



MNTK-2012

Восьмая Международная научно-техническая Конференция
«Безопасность, эффективность и экономика
атомной энергетики »

Извлеченные уроки аварии на АЭС «Фукусима-1» для учета с целью обеспечения безопасности АЭС во всем мире

Др. Тадаси НАРАБАЯСИ

Ядерные Системы и Системы регулирования атмосферы
Университет Хоккайдо

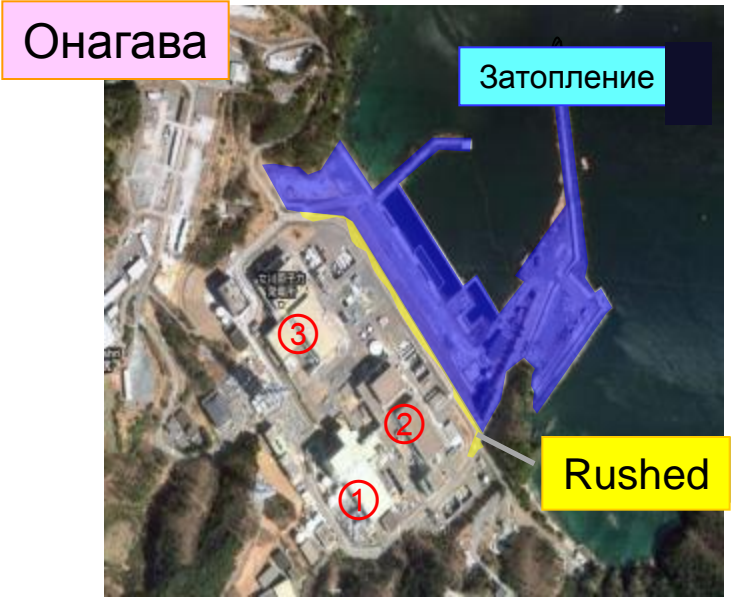
Комитет по Исследованию Ядерной Безопасности
Атомное энергетическое общество Японии



ЦЕЛИ

- 11 марта 2011 года, цунами, вызванное землетрясением в районе Тохоку у побережья Тихого океана, обрушилось на Атомную электростанцию Фукусима Дайичи, принадлежащую Токийской энергетической компании, в результате чего произошли аварии на ядерных установках блоков 1 – 4.
- Для повышения безопасности атомных электростанций в мире, мы искренне и усердно распространяем уроки, извлеченные из аварии и делаем предложения по повышению безопасности.

