



**Фукусима:
Уроки которые мы
должны усвоить**

11.03.2011



Прекращение охлаждения
активной зоны (аз)
Утечка радиации
Зона эвакуации 30 км

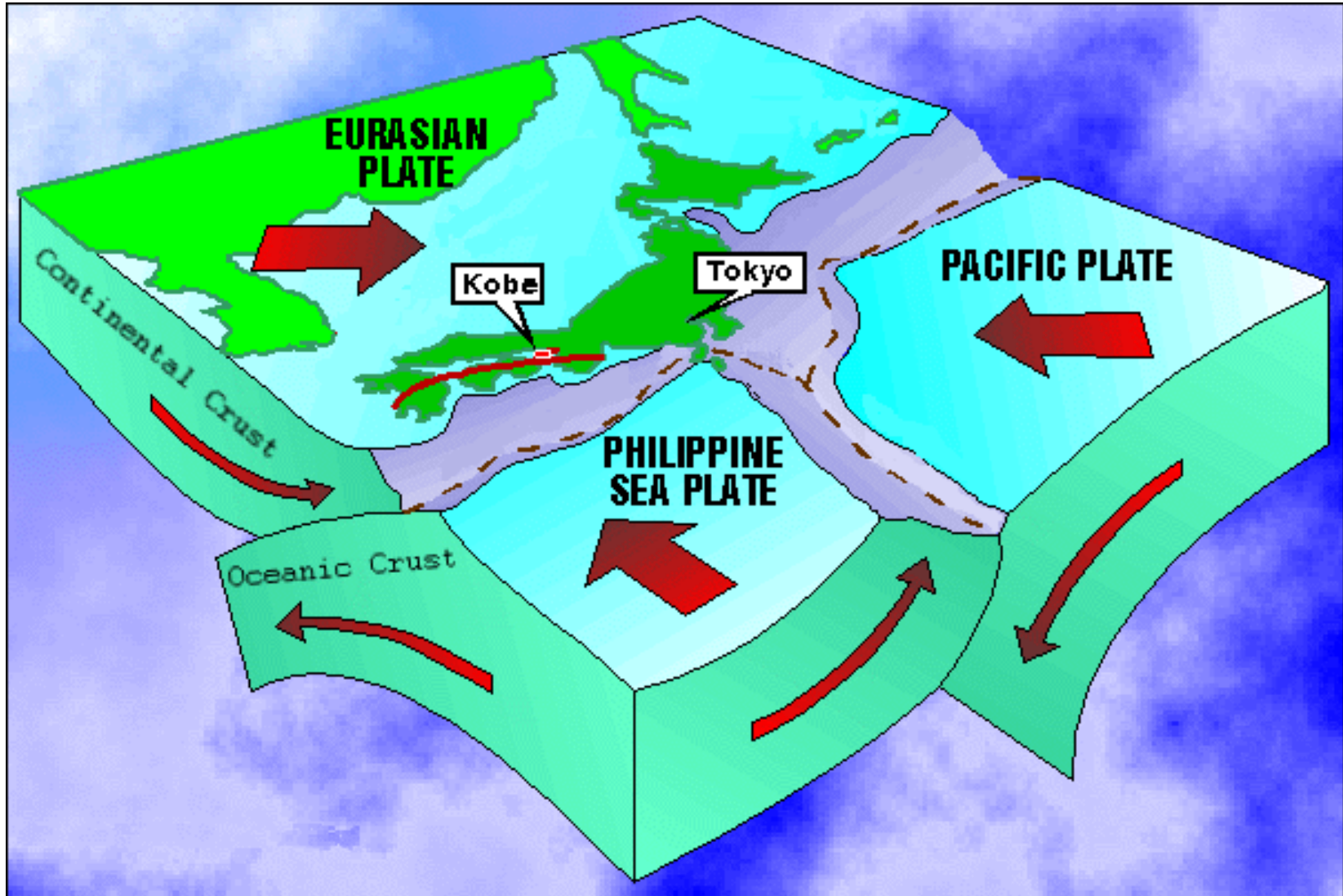
Землетрясение
Тохоку
Магнитуда 9 (Mw)



Цунами,
высота 14 м.



Блоки 1,2,3,4
Потеряли
электроснабжение



Фукусима: Уроки которые мы должны усвоить



- Все блоки АЭС были автоматически остановлены
- Резервные дизель генераторы работали до Цунами

