

## АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ РИСКОМ

### Материалы к курсу лекций

МГУ, 1998

Содержание.

<b>1. Введение</b>	<b>1</b>
<b>2. Опасность и риск</b>	<b>1</b>
Концепция риска.	2
Экологический риск.	2
<b>3. Этапы риск стратегии</b>	<b>2</b>
3.1 Мера риска	2
3.2 Безопасность	3
3.3 Анализ риска	3
3.4 Оценка риска	3
<b>4. Типы экологического риска.</b>	<b>5</b>
4.1 Природные стихийные бедствия	5
4.2 Антропогенные катастрофы	7
4.3 Технологический риск	7
4.4 Промышленный (аварийный) риск	8
<b>5. Цели и средства решения различных задач анализа риска</b>	<b>8</b>
5.1 Возможные опасности, последовательности событий, исходы аварий и последствия	9
5.2 Управление технологическим риском	9
5.3 Промышленный (неаварийный) риск	10
<b>6. Риск от газообразных токсинов</b>	<b>10</b>
6.1 Источники токсинов	11
6.2 Миграция токсинов в окружающей среде	11
6.3 Экспозиция	13
6.4 Доза	13
6.5 Эффект	13
<b>ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ</b>	<b>13</b>
Экодемография	13
Риск	15
Экологическая химия	17

## 1. Введение

### 2. Опасность и риск

*Риск – благородное дело,  
Но рисковать надо с умом!*

*А.В.Суворов*

Уже с первых шагов человек начинает понимать, что существование в данном мире – непрерывное столкновение с опасностями. Необходимость адекватной оценки опасностей со стороны окружающей среды и нежелательных последствий от собственной деятельности стимулировало введение понятия риска.

Риск представляет собой количественную меру опасности. Его можно определить как вероятность неблагоприятного развития событий с плохим концом: смертью, травмой, болезнью, неважным самочувствием, дискомфортом. Анализировать риск – значит обнаружить все реальные опасности, оценить вероятность их появления, рассчитать возможные последствия и суммарный ущерб от всей совокупности потенциальных опасностей. Управление риском означает попытку избежать каких-то опасностей или сведение последствий каких-либо видов деятельности к минимальному ущербу.



**Рис. 1.** Схема анализа и управления риском

### Риск

- возможная опасность;

- ситуативная характеристика деятельности, состоящая в неопределенности ее исхода и возможных неблагоприятных последствий в случае неуспеха.

#### Концепция риска.

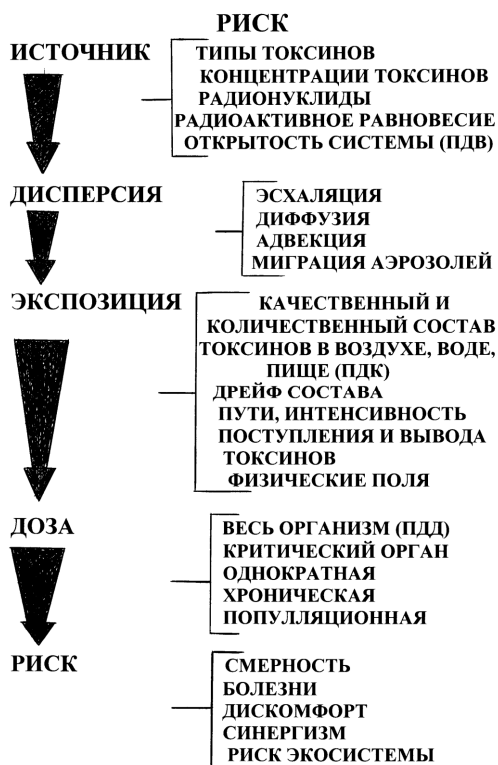
Концепция минимального (приемлемого или оптимального) риска предполагает, что избежать риска невозможно, но можно уменьшить его до приемлемого уровня.

#### Экологический риск.

Опасности и, следовательно, риск является неотъемлемой частью жизни каждого человека, всего человечества и природы в целом. Понятие риска относится к системе, включающей источник опасности и объект, на который этот источник может воздействовать. Такими парными системами являются, например, теплоцентр – население, промышленные стоки в реку – водные растения и животные, загрязнение почвы – микробы, черви, мелкие млекопитающие, травы и т.п.

**Экологический риск** – уровень вероятности возникновения неблагоприятных (опасных) последствий природных явлений, функционирования промышленности, транспорта и т.п., для жизнедеятельности людей, сохранности природных ресурсов, экосистем, исторических, культурных и материальных ценностей. Причиной риска может быть природная катастрофа, работа производственного объекта, размещение жилищно-коммунальных, промышленных, сельскохозяйственных объектов в зонах стихийных бедствий и др.

Целью оценки экологического риска является определение вероятности неблагоприятных воздействий токсичных веществ или физических полей на человека, домашних животных, дикую природу или экологические системы.



**Рис. 2** Экологический риск от выброса газообразных токсинов в атмосферу

Еще недавно риск оценивали исключительно с точки зрения человека, причем во внимание принимали только случаи со смертельным исходом. Сейчас при оценке экологического риска принято учитывать общее повреждение здоровья, травмы, стрессы морального или этического характера. В современной трактовке под **интегральным экологическим риском** понимают оценку неблагоприятных воздействий на окружающую среду и биоту в целом.

### 3. Этапы риск стратегии

#### 3.1 Мера риска

С позиции вероятностной логики понятие риск характеризуется сочетанием вероятностей: вероятностью возникновения неблагоприятного воздействия, вероятностью того, что возникает неблагоприятное воздействие именно данного типа и масштаба, вероятностью того, что именно данный тип воздействия вызывает определенную величину отклонений состояния субъекта от его динамического равновесия.

Существует два способа количественного расчета риска:

Обработка экспериментальных данных

Опрос экспертов.

Меру риска вычисляют по формуле:

$$R = \frac{\text{Число неблагоприятных событий}}{\text{Общее число событий}}$$

В этой формуле в числителе записывается число событий, неблагоприятных с точки зрения исследователя (например, число умерших от СПИДа), а в знаменателе – общее число событий (например, число людей, заразившихся СПИДом). Число событий рассчитывают за определенный отрезок времени: за год, десятилетие, век и т.п.

Вероятностные оценки никогда не являются истиной в последней инстанции. Их следует воспринимать как приближенные оценки в среднем.

Другой подход основан на опросе экспертов, которые оценивают относительную опасность природных явлений или различных видов человеческой деятельности. Часто экспертные оценки совпадают с действительными, но бывают существенные расхождения. К экспертным оценкам обычно прибегают, когда нет достоверной статистической информации

Вероятностный подход вводит количественную меру опасности. Если несколько опасностей существует одновременно, то риски суммируются по традиционной теории математической статистики.

Однако далеко не всегда оценка риска связана с теорией вероятности. Например, смерть человека

(как, впрочем, и любого другого организма) гарантирована законами природы и никакой вероятности выжить не существует (Вероятность смерти тождественно равна единице). Многие современные опасные промышленные объекты и установки проектируются с нулевой вероятностью катастрофы конкретного типа. Так, в современных ядерных энергетических реакторах абсолютно невозможно возникновение неконтролируемой цепной ядерной реакции. Реактор устроен так, что любое внешнее воздействие приводит к затуханию ядерной реакции. Вероятность катастрофы по цепному сценарию равна нулю (Неблагоприятное развитие событий по какому-то другому сценарию, не связанному с неконтролируемым ядерным процессом, естественно, возможно). Не работает вероятностный принцип и при оценке опасности человеческого фактора. Действия оператора сложного оборудования, водителя автомобиля, террориста и т.п. не подвластны вероятностным законам.

Основное направление управлением риска связано с созданием режима безопасности.

### 3.2 Безопасность

С точки зрения безопасности отдельного человека и населения в целом **безопасность** есть совокупность условий, обеспечивающих минимальный уровень неблагоприятных воздействий природы и технологических процессов ее освоения на здоровье людей. Безопасность рассматривают в пределах всех форм природопользования и касается как прямого, так и косвенного воздействия человека (глобального, регионального и локального). Особое внимание уделяется социальной составляющей безопасности, т.к. даже мнимая угроза может приводить к усилению стресса у населения и как результат – к повышению заболеваемости.

Экологическая безопасность – сумма условий, при которых достигается научно обоснованное ограничение или практическое исключение вредного воздействия хозяйственной деятельности на жизнедеятельность населения и качество окружающей среды. Обеспечение экологической безопасности – это планирование, заблаговременная подготовка и осуществление комплекса специальных мероприятий, обеспечивающих предотвращение или ликвидацию отрицательных последствий для окружающей среды и жизнедеятельности населения при интенсивном развитии промышленности, энергетики, коммуникаций и сельского хозяйства.

### 3.3 Анализ риска

Потенциальная опасность для экосистемы со стороны природного или промышленного объекта характеризуется двумя составляющими величинами: вероятностью возникновения неблагоприятного события (землетрясения, аварии) и величиной возможного экономического, экологического и социального ущерба.

Концепция риска предполагает следующие этапы действий:

- 1) Анализ структуры риска и числовая оценка как отдельных компонентов риска, так и риска в целом;
- 2) Управление риском.

Первый этап посвящен сбору информации, созданию базы данных и анализу всей совокупности информации (количественные данные, экспертные оценки и т.п.). Цель данного этапа – распознавание, измерение и характеристика угроз благосостоянию, здоровью и жизни как людей, так и других обитателей экосистемы. При этом следует получить ответы на вопросы:

- 1) Какие компоненты системы функционируют в нестандартном режиме?
- 2) Каковы причины этого?
- 3) Каковы возможные последствия?
- 4) Насколько это вероятно?

Если на первом этапе выявляется набор угроз, превосходящих допустимые пределы воздействий, определяются когда и где они могут произойти, оцениваются их последствия, то на втором этапе вырабатываются направления защитных и компенсирующих мероприятий.

Управление риском представляет собой группу процедур, направленных на обоснование принятия административных решений. Сравнение и обобщение различной информации задает альтернативы выбора организационных мероприятий по предотвращению нежелательных последствий. Риск-анализ обеспечивает создание критериев отбора альтернатив, которые наиболее эффективны экологически, приемлемы технологически и наилучшим образом соответствуют конкретной окружающей среде. Оценка риска добавляет еще одно измерение к выбору организационных мероприятий путем включения информации о вероятности разрушения природных систем, аварий на технических системах и возможных последствий этих событий для населения.

### 3.4 Оценка риска

Одним из важных критериев измерения риска является вероятность потенциальной опасности для населения или персонала промышленного объекта при стихийном бедствии или производственной аварии. Как уже упоминалось, риски обычно выражают через вероятность смерти индивида в течение года. Например, риск смерти в результате падения метеорита равен  $6 \times 10^{-11}$  за год, т.е. человек имеет 6 шансов из миллиарда погибнуть в течение 100 лет от падения метеорита. Опасность этого события столь мала, что ее никто не принимает в расчет.