Зоны затопления цунами на каждой АЭС

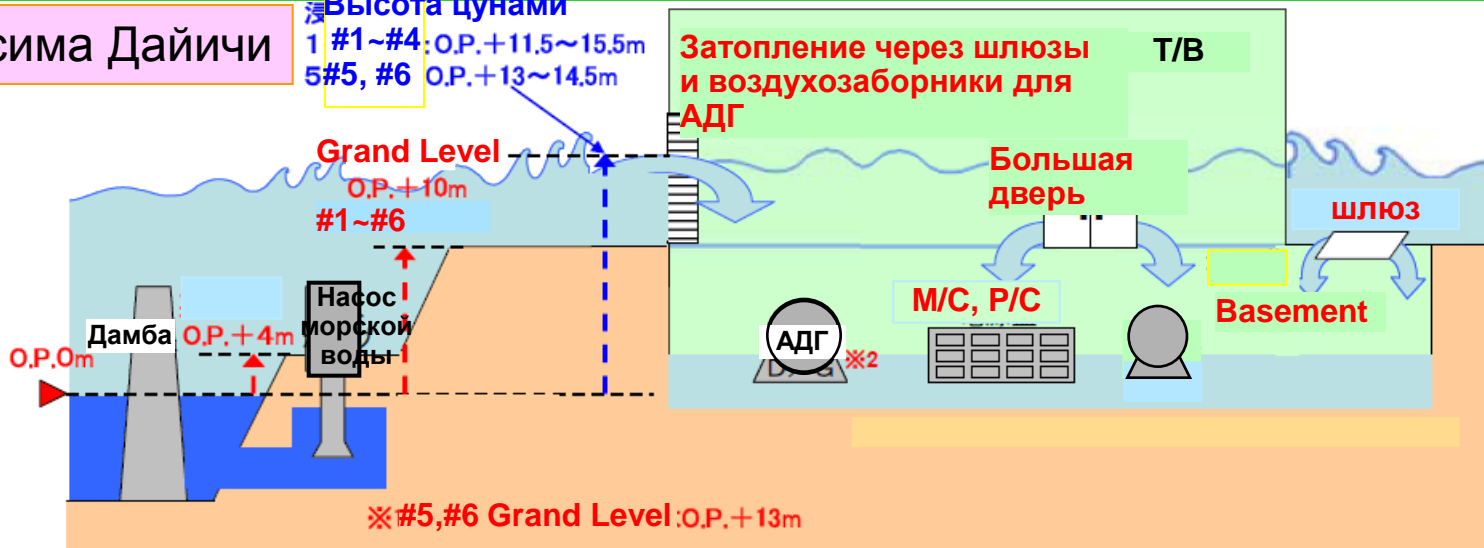


Зоны затопления цунами на каждой АЭС

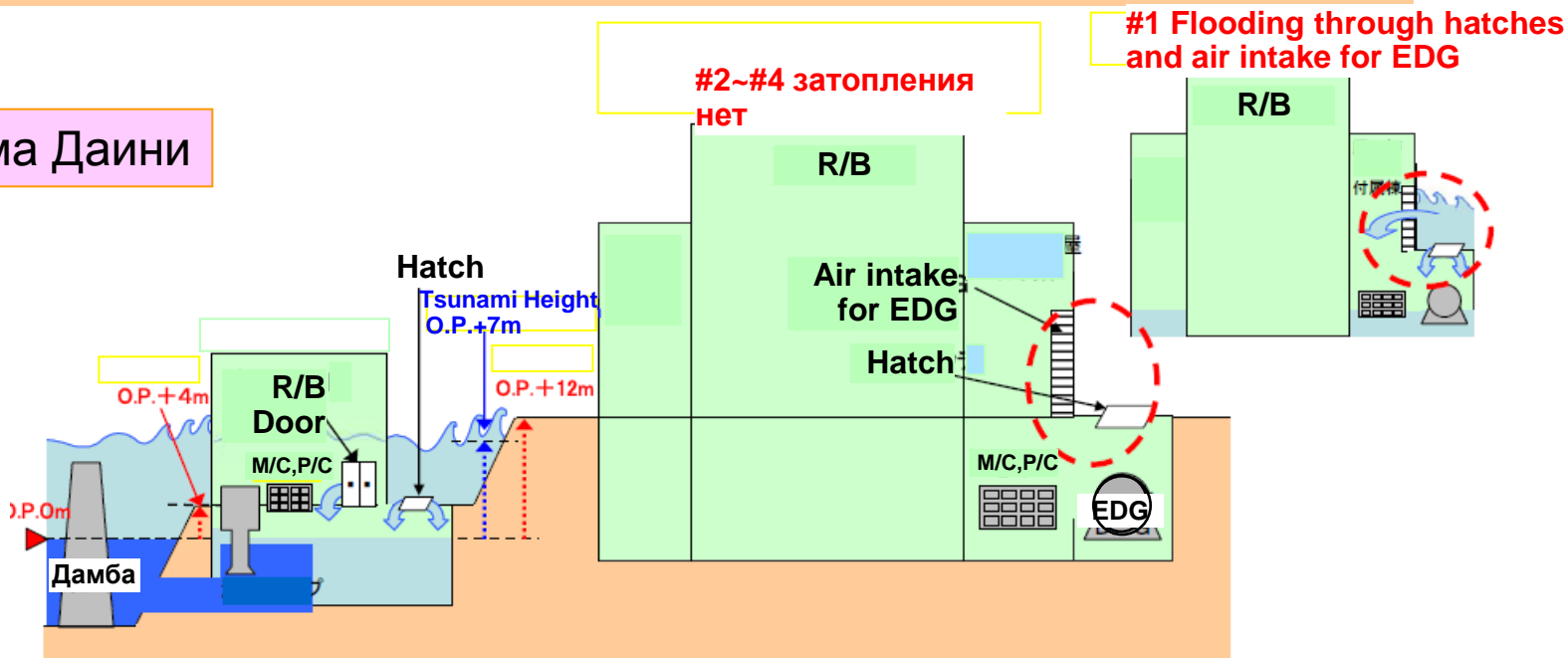
Фукусима Дайичи

Высота цунами

1 #1~#4: O.P.+11.5~15.5m
5#5, #6 O.P.+13~14.5m



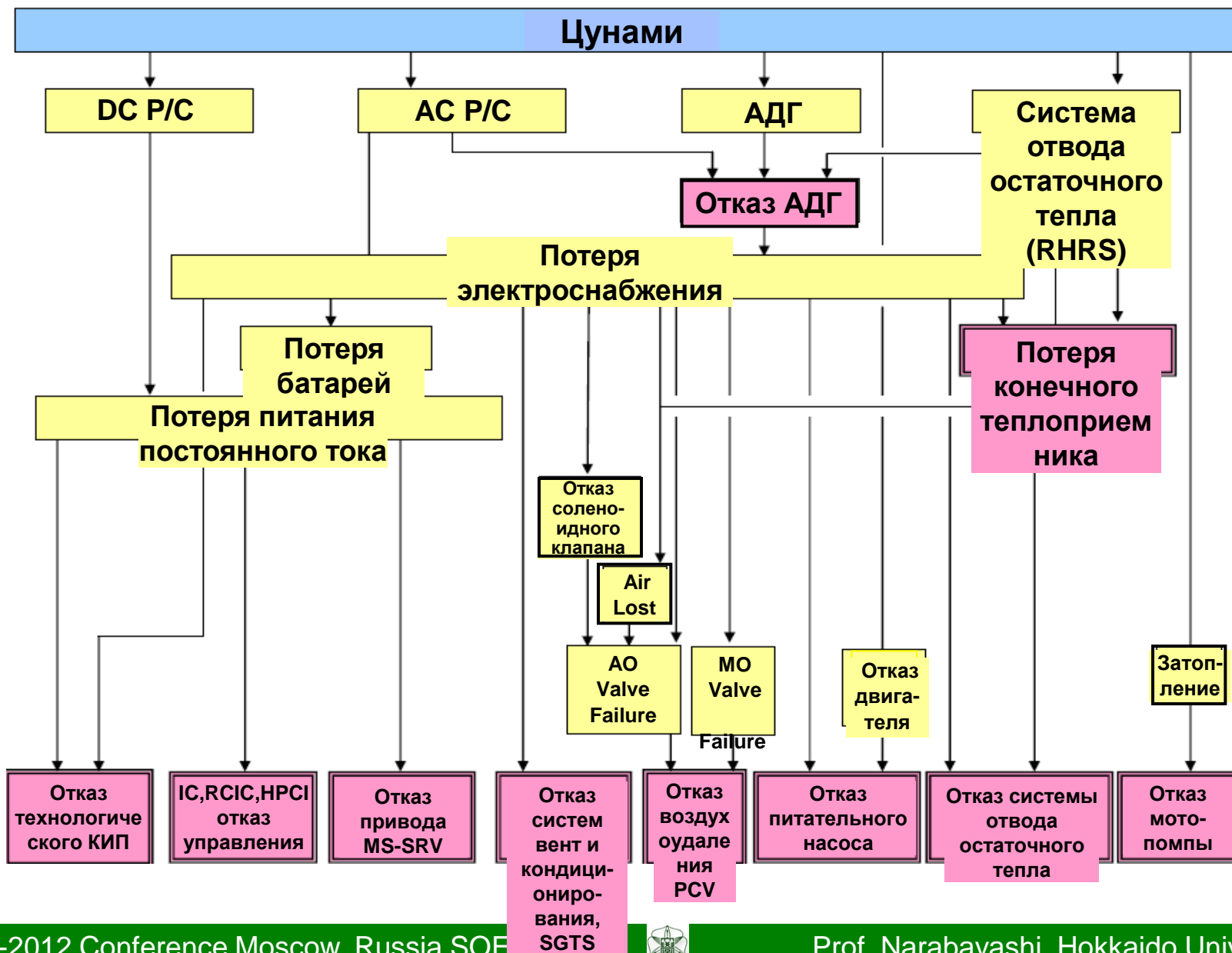
Фукусима Даини



АЭС Фукусима-Дайичи

	#1	#2	#3	#4	#5	#6
ДГ	A:NG B:NG (T/B B1)	A:NG (B1) B:OK (FP/B 1F)	A:NG B:NG (T/B B1)	A:NG (T/B B1) B:OK (FP/B 1F)	A:OK->NG B:OK->NG (T/B B1) Водное охлаждение	A:OK->NG (R/B B1) Водное охлаждение B:OK (DG/B 1F)
Выключатель в металлическом корпусе	NG (T/B B1)	NG (T/B B1)	NG (T/B B1)	NG (T/B B1)	NG (T/B B1)	слабое (R/B B2F)
Энергцентр	NG (T/B B1)	слабое (T/B B1)	NG (T/B B1)	слабое (T/B 1F)	слабое (T/B 2F)	слабое (R/B B2F)
Аккумулятор постоянного тока	NG (C/B B1)	NG (C/B B1)	OK (T/B BM1)	NG (C/B B1)	OK (T/B BM1)	OK (T/B BM1)
CAO3 Система аварийной конденсации (RCIC)	HPCI:NG IC:OK(FC)	NG RCIC:OK	HPCI:OK RCIC:OK	(в КР нет топлива)	-	HPCS:OK (R/B B1)

Фукусима – Дайичи

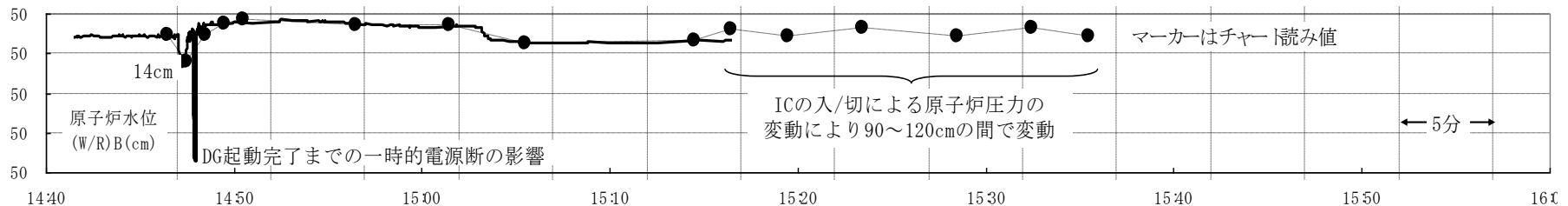
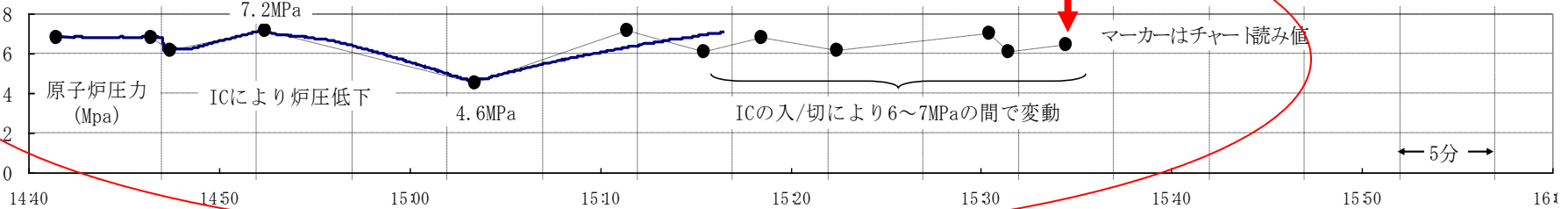


Аварийный конденсатор (конденсатор консервации активной зоны) мог эффективно охладить активную зону

- Аварийные конденсаторы (АК) могли бы охладить активную зону с 7.2МПа до 4.6МПа за примерно 13 мин.
- До цунами, оператор вкл/выкл обратный клапан АК.
- Цунами пришло во время закрытия оператором обратного клапана.

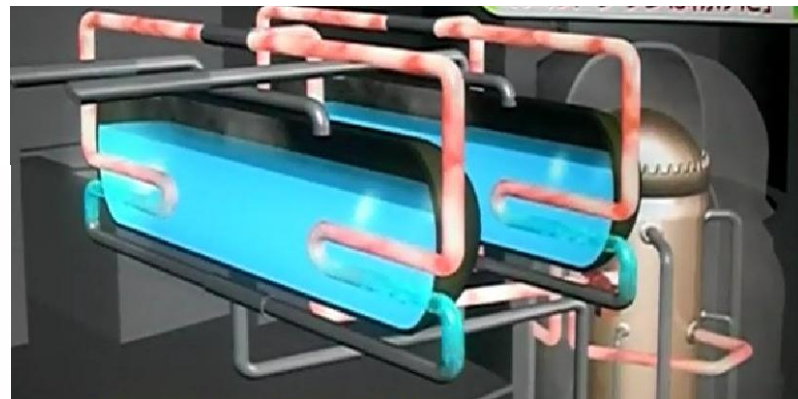
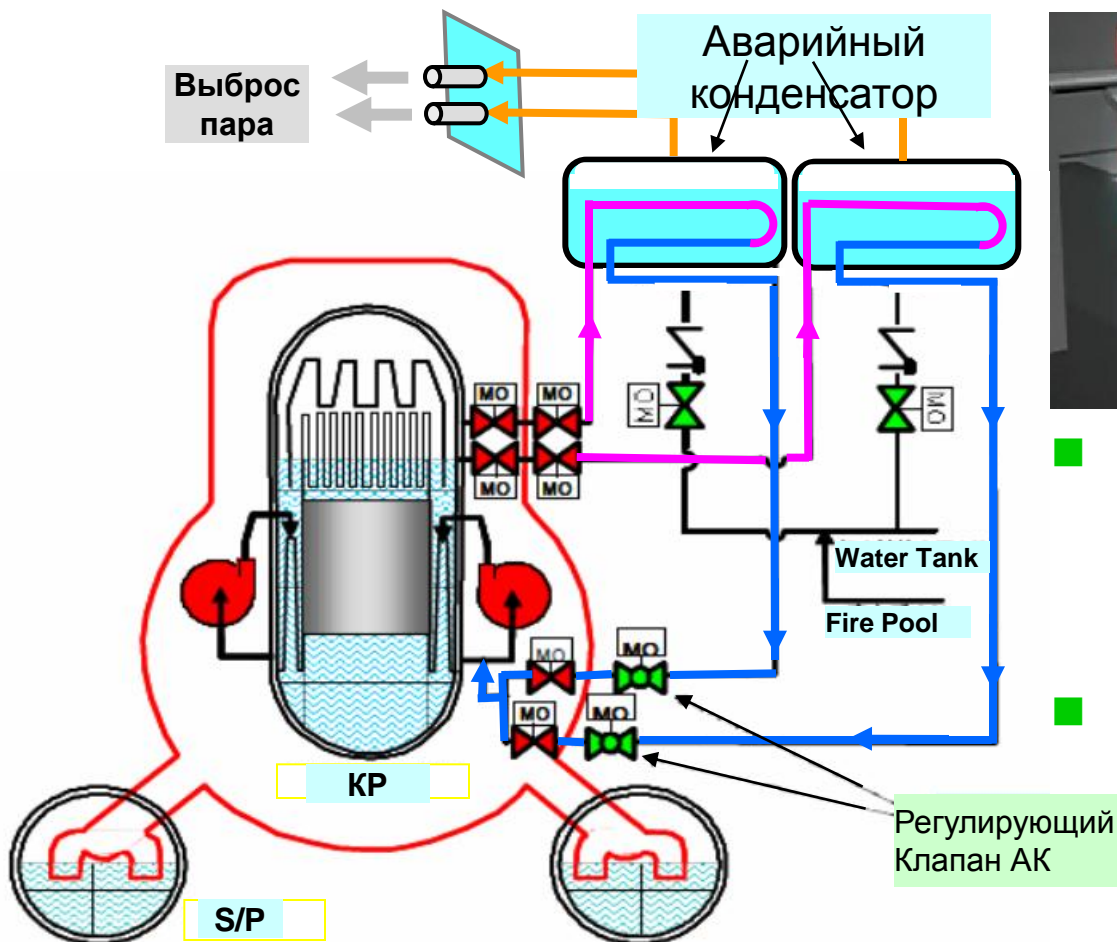
Давление в КР