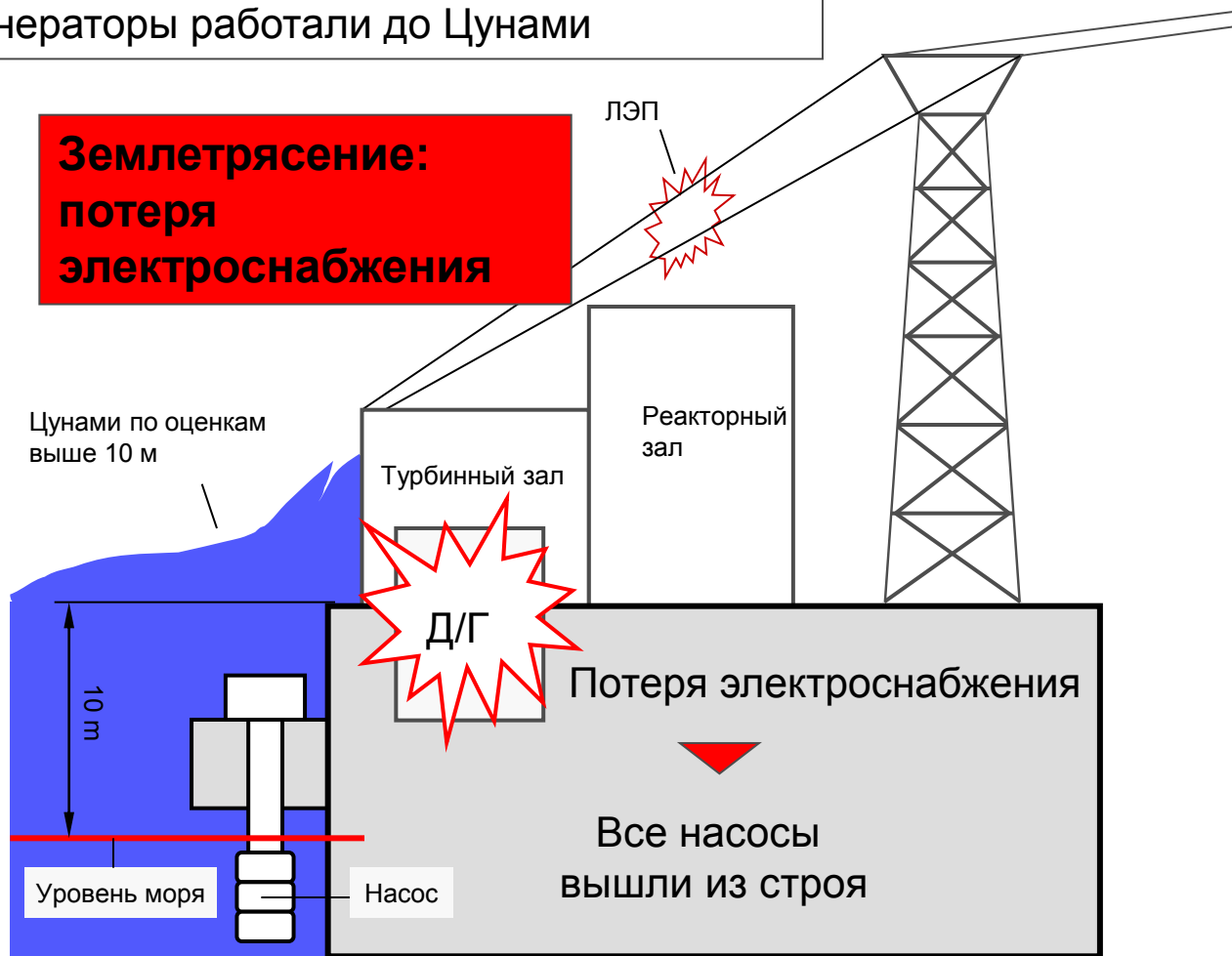


Цунами: 14 м
Проект: 5,7 м



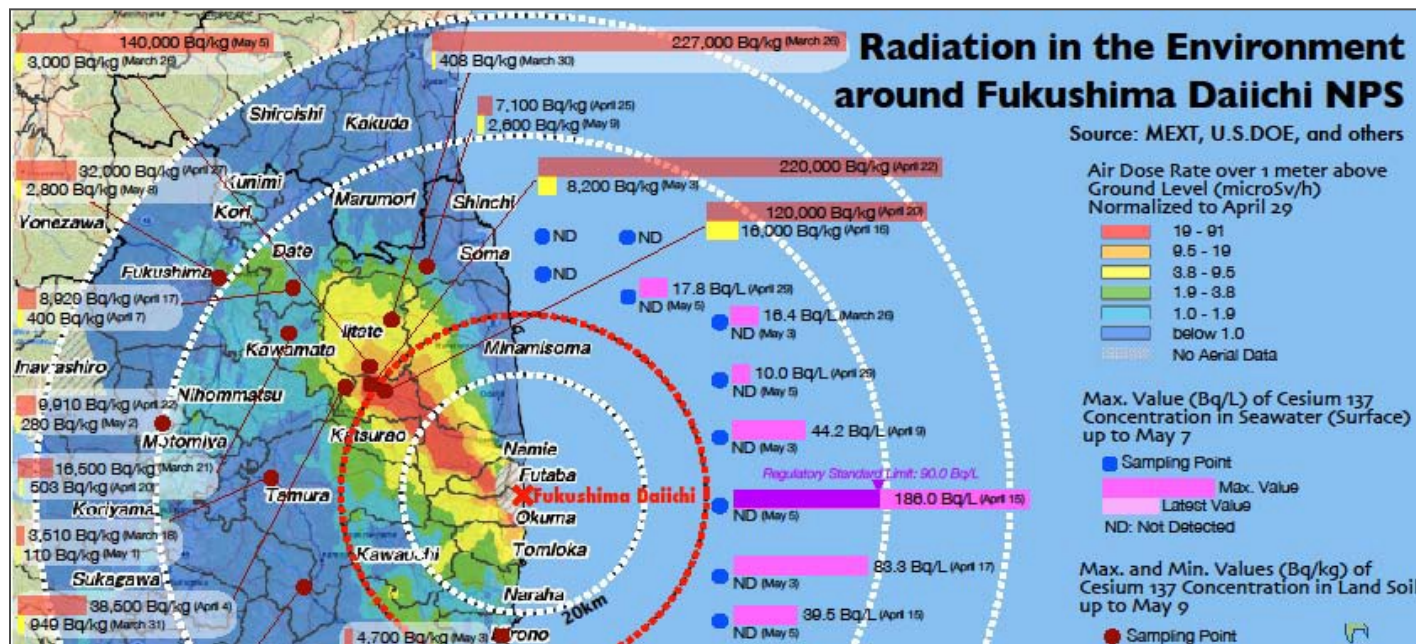
**Землетрясение:
потеря
электропитания**

Цунами по оценкам
выше 10 м



«Три из блоков АЭС Фукусима 1 перегрелись, что привело к плавлению активных зон и в конечном итоге к взрывам, выпустившим большое количество радиоактивных материалов в атмосферу»





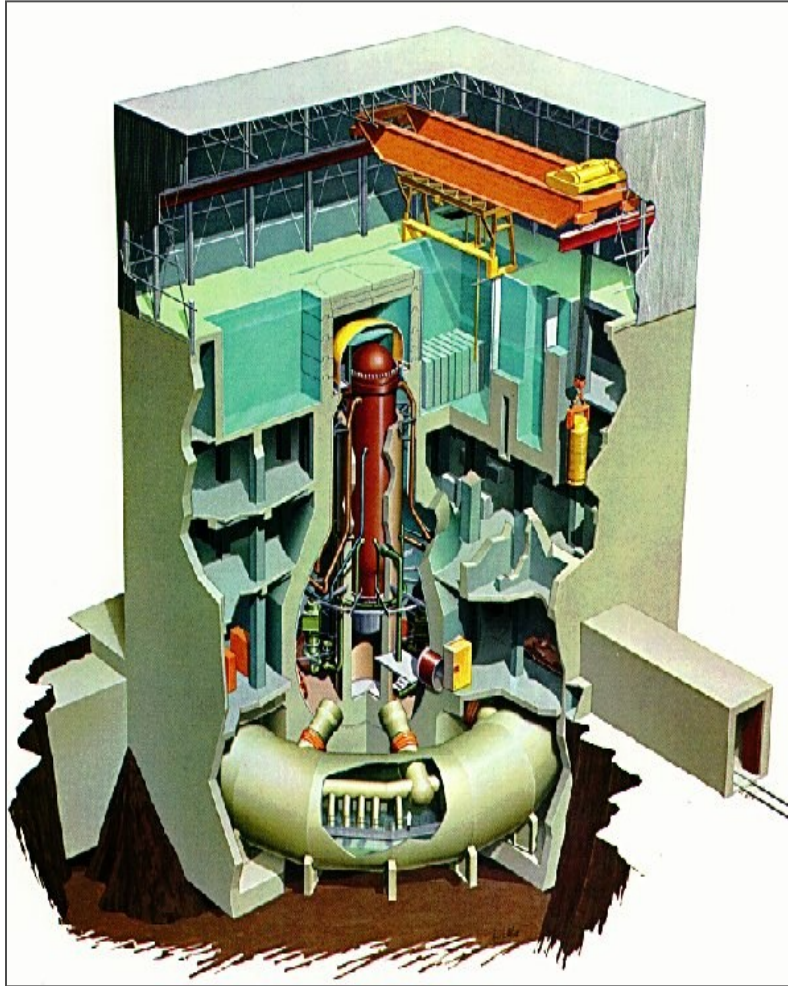
Событиям был присвоен **Уровень 7** по Международной Шкале Ядерных Событий (INES)

(Сильный выброс - тяжёлые последствия для здоровья населения и для окружающей среды)

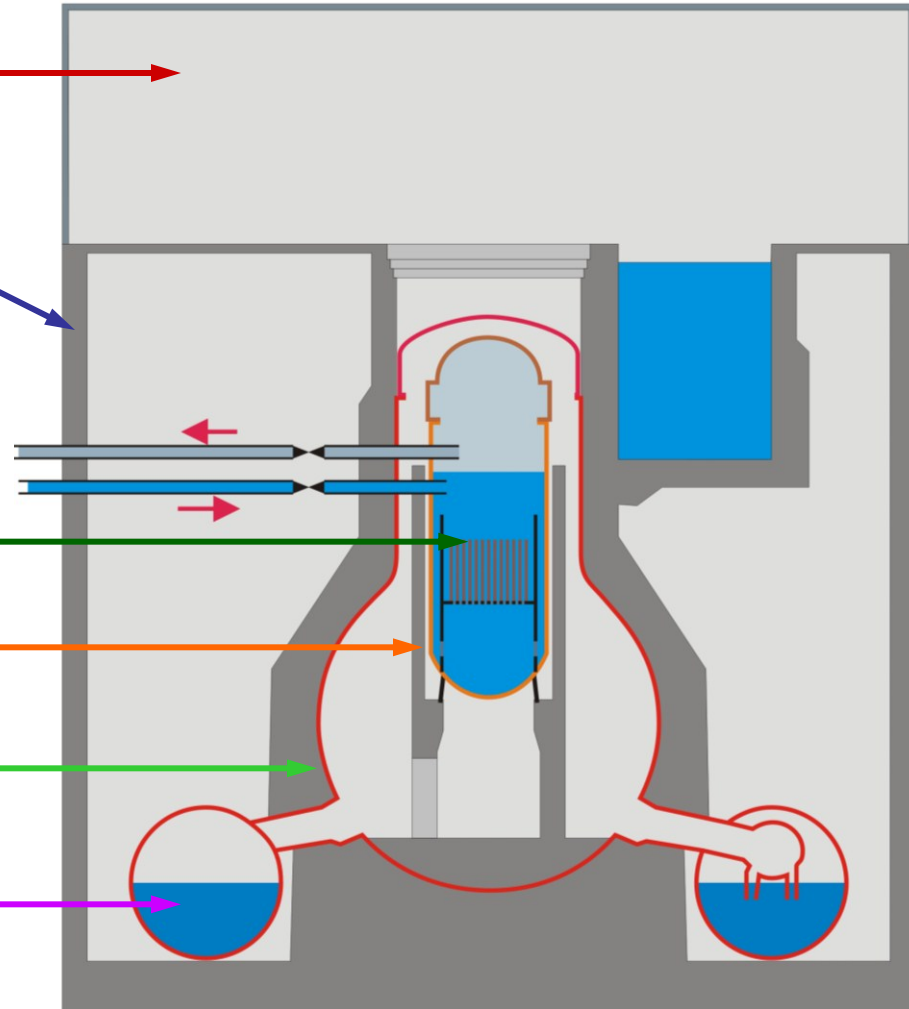
Весь мир сочувствовал японскому народу в дни этой трагедии