Люди считают для себя приемлемыми гораздо более высокие риски. Так, курение 20 сигарет в день приводит к смерти с вероятностью  $5 \times 10^{-3}$ , т.е. человек имеет 5 шансов из тысячи погибнуть в течение года от курения, но многие продолжают курить. Риск при пребывании в одной комнате с курильщиком равен  $1 \times 10^{-5}$  год. Риск при вождении мотоцикла -  $2 \times 10^{-3}$ , участии в автогонках  $1,2 \times 10^{-3}$ , управлении личным автомобилем -  $1,7 \times 10^{-4}$ , в альпинизме -  $4 \times 10^{-5}$ , рентгенодиагностике -  $1 \times 10^{-5}$ . Таков бытовой фон рисков, полученных на большом статистическом материале. Риск смерти при стихийных бедствиях и антропогенных катастрофах существенно ниже:

- наводнения  $2,2 \times 10^{-6}$
- торнадо  $2,2 \times 10^{-6}$
- бури  $8 \times 10^{-7}$
- землетрясения (Калифорния)  $1,7 \times 10^{-6}$
- молния  $1 \times 10^{-7}$
- авиакатастрофа  $1 \times 10^{-7}$
- радиоактивные выбросы АЭС  $1 \times 10^{-7}$
- прорывы дамб (Голландия)  $1 \times 10^{-7}$
- перевозка нефти и химических веществ  $2 \times 10^{-8}$

Количественно риск может быть рассчитан путем обработки экспериментальных данных или путем опроса экспертов. Так, из отчетов полиции США известно, что в 1990 г в этой стране от автомобильных катастроф погибло 55 тыс. человек. Население США 290 млн. чел. Разделив первое число на второе найдем вероятность риска от автомобильных аварий в США  $2 \times 10^{-4}$ , т.е. один человек из 5 тыс. американского населения может погибнуть в год в автомобильной аварии. Следует подчеркнуть, что вероятностные оценки никогда не являются истиной в последней инстанции. Их следует воспринимать как приближенные оценки в среднем. Подобные расчеты можно сделать по всем годам прошлого десятилетия и, экстраполируя, получить оценки риска на следующее десятилетие. Можно сравнить с аналогичными данными для других стран и выбрать страну, наиболее безопасную с точки зрения автомобильных путешествий. Посмотрим на данные для других видов транспорта и в дальнейшем будем пользоваться только самым безопасным.

Другой подход основан на опросе мнения экспертов, которые оценивают относительную опасность различных видов человеческой деятельности. Сравнение результатов "экспериментального" (т.е. действительно определенного по данным больниц и моргов) и "экспертного" (определенного по данным общественного мнения) подходов дано в **Табл.1**.

Таблица 1. Оценка рисков цивилизации общественным мнением в сравнении с действительными величинами.

Вид риска	Число смертей в год США	Приоритет			
		Действительный	Студенты	Ученые	Домохозяйки
Курение	150000	1	3	4	4
Алкоголь	100000	2	7	5	6
Автомобили	5500	3	5	3	2
Оружие	17000	4	2	1	3
Мотоциклы	3000	5	6	2	5
Плавание	3000	6	16	13	13
Поезда	1950	7	13	15	15
Строительство	1000	8	10	10	10
Охота	800	9	12	9	11
Домашнее хозяйство					
Пожары	200	10	15	16	16
Полиция	195	12	9	6	9
Самолеты	160	12	8	7	7
Атомная энергетика	130	13	11	14	12
Коньки	100	14	1	8	1
Пестициды	18	15	14	12	14
	0	16	4	11	8

Как видно из таблицы, в некоторых случаях экспертные оценки достаточно близко подходят к действительным (например, в оценке опасности автомобильного транспорта). Но в ряде случаев имеет место серьезное расхождение. Например, все эксперты недооценивают реальную опасность курения. Наоборот, студенты и домохозяйки существенно переоценивают опасность атомных электростанций, ставя риск от АЭС на первое место, тогда как в действительности АЭС по опасности находятся лишь на 14-ом месте! Всеми экспертами недооценивается опасность ведения домашнего хозяйства. Эксперты считают домашние работы самыми безопасными, тогда как на самом деле профессия домохозяйки опаснее

профессии пожарника, полицейского, атомных энергетиков и многих других. По-видимому, существенную роль в неправильной оценке реальной опасности играют некомпетентные средства массовой информации.

Особо следует остановиться на оценке риска от пестицидов. Следует признать, что экспертная оценка (четвертый ранг опасности по мнению студентов) гораздо ближе к реальной, чем "экспериментальная". Причина в том, что "экспериментальная" оценка риска строилась на количестве смертельных исходов. Между тем пестициды редко доводят человека до смерти, но вызывают тяжелые болезни, которые статистикой не учитывались. Еще опаснее пестициды для всего живого в почве и естественных водоемах. Эксперты интуитивно чувствуют опасность и отражают ее в своих оценках. Данный пример показывает ограниченность традиционного подхода, основанного на человеческой смертности. Оценка экологического риска требует привлечения данных по повреждениям животного и растительного мира.

В этих случаях задачи оценки и тем более управления риском существенно усложняются. Ниже мы остановимся на этих проблемах более подробно.

#### **4. Типы экологического риска.**

Причиной экологического неблагополучия может быть деятельность человека, природные катаклизмы и нарушения биологического равновесия.

##### **4.1 Природные стихийные бедствия**

В ходе своей истории человечество непрерывно осваивало новые земли для сельскохозяйственных целей, строило поселения, города, дороги, заводы и т.п. Этой деятельности противостояла и противостоит непрерывная цепь природных явлений (стихийных бедствий), приводящих к разрушению городов и деревень, гибели людей и домашних животных, уничтожению популяций диких животных, разрушению экосистем. К числу стихийных бедствий относятся землетрясения, извержения вулканов, наводнения, засухи, тайфуны, цунами, селевые потоки, снежные лавины и другие природные процессы, характеризующиеся стремительным развитием и приводящие к гибели людей и/или разрушению объектов, созданных руками человека.

Каждый год количество пострадавших от стихийных бедствий во всем мире увеличивается на шесть процентов. Стремительно возрастает и экономический ущерб. Одно стихийное бедствие может в развивающейся стране нанести ущерб, равный 40% валового внутреннего продукта (ВВП). В развитых странах крупные бедствия обходятся экономике в 5-10% ВВП.

В период с 1947 по 1970 число жертв стихийных бедствий было следующим:

Циклоны, тайфуны, штормы	760 тыс
Землетрясения	190 тыс
Наводнения	180 тыс
Грозы, цунами, извержения вулканов	62 тыс

---

Всего: 1192 тыс. погибших

Таким образом, в течение почти четверти века ежегодно в среднем погибало около 50 тыс. человек. После 1970 г статистика пополнилась обширным списком природных катастроф. Только землетрясение в Армении 1988 г унесло 30 тыс. жизней. За последние 20 лет от стихийных бедствий и промышленных аварий пострадали более миллиарда человек. Из них более пяти миллионов были ранены или погибли.

Подсчитано, что 9/10 стихийных бедствий в мире можно разделить на 4 типа. Наводнения (40%), тропические циклоны (20%), землетрясения (15%), засухи (15%). По числу жертв тропические циклоны занимают первое место, наводнения же более часты и причиняют больший материальный ущерб. 95% жертв стихийных бедствий приходится на развивающиеся страны, где проживает около 70% населения Земли. Но за исключением засух, стихийные бедствия - более серьезная экономическая проблема в развивающихся странах с высоким уровнем благосостояния. Около 75% мировых потерь от стихийных явлений приходится на промышленно развитые страны.

Разрушительные природные процессы вызывают целый ряд неблагоприятных для человека явлений - гибель людей в результате воздействия на них ядовитых раскаленных газов и лавы при извержениях вулканов, приливной волны при цунами и тайфунах, водно-грязевых потоков при селях и т.д., а также в результате травматизма при разрушении жилых и общественных зданий, производственных объектов и технических сооружений; уничтожение сельскохозяйственной продукции на полях и плантациях, в хранилищах и на складах; гибель сельскохозяйственных животных; разрушение электросетей, систем связи, водопровода и канализации. После стихийных бедствий часто возникают эпидемии инфекционных заболеваний. Нервные стрессы, связанные с пережитым ужасом, потерей близких и средств к существованию приводят к психическим срывам и росту хронических заболеваний.

По мере роста населения, распространения научно-технических достижений и усложнения структуры общества, человек становится все более уязвимым для экстремальных природных явлений, ущерб от которых связан не только с их распространением, но и с неопределенностью их наступления. Убытки, которые несет общество от самих природных стихийных бедствий и от их ожидания, возрастают. Это происходит несмотря на интенсивные научные исследования причин экстремальных событий, создание средств раннего предупреждения и умножение способов борьбы со стихийными бедствиями их последствиями. В первую очередь это связано с перенаселением опасных регионов, их индустриализацией

и урбанизацией. Резкое возрастание числа людей на планете заставляет их селиться в опасных местах, которые ранее они избегали. При этом построенные человеком объекты усиливают вредное действие природных явлений. Например, если ранее самое сильное наводнение на реке могло привести к повышению уровня воды на метр и затоплению поймы шириной в километр, то теперь разрушение плотины электростанции приведет к волне высотой в сто метров и уничтожению всего живого на полосе в сотни километров. Особенно опасно разрушение при землетрясении атомной электростанции или химического завода с большими запасами ядохимикатов.

За много веков человечество выработало систему защиты от стихийных бедствий, осуществление которой в различных странах мира могло бы существенно снизить число человеческих жертв и величину материального ущерба. Но на практике такое встречается редко. В качестве положительного примера можно отметить сейсмостойкое строительство в Калифорнии, которое позволило в тысячи раз уменьшить число жертв по сравнению с аналогичным по силе землетрясением в Спитаке.

Идея оценки риска от стихийных бедствий заключается в четком и своевременном прогнозировании времени, места и интенсивности стихийного бедствия для своевременного оповещения населения и органов управления регионом об ожидаемом ударе стихии. Правильно понятое предупреждение позволяет людям подготовиться к опасному явлению либо путем временной эвакуации, либо строительством защитных инженерных сооружений, либо укреплением собственных домов, помещений для скота и т.д. Должен быть учтен опыт прошлого и его тяжелые уроки доведены до сведения населения с разъяснением, что подобное бедствие может повториться. В некоторых странах государство скупает земли в ареалах возможных стихийных бедствий и оплачивает эвакуацию людей и животных из опасных зон.

Важная роль в предотвращении ущерба от стихийных бедствий принадлежит инженерно-географическому районированию опасных зон, а также строительным нормам и правилам, которые строго регламентируют характер строительства на участках с различной степенью напряженности потенциального стихийного бедствия. Существует специальное законодательство о хозяйственной деятельности в зонах стихийных бедствий.

Если стихийное бедствие произошло в населенном районе и население не было заранее эвакуировано, наступает этап аварийно-спасательных работ. Вслед за ними следуют ремонтно-восстановительные работы и осуществляется финансовая компенсация потерь с учетом страхования жизни и имущества от стихийных бедствий.

#### **Пример:** Тропический циклон.

Схему управления риском от природных катастроф проиллюстрируем на примере тропического циклона.

Опасность тропического циклона возникает тогда, когда экстремальное действие одного или всех элементов урагана - ветра, дождя, штормовых нагонов и волн - обрушивается на побережье. Штормовые нагоны представляют наиболее разрушительный фактор. 12 ноября 1970 года тропический циклон в Бенгальском заливе вызвал шестиметровый подъем уровня моря, совпавший с высоким приливом. В результате этого урагана и возникшего наводнения погибло примерно 300 тыс. человек. Одни лишь потери урожая оцениваются в 63 млн. долларов. Погибло примерно 60% населения, занятого в прибрежной зоне ловлей рыбы, и уничтожено 65% рыболовецких судов, что существенно сказалось на снабжении белковой пищи всего региона.