7.2MPa → 4.6MPa



Аварийные конденсаторы в блоке #1 были остановлены из-за срабатывания FC

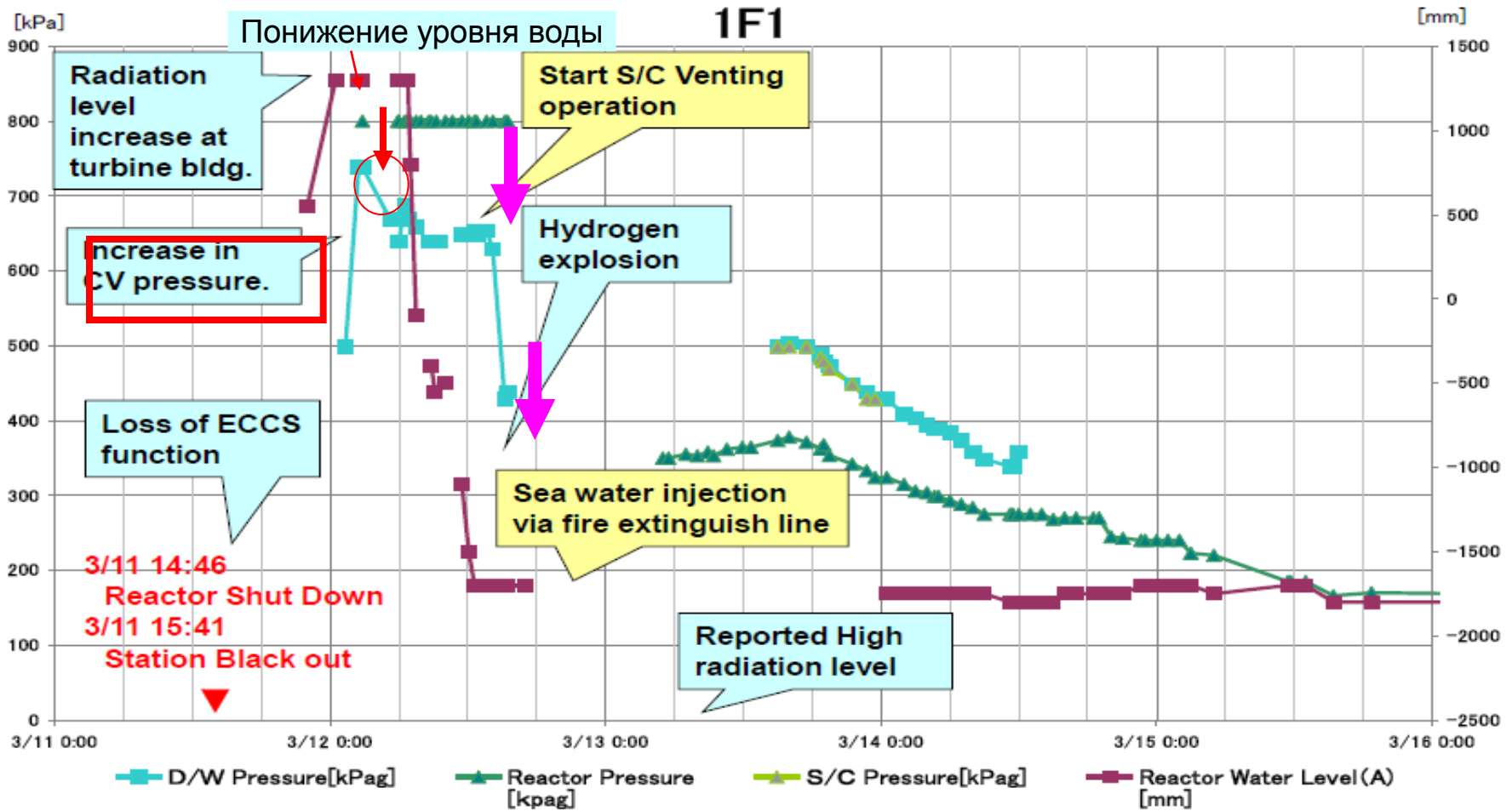
■ Потеря электроснабжения БЩУ от аккумулятора была обусловлена срабатыванием отсечного клапана МО на закрытие при отказе, вследствие чего АК был отсечен. Это была система с риском отказа. Если бы АК продолжил работать, авария вскорости была бы ликвидирована.



- Паровая турбина системы аварийной конденсации также была остановлена из-за потери питания от аккумулятора на блоках 2 и 3.
- S/P температура и давление были настолько велики, что для впрыска воды потребовалось много времени.

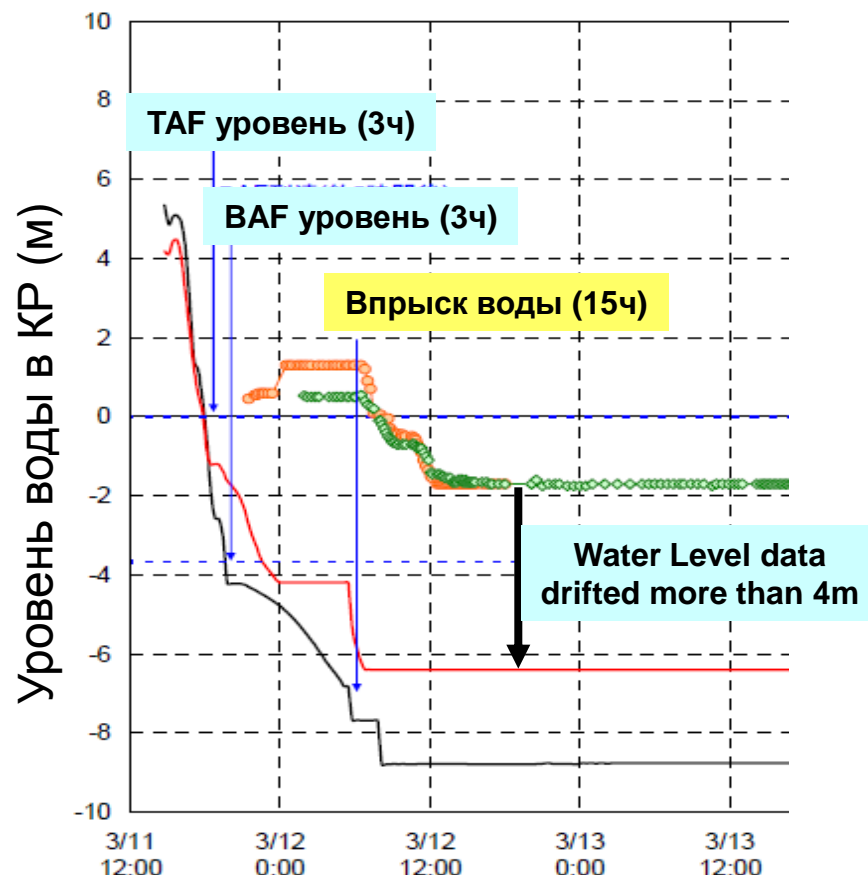
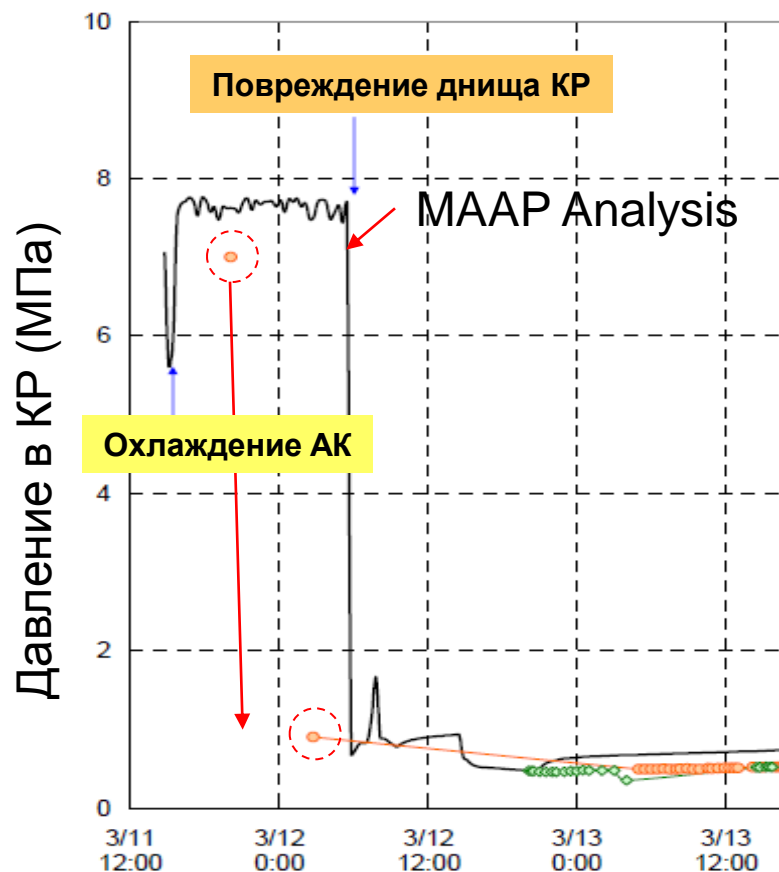
Динамика давления в защитном контейнменте блока 1

- После потери САОР и АК для охлаждения активной зоны, давление в защитном контейнменте увеличилось.
- Уровень воды понижался за счет испарения воды.
- Вырос уровень радиации в Т/В.
- Взрывы водорода последовали после сброса давления через S/C отверстие.



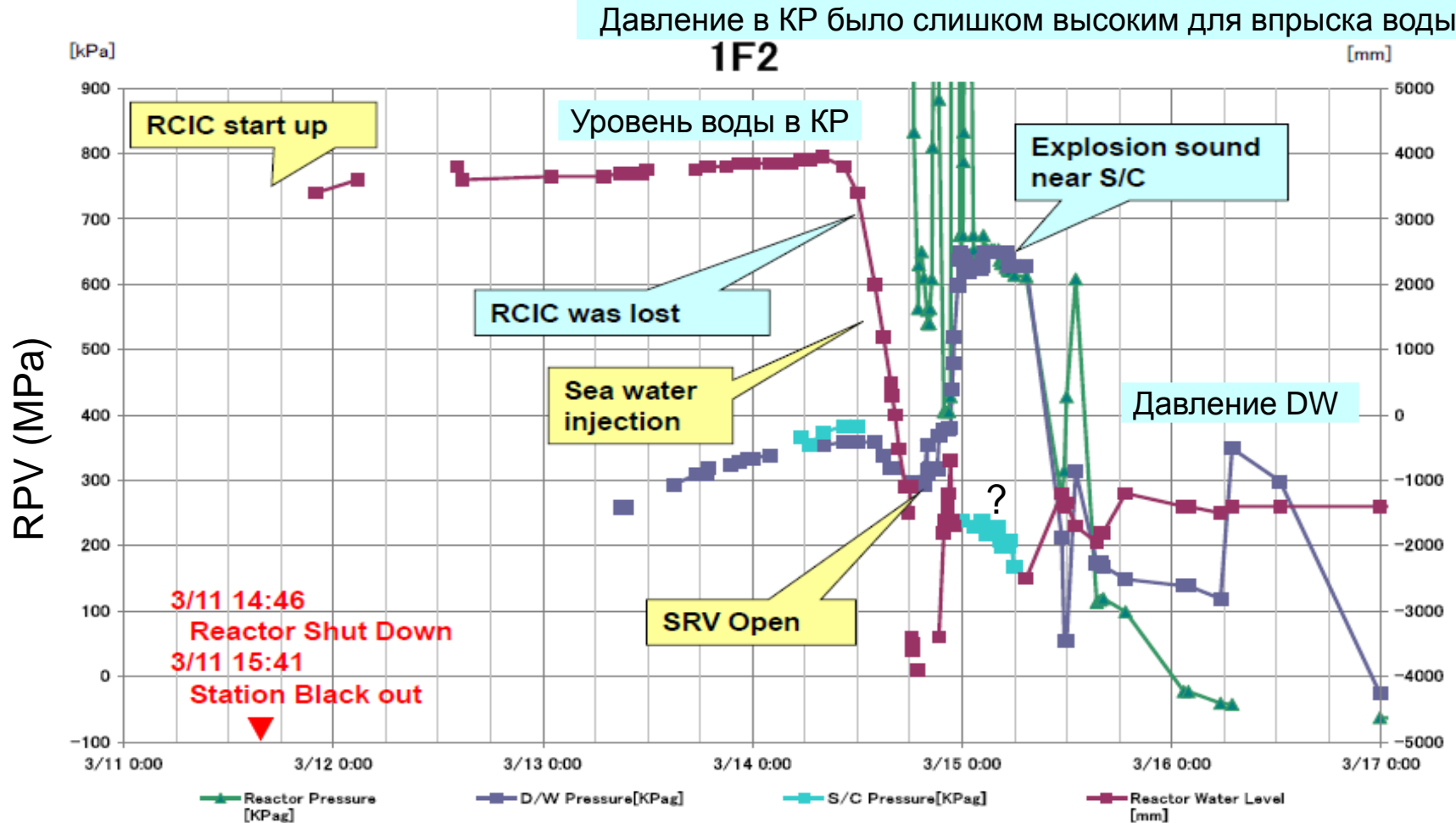
Давление и уровень воды в КР блока #1

- Результаты анализа показывают, что сброс давления КР началось до повреждения днища КР. Оно могло быть вызвано из-за расплавления трубок подвижной внутризонной ионизационной камеры в активной зоне.
- Измерение уровня воды было смещено из-за потери воды в опорной стойке, вызванной высокотемпературным перегревом активной зоны. Необходимо было подать воду в стойку.



