источника техногенной опасности на человека и окружающую среду при его возникновении, либо в виде прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации этих объектов.

**Оптимизация риска** – процесс, связанный с риском, направленный на минимизацию негативных и максимальное использование позитивных последствий и, соответственно, их вероятности.

**Остаточный риск** – риск, остающийся после обработки риска.

**Оценивание риска** – процесс сравнения количественно оцененного риска с данными критериями риска для определения значимости риска.

**Охрана окружающей среды** – предотвращение, ограничение и уменьшение негативного воздействия последствий стихийных бедствий, аварий или катастроф, либо хозяйственной и производственной деятельности людей на здоровье и благосостояние человека и окружающую его природную среду.

**Показатель смертности** является отношением числа умерших среди данного населения в течение года к численности этого населения по состоянию на середину года. Смертность выражается как число умерших на 1000 или 100000 жителей. Показатель также рассчитывается для отдельных возрастных групп, рас, по полу, географическим областям или причинам смерти (специфический показатель), а также для всего населения (общий показатель).

**Порог** – доза или уровень экспозиции, ниже которой не обнаруживается значительного неблагоприятного эффекта. Канцерогены являются беспороговыми химическими веществами, для которых не существует такого воздействия, которое могло бы рассматриваться как не обладающее некоторым риском развития неблагоприятных эффектов.

**Последствие** – результат события.

Результатом события может быть одно или более последствий.

Последствия могут быть ранжированы от позитивных до негативных. Однако применительно к аспектам безопасности последствия всегда негативные.

Последствия могут быть выражены качественно или количественно.

**Предельно допустимая концентрация (ПДК)** – экологический норматив, максимальная концентрация загрязняющего вещества в компонентах природной среды, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени не оказывает негативных воздействий на организм человека или другого рецептора.

**Предотвращение риска** – решение не быть вовлеченным в рискованную ситуацию или действие, предупреждающее вовлечение в нее.

Решение может быть принято на основе результатов оценивания риска.

**Принятие риска** – решение принять риск. Зависит от критериев риска.

**Природная среда** – часть природы, не испытывающая непосредственного воздействия со стороны человека. Характеристики ее определяются биотическими и естественными абиотическими факторами, к которым относятся климат, свет, атмосферные осадки, географическая цикличность и т.п.

**Риск** – сочетание вероятности события и его последствий.

Термин «риск» обычно используют только тогда, когда существует возможность негативных последствий.

В некоторых ситуациях риск обусловлен возможностью отклонения от ожидаемого результата или события.

**Риск индивидуальный** – вероятность (частота возникновения) поражающих воздействий определенного вида (смерть, травма, заболевание) для индивидуума, возникающая при реализации определенных опасностей в определенной точке пространства (где находится индивидуум).

**Риск социальный** – зависимость вероятности нежелательных событий (или частоты их возникновения), состоящих в поражении

определенного числа людей, подвергающихся негативным воздействиям определенного вида при реализации определенных опасностей, от этого числа людей.

**Риск относительный (или отношение рисков)** – отношение заболеваемости среди лиц, подвергшихся и не подвергшихся воздействию факторов риска. Этот показатель не несет информации о величине абсолютного риска. Даже при высоком значении относительного риска абсолютный риск может быть совсем небольшим, если заболевание редкое. Относительный риск показывает связь между воздействием и заболеванием.

**Риск экологический** – вероятность деградации окружающей среды или перехода ее в неустойчивое состояние в результате текущей или планируемой хозяйственной деятельности; возможность потери контроля над происходящими экологическими событиями. Под допустимым экологическим риском принято понимать сознательное допущение вероятности причинения вреда окружающей среде ради достижения экономического или экологического эффекта.

**Риска анализ** – процесс определения угроз безопасности системы и отдельных ее компонентов, определения их характеристик и потенциального ущерба, а также разработка мер защиты.

**Риска восприятие** – отношение людей и общества к риску, которое должно учитываться при выработке мероприятий по снижению риска с тем, чтобы они были правильно восприняты и адекватно реализованы.

**Риска методы оценки.** После выявления принципиально возможных рисков необходимо оценить их уровень и последствия, к которым они могут привести, то есть вероятность соответствующих событий и связанный с ними потенциальный ущерб. Разработаны различные методы оценки риска; возможно также использование их сочетаний.

**Риск-менеджмент** – система управления риском и финансовыми отношениями, возникающими в процессе этого управления. В основе риск-менеджмента лежат целенаправленный поиск и организация работы по снижению степени риска, искусство получения и увеличения дохода в неопределенной хозяйственной ситуации. Снижение величины риска осуществляется через финансовые методы: диверсификацию, лимитирование, страхование, самострахование и др.