Тропические циклоны - сезонные явления, частота которых в разных районах 1-20 ураганов в год. За год над Атлантикой зарождается до 110 ураганов, но только  $10^{-11}$  из них достигают опасных размеров.

Важной мерой защиты людей от ураганов служат метеопрогнозы. Тропические циклоны в начале опознают, а затем прослеживают по снимкам со спутников. Если обнаруживают, что ураган усиливается, рассчитывают его скорость и направление движения. Вычисления повторяют по мере получения новой информации. Когда ураган приближается к берегу на расстояние 300 км, прогноз его движения можно делать по радиолокатору. В прогнозах стремятся выделить угрожаемый участок побережья, место ожидаемого штормового нагона, районы ливневых дождей и наводнений, а также признаки торнадо по меньшей мере за 36 часов до выхода тропического циклона на берег. Служба погоды США выпускает для населения прогнозы за 24, 12 и 6 часов, которые содержат сведения о его местонахождении, дают характеристики опасности, а при необходимости выпускают ежедневные бюллетени.

Одних предупреждений мало. Весьма существенно отношение населения к этим предупреждениям. В городе Майаме (побережье Флориды, США) на предохранительные мероприятия откладывают средства и используют их по получении штормового предупреждения только 20% населения. В Бангладеше во время катастрофического урагана 1970 года о его приближении знали 90% жителей района, но лишь 1% укрылся от урагана.

В целях защиты жизни людей и их имущества администрация и само население в районах, подверженных действию ураганов, принимают различные меры. Осуществляются попытки воздействовать на сам ураган. Для этого, например, засевают облака в зоне урагана йодистым серебром. Сооружаются предохранительные береговые дамбы, насыпаются защитные валы, дюны закрепляются растительностью, проводятся лесопосадки. Воздвигаются приподнятые площадки в качестве убежищ, создаются другие укрытия. Постройки укрепляются, производится их ветро- и гидрозащита. На случай бедствия создают запасы воды, продовольствия и строительных материалов. Важнейшая роль принадлежит системе

оповещения о приближении урагана. Столь же важна и хорошо организованная эвакуация людей из опасной зоны. В Америке меры защиты формулируются так

- Эвакуация
- Поиски убежища
- Молитва

Меры после прохождения урагана:

- Предъявление страховых исков
- Неотложная финансовая помощь пострадавшим и восстановление нормальной жизни
- Примирение с убытками

#### 4.2 Антропогенные катастрофы

Неразумные действия человека довольно часто в историческом масштабе времени приводили к тяжелым экологическим последствиям, которые иногда меняли образ жизни больших групп людей и даже целых народов. Выжигание лесов под пастбища и посевы периодически становились причиной обширных лесных пожаров. Выпас больших стад овец, без учета возможностей природных комплексов к самовосстановлению, обусловил эрозию почв. К опустыниванию ведет уничтожение лесной и кустарниковой растительности на топливо и строительные нужды. Например, сейчас пустыня Сахара расширяется со скоростью 5 км в год. При этом высыхают источники, колодцы, деградируют пастбища, приходят в движение пески, засыпая ранее возделываемые земли. Главным виновником происходящих здесь событий является человек. На космических снимках видно, как расширяются, сливаются друг с другом пятна опустынивания, возникшие первоначально вокруг поселений, городов, ферм, колодцев.

XX век стал веком чрезвычайных по масштабам промышленных катастроф. Сейчас в среднем каждые два года случается одна авария с тяжелейшими экологическими последствиями. Среди них:

1. Авария на комбинате по производству оружейного плутония "Маяк" (Челябинск-40), в результате которой в окружающую среду было выброшено 2.1 млн. кюри радиоактивных веществ, которые выпали на площади 15 тыс. кв. км. Было отселено несколько деревень с населением 10 тыс. чел.
2. Авария в канадском городе Миссиауги (1979 г), где на железнодорожных путях взорвались цистерны с ядовитым газом. 230 тыс. жителей города были эвакуированы, а зона поражения площадью 120 кв.км. оцеплена.
3. В 1984 г на химическом заводе в индийском городе Бхопале возникла утечка ядовитых газов. 2,5 тыс. человек погибли сразу, а 500 тыс. получили отравления, из их числа 70 тыс стали инвалидами.
4. В 1986 году на складе химического завода в Базеле случился пожар. Водой, которой тушили пожар, с территории склада было смыто большое количество ядов. В реку Рейн попало до 30 т токсичных веществ, в том числе инсектициды, гербициды, растворители, ртуть. Рейн был загрязнен на протяжении многих километров вплоть до его устья. 25 тыс. жителей на несколько суток остались без питьевой воды. Большой урон был нанесен и экосистеме. На берег были выкинуты десятки тонн мертвых угрей, форели и др. рыб. Возрождение пораженных экосистем заняло десятилетие.
5. В 1988 году на станции Арзамас взорвались 3 грузовых вагона. Образовалась гигантская воронка, вокруг места взрыва были разрушены дома, погиб 91 человек.
6. В 1989 году в Башкирии в результате неисправности газопровода образовалось газовое облако, которое взорвалось при прохождении двух пассажирских поездов. 408 человек скончались на месте, 1300 человек получили ожоги.
7. В 1986 г произошла тяжелая авария на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС. Погибли люди, принимавшие участие в ликвидации катастрофы. Загрязнению радионуклидами подверглись территории Украины, Белоруссии, западных областей России. Только в России в 1991 году на медицинском учете состояло около 1,37 млн. человек, подвергшихся радиационному воздействию. Печальный результат этой аварии состоит не только в том, что часть людей получила повышенные дозы радиации, десятки тысяч были вынуждены покинуть родные места, огромные суммы были потрачены на мероприятия, связанные с ликвидацией последствий катастрофы, но и в том, что у населения возникло массовое явление под названием радиофобия - страх перед радиацией.

Серьезный урон природной среде наносят аварии танкеров.

Приведенные примеры иллюстрируют необходимость обеспечения безопасности населения перед лицом катастроф.

#### 4.3 Технологический риск

**Риск технологический** - все виды пагубного влияния результатов процесса производства на здоровье человека и на природную среду, связанные с качественными изменениями социальной и экологической среды.

В ходе развития цивилизации, в бесконечном поиске защит от потенциальной беды человек способствовал научно-техническому прогрессу. А это в свою очередь, оборачивалось появлением новых, более масштабных рисков, угрожающих уже не отдельному человеку, а целым государствам или даже всей жизни на Земле. Причем опасность может исходить от одного индивидуума, если он, к примеру, работает оператором на атомной электростанции, или руководит группой террористов, захватывающих объект с бактериологическим или ядерным оружием, или управляет компьютерной сетью.

Таким образом человечество становится заложником собственных научно-технических достижений и поведения даже отдельного гражданина. Единственная возможность снижения этой зависимости - объединение усилий для управления рисками. Как на уровне обычных людей, ведомств, так и на уровне государств.

Это относится как ко всему миру, так и к нашей стране. Сегодня Россия по многим стратегически важным показателям находится не просто в опасной, а в закритической области. Об этом свидетельствует и постоянный рост чрезвычайных ситуаций, в которых только в 1997 году пострадало более восьмидесяти тысяч человек. Дело в том, что износ оборудования в химической отрасли страны превышает 80%, по железным дорогам, состояние которых далеко от идеального, ежегодно перевозится более пятисот тысяч тонн хлора, добрая половина магистральных трубопроводов эксплуатируется уже более 20 лет и давно нуждается в ремонте, как нуждаются в этом и 45 тысяч потенциально опасных объектов.

#### **4.4 Промышленный (аварийный) риск**

Развитие систем энергетики, химической, металлургической, нефтехимической и газовой промышленности связано со значительным возрастанием мощностей установок и аппаратов, а также с усложнением самих технологических процессов и режимов управления производством. Как следствие, наряду с развитием научно-технического прогресса в промышленности имеет место устойчивая тенденция роста числа аварий со все более тяжелыми экологическими, экономическими и социальными последствиями. Безопасность, таким образом, выдвигается в число основных характеристик промышленных объектов.

Вероятность аварии, объединенная с возможными последствиями, и даст величину риска. Эта величина далее может быть изучена по своей структуре и сопоставлена с другими рисками, существующими в обществе, для выработки оптимальной стратегии по обеспечению безопасности людей и охране окружающей среды.

Расчет и анализ риска является тем методическим инструментом, при помощи которого потенциальная опасность может быть оценена количественно. Во многих случаях этот инструмент является по существу единственной возможностью исследовать сложные вопросы безопасности, ответы на которые нельзя получить из практического опыта. Примером является возникновение и развитие аварий с крайне малой вероятностью реализации, но с большими потенциальными последствиями.

Потенциальная опасность в промышленности характеризуется двумя составляющими величинами - вероятностью возникновения аварии и величиной возможного экономического, экологического или социального ущерба.

Инженерные системы безопасности направлены на повышение надежности технических систем, т.е. на уменьшение вероятности возникновения аварии, а также на ограничение масштабов ее развития (защитные ограждения, термостойкие покрытия, водяные завесы и т.п.). Организационные меры безопасности: запрет на проживание вблизи предприятий, системы раннего оповещения, эвакуационные планы, укрытия, адекватная реакция технического персонала и населения, индивидуальные средства защиты и т.д. - направлены на уменьшение потенциального ущерба в результате аварии.

Концепция промышленной безопасности строится на единых принципах управления величиной риска, реализуемых по иерархической структуре (цех, завод, промзона, район, город, область) с оптимальным для каждого уровня использованием различных типовых Методов и Процедур (технических, организационных, социально-психологических). Они должны выбираться с учетом специфики данного объекта, вида и содержания опасности на этом и соседнем объектах, а также общего уровня опасности жизни на данной территории.

#### **5. Цели и средства решения различных задач анализа риска**

Последовательность операций по анализу риска обычно следующая:

1. Обоснование целей и задач оценки и анализа риска
2. Анализ технологической специфики объекта. Идентификация потенциальных опасностей и классификация нежелательных событий, способных привести к нерегламентированным выбросам опасных веществ или скоротечным выделением энергии.
3. Определение частоты возникновения нежелательных событий
4. Выделение характерных особенностей, определение интенсивностей, общих количеств и продолжительности выбросов опасных веществ или выделений энергии в окружающее пространство для всего спектра нежелательных событий.
5. Определение критериев поражения, а также форм или допустимых уровней разового или систематического негативного воздействия различных источников на окружающую среду. Выделение групп населения повышенного риска.
6. Обоснование физико-математических моделей, расчет производственно-временного переноса и распространения, анализ возможных трансформаций исходных факторов опасности при их распространении в окружающей среде с учетом ее природно-климатической и географической специфики.
7. Построение полей потенциального риска вокруг каждого из выделенных источников опасности, в пределах которых вероятно определенное негативное воздействие для соответствующих объектов.