Динамика давления в защитном контейнменте блока 2

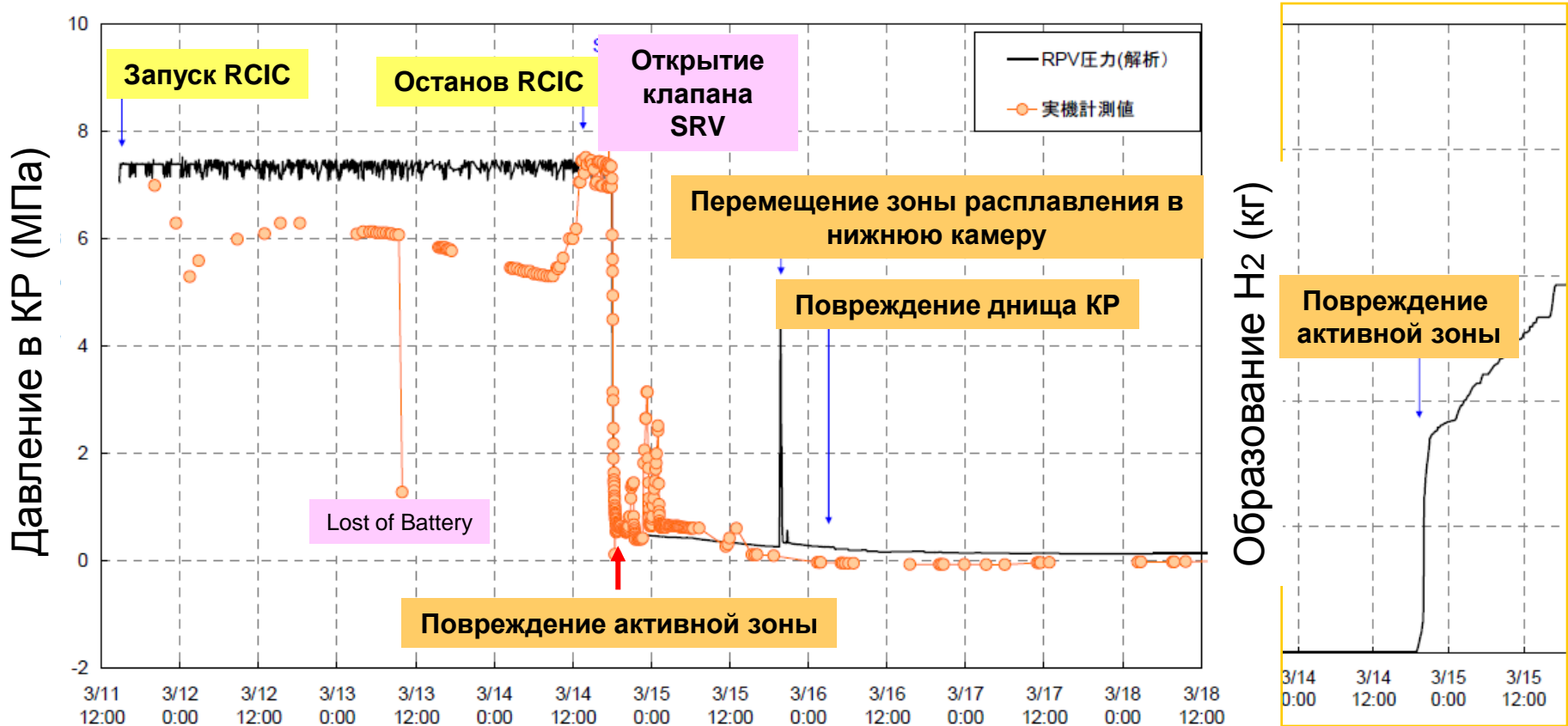
- После аварийного останова системы RCIC уровень воды стал повышаться.
- Давление в КР было слишком высоким для впрыска воды при помощи противопожарного насоса.
- Звук взрыва раздался возле S/C.



Отказ системы быстрого впрыска воды на блоке №2

- Отказ системы быстрого впрыска воды после останова RCIC на блоке 2 обусловил повреждение активной зоны и начало образования H₂.
- Необходимо было использовать водоотливной насос высокого давления, приводимый в движение дизельным двигателем.

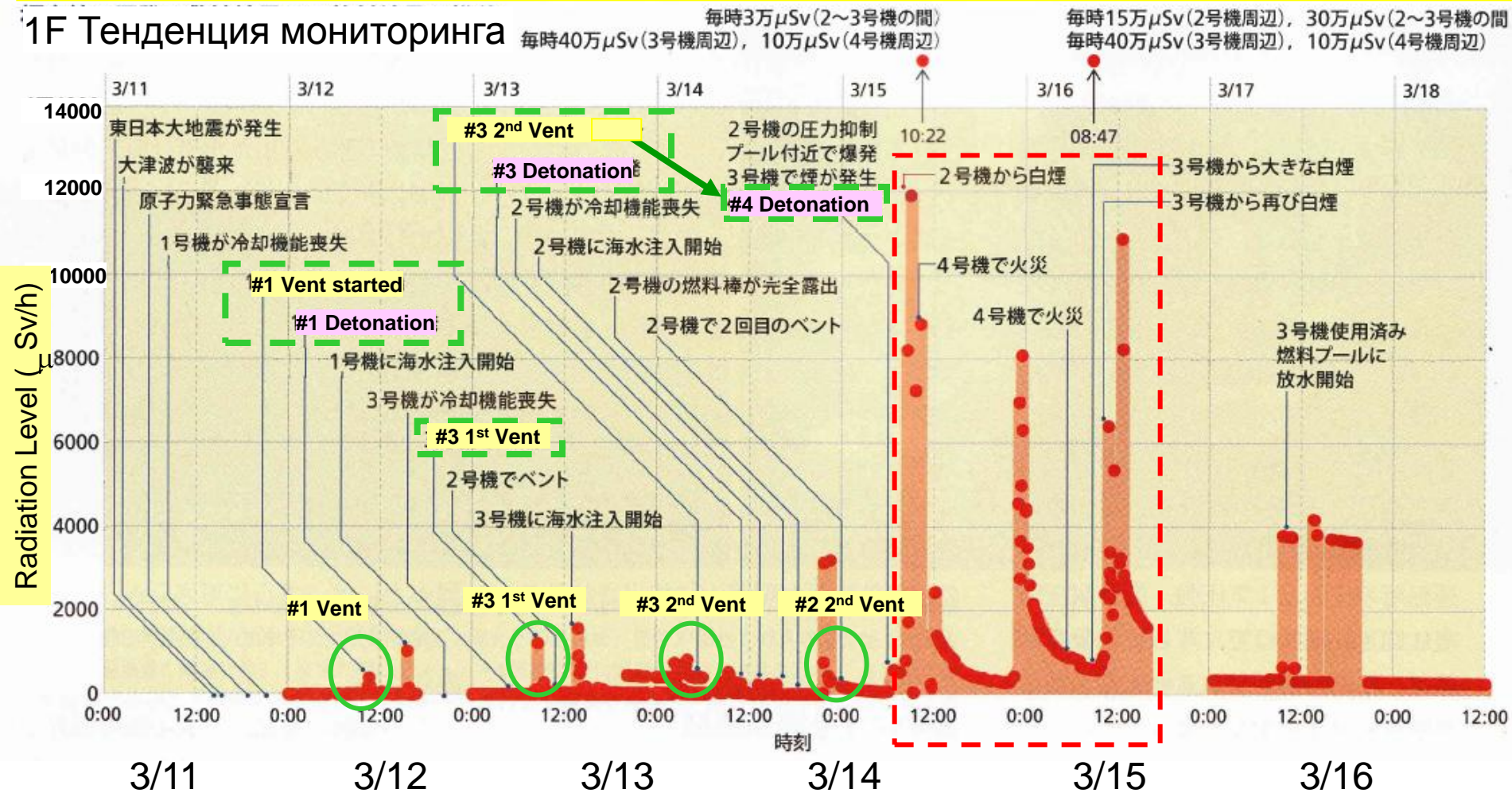
Тенденция изменения давления в КР блока #2



Повышение уровня радиации после разрыва защитного контейнента

- Взрывы H₂ возникали после операций по сбросу давления (на блоках #1, #3, #4)
- Уровень радиации повысился вскоре после разрыва защитного контейнента блока #2