Все мы члены международного ядерного сообщества должны взять на себя ответственность за катастрофу, которая произошла у наших коллег

Мы обязаны выучить уроки преподнесенные нам Фукусимой



- ▶ Реакторный зал
(Стальные конструкции)
- ▶ Бетонная оболочка реактора
(вторая гермооболочка)
- ▶ Активная зона
- ▶ Корпус реактора
- ▶ Сухая шахта
- ▶ Барботажный бак
(Конденсационная камера)



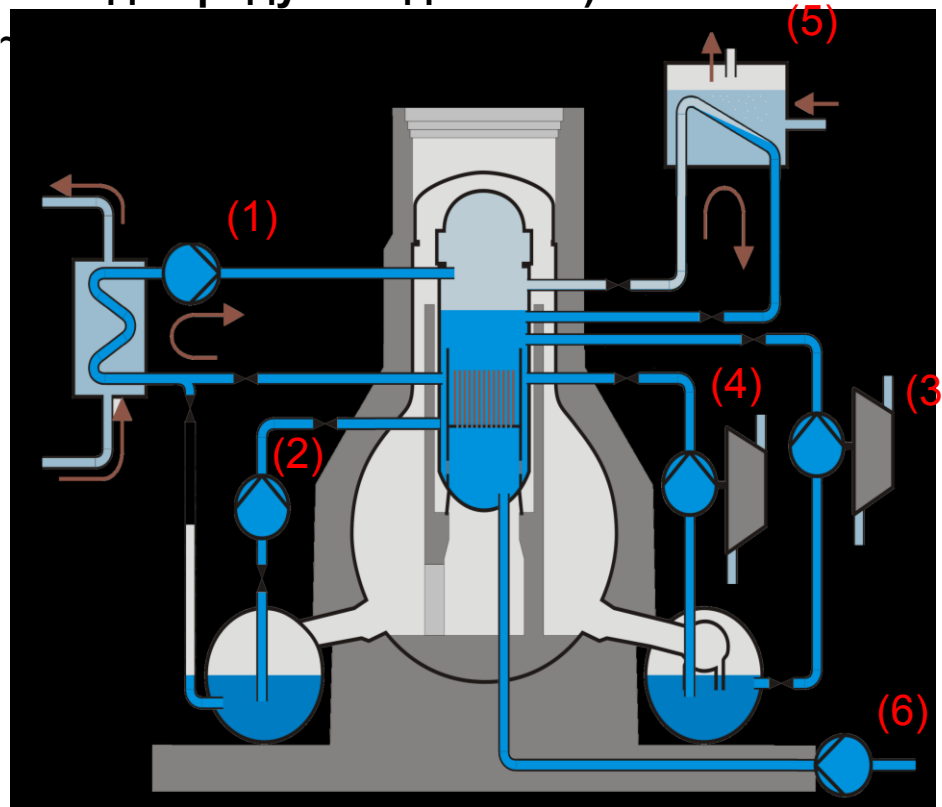
Хронология событий

Остаточное тепловыделение: (из-за распада продуктов деления)

После остановки ~6% Через 1 дней

Аварийная система охлаждения аз

- 1) Система отведения остаточного тепловыделения
- 2) Охлаждения аз низкого давления
- 3) Охлаждение аз высокого давления
- 4) Изолированное охлаждения аз (Блоки 2,3 [BWR4])
- 5) Изолированный конденсатор (Блок1 [BWR3])
- 6) Система борирования



Хронология событий

Фукусима 1 Блок 1

(1) Изолированный конденсатор

- Пар входит в теплообменник
- Конденсат стекает в корпус реактора
- Пар из второго контура выходит из станции

Необходимы насосы для водоснабжения

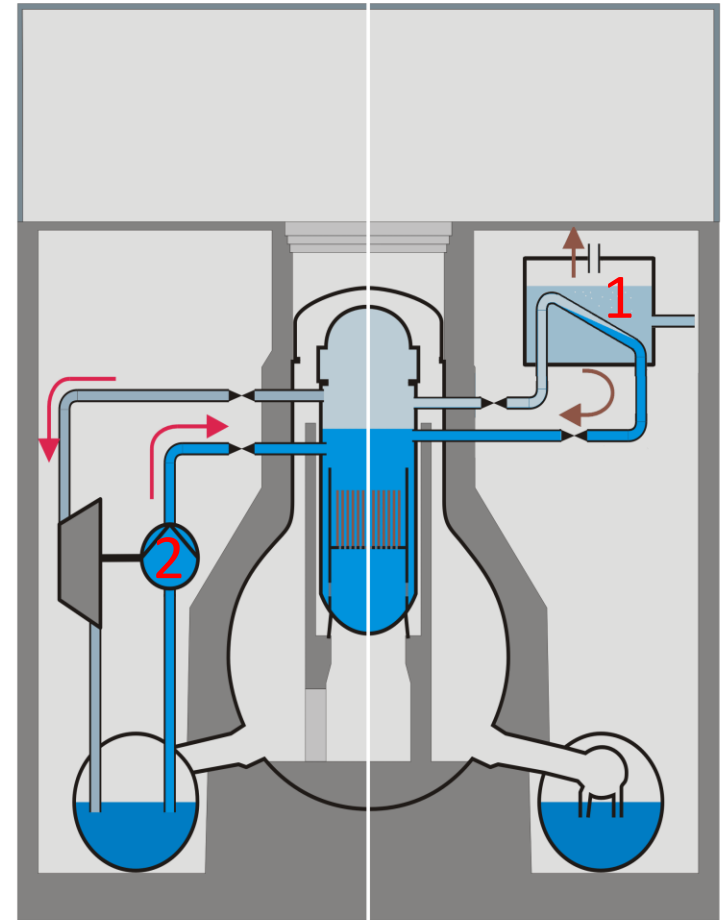
Фукусима 1 Блоки 2 и 3

(2) Изолированное охлаждение аз

- Пар из реактора вращает турбину
- Турбина приводит в движение насос, откачивающий воду из барботажного бака в реактор
- Пар начинает конденсироваться в баке

Необходимо:

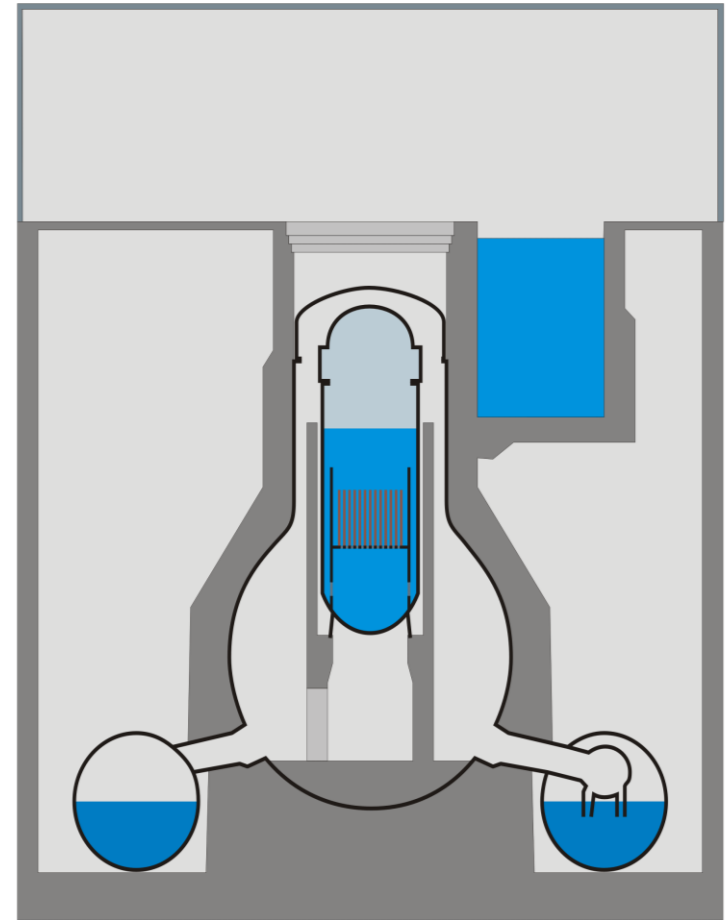
- Подача электроэнергии
- Температура в баке $< 100^{\circ}\text{C}$



Хронология событий

Происходит потеря теплоносителя (LOCA)

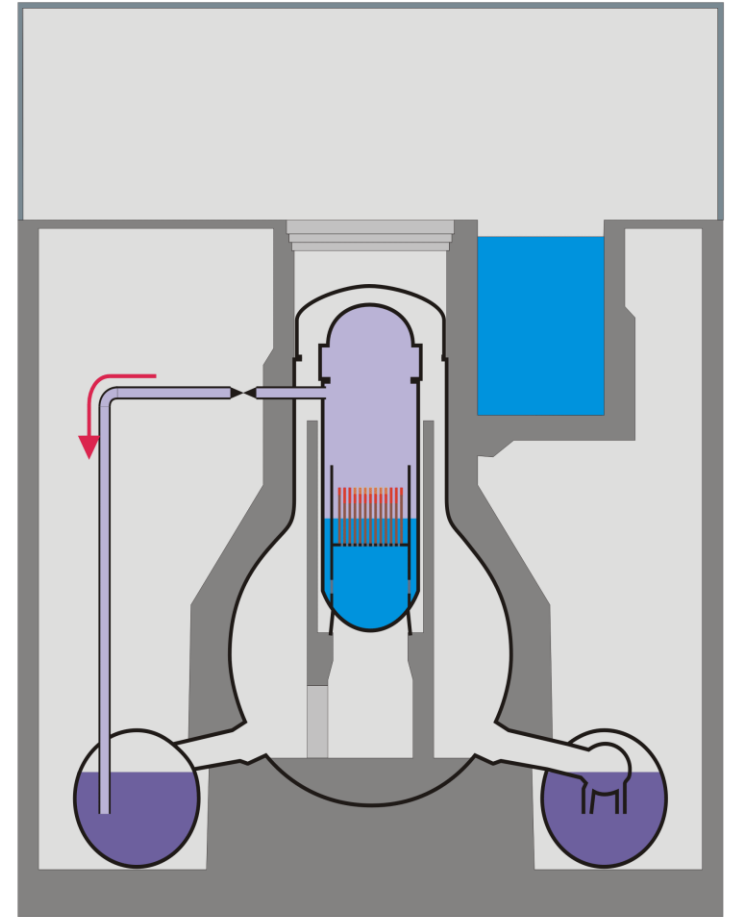
- ▶ **11.3. 16:36 в Блоке 1**
 - ◆ Конденсатор прекращает работу
- ▶ **13.3. 5:30 в Блоке 3**
 - ◆ Насос останавливается
- ▶ **14.3. 13:25 в Блоке 2**
 - ◆ Насос останавливается
- ▶ **Блоки 1-3 лишены какого-либо отвода тепла от активной зоны**



Хронология событий

- ▶ **~50% аз обнажено**
 - ◆ Температура оболочек ТВЭЛов увеличивается, но еще нет существенных повреждений аз

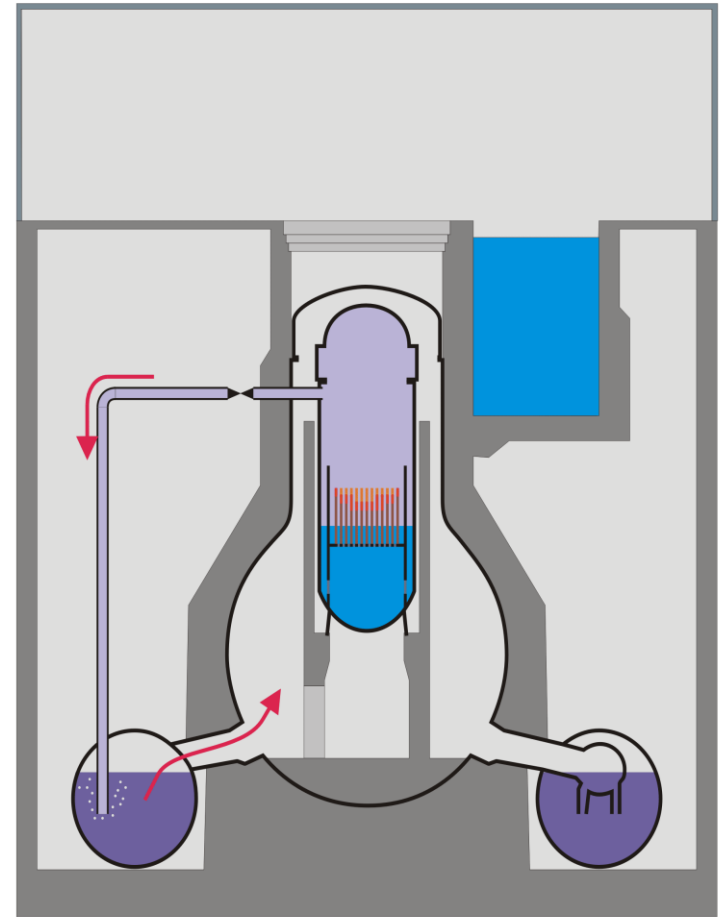
- ▶ **~2/3 аз обнажено**
 - ◆ Температура оболочек превышает $\sim 900^{\circ}\text{C}$
 - ◆ Распухание/ Растрескивание оболочек
 - ◆ Выход продуктов деления из ТВЭЛов



Хронология событий

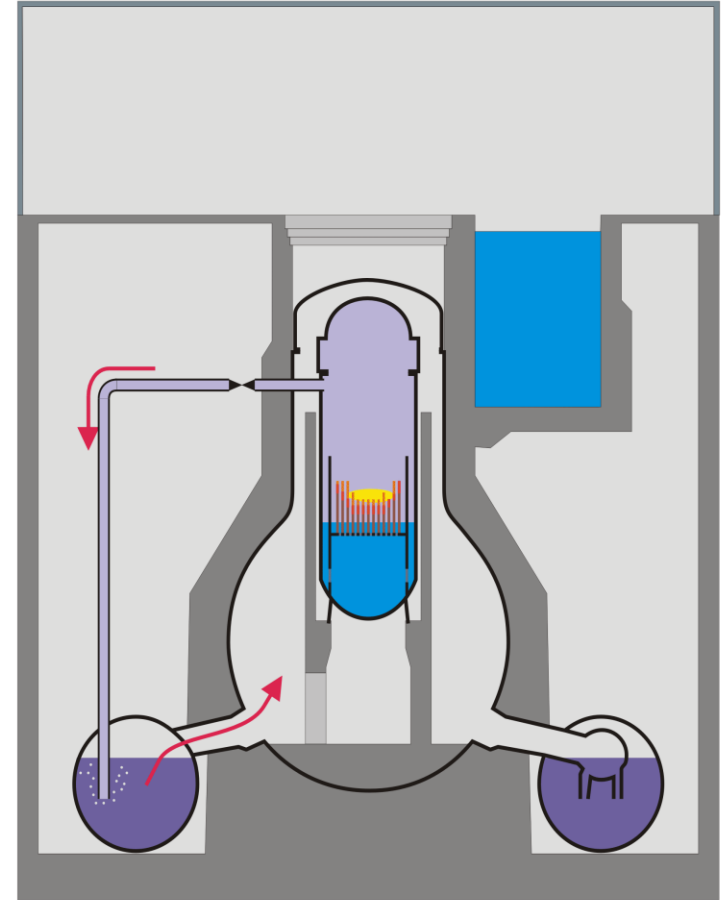
~3/4 аз обнажено

- ◆ Температура оболочек более $\sim 1200^{\circ}\text{C}$
- ◆ Цирконий вступает в реакцию с водой
 $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$
- ◆ Экзотермальная реакция дополнительно нагревает аз
- ◆ Образование водорода
 - Блок 1: 300-600 кг
 - Блок 2/3: 300-1000 кг