**Системный подход** – один из общенаучных подходов, направленный на познание механизма интеграции систем как целостных образований – единств, состоящих из взаимосвязанных и взаимодействующих, нередко разнородных элементов. При этом учитывается, что каждая система выступает как элемент более высокой системы.

**Снижение риска** – действия, предпринятые для уменьшения вероятности, негативных последствий или того и другого вместе, связанных с риском.

**Событие** – возникновение специфического набора обстоятельств, при которых происходит явление.

Событие может быть определенным или неопределенным.

Событие может быть единичным или многократным.

Вероятность, связанная с событием, может быть оценена для данного интервала времени.

**Стресс** – неспецифическая (общая) реакция живого организма на любое сильное воздействие, оказываемое на него. Антропогенный стресс возникает у живых организмов под влиянием человеческой деятельности. При стрессе появляется комплекс защитных реакций организма (адаптационный синдром).

**Стрессор** – фактор, оказывающий сильное воздействие на организм и приводящий к стрессу.

**Уменьшение последствия события** – ограничение любого негативного последствия конкретного события.

**Сценарий** – воображаемая, но правдоподобная последовательность действий и вытекающих из них событий, которые могут произойти в будущем с исследуемой системой; модель будущего после принятия решения, представленная до его принятия.

**Управление риском** – действия, осуществляемые для выполнения решений в рамках менеджмента риска.

Управление риском может включать в себя мониторинг, переоценивание и действия, направленные на обеспечение соответствия принятым решениям.

**Устойчивость экологическая** – способность экосистем сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних факторов.

**Ущерб** – результат изменения состояния объектов, выражающийся в нарушении их целостности или ухудшении других свойств.

**Уязвимость** – степень возможных потерь, ущерба для данного объекта или совокупности, которые могут произойти при воздействии какого-либо негативного процесса или явления определенной величины.

**Факторы риска** – факторы, которые повышают вероятность возникновения различных нарушений здоровья, в частности, развития заболеваний.

**Фоновый уровень** – уровень концентраций химического вещества, характерный для районов, не подверженных непосредственному влиянию человеческой деятельности, и обусловленный деятельностью местных природных источников загрязнения.

**Экосистема** – единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором живые и косные компоненты связаны обменом веществ, энергии и информации. Экосистема является саморазвивающейся термодинамически открытой системой.

**Экспозиция** – количество химиката, приходящееся на одну мишень (организм, орган, ткань и т.п.)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Швыряев Александр Анатольевич** 1955 г.р.  
Вед. науч. сотр., канд. хим. наук, заведующий лабораторией безопасности химических производств Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Читает отдельные разделы курса «Техногенные системы и экологический риск» для студентов-химиков. Является экспертом 3 уровня в системе экспертизы промышленной безопасности Госгортехнадзора России. Автор монографий и учебных пособий по проблемам промышленной безопасности.



**Меньшиков Валерий Викторович** 1947 г.р.  
Доцент, канд. хим. наук, зам. зав. кафедрой химической технологии и новых материалов Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Является соавтором программы дисциплины «Техногенные системы и экологический риск», рекомендованной УМО по классическому университетскому образованию для различных специальностей высших учебных заведений. Профессор кафедры химической и техногенной экологии экологического факультета МНЭПУ. Читает курсы лекций по дисциплинам: «Техногенные системы и экологический риск», «Моделирование, расчет и прогноз загрязнений», «Безопасность жизнедеятельности». С 1997 года член-корр. РАЕН.

Разработка программы – **Швыряев Иван Александрович** 1980 г.р., м.н.с. Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, выпускник факультета 2003 года и выпускник факультета ВМиК (ВКШ) МГУ им. М.В. Ломоносова 2004 года. Лауреат премии им. академика В.А. Легасова в 2003 году за исследования в области безопасности действующих производств.

*Учебное издание*

Швыряев Александр Анатольевич  
Меньшиков Валерий Викторович

Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом  
регионе

Под общей редакцией В.В. Меньшикова  
Техническая редакция, компьютерная верстка и оформление Т.В. Захаровой  
Составление макета И.А. Николаева

Издание осуществлено в авторской редакции

Подписано в печать

Формат . Заказ №

Усл. печ. л. Тираж 300 экз.

Ордена «Знак Почета» Издательство Московского университета.  
125009, Москва, ул. Б.Никитская, 5/7.

Отпечатано на ризографе в отделе оперативной печати и информации  
Химического факультета МГУ.