1F Тенденция мониторинга



Nikkei Science, July 2011



Взрыв водорода и разрыв защитного контейнента



Взрыв

Взрыв

Разрыв
защитного
контейне
нта

Взрыв

#4

#3

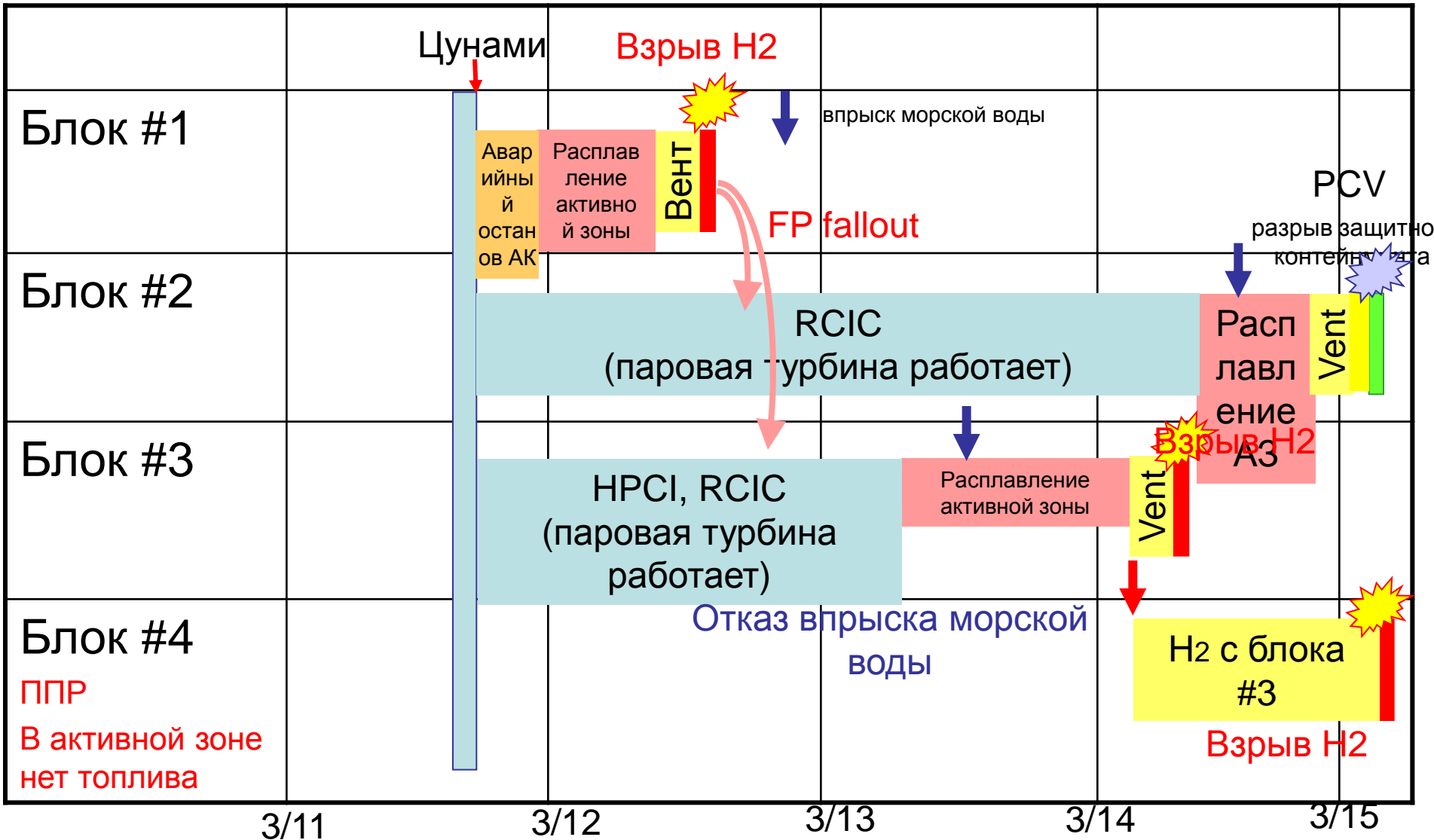
#2号

#1

Air Photo Service Co.

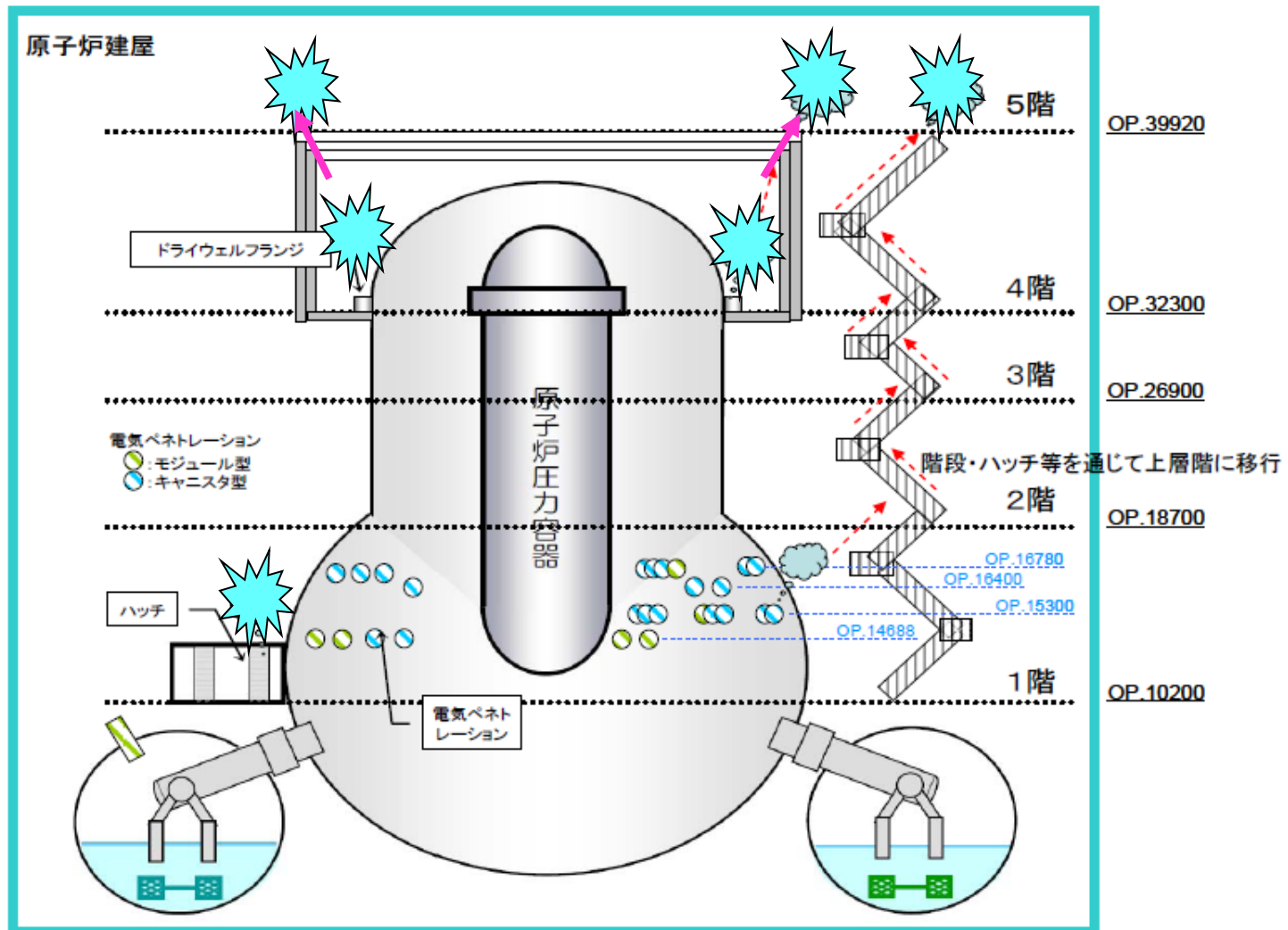


Тяжелые аварии на АЭС Фукусима-Дайичи



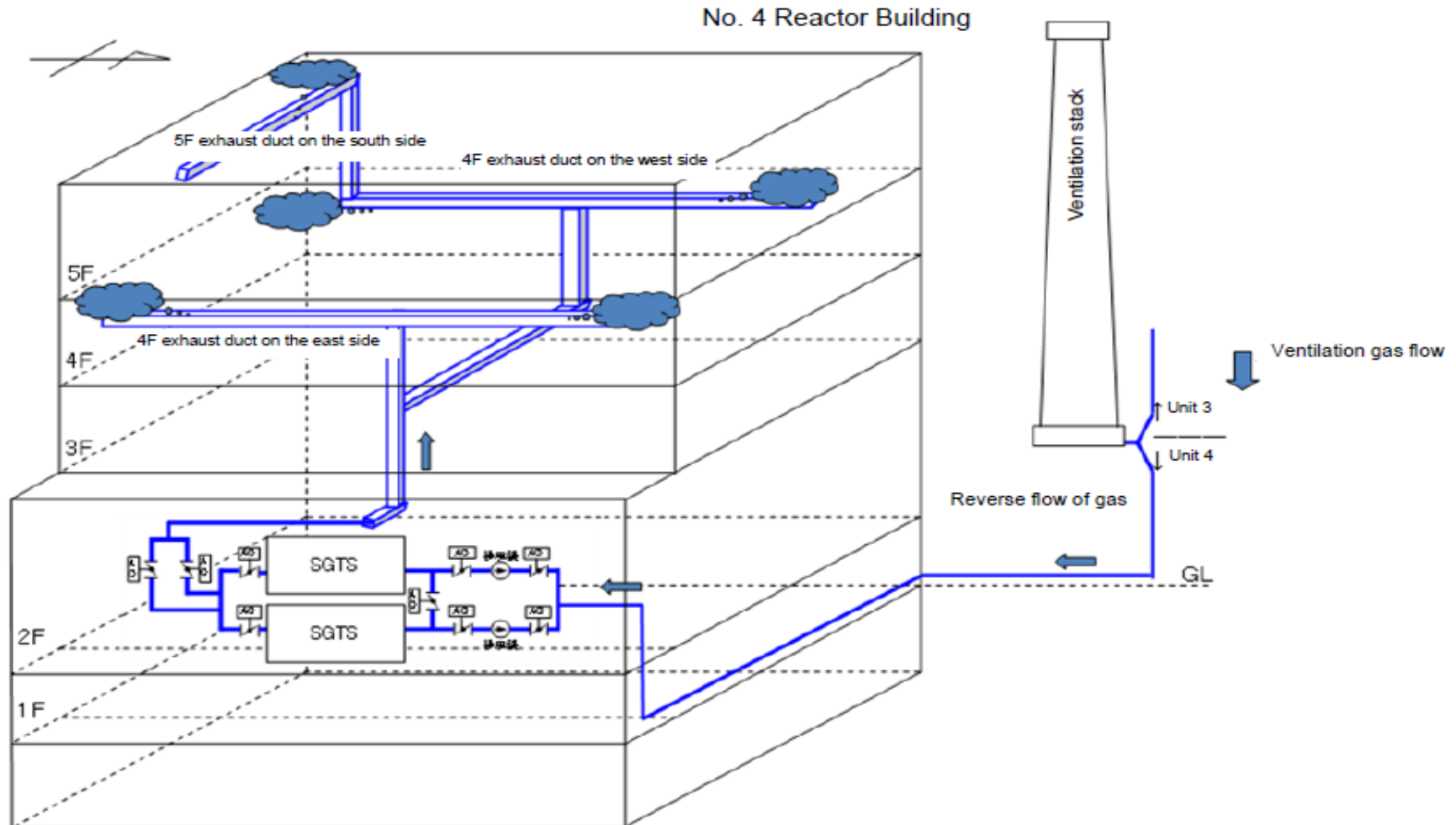
Путь утечки H2 из защитного контейнента

- Верхние фланцы защитного контейнента и люки вероятно являются путем утечки



Причина взрыва H₂ в здании реактора #4

- #4 был остановлен на ППР. В активной зоне не было топлива.
- Водород попал в блок №4 из блока №3 через SGTS

