

## 3. Моделирование процессов в техносфере

**Техносфера** – часть биосферы в прошлом, преобразованная человеком с помощью технических средств для удовлетворения своих потребностей.

Отличительные черты **технологической цивилизации**:

- наличие множества технологий (информационные, химические, биологические, военные, двойные, ресурсосберегающие и т.п.);
- производство множества веществ, продуктов, товаров и т.п., о свойствах которых мы знаем меньше, чем хотелось бы;
- появление «технологий второго порядка» (венчурные компании от venture – рискованное предприятие, рисковать);
  - появление «высоких технологий», отличающимися:
    - -высокой долей добавленной стоимости (микрочипы);
    - - эффективностью продуктов высоких технологий значительно превышающих существующие (генетически модифицированные засухоустойчивые сорта зерновых в США);
    - - появлением «объяснительной индустрии»;
    - - созданием товаров, свойства которых неизвестны (генная инженерия);
    - - появлением принципиально новых угроз» (вирус «Чернобыль»);

## Результаты негативного воздействия техногенной сферы на ОПС

№	Сфера воздействия	Некоторые характеристики воздействия
1	Мировой океан	Ежегодно – до 30 млн. т нефти и нефтепродуктов, 6 млн. т. фосфора, 20 млн.т. пестицидов
2	Атмосфера	Ежегодно-5 млрд.т CO <sub>2</sub> , 200 млн.т SO <sub>2</sub> , 53 млн.т NO <sub>x</sub> . «Озоновые дыры», «парниковый эффект».
3	Запасы пресной воды	Потребление-3500 м <sup>3</sup> /(чел.год). Слив неочищенных вод – 32 м <sup>3</sup> /(чел.год). ( 1 м <sup>3</sup> стоков губит 50 м <sup>3</sup> пресной воды)
4	Флора и фауна	Леса уничтожаются со скоростью 20 га/мин, что в 18 раз больше скорости роста. 20% суши – под угрозой распространения пустыни. Скорость разрушения ландшафта – 44 га/мин. На грани исчезновения более 1000 видов позвоночных животных и более 25 000 видов растений.
5	Глобальная сфера	На 35 испытательных полигонах взорвано более 1800 ядерных боеприпасов. В океане затонуло 5 АПЛ, 7 реакторов, 16 баллистических ракет, 20 торпед с атомными зарядами. Продолжается практически неконтрольное захоронение радиоактивных отходов в воде и на суше.