8. Расчет прямых и косвенных последствий негативного воздействия источников опасности на различные субъекты или группы риска (т.е. построение "моделей отклика") с учетом их конкретного количественного и пространственно-временного распределения вокруг источников
9. Построение локальных и интегральных (для предприятия в целом) полей риска. Анализ структуры риска. Исследование влияния различных факторов на уровень и пространственно-временное распределение полей риска вокруг источников токсичных веществ, излучений или тепла.
10. Оптимизация организационно-технических мероприятий по снижению риска до заданной величины.

### **5.1 Возможные опасности, последовательности событий, исходы аварий и последствия**

#### 1). Технологические опасности

Значительные объемы хранения огнеопасных, горючих, нестабильных, коррозионных, удушающих веществ, взрывающихся от удара, высокоактивных, токсичных, горючих, пылевидных, пирофорных и т.п. Экстремальные физические условия: высокие или низкие температуры, высокое давление, вакуум, циклические изменения давления и/или температуры, гидравлические удары.

#### 2) Иницирующие события.

Технологические нарушения: отклонения технологических параметров (давления, температуры, расхода, концентрации, скорости реакции, теплоты реакции, изменение фазы, загрязнение), спонтанные реакции (полимеризация, реакция, вышедшая из-под контроля, внутренний взрыв, разложение), разгерметизация (трубопроводов, резервуаров, сосудов, отказ прокладок, сальников), неисправности оборудования (насосов, клапанов, измерительных приборов, датчиков, блокировок), неисправности систем обеспечения (электрической, подачи азота, водоснабжения, охлаждения, подачи воздуха, теплообмена, вентиляции). Отказ системы административного управления, ошибки человека (при проектировании, при строительстве, в процессе эксплуатации, при техобслуживании). Внешние события (экстремальные погодные условия, землетрясения, воздействие других аварий, вандализм/диверсии).

#### 3) Промежуточные события.

Факторы, способствующие эскалации аварии: отказы оборудования (отказ систем безопасности), источники зажигания (печи, факела, печи для прокаливания, эл. выключатели, статическое электричество, горючие поверхности, сигареты), отказ системы административного управления, ошибки человека (небрежность, неопытность, неправильная диагностика, принятие неправильных решений), эффекты домино (разгерметизация другого оборудования, выбросы других веществ), внешние условия (метеорология, видимость).

#### 4) Промежуточные события.

Факторы, способствующие снижению риска: адекватные реакции систем контроля и управления или оператора (тревога, срабатывание систем контроля, ручное и автоматическое аварийное отключение, срабатывание пожарных и газовых датчиков), адекватные реакции систем безопасности (предохранительных клапанов, систем стравливания давления, систем изоляции, систем расцепления, резервных систем), системы смягчения последствий (дамбы и дренажные системы, факела, системы противопожарной защиты (активные и пассивные), взрывная вентиляция, поглощение токсичных веществ), план реагирования на чрезвычайную ситуацию (сирены, предупреждения, аварийные мероприятия, защитная экипировка, убежища, эвакуация), внешние факторы (раннее обнаружение, специально сконструированные сооружения), обучение, другие системы административного управления.

#### 5) Исходы аварий.

Анализ (выброс, мгновенное и постепенное испарение, дисперсия газа с нейтральной или положительной плавучестью, дисперсия тяжелого газа), пожары, взрывы (ограниченные взрывы, взрыв парового облака в свободном пространстве, физические взрывы, пылевые взрывы, детонации), разлет осколков.

Последствия: анализ последствий (токсические воздействия, термические воздействия, воздействия от избыточного давления).

Оценка опасностей для населения, персонала, окружающей среды, имущества компании.

### **5.2 Управление технологическим риском**

Анализ риска, основанный на сравнении и обобщении различной информации, призван обеспечить критерий отбора организационных мероприятий, наиболее эффективных экологически, приемлемых технологически и наилучшим образом соответствующих конкретной окружающей среде.

Управление риском включает следующие мероприятия:

- выявление зон повышенной экологической опасности и проведение инвентаризации предприятий и сооружений, значительно загрязняющих основные компоненты окружающей среды, потенциально опасные для природы и человека в случае пожара, взрыва, аварийного выброса химических или радиоактивных веществ;
- разработка и осуществление системы мер по максимальному снижению степени риска возникновения экологически опасных ситуаций и, в первую очередь, аварий на химических производствах, в ядерной энергетике, при континентальной или шельфовой добыче нефти и газа, на хранилищах и средствах транспорта горючих, радиоактивных и токсичных веществ.
- разработка программы поэтапной замены экологически опасных, устаревших производств и технологий на новые, более совершенные и экологически безопасные

- создание эффективной системы производства, потребления и захоронения токсичных, пожароопасных, взрывчатых и радиоактивных продуктов и веществ с целью исключения или минимизации их перевозок
- ужесточение соблюдения мер безопасности при перевозке взрывоопасных, токсичных и легковоспламеняющихся веществ железнодорожным, водным, автомобильным и воздушным транспортом
- создание на всех потенциально опасных для жизнедеятельности населения и состояния окружающей среды объектах автоматизированных систем экстренного обнаружения поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, с оснащением их эффективными средствами контроля и диагностики
- разработка региональных и локальных схем оповещения населения о возникающих опасных экологических ситуациях, мерах борьбы с ними и ликвидации их последствий
- при экологическом обосновании размещения промышленных объектов необходимо разработать раздел о мероприятиях и последовательности действий в случае возникновения аварийной ситуации.
- при экологической экспертизе проектов особое внимание обращать на раздел, посвященный риску аварий, мерам их предупреждения и, в случае необходимости, их ликвидации

### 5.3 Промышленный (неаварийный) риск

До недавнего времени существовало глубокое убеждение, что разрабатываемые технические системы безопасности должны быть направлены на то, чтобы полностью исключить, предотвратить или, по крайней мере, локализовать наиболее опасные воздействия, вызванные так называемой "максимально возможной (из физических соображений) проектной аварией". Поэтому основное внимание было направлено на то, чтобы обезопасить персонал предприятия и население, проживающее вблизи него, именно от такого типа аварий.

Более глубокое изучение этой проблемы привело к осознанию необходимости рассматривать не только худшие случаи (т.е. крайне редкие катастрофические аварии), а также и аварии меньшего масштаба, но часто повторяющиеся, суммарный ущерб от которых может быть даже выше, чем от катастрофических аварий. Это, в свою очередь, привело к необходимости использовать понятие вероятности при оценках реализации опасных событий и возможных последствий.

Следует, однако, помнить, что промышленное предприятие опасно для окружающей среды не только в случае катастрофы, крупной или мелкой аварии. Химические, металлургические, горно-обогатительные, нефтехимические, газо-перерабатывающие, энергетические предприятия наносят определенный вред окружающей среде и при штатной эксплуатации. Любой завод - открытая система и полностью изолировать его от окружающей среды невозможно. Промышленный, сельскохозяйственный или коммунально-бытовой объект, шахта или рудник, завод по переработке бытовых отходов, свалка, ярмарка, аэродром, железные и автомобильные дороги (да и вообще любой объект хозяйственной деятельности человека) несмотря на наличие очистных сооружений выбрасывает токсичные газы, спускает ядовитые стоки, создает радиационные поля (высококачественные и ионизирующие излучения, инфразвук и т.п.), создает шумовой фон, увеличивает температуру естественного водоема, способствуя его "цветению", падению содержания кислорода в воде и гибели рыбы. Все это происходит в рамках закона, базирующегося на концепции предельно допустимого выброса и предельнодопустимой концентрации токсина в окружающей среде.

### 6. Риск от газообразных токсинов

Последовательные этапы анализа и управления интегрированным экологическим риском рассмотрим на примере газообразных химических токсинов. Общая схема цепочки анализа риска выглядит так:

**ИСТОЧНИК ⇒ ДИСПЕРСИЯ ⇒ ЭКСПОЗИЦИЯ ⇒ ДОЗА ⇒ РИСК**

Остановимся на каждом этапе более подробно.

**ИСТОЧНИК.** Известны различные виды источников токсичных веществ. Это могут быть химические, металлургические и биотехнологические заводы, газо- и нефтеперерабатывающие предприятия, атомные и тепловые электростанции, свалки, бензозаправки, автотранспорт, аэродромы, залежи руд, горно-обогатительные комбинаты, животноводческие фермы и многие другие.

Управлением риском мы должны начать с ответа на вопросы:

- Опасно ли вещество, накопленное в источнике?
- Насколько оно токсично?
- Каковы его запасы в источнике?
- Насколько легко оно может покинуть источник?

**ДИСПЕРСИЯ.** Даже высоко токсичное вещество не опасно для человека и окружающей среды, если оно надежно замуровано и не может далеко продвигаться от источника. Однако, если источник открытый, вещество начинает его покидать и распространяться в окружающей среде (диспергироваться в ней). При анализе диффузионного процесса необходимо ответить на следующие вопросы:

- С какой скоростью будет распространяться в окружающей среде токсичное вещество и как далеко способно оно удалиться от источника за время своей жизни?
- Какова скорость уменьшения концентрации токсина в источнике?
- По каким путям, по какому механизму и с какой скоростью осуществляется миграция токсина в окружающей среде? Какова скорость увеличения концентрации токсина в среде обитания?

- Способно ли вещество накапливаться в среде? В каких именно компонентах (растения, животные, человек, вода, почва и т.п.)? Какие достижимы концентрации в критических органах?
- Способен ли токсин к химическим превращениям во время миграции в окружающей среде? С какой скоростью он меняет свою структуру? Трансформируется ли он в более опасные вещества или разрушается?

**ЭКСПОЗИЦИЯ.** Рано или поздно, но токсин достигает живого существа и вступает с ним в контакт. Сразу возникают вопросы:

- Как именно, как долго и как часто вступает организм в контакт с токсином?
- Накапливается ли токсин или быстро выводится из организма? Какова скорость вывода токсина из организма?
- Где именно (в каком критическом органе) накапливается токсин?
- Если токсинов несколько, то возможен ли синергизм от их совместного воздействия?

**ДОЗА.** Вещество, попавшее в организм, распространяется по нему и начинает отрицательно воздействовать на функционирование его систем. Суммарный эффект воздействия и определяет дозу. Здесь следует ответить на такие вопросы, как

- Какова концентрация токсина в организме?
  - Как долго он находится в организме или в критическом органе?
  - Какова его токсичность
- РИСК.** Риск определяется вероятностью возникновения негативных последствий для организма из-за контакта с токсином. Вопросы:

- Насколько хорошо организм способен сопротивляться негативным последствиям действия токсина (например, каково состояние иммунной системы организма)?
- К каким последствиям приводит контакт организма с токсином (болезни, смерть)?
- Каковы последствия для экосистемы в целом (Например, потеря единственного кормильца многодетной семьи)?

### 6.1 Источники токсинов

Оценку опасности со стороны токсинов химической природы следует начинать с качественного и количественного анализа веществ, накопившихся в источнике (например, реакторе нефтехимического синтеза) и готовых его покинуть. Качественный анализ показывает какие именно вещества имеются в источнике. Об их токсичности можно судить по Справочнику предельнодопустимых концентраций. В нем степень токсичности вещества (Не обязательно токсина, а любого, например, поваренной соли) выражается как концентрация его в воздухе или питьевой воде, безопасная для человека. Чем ниже величина в справочнике, тем опаснее вещество

Количественный анализ показывает каковы запасы токсина в источнике. Естественно, что чем выше количество токсина, тем опаснее источник.