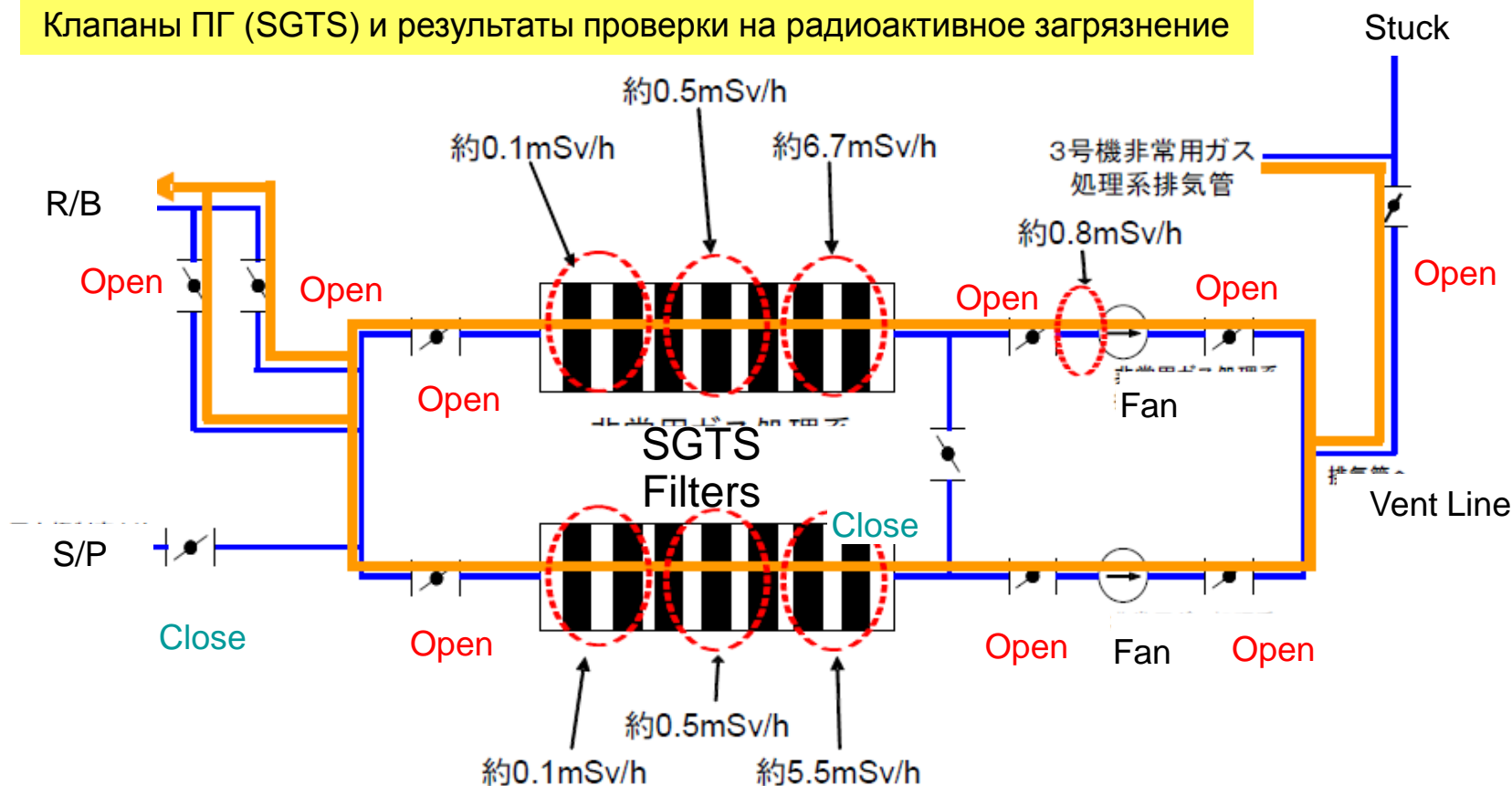


Фильтры ПГ блока #4' (SGTS) были загрязнены

Aug. 25, 2011
TEPCO

Блок 4 Фукусима Дайичи

Клапаны ПГ (SGTS) и результаты проверки на радиоактивное загрязнение



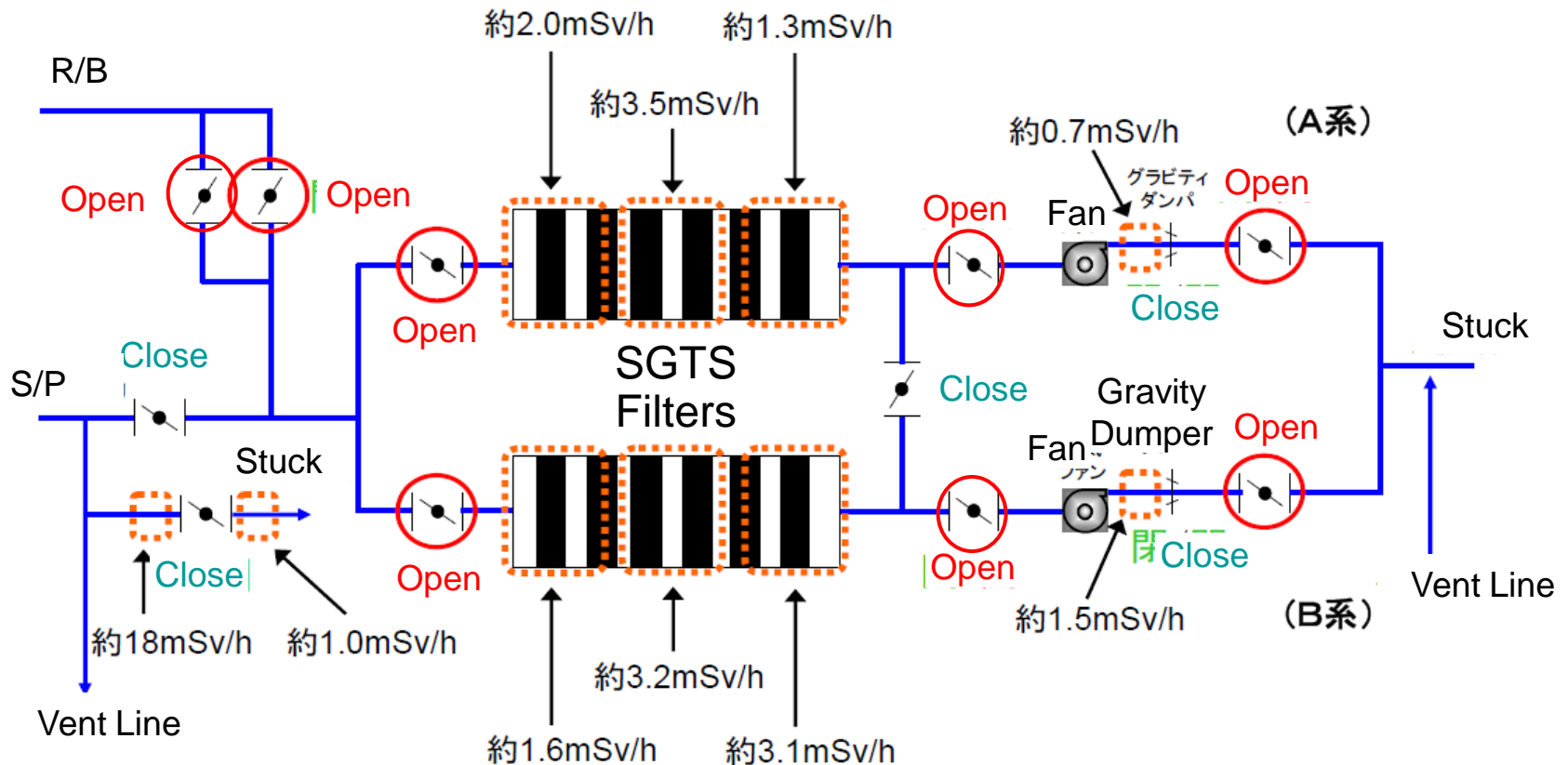
- Фильтры в ПГ показали, что H₂ и делящиеся материалы попали в #4 R/B
- с блока №3