Хронология событий

- ▶ При $\sim 1800^{\circ}\text{C}$ [Блоки 1,2,3]
 - ◆ Расплав оболочек
 - ◆ Расплав стальных структур
- ▶ При $\sim 2500^{\circ}\text{C}$ [Блоки 1,2]
 - ◆ Ломаются ТВЭЛы
- ▶ При $\sim 2700^{\circ}\text{C}$ [Блок 1]
 - ◆ Расплав уран-циркониевого эвтектического сплава
- ▶ Подача морской воды в оболочку реактора остановила расплав на всех 3 блоках
 - ◆ Блок № 1: 12.3. 20:20 (27 часов без воды)
 - ◆ Блок № 2: 14.3. 20:33 (7 часов без воды)
 - ◆ Блок № 3: 13.3. 9:38 (7 часов без воды)



Стравливание воздуха

▶ Оболочка (MARK I)

- ◆ Последний барьер между продуктами распада и окружающей средой
- ◆ Толщина стены ~30 мм
- ◆ **Расчётное давление 4-5 бар**

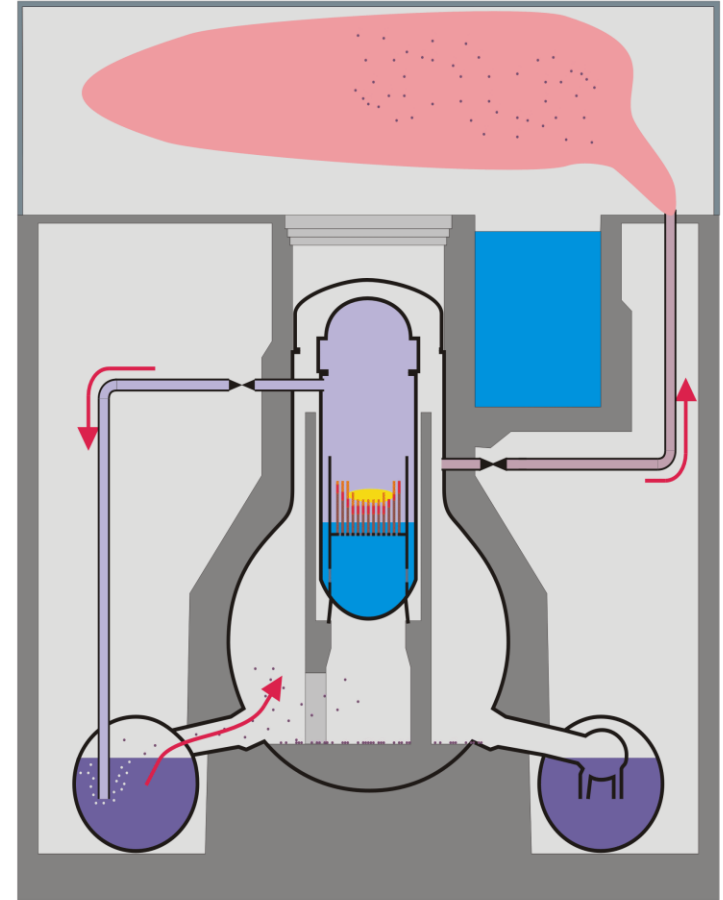
▶ Давление достигло 8 бар

- ◆ Заполнение инертным газом (азот)
- ◆ Водород из-за окисления аз
- ◆ Кипение в конденсаторе

▶ Разгерметизация оболочки

- ◆ Блок 1: 12.3. 4:00
- ◆ Блок 2: 13.3 00:00
- ◆ Блок 3: 13.3. 8:41

Хронология событий

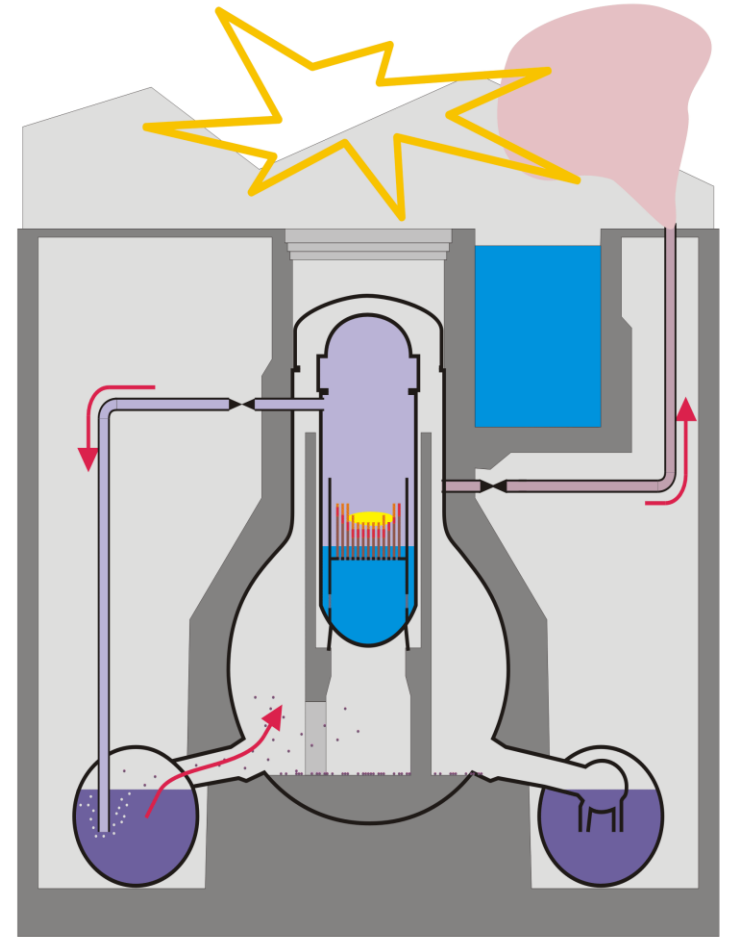


Хронология событий

► Блоки 1 и 3

Происходит взрыв водорода в реакторном зале

- ◆ Разрушение стальной оболочки
- ◆ Железобетонная оболочка выглядит неповрежденной



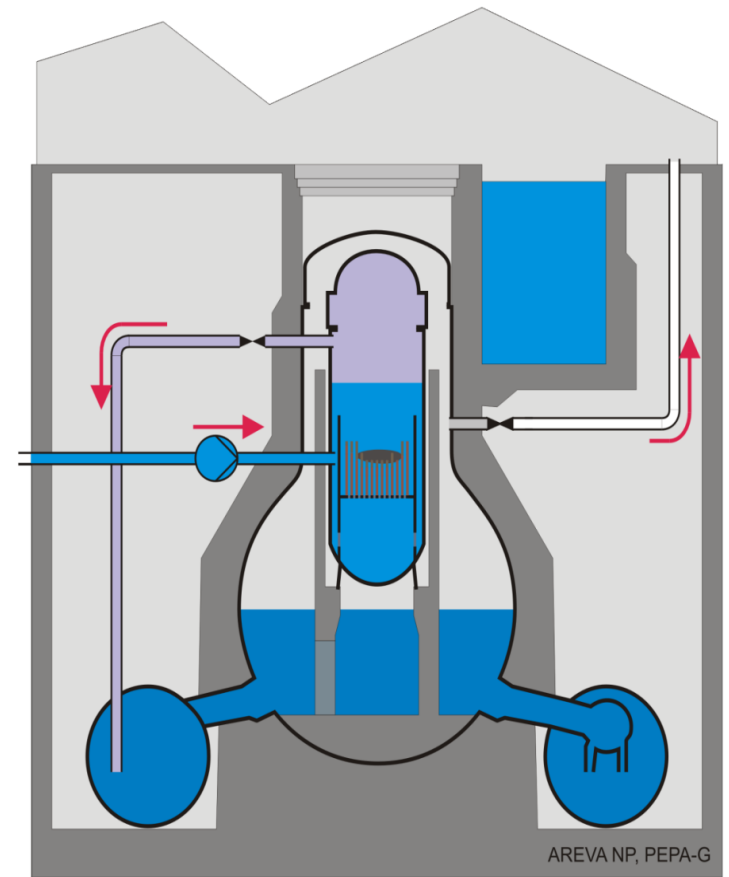
Ликвидация последствий

► Морская вода остановила развитие аварии

- ◆ Нет дальнейшего разрушения аз
- ◆ Температура корпуса реактора снизилась
- ◆ Нет дальнейшего выхода материалов из ТВЭЛ