## 3.1 Классификация моделей процессов в техносфере

### 1. Глобальный уровень

#### Модель «мировой динамики» Дж.Форестера

$$\frac{dP}{d\tau} = (B - D);$$

$$\frac{dK}{d\tau} = K_+ - \frac{K}{T_k};$$

$$\frac{dX}{d\tau} = X_+ - \frac{X}{T_x};$$

$$\frac{dZ}{d\tau} = Z_+ - \frac{Z}{T_z};$$

$$\frac{dR}{d\tau} = -R_+.$$

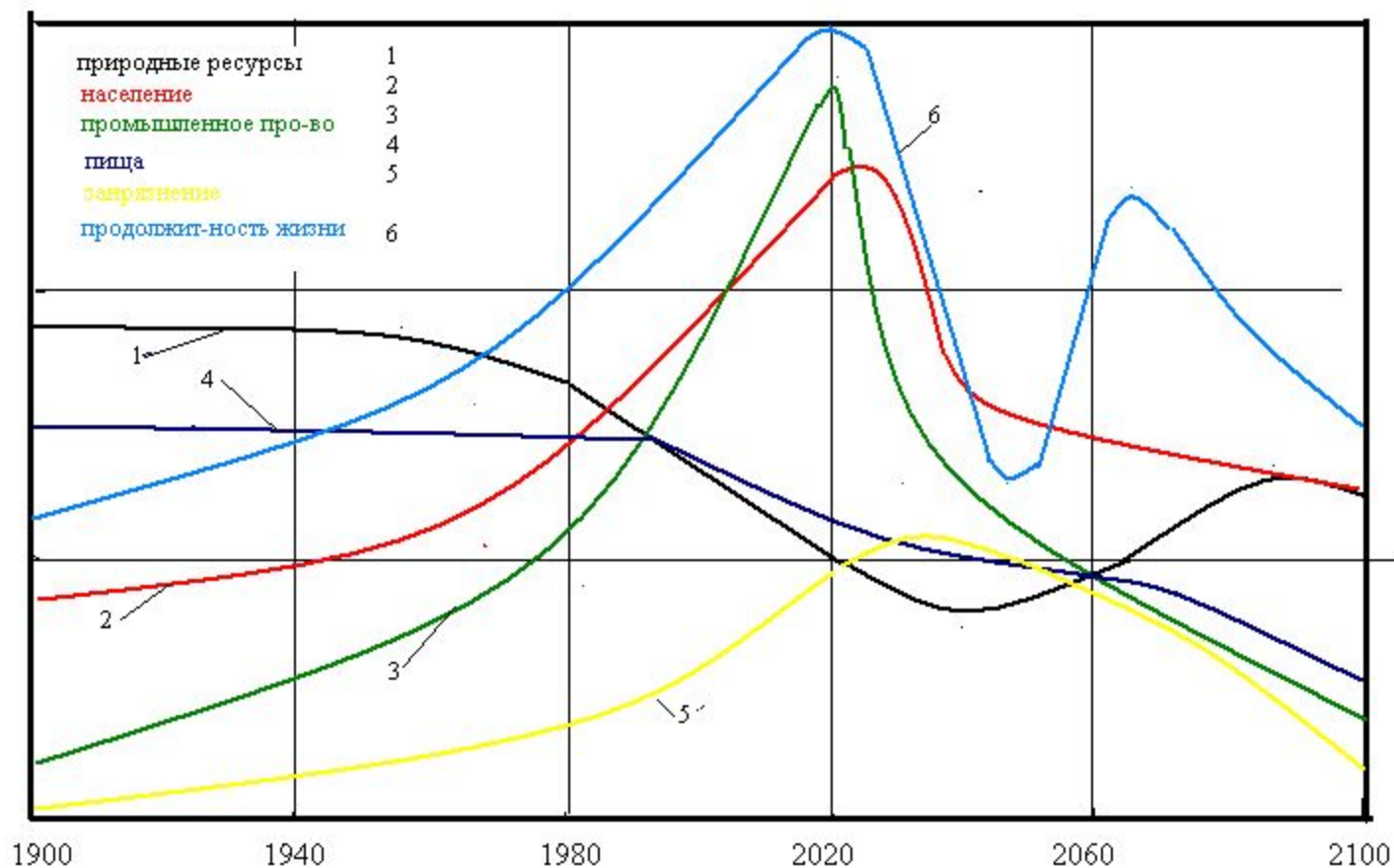
Р – население Земли, К – капитал, X – доля капитала в с/х, Z – загрязнение, R – запасы не возобновляемых природных ресурсов, В – темп рождаемости, D – темп смертности, К+ – скорость производства основных фондов,  $T_k = 40$  лет – постоянная времени износа основных фондов,  $T_x = 15$  лет – время выбытия с/х фондов,  $Z_+$  – скорость генерации загрязнений,  $T_z = T(z)$  – характерное время (постоянная времени) естественного разложения загрязнений,  $R_+$  – скорость потребления ресурсов

#### Модель «ядерной зимы»

**Не разработаны модели, учитывающие «малые воздействия», меняющие системные свойства нашего мира (например, глобальная компьютеризация и вирусы)**