Однако, определив какие и в каких количествах находятся вещества в источнике мы еще не сможем оценить истинную опасность источника. Важнейшим параметром является степень открытости источника. Степень открытости источника показывает какими путями и как легко токсин способен покидать источник и переходить в среду обитания. Степень открытости источника зависит от физико-химических свойств как самого токсина, так и остальных веществ в источнике. Если токсин представляет собой газ, пар или легко испаряющуюся жидкость, то ему намного легче покинуть источник, чем, например, токсичному тяжелому металлу, скопившемуся в осадке реактора.

Открытость системы в значительной мере определяется тем, в какой химической форме пребывает токсин. Например, если экологическая служба объявляет, что в донных осадках реки, протекающей через ваш город обнаружены отложения ртути, то это мало что значит. Если ртуть находится в виде достаточно хорошо растворимых хлоридов, то тогда она опасна, т.к. может перейти в воду, накопиться в обитающих в реке рыбах и в конце концов попасть к человеку. Если же ртуть находится в виде труднорастворимых сульфидов, то она столетиями будет залегать на дне (закрытый источник) и никакой особой опасности для населения представлять не будет. Поэтому, когда речь идет о токсичном тяжелом металле информации об его концентрации совершенно недостаточно: для оценки реальной опасности нужно знать в какой химической форме он находится и какова степень открытости системы (степень пористости вмещающей породы, плотность породы, возможность контакта с проточной водой и др. факторы).

### 6.2 Миграция токсинов в окружающей среде

При промышленном хранении токсинов важнейшую роль играет степень герметичности тары и ее устойчивость к внешним воздействиям.

Перейдем теперь ко второму компоненту стратегии риска - к дисперсии. Дисперсия определяется мощностью работающего источника (т.е. величиной потока токсина в среду, скоростью распространения его в окружающей среде и физико-химическими процессами в среде, происходящими с участием токсинов). Чем интенсивнее работает источник с ограниченным запасом токсина, тем скорее он кончит функционировать, но тем больше токсина попадет в среду обитания.

Распространение некоторого вещества в окружающей среде определяется законами диффузии. Если источник токсина (например, фабричная труба) находится на некотором расстоянии от приемника (например, вашей квартиры), то величина направляющегося от завода к вам потока поллютанта пропорциональна разности концентраций токсина в источнике и приемнике, площади входной поверхности приемника (например, площади открытого окна) и обратнопропорциональна расстоянию от

источника до приемника (Лучшая защита от какой-то пакости - отойти от нее подальше). Связь между разностью концентраций и потоком задается размерным множителем, который называется коэффициентом диффузии. Чем выше значение коэффициента диффузии, тем выше поток вещества и тем быстрее токсин проходит свой путь от источника к приемнику. Токсин довольно быстро распространяется в атмосфере (особенно, если токсин - газ или пар, диспергирован в виде ионов или адсорбирован на высокодисперсных аэрозолях), значительно медленнее диффундирует по воде и очень медленно в почве и донных осадках (только в высокопористых средах возможна заметная диффузия). Количество токсина, попавшее в приемник, прямо пропорционально времени функционирования источника.

Различают два режима диффузии: стационарный и нестационарный. В стационарном режиме существует установившийся (не изменяющийся во времени) диффузионный поток (работает постоянный источник токсина, например, дымящая труба тепловой электростанции). В нестационарном режиме (например, в случае резкого однократного выброса токсина при аварии на заводе) концентрация токсина изменяется во времени: какое-то время токсина еще нет в приемнике (Требуется время на прохождение диффузионной волны. "Время запаздывания" прямо пропорционально квадрату расстояния от источника до приемника и обратно пропорционально величине коэффициента диффузии), затем концентрация токсина начинает расти, достигает максимума, после чего начинает падать (Источник токсина прекратил свою деятельность - на заводе навели порядок) и в конце концов его концентрация в приемнике достигает фонового уровня.

Согласно традиционной теории миграции, фронт диффузанта симметрично распространяется вокруг источника. Если токсин осаждается дождем или снегом, то линии его одинаковой концентрации в почве представляют собой изоконцентрические окружности с центром в источнике. Однако, если дует ветер, то возникает преимущественное направление миграции токсина. В случае бокового сноса (адвекции) изоконцентрационные линии токсина будут иметь вид вытянутого эллипса и облако токсина может накрыть достаточно далеко отстоящий от завода населенный пункт. Направление главной оси эллипса определяется Розой Ветров для данной местности. При выборе места строительства нового опасного предприятия следует по многолетним метеорологическим наблюдениям определить основные сезонные направления ветров и строить предприятие таким образом, чтобы ветра приходили сначала в населенный пункт, а затем на завод, но не в коем случае наоборот.

Многие токсины устойчивы к внешним воздействиям и в ходе миграции не изменяются. Другие (например, хлор) по ходу своего движения в воздухе или в воде вступают в многочисленные реакции со встречающимися в окружающей среде веществами. В результате исходный токсин исчезает, но вместо него возникает другой, иногда еще более сильный токсин. В ряде случаев возникает целая цепочка подобных превращений (каждое такое превращение идет со своей скоростью и имеет собственную температурную зависимость), поэтому прогноз распространения опасности превращается в серьезную проблему. Наличие химических реакций может привести к новому эффекту - возникновению автоволновых колебаний. Например, после залпового выброса токсина в приемнике в зависимости от времени концентрация его не имеет традиционную форму кривой с максимумом, а начинает колебаться с определенной амплитудой и частотой. Такие колебания продолжаются длительное время спустя после прекращения выделения из источника токсина. На местности отложения токсинов принимает вид пятен, расположенных хаотично и имеющих случайный размер и форму. Если токсин поступает в суживающуюся долину между холмами, то на в широкой части токсин выпадает в виде пятен, в более узкой части - полосами, а в самой узкой - в виде однородного слоя. Ситуация существенно отличается от рассмотренного выше случая распространения токсина в виде концентрических окружностей или эллипсов, интенсивность которых падала по мере удаления от источника. В пятнах концентрация не падает и возможно появление за сотни километров от источника пятна с такой же концентрацией токсина, как и в точке его выброса. Теория диффузии способна предсказать подобные эффекты, но здесь требуется громоздкий математический аппарат и большие затраты счетного времени на компьютере. Тем не менее прогноз транспортного риска, связанного с временными и пространственными волнами уже сейчас возможен.

В ходе миграции токсин может адсорбироваться на встречающихся на его пути природных объектах. Например, тяжелые металлы, путешествующие на аэрозолях, адсорбируются поверхностью листьев или хвои и выводятся из миграционного процесса. При опадении листьев, тяжелые металлы оказываются в почве. Аналогично, вещества, растворенные в воде, при фильтрации сквозь песок или гравий, адсорбируются последними и вода очищается. Прекрасным природным адсорбентом является чернозем. Процесс адсорбции увеличивает время прохождения токсина от источника до приемника и уменьшает концентрацию токсина в самом приемнике. Однако на своем транспортном пути токсин может концентрироваться в некоторых природных объектах, образуя вторичные залежи. Поэтому вместо импульсного точечного источника техногенного происхождения мы получаем распространенные в природе источники токсина длительного действия. Борьба с негативным влиянием такого источника может оказаться намного сложнее, чем с первичным.

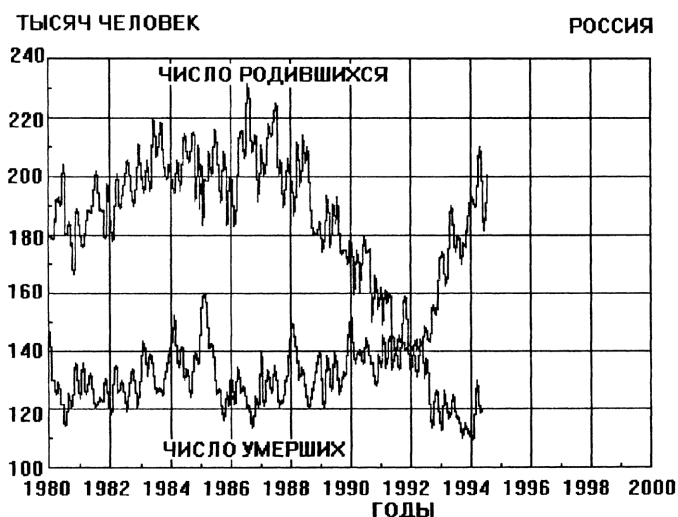
Сложная ситуация возникает, когда в регионе функционируют несколько заводов, каждый из которых выбрасывает свою группу токсинов. Каждый завод проектируется независимо от другого и руководствуется требованиями санитарного паспорта, по которому его выбросы не должны превышать предельно допустимое значение (Предельно допустимый выброс подбирается таким образом, чтобы при плановой эксплуатации завода концентрация токсина вокруг него (в воздухе, воде или почве) не превышала предельнодопустимую.). Однако, группы токсинов, поступившие от разных заводов могут

встретиться в подходящем облаке и здесь во влажной атмосфере под действием солнечного ультрафиолета вступить друг с другом в сложные химические реакции. В результате может возникнуть новый токсин, предельная концентрация которого в тысячи раз ниже предельно допустимой концентрации любого "планового" токсина. Возникает вопрос: кто отвечает за производство этого "внепланового" токсина и за факт превышения его ПДК в среде обитания? Как бороться с его природным производством? Еще опаснее если в реакции, происходящие в окружающей среде, начинают вмешиваться микробиологические процессы. Микробы, планктон, грибки и лишайники с одной стороны способны кардинально перерабатывать токсин иногда в еще более токсичную и более подвижную форму, а с другой способны сами трансформироваться (например, мутировать по действием токсина) в новый вид, не столько более токсичный, сколько более болезнетворный.

Современная экологическая химия отличается от традиционной тем, что изучает химические и биотехнологические процессы, происходящие именно в природной среде. Такие реакции могут коренным образом отличаться от реакций в лабораторных пробирках и продукты этих реакций оказываются порой весьма экзотическими. Физическая химия окружающей среды, рассматривающая кинетику и термодинамику химических реакций в природе, а также процессы реакционной диффузии в них, является составной частью любой концепции управления экологическим риском.

Влияние биологических процессов на функционирование источника и транспорт токсина рассмотрим на примере судьбы чернобыльского плутония.

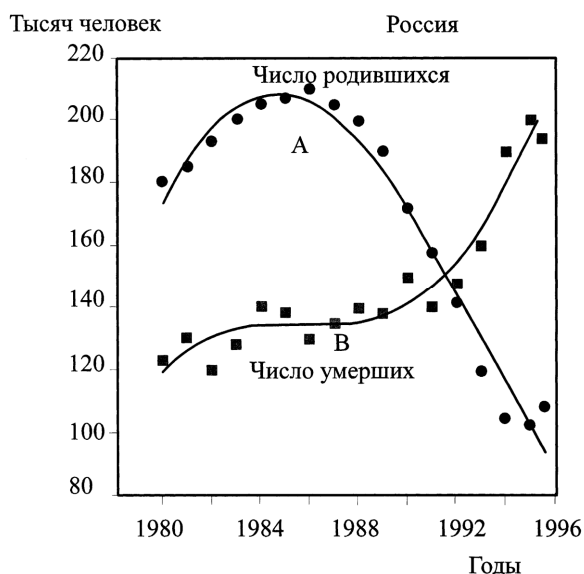
### 6.3 Экспозиция



времени:  $a=51$ ;  $b=-4,2$ ;  $c=12,5$ ;  $d=121$ .