Фильтры ПГ блока #3' (SGTS) были загрязнены

Dec. 26, 2011
TEPCO

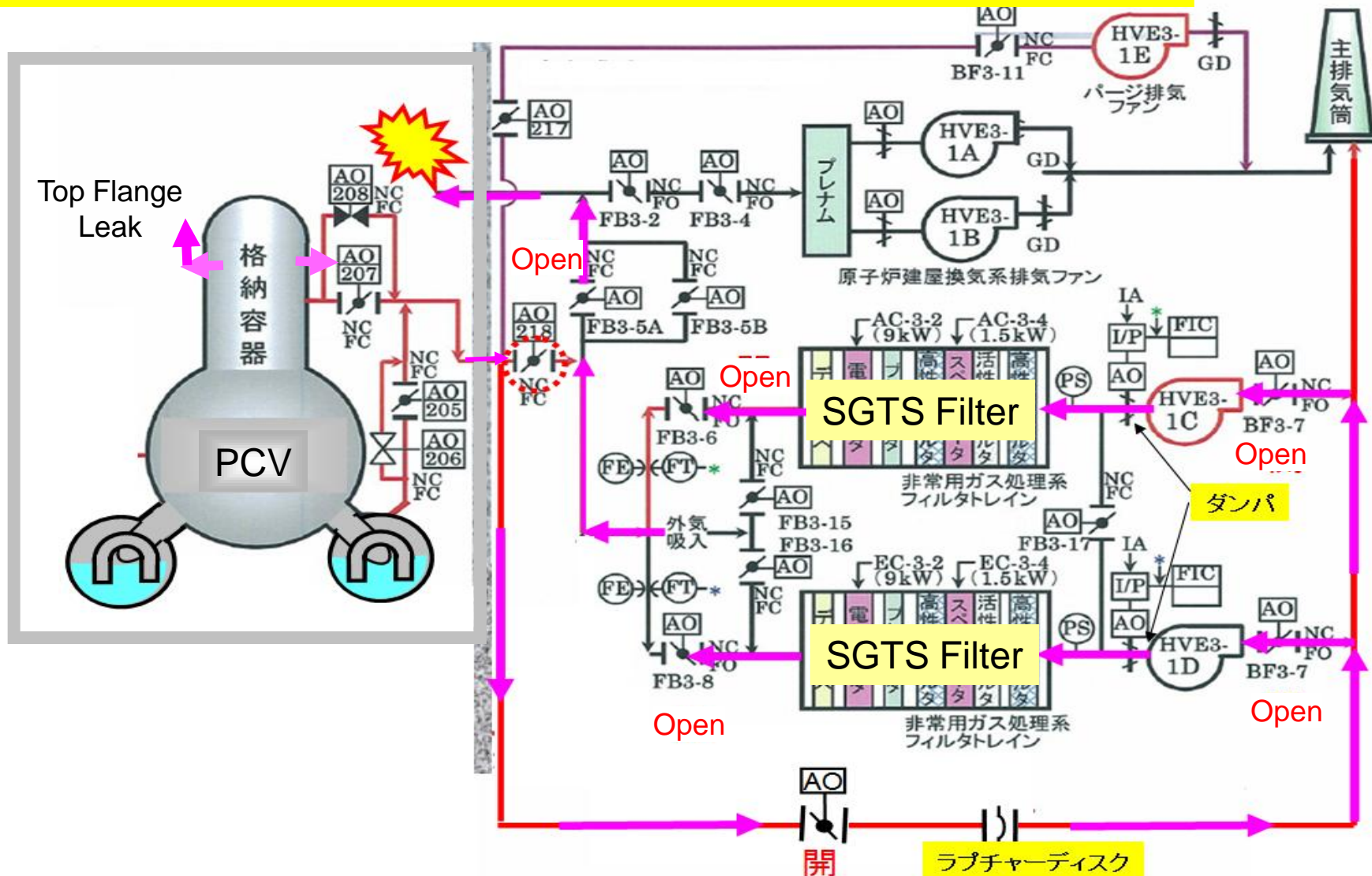
Блок 3 Фукусима Дайичи

Клапаны ПГ (SGTS) и результаты проверки на радиоактивное загрязнение



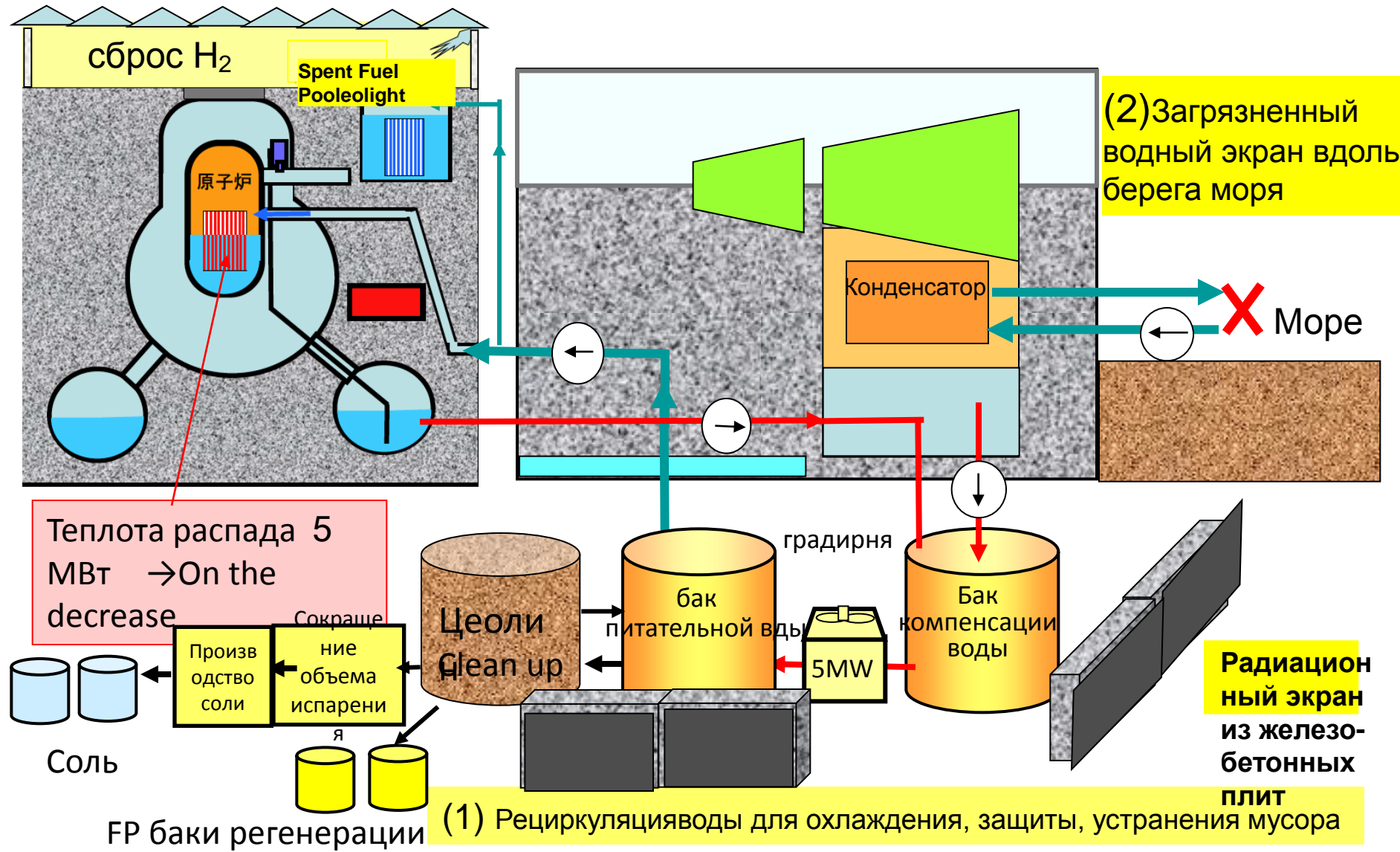
Вентиляция была причиной убийственного взрыва ?

Через открывающийся при отказе клапан SGTS H2 и делящиеся материалы попали в R/B



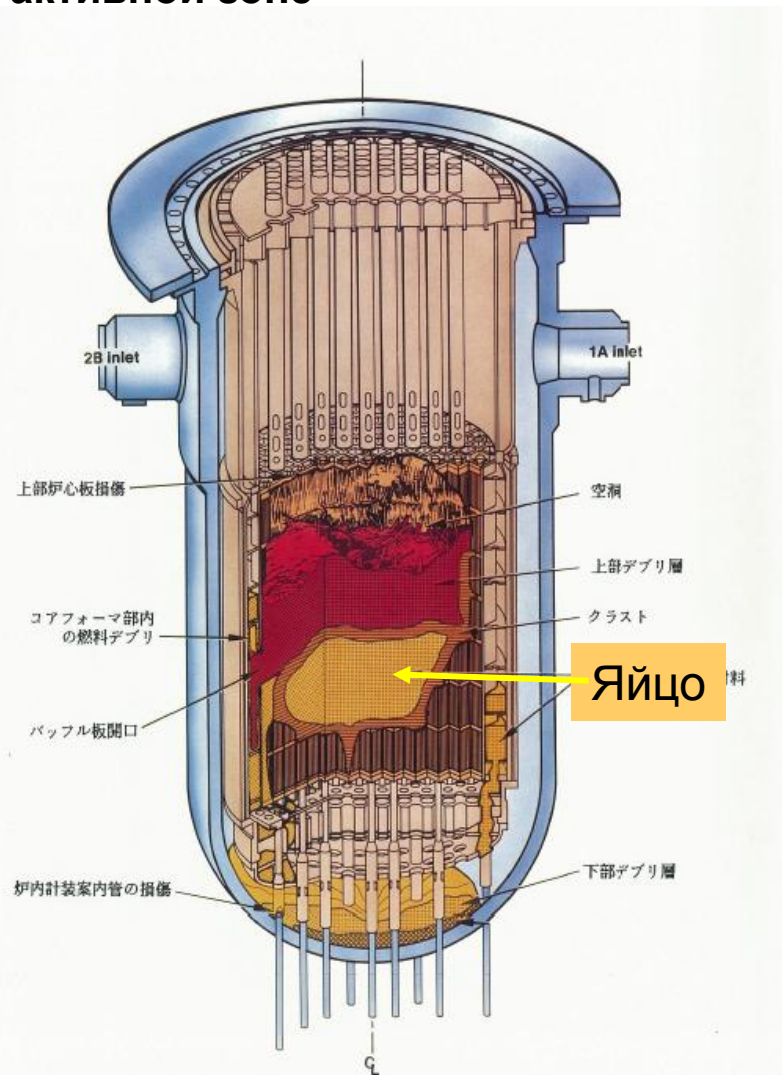
Система рециркуляции воды для охлаждения активной зоны