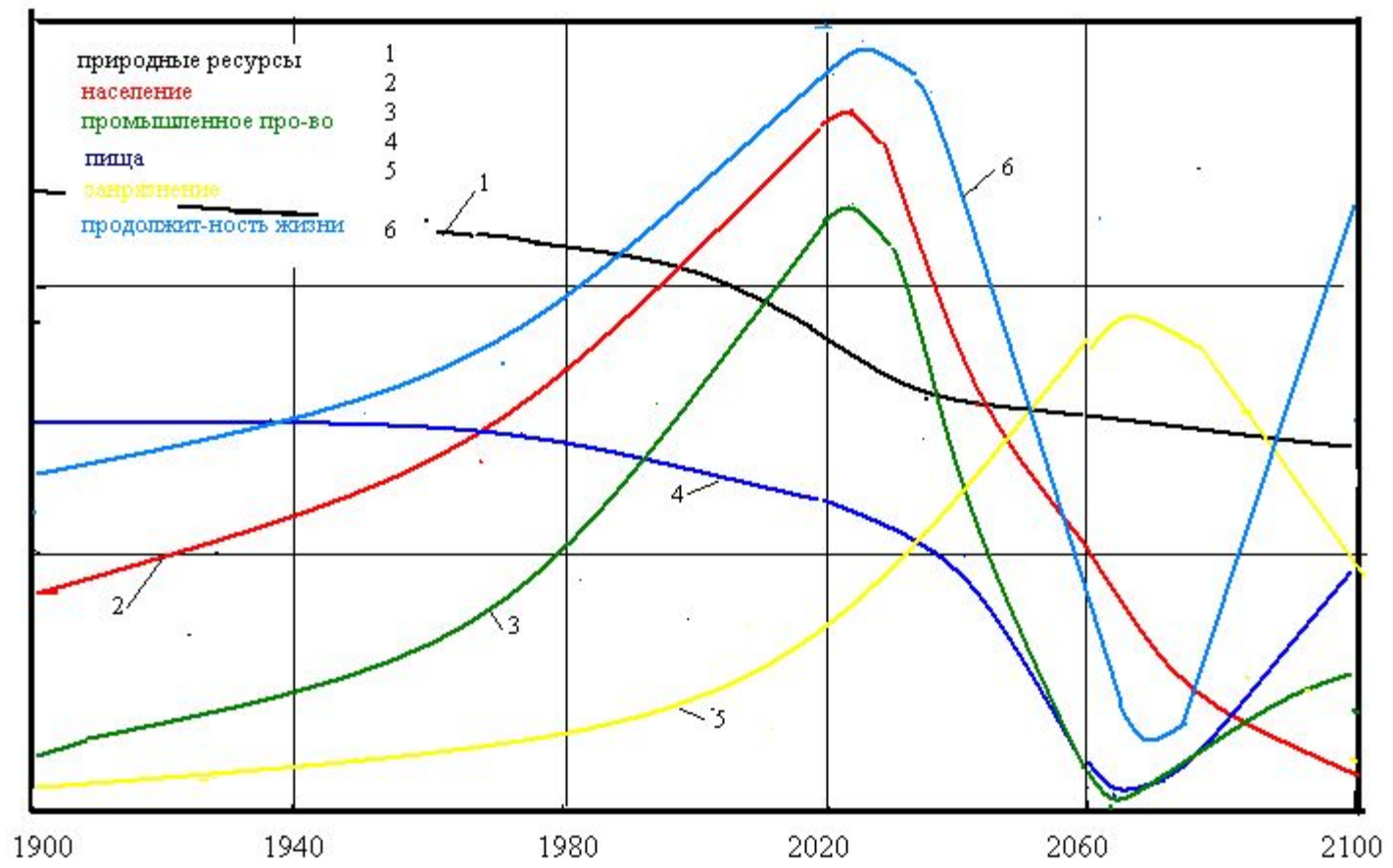
## Модель «мировой динамики» Дж.Форрестера

Базовый вариант "инерционное развитие" человечества



# Модель «мировой динамики» Дж.Форрестера

Катастрофический сценарий развития человечества "истощение ресурсов"



## 2. Государственный уровень

- Макроэкономические модели (модель «500 дней» Г.Явлинского);
- Модели «технологической политики» (стратегия развития КАТЭК);

В современных моделях государственного уровня необходимо учитывать последствия техногенных аварий и стихийных бедствий, т.к.

- В ближайшие годы доля затрат на ликвидацию последствий ЧС в РФ может достигнуть 25%;
  - рост масштабов ЧС (Чернобыль);
- устойчивость общества по отношению к ЧС зависит от состояния экономики и в случае слабой экономики зависит от мировой конъюнктуры;
- глобальные климатические изменения ведут к снижению стабильности урожаев в зонах рискованного земледелия.

## 3. Структура государственного управления

Структура, взаимосвязь субъектов, отношение региона – центр и т.п.

## 4. Регионально-отраслевой уровень

- Экономические модели управления риском для территориально-производственных комплексов субъектов РФ;
- Социально-экономические модели развития отрасли.

## 5. Сценарно – объектовый уровень

Прогнозирование сценариев развития А и К, оценка последствий, разработка мер по предотвращению А и К, смягчению последствий ЧС.

## 3.2 Моделирование нестационарных процессов в техносфере

**Основные признаки закономерностей происшествий (А и К) в техносфере:**

- аварийность и травматизм можно интерпретировать потоками случайных событий с экспоненциальное распределение времени между их появлением ( $P = Ae^{-\lambda t}$ );
- возникновение каждого происшествия является следствием целой цепи соответствующих предпосылок;
- инициаторами и звеньями этой цепи служат ошибки людей, отказы техники и(или) нерасчетные воздействия из вне.