Пользуясь полученными зависимостями установите

1) В каком году в России скорость рождения была равна скорости смерти?



естественной эволюции?

### 6.4 Доза

### 6.5 Эффект

(Продолжение следует)

Рис. 3. Изменение численности населения России

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Экодемография

1. Изменение во времени числа родившихся и умерших жителей России в период с 1980 по 1996 гг. (Рис.1) достаточно хорошо описывается кубическим полиномом вида:

$$N=at^3+bt^2+ct+d$$

$N$ -количество умерших или родившихся людей,  $t$ -год.

Для зависимости числа родившихся от времени параметры полинома:  $a=0,5$ ;  $b=-9,9$ ;  $c=36,9$ ;  $d=171$ , а для зависимости числа умерших людей от

2) С какой скоростью будут рождаться и умирать жители России в 2010 году?

3) Каковы соответствующие скорости в текущем году? Сравните с данными гос. статистики. Сохраняется ли наметившаяся тенденция или нет?

Рис. 4. Описание изменения численности населения России в конце 20-го века в рамках различных математических моделей

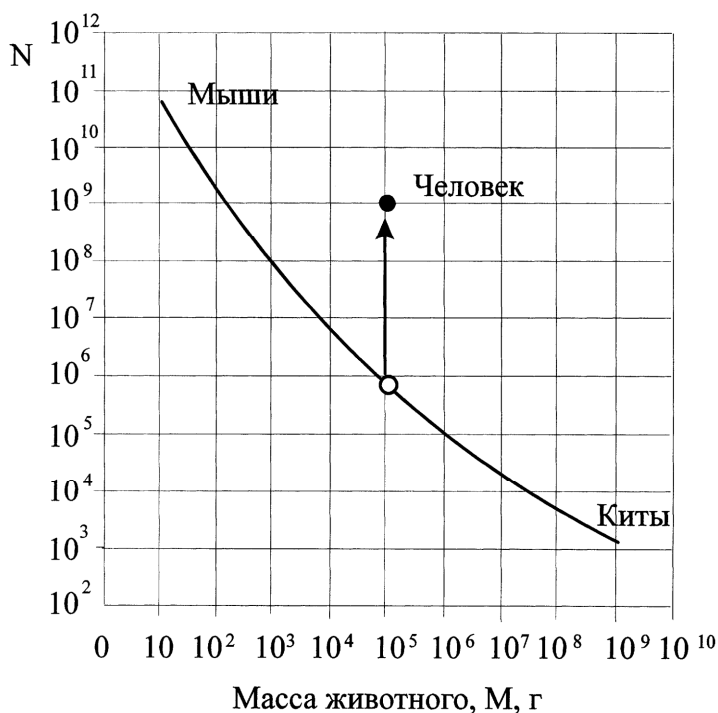
2. Известно, что численность популяции любого животного зависит от веса отдельной особи: по мере увеличения массы животного, численность его популяции падает. Математически наблюдаемую зависимость можно описать параболой:

$$N=A \cdot e^{-bm}$$

где  $N$ -численность популяции,  $m$ -средний вес отдельной особи,  $e=2,72$ -основание натурального логарифма;  $A=12,5$ ;  $b=0,15$ .

1) Определите: находится ли популяция человека под действием законов естественного отбора, как другие виды животных?

2) Во сколько раз необходимо уменьшить численность людей на Земном шаре, чтобы восстановить справедливость законов



**Рис. 5.** Выпадение человека из естественного отбора. Зависимость числа животных одного вида от среднего веса отдельной особи.

- 1) Нанесите данные на график и проследите дрейф в положении нашего государства на протяжении двадцатого столетия.
- 2) Оцените положение России в числе наибольших стран мира, ожидающееся в конце 21 века. (В 2005 году в России будет проживать лишь 2% населения мира против 8% в 1900 году).
- 3) Найдите соотношения между числом жителей Китая, Индии, США и России в 1900 и 2005 гг. Как изменится это соотношение к концу 21 века?
4. В Табл.2 приведены размеры территорий десяти крупнейших стран мира в 1900 и 1997 годах. Даны размеры территорий, юридически закрепленные в международных законодательных актах и "эффективные" территории, под которыми понимают территории, приспособленные для постоянного проживания человека (Земли, на которых

среднегодовая температура воздуха выше  $-2^{\circ}\text{C}$  и расположенные на высотах ниже 2000 м над уровнем моря).

3. В Табл.1 приведены данные по численности населения крупнейших стран мира.

Табл.1 Население десяти крупнейших стран мира в 1900 и 2005 годах (млн. чел.)

1900		2005	
1. Китай	475	1. Китай	1337
2. Британская Индия	293	2. Индия	1107
3. Россия	133	3. США	286
4. США	76	4. Индонезия	227
5. Германия	57	5. Бразилия	187
6. Австро-Венгрия	46	6. Пакистан	185
7. Япония	45	7. Нигерия	149
8. Великобритания	42	8. Бангладеш	149
9. Франция	41	9. Россия	144
10. Индонезия	38	10. Япония	127

Таблица 2. Территории десяти крупнейших стран мира в 1900 и 1997 годах (млн. кв. км.)

1900		1997	
		де-юре	эффективная
1. Россия	22,47	1. Россия	17,08
2. Китай	11,41	1. Бразилия	8,05
3. Канада	9,98	2. Канада	9,98
4. США	9,96	2. США	8,00
5. Бразилия	8,36	3. Австралия	7,68
6. Австралия	7,69	4. США	9,36
7. Британская Индия	4,83	4. Китай	5,95
8. Французская Западная Африка	4,69	5. Бразилия	8,51
9. Османская империя	3,90	5. Россия	5,51
11. Аргентина	2,68	6. Австралия	7,69
		6. Канада	3,64
		7. Индия	3,29
		7. Индия	2,90
		8. Аргентина	2,78
		8. Казахстан	2,62
		9. Казахстан	2,72
		9. Судан	2,49
		10. Судан	2,51
		10. Аргентина	2,49

1) Оперирова "эффективной" площадью страны (Табл.2) докажете, что Россия вовсе не является самой большой страной в мире (Только пятая по территории). Оцените динамику изменения площади России, Китая и США. Как соотносились площади этих стран в начале и конце 20-го века и как они будут соотноситься в конце 21-го века? (В 20-м столетии Россия потеряла фактически половину своей эффективной площади. Доли населения и полезной площади России по отношению к мировым в течение XX столетия уменьшились соответственно в 4 и 2 раза и достигли нового исторического минимума, не наблюдавшегося с конца XVI века).

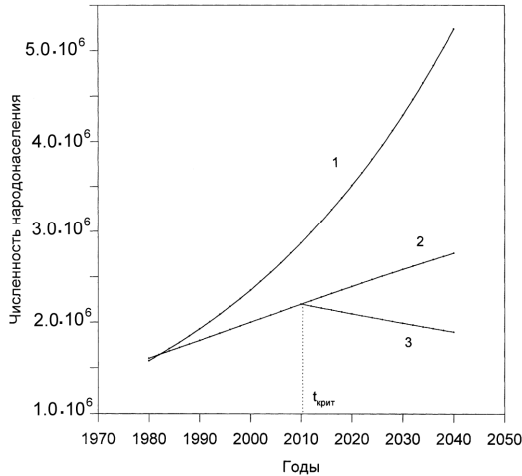
2) Пользуясь Табл.1 и 2 рассчитайте плотности распределения населения (число жителей на 1 кв. км.) ведущих стран мира в различные годы. Проведите расчеты с учетом как юридической, так и эффективной площади. Какая страна в мире в настоящее время наиболее заселена?

5. Распад больших государств в завершающейся фазе Новой истории приобретает обвальный характер: в начале XX века в мире насчитывалось всего 52 независимых государства, к середине столетия - 82, в конце столетия - 210.

1) Оцените сколько государств будет существовать в середине XXI века, если сохранится существующая сейчас тенденция?

2) В чем вы видите основную причину низкой эффективности больших государств, приводящей их к распаду?

3) Каковы экологические последствия распада больших государств (империй)?



**Рис. 6.** Сценарии развития численности народонаселения страны

6. Правительство некоторой страны располагает данными по росту населения за два десятилетия (с 1980 по 2000 год). Для расчета экономического состояния государства в 2030 году требуется оценить количество жителей, которое будет достигнуто к этому времени. Анализ ближайшего будущего показал, что возможны три сценария развития. Согласно первому, скорость роста пропорциональна имеющемуся на текущий момент времени числу людей (Увеличение численности популяции в отсутствие лимитирующих факторов среды). Тогда численность населения будет возрастать по экспоненциальному закону ( $J$  – образная кривая 1, Рис.4):

$$N_t = N_0 e^{rt},$$

где  $N_t$  – число жителей в момент времени  $t$ ,  $N_0$  – число жителей в начальный момент времени,  $r$  – постоянная (удельная скорость роста),  $t$  – время. Согласно второму сценарию возможно постепенное усиление – по мере нарастания плотности популяции – неблагоприятных факторов (Сопротивление среды порождается ростом самой популяции. По мере того, как величина популяции приближается к емкости среды, скорость размножения уменьшается). В простейшем случае усиление действия сдерживающих факторов прямо пропорционально численности населения. Такой тип роста называется логистическим и приводит к S – образной зависимости (кривая 2, Рис.4). Со временем число людей стабилизируется практически на постоянном уровне. В этом случае число жителей изменяется по закону:

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{b-rt}},$$

где  $K$ ,  $b$  и  $r$  – константы,  $b$  – постоянная, определяющая положение кривой относительно начала координат. Она численно равна  $(K-N)/N$  при  $t=0$ . Согласно третьей модели относительно свободный рост по S – образной кривой внезапно прекращается в момент времени  $t_{\text{крит}}$  (эпидемия неизлечимой болезни, массовая эмиграция населения). В результате численность населения начинает падать (кривая 3, Рис.4) по закону:

$$N_t = N_{\text{крит}} e^{-kt},$$

где  $k$  – постоянная.

1) Используя приведенные выше уравнения и значения констант определите расхождения в численности населения, оцененные по разным моделям к 2010, 2020 и 2030 годам.

2) Правительство для своих действий приняло модель 2. Какова ошибка в оценке плотности населения будет в 2040 году, если реальное развитие событий пошло по модели 3?

## Риск

### 1. Эпидемия

Некая инфекционная болезнь имеет однодневный инфекционный период, и после этого дня пациент становится невосприимчивым к этой болезни и не передает ее. На острове живут 6 отшельников, которых мы пронумеруем числами от 1 до 6. Если какой-либо отшельник заболит этой болезнью, то он обратится за помощью к другому случайно выбранному отшельнику. В этом случае, если этот новый отшельник еще не болел этой болезнью, то после этого он заразится ею, и будет оставаться заразным в течение следующего дня. Предположим, что в один день этой болезнью заболел отшельник 1, в то время как остальные отшельники никогда ею не болели. При помощи бросания игральной кости выберите отшельника, к которому больной обратится за помощью (не обращая внимание на выпадение 1 очка). Этот отшельник будет заразным на следующий день. Затем при помощи бросания кости определите, к кому он обратится за помощью, и т.д. Продолжите этот процесс до тех пор, пока какой-либо больной отшельник не

обратится за помощью к такому, который уже болел этой болезнью, вследствие чего эпидемия прекратится. Повторите этот эксперимент 5 раз и найдите среднее число отшельников, которые перенесли болезнь.