► Дальнейшее охлаждение реакторов с помощью

- ◆ Блок 1: Конденсатор
- ◆ Блок 2 & 3: Вентиляция



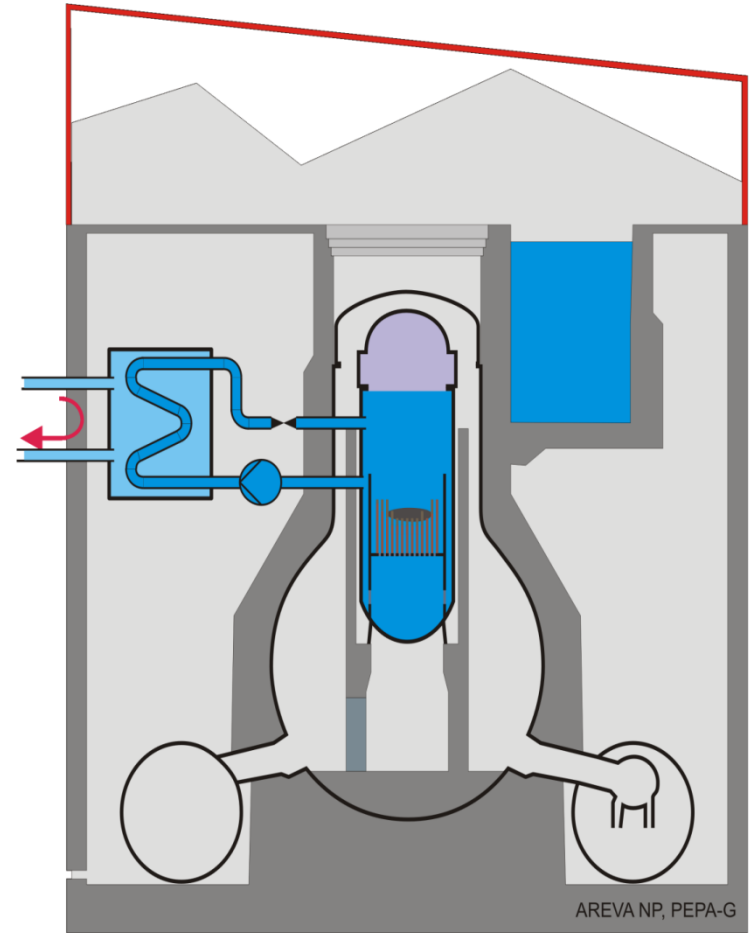
Ликвидация последствий

▶ Краткосрочные меры по восстановлению

- ◆ Улавливатель для продуктов деления на поверхности
- ◆ Введение замкнутых систем охлаждения
- ◆ Уменьшения количества воды в строениях реактора
- ◆ Возвести саркофаг для защиты от внешних воздействий

▶ Долгосрочные меры по восстановлению

- ◆ Построить водоочистительные мощности для обеззараживания воды внутри здания
- ◆ Удалить соль из реакторов
- ◆ Опустошить бассейны ОЯТ
- ◆ Подождать 10 лет для снижения уровня радиоактивности
- ◆ Демонтировать аз реактора



Ликвидация последствий

Позитивные моменты:

Восстановления света в зале управления

Блок 3: Март 22 Блок 2: Март 26

Блок 1: Март 24 Блок 4: Март 29



Урон от аварии

Землетрясение и Цунами

Природная катастрофа
исторических масштабов

Погибших: 25,000 человек

Убытки: \$ 250 миллиардов

Фукусима

Техногенная катастрофа 7
уровня по шкале INES

Смертей от облучения: Нет
Получена доза > 250 мЗв: 6
Выбросы ~ 10% Чернобыля

Консервация: \$ 2.53
миллиардов
(расходы TEPCO)

Уроки

Дизайн
Стареющие конструкции
Накопленный опыт

Нормы и правила
Лицензирование
Контроль

Инженеры

Власть

**Основная цель:
Ядерная безопасность**

Общество

Владелец

СМИ
Принятие риска

Ответственность
Культура безопасности

Уроки для инженеров

ТЕХНОЛОГИИ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**ГЛУБОКОЭЛЕШОНИРОВАННАЯ
ЗАЩИТА
с
ВЕРОЯТНОСТНЫМ АНАЛИЗОМ
РИСКОВ**

**ВНУТРЕННЕПРИСУЩАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ
с
ВЫСОЧАЙШИМИ НАЧАЛЬНЫМИ
ТРЕБОВАНИЯМИ**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ БЕЗОПАСНОСТИ,
ПРИЗВАННЫМ ИСКЛЮЧИТЬ АВАРИЮ ИЛИ СМЯГЧИТЬ ЕЕ
ПОСЛЕДСТВИЯ**

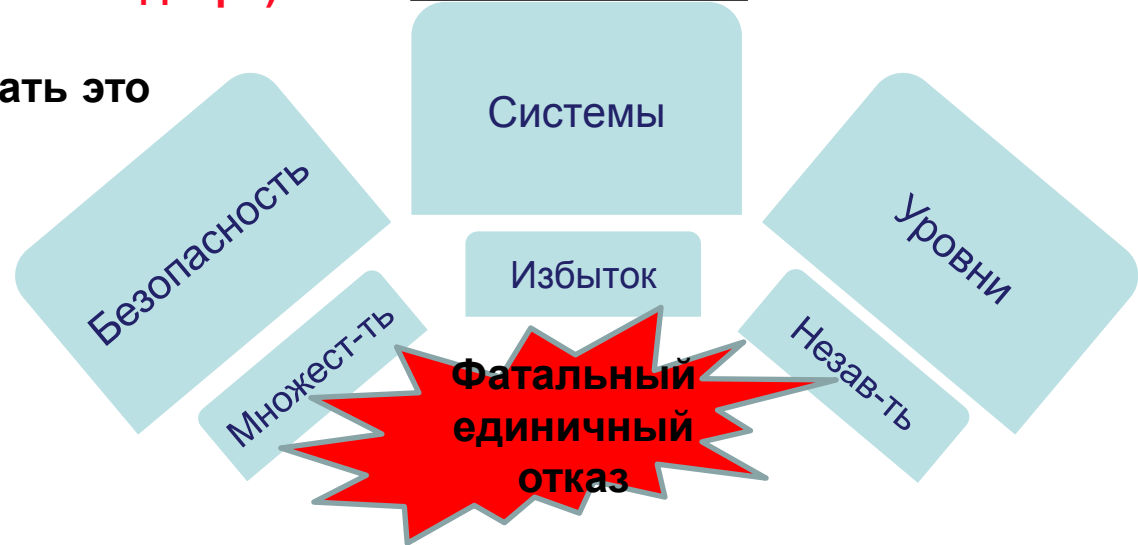
Уроки для инженеров

Глубокоэшелонированная

Защита

Системы ядерной безопасности
(определение комиссии ядерного надзора)

- Остановить и поддерживать это состояние
- Предотвратить выход радиоактивных веществ в атмосферу



Уроки для инженеров

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ
для СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