**Типичная причинная цепь техногенного происшествия:**

ошибка человека, отказ техники и/или неблагоприятное внешнее воздействие -> появление опасного фактора (потока энергии или вещества) в неожиданном месте и/или не вовремя -> отсутствие или неисправность средств защиты и/или неточные действия людей в этой ситуации -> распространение и воздействие опасных факторов на незащищенные элементы конструкций, людей и/или ОПС -> причинение ущерба людям, материальным и природным ресурсам вследствие ухудшения их свойств и/или целостности.

# Типовая схема развития техногенной аварии

## Стадия зарождения





## Методы анализа риска

*детерминированные;*

*вероятностно-статистические* (статистические, теоретико-вероятностные и вероятностно-эвристические);

*комбинированные*, включающие различные комбинации перечисленных выше методов (детерминированных и вероятностных; вероятностных и нечетких; детерминированных и статистических).

*Детерминированные* методы предусматривают анализ последовательности этапов развития аварий, начиная от исходного события через последовательность предполагаемых отказов до установившегося конечного состояния. Ход аварийного процесса изучается и предсказывается с помощью **математических имитационных моделей**. Недостатками метода являются: возможность упустить редко реализующиеся, но важные цепочки развития аварий; сложность построения адекватных математических моделей; необходимость проведения дорогостоящих экспериментальных исследований.

## Методы анализа риска (продолжение)

*Вероятностно-статистические методы* анализа риска предполагают как оценку вероятности возникновения аварии, так и расчет относительных вероятностей того или иного пути развития процессов. При этом анализируются разветвленные цепочки событий и отказов, выбирается подходящий математический аппарат и оценивается полная вероятность аварии. Расчетные математические модели при этом можно существенно упростить по сравнению с детерминированными методами. Основные ограничения метода связаны с **недостаточной статистикой по отказам оборудования**. Кроме того, применение упрощенных расчетных схем **снижает достоверность** получаемых оценок риска для тяжелых аварий. Тем не менее, вероятностно-статистический метод в настоящее время считается одним из наиболее перспективных. На его основе построены различные методики оценки рисков, которые в зависимости от имеющейся исходной информации делятся на:

- **статистические**, когда вероятности определяются по имеющимся статистическим данным (при их наличии);
  - **вероятностные**, которые в свою очередь подразделяются:
    - *теоретико-вероятностные*, используемые для оценки рисков от редких событий, когда статистика практически отсутствует;
    - *вероятностно-эвристические*, основанные на использовании субъективных вероятностей, получаемых с помощью экспертного оценивания.

## Рекомендации по выбору методов анализа

риска

Метод	Вид деятельности				
	Размещение (предпроект- ные работы)	Проектиро- вание	Ввод или вывод из эксплуата- ции	Эксплуа- -тация	Реконст- -рукция
1	2	3	4	5	6
Анализ «Что будет, если..?»	0	+	++	++	+
Метод проверочного листа	0	+	+	++	+
Анализ опасности и работоспособности	0	++	+	+	++
Анализ видов и последствий отказов	0	++	+	+	++
Анализ «деревьев отказов и событий»	0	++	+	+	++
Количественный анализ риска	++	++	0	+	++

Примечание: 0 — наименее подходящий метод анализа; + — рекомендуемый метод; ++ — наиболее подходящий метод.

## Методы анализа и оценки техногенного риска

Группа методов	Качественные методы	Количественные методы
1	2	3
<b>Детерминированные методы</b>		
Детерминированные	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Проверочного листа (Check-list)</li> <li>- "Что будет, если?" (What — If)</li> <li>- Анализ вида и последствий отказов — АВПО (Failure Mode and Effects Analysis — FMEA)</li> <li>- Анализ ошибочных действий (Action Errors Analysis — АЕА)</li> <li>- Концептуальный анализ риска (Concept Hazard Analysis - СНА)</li> <li>- Концептуальный обзор безопасности (Concept Safety Review — CSR)</li> <li>- Анализ человеческих ошибок (Human Hazard and Operability - Human - HAZOP)</li> <li>- Логического анализа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Методы, основанные на распознавании образов (кластерный анализ)</li> <li>- Ранжирование (экспертные оценки)</li> <li>- Методика определения и ранжирования риска (Hazard Identification and Ranking Analysis — HIRA)</li> <li>- Анализ вида, последствий и критичности отказа— (АВПКО) (Failure Mode, Effects and Critical Analysis — FMECA)</li> <li>- Методика анализа эффекта домино (Methodology of domino effects analysis)</li> <li>- Методика определения и оценки потенциального риска (Methods of potential risk determination and evaluation)</li> </ul>
<b>Вероятностно-статистические методы</b>		
Статистические	Карты	Контрольные карты
Теоретико-вероятностные	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Причины последовательности несчастных случаев (Accident Sequences Precursor — ASP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Анализ дерева событий</b> (АДС) (Event Tree Analysis — ETA)</li> <li>- <b>Анализ деревьев отказов</b> — АДО (Fault Tree Analysis - FTA)</li> <li>- Оценка риска минимальных путей от инициирующего до основного события (Short Cut Risk Assessment — SCRA)</li> </ul>
Вероятностно-эвристические	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Экспертного оценивания</li> <li>- Метод аналогий для определения сценариев развития аварий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Дерево решений</li> <li>- Вероятностная оценка риска опасных объектов</li> <li>- <b>Балльные оценки</b></li> <li>- Субъективные вероятностные оценки опасных состояний               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Согласование групповых решений на основе коэффициентов конкордации, построение обобщенных ранжировок</li> </ul> </li> <li>- Методы попарных сравнений</li> </ul>