#### 2. Крыса в лабиринте

Крыса бежит по лабиринту, который устроен так, что сначала она должна выбрать одну из двух дверей. За каждой из них ее ожидает по три двери, а за каждой из них - по четыре. Пройдя какую-либо дверь, крыса не может вернуться через нее обратно. Сколькими различными путями крыса может пройти лабиринт от начала до конца?

#### 3. Агрохимик

В распоряжении агрохимика есть шесть различных типов минеральных удобрений. Ему необходимо провести эксперименты по изучению совместного влияния любой тройки минеральных удобрений. Сколько всего экспериментов ему придется провести?

#### 4. Селекционер

Селекционер скрещивает две породы, каждая из которых обладает парой генов (а, А). Каждая из родительских особей передает потомку один из этих генов (либо а, либо А); два гена - один отцовский и один материнский - составляют пару генов потомка. Опишите пространство событий, элементами которых являются пары генов возможных потомков.

#### 5. Дожить бы!

Как утверждает статистика, из 100000 человек в возрасте 20 лет к 70 годам в живых остаются 47773. Какова вероятность того, что человек, доживший до 20 лет, доживет и до 70? Что он не доживет до 70 лет?

#### 6. Смерть пары

Вероятности того, что некто А умрет в течение следующих 20 лет, равна 0,025; что другой человек В умрет в течение 20 ближайших лет, равна 0,030. Чему равна вероятность того, что оба они умрут в течение ближайших 20 лет? Что А умрет, а В не умрет? Что один из них не умрет?

#### 7. Риск попасть в больницу

Вероятность того, что случайно выбранный человек в течение следующего месяца попадет в больницу, равна 0,01. Какова вероятность того, что из трех случайно выбранных на улице людей в течение следующего месяца в точности один будет положен в больницу?

#### 8. Риск пикника

20 мальчиков поехали на пикник. При этом 5 из них обгорели на солнце, 8 были сильно укушены комарами, а 10 остались всем довольны. Какова вероятность того, что обгоревший мальчик не был укушен комарами? Какова вероятность того, что укушенный комарами мальчик также обгорел?

#### 9. Страховой риск

Страховая компания установила, что в среднем один вексель из тысячи не подлежит оплате, причем этот вексель обязательно бывает просрочен. Также установлено, что один вексель из ста, подлежащих оплате, просрочен. Какова вероятность того, что он не подлежит оплате?

#### 10. Надежда

Антон любит ходить с папой по магазинам, потому что он иногда может его уговорить купить новую игру. Вероятность того, что отец возьмет сегодня с собой Антона равна 0,4; если же это произойдет, то вероятность покупки новой игрушки равна 0,8. Какова вероятность того, что отец возьмет сегодня Антона в магазин и купит ему новую игру?

Пусть вероятность покупки игры для Антона, если отец не берет его с собой равна 0,3. Если все остальные вероятности не изменяются, то какова вероятность того, что Антону будет куплена игра?

#### 11. Путь домой

Школьник может возвращаться домой либо по улице и переулку, либо через городские дворы. Он ходит по-разному, в  $1/3$  всех случаев выбирая улицу, а  $2/3$  - дворы. Если он идет по улице, то в 75% всех случаев он возвращается домой к 4 часам вечера, если же он идет дворами, то только в 70% всех случаев он возвращается к 4 часам, однако этот путь ему больше нравится. Если он попал домой после 4 часов, то какова вероятность, что он шел дворами?

#### 12. Страховая прибыль

Согласно американским статистическим таблицам смертности, вероятность того, что 25-летний человек проживет еще один год, равна 0,992, а вероятность того, он умрет в течение следующего года, равна 0,008. Страховая компания предлагает такому человеку застраховать свою жизнь на год на сумму 1000 долларов. Страховой взнос равен 10 долларам. Какую прибыль ожидает получить компания?

#### 13. Риск операций.

Обреченным на смерть пациентам в качестве последнего шанса можно предложить опасную операцию, в результате которой выживают 80% всех оперируемых. Какова вероятность того, что ровно 80% из пяти оперированных пациентов выживут?

#### 14. Риск полета

Предположим, что самолет может продолжать полет тогда, когда работает более половины его моторов. Пусть  $q$  - вероятность выхода из строя одного мотора. При каких значениях  $q$  следует предпочесть трехмоторный самолет пятимоторному?



### Экологическая химия

(Автор А.Краснянский)

1. Оцените массу урана в мировом океане и сравните ее с массой урана, содержащегося в разведанных месторождениях: 18 млн т в 182 странах мира, если объем мирового океана 1370 мл км<sup>3</sup>, а в одной капле воды (0,03 мл) 250 млрд атомов урана.

*Ответ: 4,5 млрд т U, что в 250 раз превышает его разведанные запасы на суше. Несмотря на очень малую концентрацию урана в океанической воде его запасы в мировом океане огромны. В настоящее время разработаны методы выделения урана из морской воды, но стоимость «морского» урана во много раз превышает стоимость рудного урана.*

2. Рассчитайте: 1) объем морской воды, в котором содержится 1 кг золота, если известно, что молярная концентрация золота в воде равна  $2,5 \cdot 10^{-11}$  моль/л; 2) во сколько раз массовая доля золота в промышленных рудах (в среднем 10 г Au в тонне руды) больше его массовой доли в морской воде; 3) оцените затраты на добычу руды и выделение из нее 1 кг золота, если его цена равна 10\$/г; 4) каковы экологические и экономические последствия можно ожидать для страны, которая продает золото, а покупает табак и алкогольные напитки.

*Ответ: 4) Золото относится к невозобновляемым ресурсам, в отличие от табака и этанола; спирт получают в основном из картофеля, свеклы, фруктов низкого качества и продуктов их переработки. Очевидны отрицательные следствия: загрязнение окружающей среды (при добыче золота и его переработке) и ухудшение здоровья населения, вызванного увеличением потребления табака и алкоголя. Только развитие высоких технологий может повысить уровень жизни населения и обеспечить безопасность государства.*

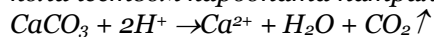
3. Концентрация ионов водорода в дождевых водах Нигерии во время грозы достигает 0,001 моль/л. объясните появление ионов водорода в дождевой воде. Напишите уравнения соответствующих реакций и оцените: а) массу кислоты в воде весом  $1 \cdot 10^5$  т (масса среднего грозового облака); б) массу углекислого газа, поступающего в атмосферу после выпадания таких осадков в районах, содержащих карбонатные породы.

*Ответ:  $m(\text{HNO}_3) = 6,3$  т;  $m(\text{CO}_2) = 2,2$  т.*

4. В центральной Европе и Северной Америке бывают дожди, в которых концентрация ионов водорода равна  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л (рН=4). Оцените массы серной кислоты и азотной кислоты в дождевой воде массой 1 т исходя из следующих предположений: 1) кислую среду создает только серная кислота; 2) только азотная кислота; 3) смесь кислот в молярном отношении 1:1. Предположите, какая дождевая вода (из указанных) опаснее для мраморных и известковых сооружений?

*Ответ: 1)  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4,9$  г; 2)  $m(\text{HNO}_3) = 6,3$  г; 3)  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3,27$  г;  $m(\text{HNO}_3) = 2,1$  г*

*Дождевые воды равного объема и с одинаковой концентрацией ионов водорода реагируют с одинаковым количеством карбоната натрия, что следует из ионно-молекулярного уравнения:*



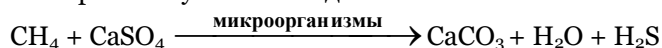
*Однако азотная кислота образует нитрат кальция, растворимость которого выше растворимости сульфата кальция и дегидрата сульфата кальция (гипса) и поэтому можно ожидать, что в присутствии азотной кислоты разрушение мраморных и известняковых сооружений будет идти быстрее.*

5. Кислотные дожди разрушают памятники культуры. Сравнительно прочный мрамор реагирует с раствором серной кислоты и превращается в гипс. Смена температур, потоки дождя и ветер быстро разрушают этот мягкий материал. Оцените объем дождевой воды, содержащей серную кислоту (рН=4) при контакте с которой слой мрамора толщиной 1 мм и площадью 10 м<sup>2</sup> превращается в гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Плотность мрамора 2,8 г/см<sup>3</sup>. Оцените достоверность полученной величины.

*Ответ: объем дождевой воды  $5,6 \cdot 10^6$  л.*

*Расчет основан на следующих условиях: 1) подразумевается, что вся кислота, содержащаяся в дождевой воде, успевает прореагировать с мрамором; 2) предполагается, что вся вода имеет рН=4; однако такая кислотность дождевой воды в Европе наблюдается сравнительно редко. Следовательно, расчет дает минимальную величину массы дождевой воды.*

6. Сероводород постоянно образуется на дне Черного моря: «работают» сульфатвосстанавливающие бактерии. Результаты их деятельности можно весьма упрощенно выразить уравнением:

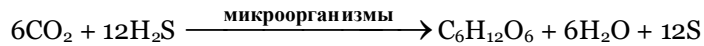


В верхних слоях воды (меньше 150 – 200 м) сероводорода нет. Рассчитайте объем (н.у.) сероводорода, образующегося при восстановлении 1 кг сульфата кальция и объясните, почему верхние слои воды не содержат сероводорода.

*Ответ:  $V(\text{H}_2\text{S}) = 166$  л (н.у.). На глубине 150-200 м сероводород встречается с проникающим сверху кислородом. На этих же глубинах живут серобактерии, которые используют реакцию окисления сероводорода, как источник энергии:*



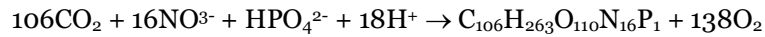
7. Фотосинтезирующие бактерии (например, пурпурные и зеленые серобактерии) восстанавливают углекислый газ, используя сероводород как донор водорода. Совокупность этих процессов можно упрощенно записать в виде суммарной реакции:



Микроорганизмы играют важную роль в очистке от сероводорода освещенных загрязненных водоемов, в которых этот газ образуется в результате разложения органических веществ. Рассчитайте: а) массу сероводорода, расходуемого при синтезе микроорганизмами углевода массой 90 г; б) объем очищенной при этом воды, если в результате жизнедеятельности бактерий концентрация сероводорода снизилась на 80% и составила 0,5 мг/л; вода с таким содержанием  $\text{H}_2\text{S}$  пригодна для использования в технике.

*Ответ:*  $m(\text{H}_2\text{S})=204 \text{ г}$ ,  $V_0=102 \text{ м}^3$ .