**МАСШТАБ
(РАЗРУШИТЕЛЬНОСТЬ)
ПОСЛЕДСТВИЙ**

X

**ВОЗМОЖНОСТЬ
(ВЕРОЯТНОСТЬ)
ВОЗНИКНОВЕНИЯ**

Уроки для инженеров

НАДЕЖНЫЙ И БЕЗОПАСНЫЙ ПРОЕКТ АЭС

**Внутренне присущая
безопасность для систем
контроля**



**Пассивные системы
безопасности**

“Внутренне присущая безопасность направлена на:

- Избежание или устранение угроз
- Снижение их масштабов и вероятности появления”

Уроки для инженеров

Недостатки:

**Вероятностная оценка рисков не учитывает
Непрогнозируемые отказы**

**Сложное применение модели
«Отказов по общим причинам»**

**Исследования по системам безопасности (MIT):
“Любая сложная система, не важна насколько хорошо
она была спроектирована и сконструирована не
может быть считаться безаварийной”**

Уроки для инженеров

Катастрофические ядерные инциденты неизбежны

**Показатель безопасности
Частота f расплава аз**

Комитет по ядерному надзору требует: $f < 1$ в 10,000 лет

Современные АЭС: $f < 1$ в 100,000 лет

“Первое и самое важное ядерные аварии случаются...мы никогда не будем уверены что мы абсолютно защищены.”

(John Ritch, Ген Директор, WNA)

**Несоответствие проекта АЭС
возможным угрозам**

После этих уроков мы знаем:

06-11: IAEA Ministerial Conference

- Внешние угрозы
- Ликвидация последствий
- Готовность к ЧП

Доклад японского правительства

IAEA конференция по ядерной безопасности, Вена, 21 Июня 2011

Уроки для инженеров

**НЕЛЬЗЯ БЫТЬ УВЕРЕННЫМ НА 100%- АВАРИИ МОГУТ
СЛУЧАТЬСЯ**

**ГЛОБАЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ТЕХНОЛОГИЯХ
БЕЗОПАСНОСТИ**

СООТВЕТСТВУЮЩАЯ ОЦЕНКА И ЗАЩИТА ОТ ВНЕШНИХ УГРОЗ

**ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ
-ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ И ВНУТРЕННЕ
ПРИСУЩЕЙ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ-
С УЧЕТОМ ПОСЛЕДНИХ РАЗРАБОТОК**

Культура безопасности

Доклад японского правительства

Япония создаст культуру безопасности...

Развивая ее с помощью системы дополнительного непрерывного образования в сфере безопасности



ПРИВИВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Неотъемлемым элементом системы управления должна быть культура безопасности, определяющая позицию и поведение в отношении безопасности всех соответствующих организаций и лиц.

(IAEA: Fundamental Safety Principles, SGF-1, 3.13)

Культура безопасности

МИР ПОСЛЕ ФУКУСИМЫ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНВЕНЦИЯ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Необходима открытость управляющих компаний к

- Независимым и эффективным нормам

Переоценке внешних угроз

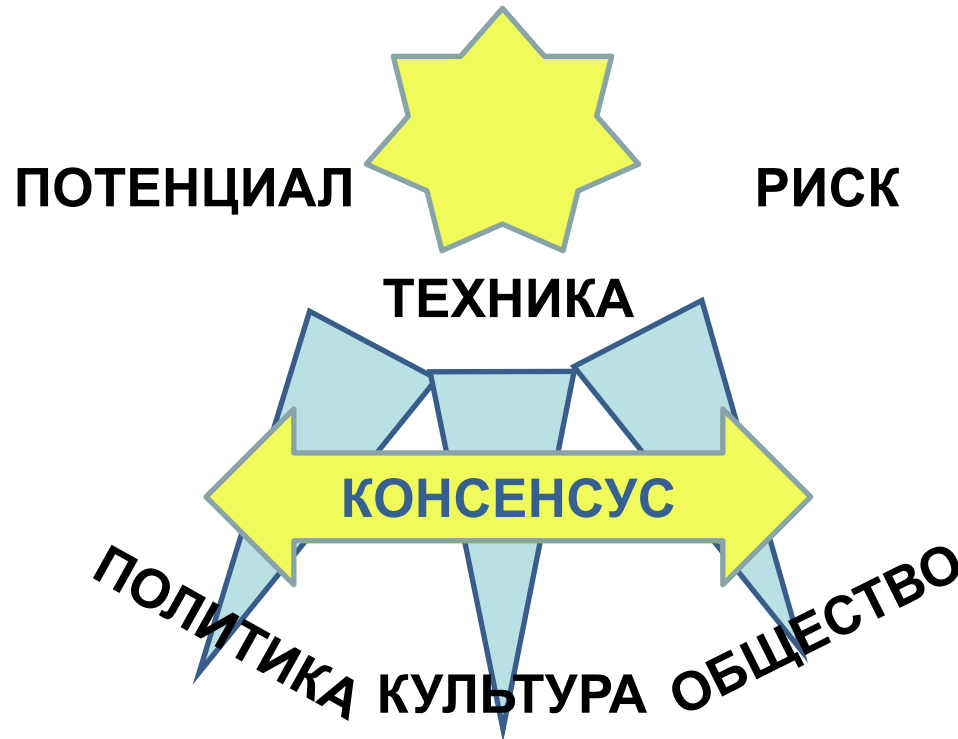
Установление международных стандартов безопасности

Yukiya Amano, General Director of IAEA (June 21):

- Проверки безопасности инспекторами МАГАТЭ на регулярной основе-

Общественное
мнение

*Принимая во внимание негативные отношения к АЭС
Мы все несем ответственность за наше будущее*