## Качественные методы анализа риска

Метод анализа вида, последствий и критичности отказа (АВПКО, Failure Mode, Effects and Critical Analysis - FMECA)

### Матрица “вероятность-тяжесть последствий”

Ожидаемая частота возникновения (1/год)		Тяжесть последствий			
		Катастрофические последствия	Критические последствия	Некритические последствия	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями
Частый отказ	$>1$	А	А	А	С
Вероятный отказ	$1 - 10^{-2}$	А	А	В	С
Возможный отказ	$10^{-2} - 10^{-4}$	А	В	В	С
Редкий отказ	$10^{-4} - 10^{-6}$	А	В	С	Д
Практически невероятный отказ	$<10^{-6}$	В	С	С	Д

## АНАЛИЗ ВИДОВ, ПОСЛЕДСТВИЙ И КРИТИЧНОСТИ ОТКАЗОВ

### Критерии отказов:

**критерии отказов по тяжести последствий:** *катастрофический* отказ — приводит к смерти людей, существенному ущербу имуществу, наносит невосполнимый ущерб окружающей среде; *критический* (некритический) отказ — угрожает (не угрожает) жизни людей, приводит (не приводит) к существенному ущербу имуществу, окружающей среде; отказ *с пренебрежимо малыми последствиями* — отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий;

**категории (критичность) отказов:** *A* — обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности; *B* — желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности; *C* — рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности; *D* — анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуются.

## Упрощенный метод анализа риска

**Величина риска зависит от трех показателей:**

- частоты реализации риска,**
- тяжести последствий реализации риска,**
- количества людей, подверженных риску.**

**Для её количественного обозначения оцениваются значения этих факторов по четырехбалльной шкале .**

**Определение общего показателя опасности будет производиться путем перемножения значений трех факторов по формуле**

$$ОПО = A \cdot B \cdot C$$

## Оценка частоты реализации риска и тяжести последствий

Частота реализации риска (А)	Тяжесть последствий (В)	Баллы
1	2	3
<p>Часто, возможно и вероятно. Риск действует постоянно во время выполнения деятельности или может быть реализован в любой момент выполнения деятельности</p>	<p>Большая: смертельный случай, повреждения, переломы, постоянная нетрудоспособность, включая постоянное заболевание или более 20 дней отсутствия</p>	4
<p>Иногда, т.е. возможно. Риск действует один или несколько раз за смену или 1 или несколько раз за 8 часов профессиональной деятельности.</p>	<p>Средняя: повреждения, травмы (менее 20 дней отсутствия)</p>	3
<p>Редко. Зафиксированы единичные случаи реализации риска в прошедшем или текущем году и/или существует вероятность таких единичных случаев.</p>	<p>Микротравма: например, не значительный порез</p>	2
<p>Маловероятно. Случаев реализации риска зафиксировано не было, вероятность реализации риска практически отсутствует.</p>	<p>Опасности для здоровья не существует</p>	1



## Количество людей, подверженных риску (С)

Количество людей	Баллы
1 до 3 человек	1
4 до 10 человек	2
11 до 30 человек	3
более 30 человек	4

### Определение значимости риска

Количество баллов	Значимость (Уровень риска)	Требуемые действия
Менее 12	незначимый (умеренный, приемлемый риск)	Необходимо поддерживать уровень риска в текущих допустимых пределах для предотвращения его роста. Для этого достаточно применения действующих на момент оценки риска мер управления или применение мер управления аналогичных им.
От 12 до 36	значимый (высокий)	Требуются дополнительные стандартные меры управления риском для его снижения или исключения риска и/или исключения опасности, которая его вызывает (ремонт, проверки, обучение персонала, закупка СИЗ).
Свыше 36	значимый (сверхвысокий)	Требуется разработать и реализовать специальные цели и/или мероприятия для снижения или исключения риска и/или исключения опасности, которая его вызывает.