8. В процессе развития водоросли на каждый использованный атом фосфора потребляет 16 атомов азота. Уравнение синтеза клеточного вещества водорослей в ионно-молекулярной форме может быть упрощено записано как



Следовательно, если в воде отношение  $n(\text{N}):n(\text{P})$  окажется больше, чем 16:1, лимитирующий рост элементом окажется фосфор, если это отношение меньше, то азот. На основе экологических наблюдений для озер и водохранилищ установлены допустимые концентрации фосфора: 0,01 мг/л и азота: 0,3 мг/л, одновременное превышение которых приводит к усиленному росту водорослей. Определите, будет ли наблюдаться цветение озера, если концентрация гидрофосфат-ионов в озере равна 0,024 мг/л, а нитрат-ионов 6,2 мг/л и найдите отношение числа атомов азота к числу атомов фосфора в этом водоеме (гидрофосфат- и нитрат-ионы – основные химические формы азота и фосфора в воде). Предложите способы ограничения роста водорослей в водоемах.

*Ответ:* Концентрация фосфора (как элемента) 0,0078 мг/л (ниже допустимой), азота – 1,4 мг/л (выше допустимой). Лимитирующим элементом является фосфор. Озеро «цвети» не будет. Основным источником биогенных элементов в водоемах обычно является сток с сельскохозяйственных угодий. Вдоль водохранилища рекомендуется оставлять 15-20 – метровую залуженную полосу, свободную от деревьев и кустарников и предотвращающую поступление в водоем осенью листового спада. За лугом следует высаживать несколько рядов елей. Лесная зона вдоль берегов предохраняет почву от эрозии и потребляет биогенные вещества поверхностного стока, препятствуя их попаданию в водоем.

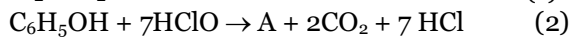
9. В подземных водах железо находится в виде гидрокарбоната железа (11), причем концентрация ионов железа может превышать предельно допустимую концентрацию в питьевой воде (0,03 мг/мл). Эти воды очищают от железа аэрацией: фильтрованием через слой зернистого материала. Какая масса осадка – гидроксида железа (11) может выпасть при аэрации 100 т воды с концентрацией ионов  $\text{Fe}^{2+}$  2,8 мг/л, если при этом окисляется 90% ионов железа  $\text{Fe}^{2+}$ .

*Ответ:*  $m(\text{Fe}(\text{OH})_3)=480 \text{ г}$ .

10. Оцените, на сколько метров поднимется уровень океанов, если все ледники растают. Условия расчета: а) объем льда в ледниках всего земного шара равен 24 млн км<sup>3</sup>; б) радиус Земли 6370 км; в) океаны занимают 71% поверхности планеты; г) плотность льда 0,92 г/см<sup>3</sup>, плотность воды 1,0 г/см<sup>3</sup>.

*Ответ:*  $h=61 \text{ м}$ . Расчет дает завышенную величину  $h$ , так как не учитывается, что при подъеме уровня океана часть суши уйдет под воду и площадь водной поверхности  $S$  увеличится.

11. Хлор может использоваться для очистки сточных вод от фенола. В водных растворах, содержащих фенол и хлор, идут сложные окислительно-восстановительные процессы и образуется смесь продуктов. В одной из реакций хлорноватистой кислоты с фенолом образуются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$  и вещество А:



(Стехиометрический коэффициент перед А равен 1). Определите химическое строение вещества А, если для полной его нейтрализации 5,54 г необходимо 50 г раствора, массовая доля гидроксида натрия в котором равна 0,048.

*Ответ:* янтарная кислота:  $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ .

12. Суммарная концентрация четырех углеводородов: А, Б, В, Г (техногенных примесей) одинакового состава, но различного строения в Москве-реке достигает 100 мкг/л (0,9434 мкмоль/л). массовая доля углерода в этих веществах равна 90,57%. При хлорировании вещества А в присутствии хлорида железа образуется три монохлорпроизводных, вещества Б – одно, В – два, Г – три монохлорпроизводных. Хлорирование на свету вещества Г дает только одно монохлорпроизводное. Определите молекулярную форму, укажите структурные формулы этих веществ и назовите их.

*Ответ:* А – этилбензол, Б – 1,4-диметилбензол, В – 1,2 – диметилбензол, Г – 1,3-диметилбензол.

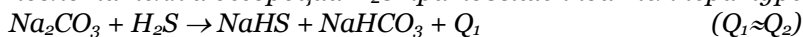
13. Рассчитайте массу углекислого газа, поступившего в атмосферу в 1965 г и определите, какую долю составляет техногенное годовое поступление этого вещества от его общего запаса в атмосфере. Условия расчета: а) в течение 1965 г. на планете сожгли 2241 млн т угля, 1867 млн т нефти, 974 млн т древесины и 880 млн т природного газа; б) массовые доли углерода в угле, нефти, древесине равны 0,80, 0,85 и 0,5 соответственно, в) природный газ в состоит из метана; г) масса  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляет  $2,4 \cdot 10^{12}$  т.

*Ответ:* В атмосферу в 1965 г поступил диоксид углерода массой  $16,6 \cdot 10^9$  т, т.е. 0,07% от запаса диоксида углерода в атмосфере.

14. Природный газ имеет состав (в объемных долях): метан (0,69), сероводород (0,16), этан (0,06), углекислый газ (0,069). Рассчитайте: а) среднюю молярную массу газа; б) массу и объем (н.у.) природного газа, при сжигании которого в окружающей среде образуется (в конечном счете) 1 т серной кислоты. Можно ли использовать этот газ, не очищая его предварительно от сероводорода? Предложите способ очистки

метана от сероводорода.

*Ответ:*  $m_o=1,42 \text{ т}$ ;  $V_o=1430 \text{ м}^3$  (н.у.). Очистка природного газа от сероводорода необходима, так как он ядовит (поражает слизистые оболочки, дыхательные органы. ПДК в атмосферном воздухе  $0,008 \text{ мг/м}^3$ , в воздухе рабочей зоны  $10 \text{ кг/м}^3$ ) и обладает высокой коррозионной активностью. Для транспортирования газов по трубопроводам его концентрация должна быть снижена до очень низких значений. Кроме того, при горении образуется диоксид серы, а удаление  $\text{H}_2\text{S}$  из газового потока до его сжигания (или разбавления воздухом) проще чем удаление образующегося  $\text{SO}_2$ . Наиболее простым в химическом отношении способом очистки от сероводорода является вакуум-карбонатный метод. Он основан на адсорбции  $\text{H}_2\text{S}$  раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (или  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) (экзотермический процесс) и регенерации поглотителя и десорбции  $\text{H}_2\text{S}$  при повышенной температуре ( $65^\circ\text{C}$ ) и пониженном давлении ( $85 \text{ кПа}$ ):



Согласно принципу Ле-Шателье, равновесие смещается вправо при понижении температуры и повышении давления газа; при повышении температуры и понижении давления газа – влево.

15. Электростанции, работающие на угле, выделяют в атмосферу не только оксиды углерода, но и оксиды серы, урана и других элементов. Оцените массу угля, потребляемую в сутки электростанцией мощностью  $1 \cdot 10^9 \text{ Вт}$ , а также массы оксидов углерода (IV), серы (IV), урана (IV), выбрасываемых в атмосферу за сутки такой электростанцией. Условия расчета: а) массовые доли углерода, серы и урана в угле равны  $0,75$ ,  $0,05$  и  $2 \cdot 10^{-6}$  соответственно; б) доля тепловой энергии, превращаемой в электрическую равна  $50\%$ ; в) удельная теплота сгорания угля  $27 \text{ МДж/кг}$ ; г) в атмосферу переходит (в составе дыма, воды и пр.)  $4\%$  содержащегося в угле урана.

*Ответ:*  $m(\text{CO}_2)=17600 \text{ т}$ ,  $m(\text{SO}_2)=640 \text{ т}$ ,  $m(\text{UO}_2)=580 \text{ г}$ .

16. Тетраэтилсвинец (ТЭС) применяется в качестве антидетонатора в бензинах (для более плавного действия двигателя внутреннего сгорания). В ФРГ в 1969 году в двигателях грузовых машин было сожжено  $15 \text{ млн т}$  этилированного бензина. Рассчитайте массу выброшенного в атмосферу оксида свинца (11), если молярная концентрация ТЭС в бензине составляет  $2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$ , а плотность бензина равна  $750 \text{ г/л}$ .

*Ответ:*  $m(\text{PbO})=8920 \text{ т}$ . Следует отметить, что свинец в выхлопных газах находится не только в виде оксида свинца (11), но и в других химических формах.

17. На высотах от  $0$  до  $50 \text{ км}$  ракета-носитель, поднимающая Шатл, выбрасывает  $150 \text{ т}$  хлора, образующегося при горении твердого топлива. Полагают, что одна молекула хлора способна уничтожить до  $100000$  молекул озона. Оцените: а) массу озона, уничтожаемого при запуске космического челнока; б) потери озона (в % от всей массы озонового слоя); в) достоверность полученных значений. Масса озонового слоя – три миллиарда тонн.

*Ответ:* За один полет уничтожается  $10,1 \text{ млн т}$  озона, что составляет  $0,34\%$  от массы всего озонового слоя! Однако расчет дает максимальную величину потерь. В частности, не учитывается, что значительная часть топлива сгорает вне озонового слоя.

18. Рассчитайте массу  $20\%$  раствора гидроксида натрия, необходимого для очистки  $1 \text{ т}$  нефти, содержащей циклопентанкарбоновую кислоту, фенол, сероводород, массовые доли которых соответственно равны  $0,16\%$ ,  $0,85\%$  и  $0,64\%$ , а также состав (масс. Доли) и массу отходов – массу водной фазы, содержащей растворенные соли и избыток щелочи. Расчет проведите при условии, что щелочь берут в избытке (на  $30\%$  больше теоретического количества, рассчитанного из уравнений реакций). Задача сильно упрощена: следует иметь в виду, что нефть содержит около  $1000$  химических веществ, среди них много и тех, от которых ее нужно очищать).

*Ответ:* На очистку нефти массой  $1 \text{ т}$  необходимо  $125 \text{ кг}$  раствора щелочи, причем в результате образуются отходы в виде раствора массой  $141,5 \text{ кг}$ , содержащего различные соли и щелочь:  $\omega(\text{C}_6\text{H}_9\text{COONa})=0,0134$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa})=0,0735$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{S})=0,104$ . Ежегодно в мире добывается  $2 \text{ млрд тонн}$  нефти, при очистке которой образуются сотни млн тонн отходов, содержащих фенолят натрия, щелочь, сульфид натрия и другие вещества. (Задача сильно упрощена: нефть содержит около  $1000$  химических веществ, среди них много и тех, от которых ее нужно очищать).

19. В городе в каждой из  $1 \text{ млн}$  квартир из-за неисправности водопроводящих кранов вытекает в среднем за  $20$  секунд  $10$  капель горячей ( $80^\circ\text{C}$ ) воды. Рассчитайте, какой объем метана ( $25^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ атм}$ ) сжигают напрасно в год на городских тепловых станциях. Условия расчета: а) объем капли  $0,2 \text{ мл}$ ; б) воду нагревают от  $10^\circ\text{C}$  до  $80^\circ\text{C}$ ; в) теплота сгорания метана  $880 \text{ кДж/моль}$ ; г) на нагрев воды идет  $86\%$  теплоты, выделяющейся при сгорании метана; д) удельная теплоемкость воды  $4,2 \text{ Дж/г}^\circ\text{K}$ .

*Ответ:* Расчет доказывает, что в год в мегаполисе впустую сжигается  $30,1 \cdot 10^6 \text{ м}^3$  газа ( $30,1 \text{ млн кубических метров}$ !)