Общественное
мнение

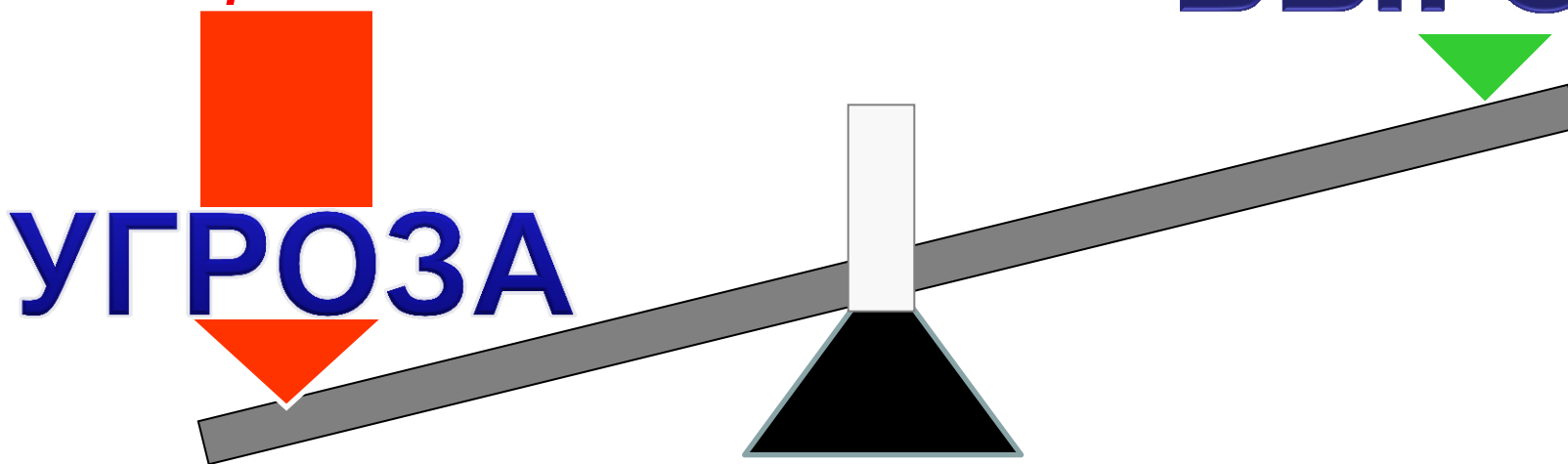
57 ↘ 49

В конечном
итоге мы были
правы

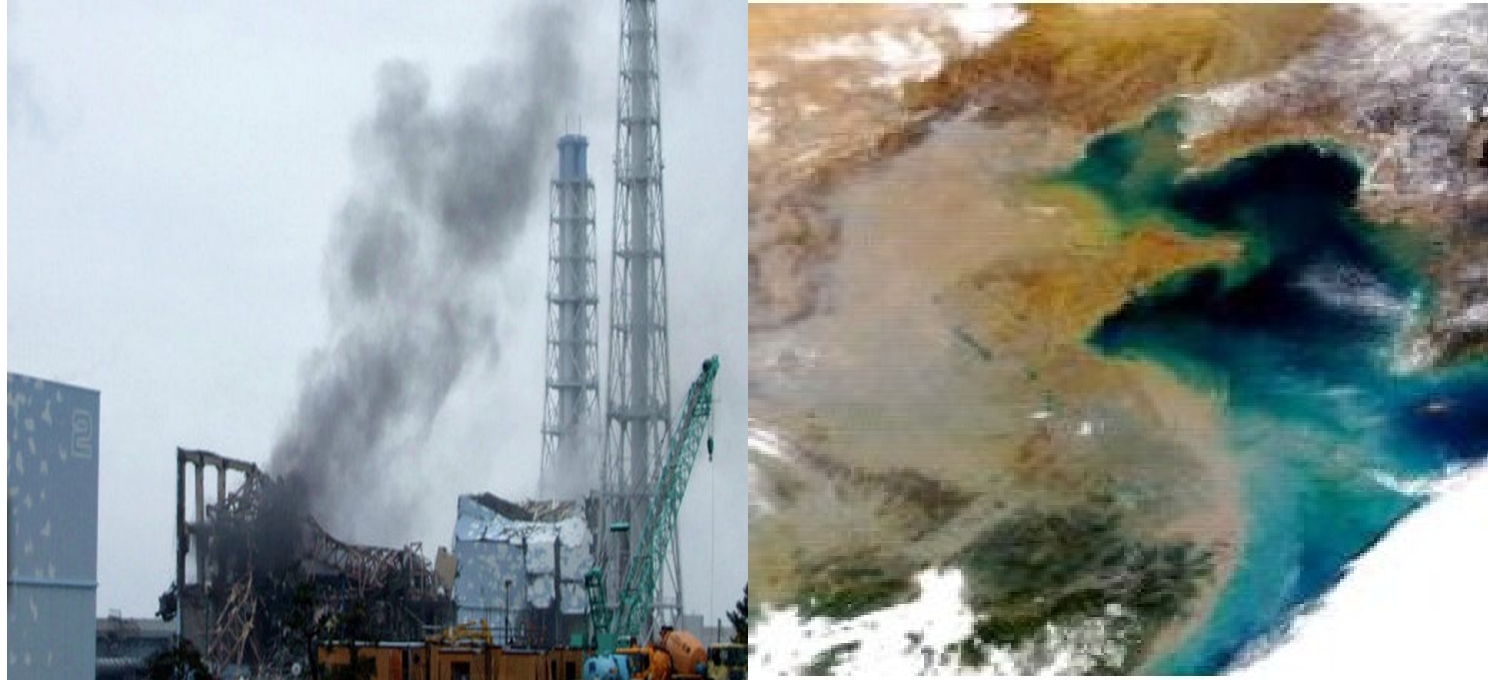
ПЕРЕОСМЫСЛЕНИЕ
ПОЛИТИКИ ОСВЕЩЕНИЯ
СОБЫТИЙ ЧЕРЕЗ СМИ

ВЫГОДА

УГРОЗА

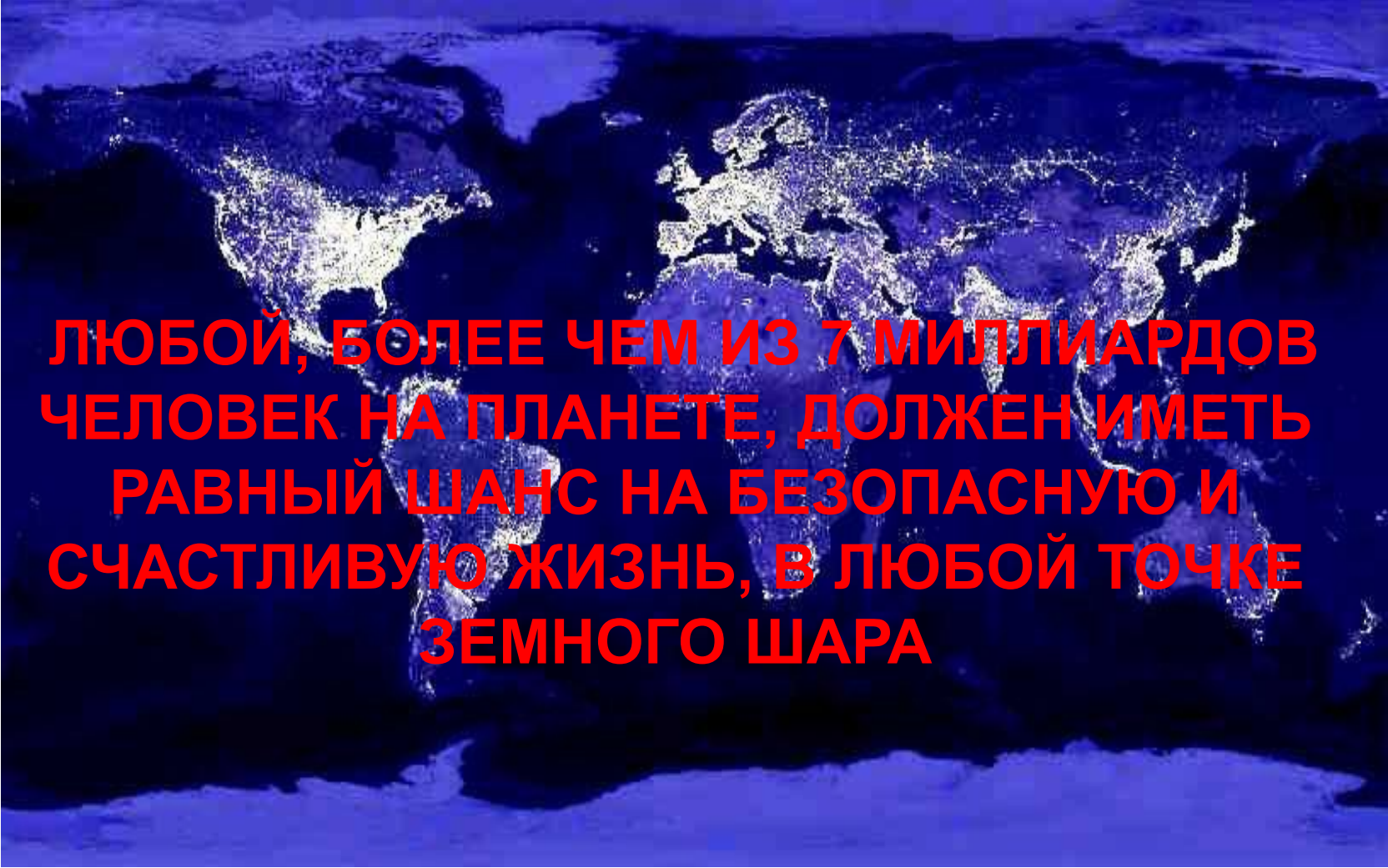


Общественное
мнение



Сделка с дьяволом

**Самый важный урок: давайте работать вместе
на благо мира в котором мы живем**

A satellite-style image of the Earth at night, showing the continents illuminated by city lights. The oceans are dark, and the overall color palette is dominated by deep blues and blacks, with bright white and yellow lights from urban areas.

**ЛЮБОЙ, БОЛЕЕ ЧЕМ ИЗ 7 МИЛЛИАРДОВ
ЧЕЛОВЕК НА ПЛАНЕТЕ, ДОЛЖЕН ИМЕТЬ
РАВНЫЙ ШАНС НА БЕЗОПАСНУЮ И
СЧАСТЛИВУЮ ЖИЗНЬ, В ЛЮБОЙ ТОЧКЕ
ЗЕМНОГО ШАРА**

**Спасибо за Ваше
внимание!**