ТЯЖЕСТЬ	ПОСЛЕДСТВИЯ				ВЕРоятность последствий				
	Люди	Имущество	Окружающ ая среда	Репутация	А	В	С	Д	Е
					Никогда не имело места в отрасли	Имело места в отрасли	Имело места в организац ии или несколько раз в год в отрасли	Имело место на объекте или несколько раз в год в организац ии	Имело место несколько раз в год на объекте
0	Без травм/ущерба для здоровья	Без ущерба	Никакого воздействия	Никакого влияния					
1	Незнач. травма/вред здоровью	Незнач. ущерб	Незначит. воздействие	Незначит. влияние					
2	Небольшая травма/вред здоровью	Небольшой ущерб	Небольшое воздействие	Небольшое влияние					
3	Существенная травма/вред здоровью	Умеренный ущерб	Умеренное Воздействие	Умеренное влияние					
4	ППТ* или до 3-х смертельных случаев	Значит. ущерб	Значительн . Воздействие	Значительн. влияние					
5	Более и3-х смертельных случаев	Крупномасшт . ущерб	Крупномас шт воздействие	Крупномас ш влияние					

**\*Происшествие с полной потерей трудоспособности**

## **Ущерб людям**

**Незначительная травма или вред здоровью** – не влияет на выполнение работ и ежедневную жизнедеятельность.

**Небольшая травма или вред здоровью** - ограничение рабочих функций или прекращение работы на срок до 5 дней или обратимый вред здоровью (например, пищевое отравление).

**Существенная травма или вред здоровью**- временная утрата трудоспособности на срок более 5 дней или необратимый вред здоровью (например, потеря слуха).

**Происшествие с полной утратой трудоспособности или до 3 смертельных случаев** – по причине травмы или проф. заболеваний

**Более 3 смертельных случаев** - по причине травмы или проф. заболеваний.

## **Ущерб имуществу**

**Незначительный ущерб**- работы не остановлены. Затраты менее 10 тыс. дол США

**Небольшой ущерб** - кратковременная остановка работы. Затраты менее 100 тыс. дол. США

**Умеренный ущерб** - частичная остановка, работы можно восстановить. Затраты до 1. млн. дол. США

**Значительный ущерб** - Остановка на срок до 2 месяцев. Затраты до 10 млн. дол. США

**Крупномасштабный ущерб** – существенное или полное прекращение работ. Затраты более 10 млн. дол. США

**Воздействие на ОПС**

***Незначительное воздействие*** - Незначительное воздействие на ОПС на территории предприятия

***Небольшое воздействие*** – Воздействие на ОПС без длительных последствий.

**Пример:** небольшая утечка на территории предприятия, загрязнение грунтовых вод на территории объекта

***Умеренное воздействие*** – ограниченный ущерб ОС. Пример: утечка, требующая удаления большого кол-ва почвы или песка, ущерб водным биоресурсам или растительности, частое превышение лимитов с потенциально долговременным эффектом.

***Значительное воздействие*** – серьезный ущерб ОС, требующий принять серьезные меры для восстановления полезного использования. Пример: разлив на пляже, загрязнение грунтовых вод.

***Крупномасштабное воздействие*** – нанесение долговременного серьезного ущерба ОС, коммерческий ущерб, утрата природных ресурсов на большой площади.

## Определения

### Влияние на репутацию

***Незначительное влияние*** - Осведомленность местной общественности, но без беспокойности, нет освещения в СМИ

***Небольшое влияние*** – беспокойность местной общественности. Освещение в местной прессе.

***Умеренное влияние*** – серьезная беспокойность местной общественности на уровне Сахалинской области, освещение в областной прессе.

***Значительное влияние*** - может развиваться и повлиять на репутацию Кампании, акционеров и/или кредиторов, беспокойность общественности в масштабах страны, повышенное внимание национальных СМИ, освещение в международных СМИ.

***Крупномасштабное влияние*** – серьезное влияние на репутацию Кампании, акционеров и/или кредиторов, повышенное внимание национальных и международных общественности и СМИ, высокая беспокойность Правительств