28 марта мы предложили систему рециркуляции воды для охлаждения активной зоны

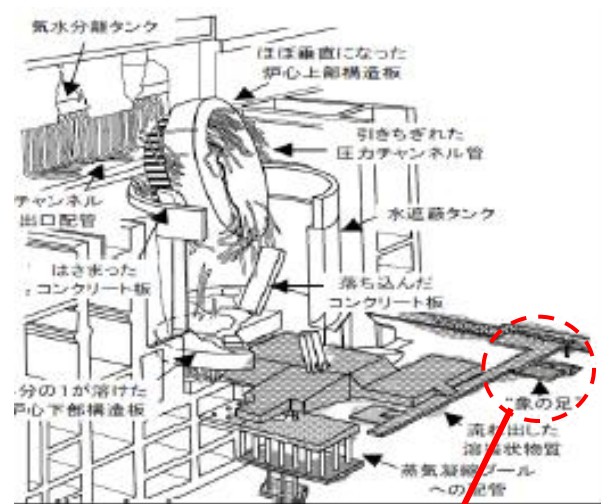


Крупное яйцо и слоновая нога

ТМ-2: крупное яйцо в активной зоне



Чернобыльская АЭС: слоновая нога



Сравнение Чернобыля и Фукусимы



**Выход
делящихся
частиц**

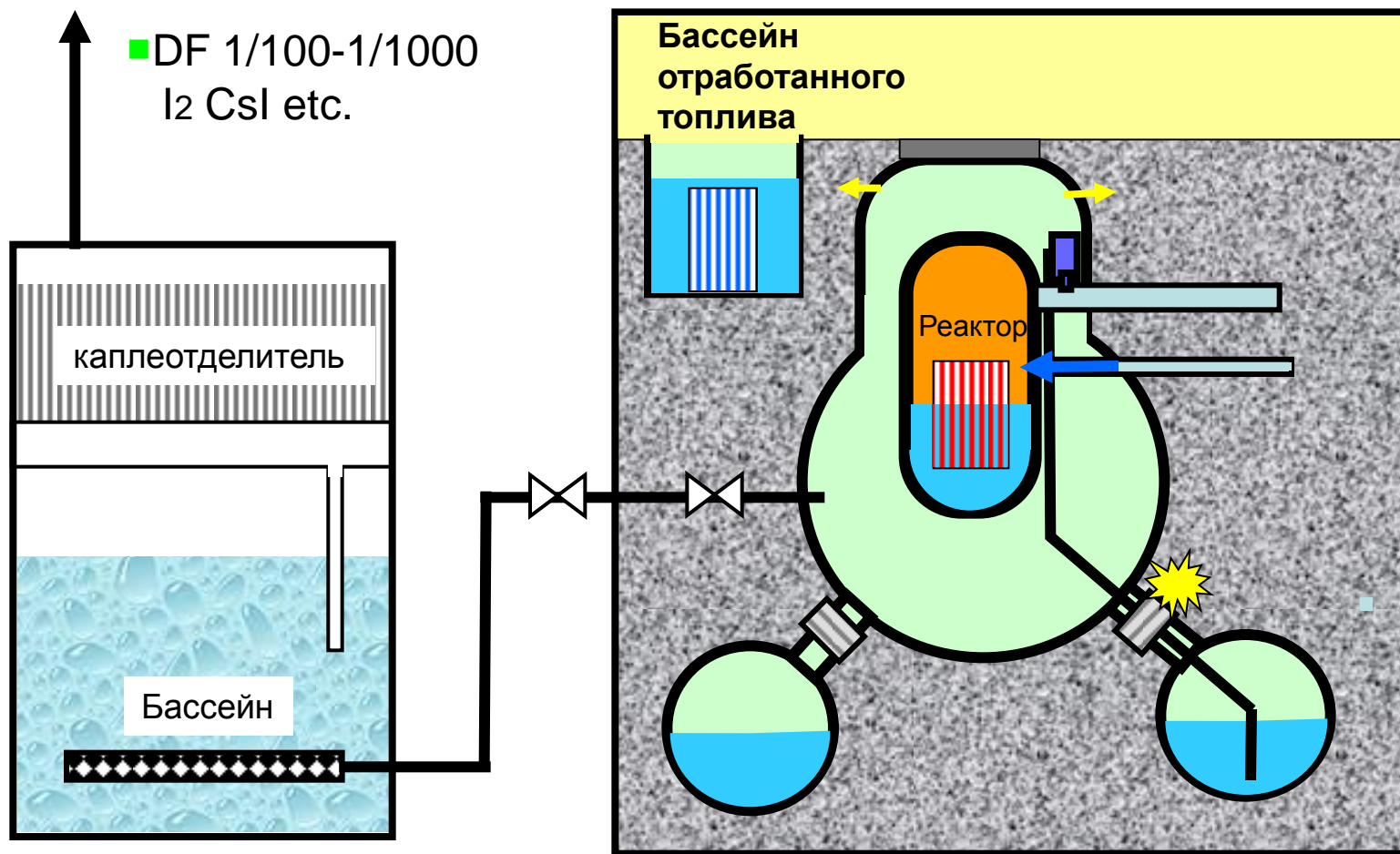
Cs,I	1	1/13
Всего	1	1/50

**Тепловая
мощность АЗ**

TMI-2	Черно быль	Fuku- shima
1	100	~0.01

Меры противодействия 1: фильтрация

- Уроки чернобыльской аварии подвигли на установку системы вентиляции с фильтрами для предотвращения выхода радиоактивных материалов (Франция, Германия, Швейцария, Финляндия, Норвегия)



Задачи вентиляционно-фильтрующей системы

(1) Предотвращение разрыва C/V

(2) Предотвращение выпуска радиоактивных веществ

АЭС Фукусима Дайичи

#1 C/V 7бар + вентиляция + взрыв H₂ ~1день

#2 C/V 7бар + вент. нет + разрыв C/V ~3.5дней

#3 C/V 6бар + вентиляция + взрыв H₂ ~3дня

Предотвращение разрыва C/V из-за избыточного давления + выход RI и H₂
→ Вентиляционно-фильтрующая система защитного контейнента (FCVS)

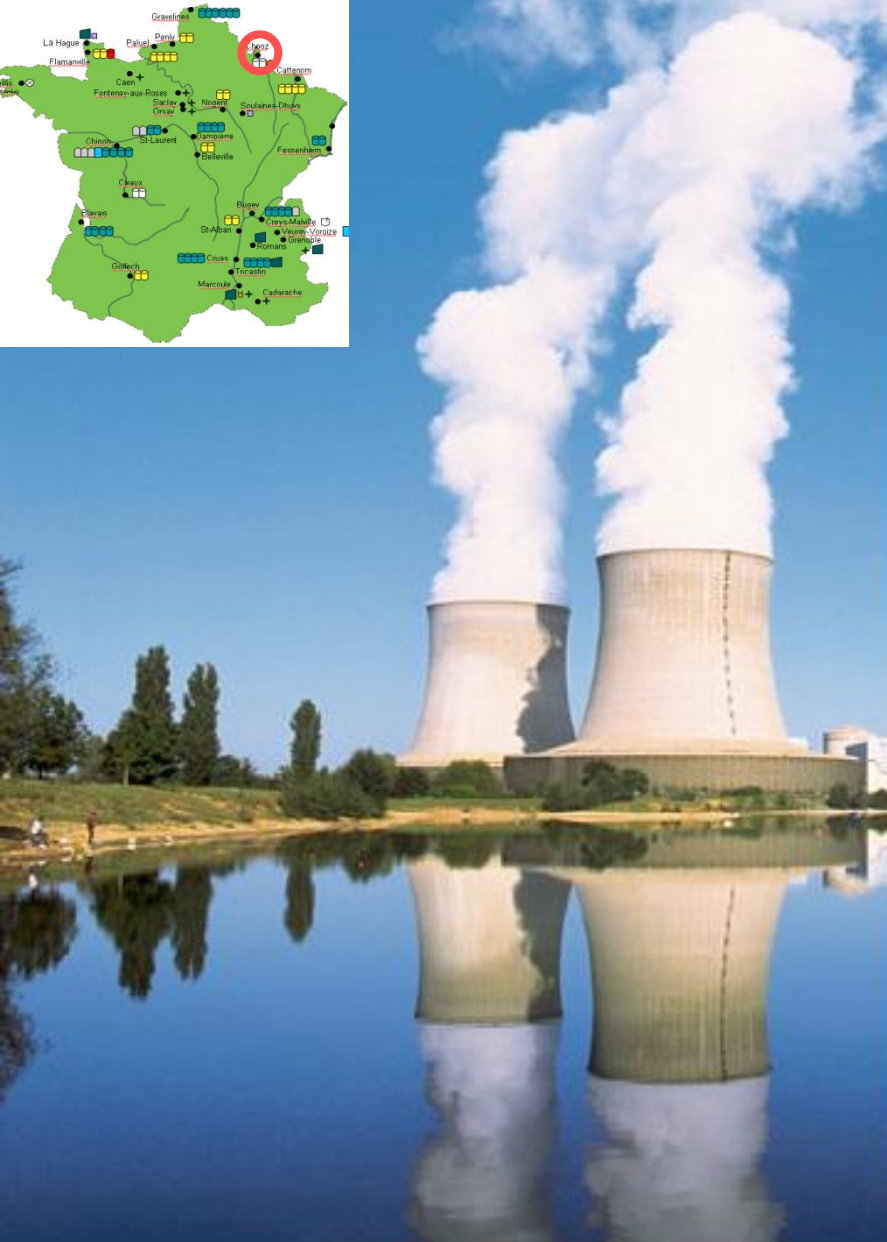
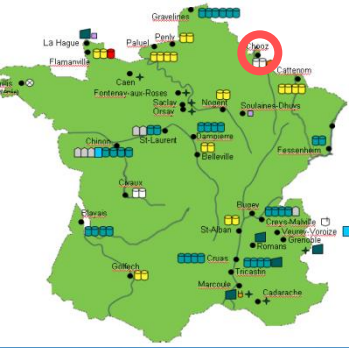
Подпитка и потеря воды в условиях длительного SBO & LUHS

Переоснащена в оп 1992 для (локализации тяжелых аварий)

Предотвращение разрыва C/V вследствие превышения температуры + H₂ leakage
→ специальная система аварийного отвода тепла (SEHR)

JSME visit Leibstadt NPP, Swiss, on Nov.11,2011

Посещение АЭС Choosz, EDF Франция

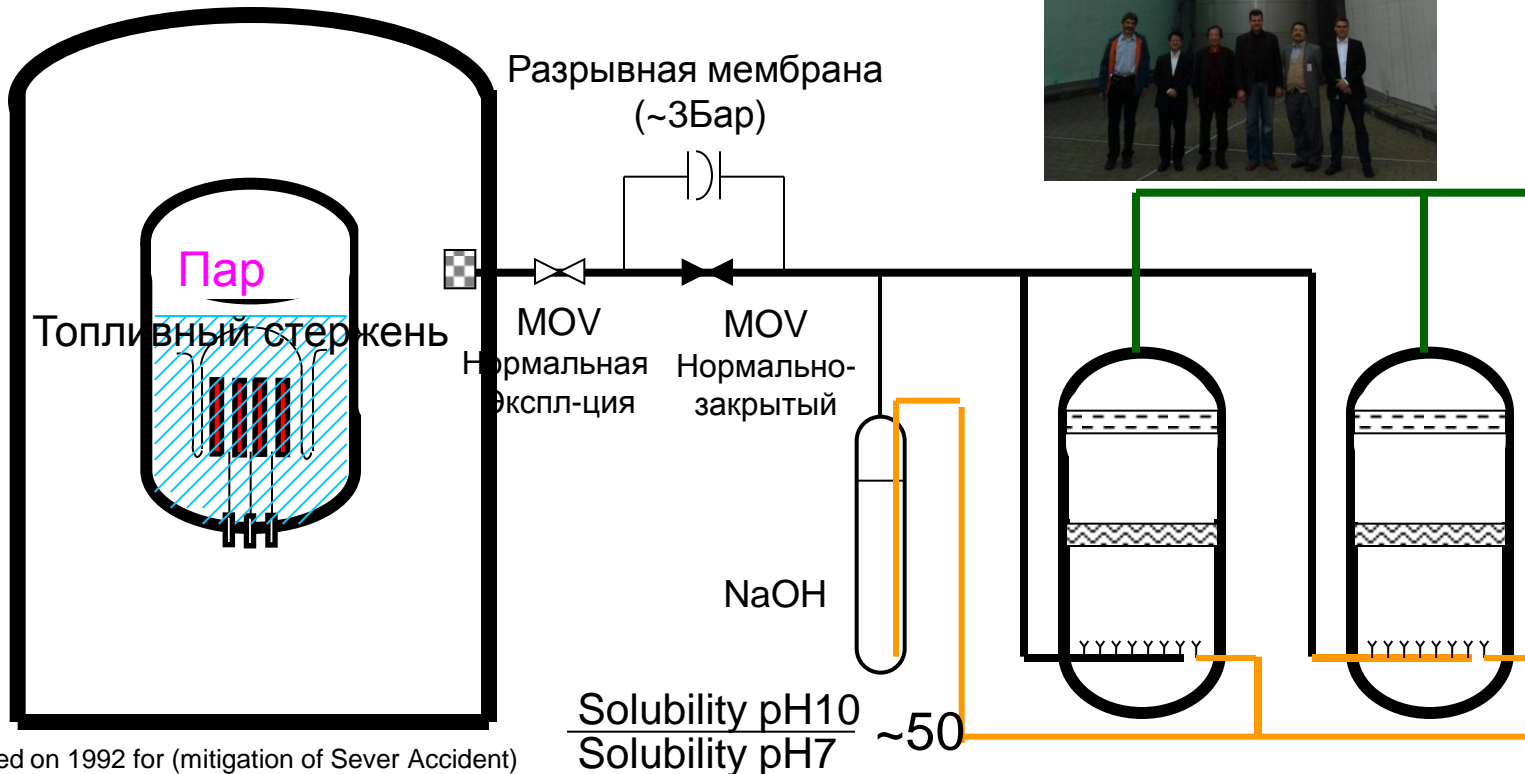
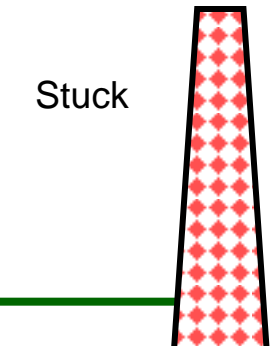


Посещение АЭС Лейбштадт, ККЛ Швейцария



FCVS: Вентиляционно-фильтрующая система защитного контейнера

- Вентиляционный клапан открывается вручную при помощи рукоятки в том случае, если SBO DF > 1000 аэрозоли > 100 I₂



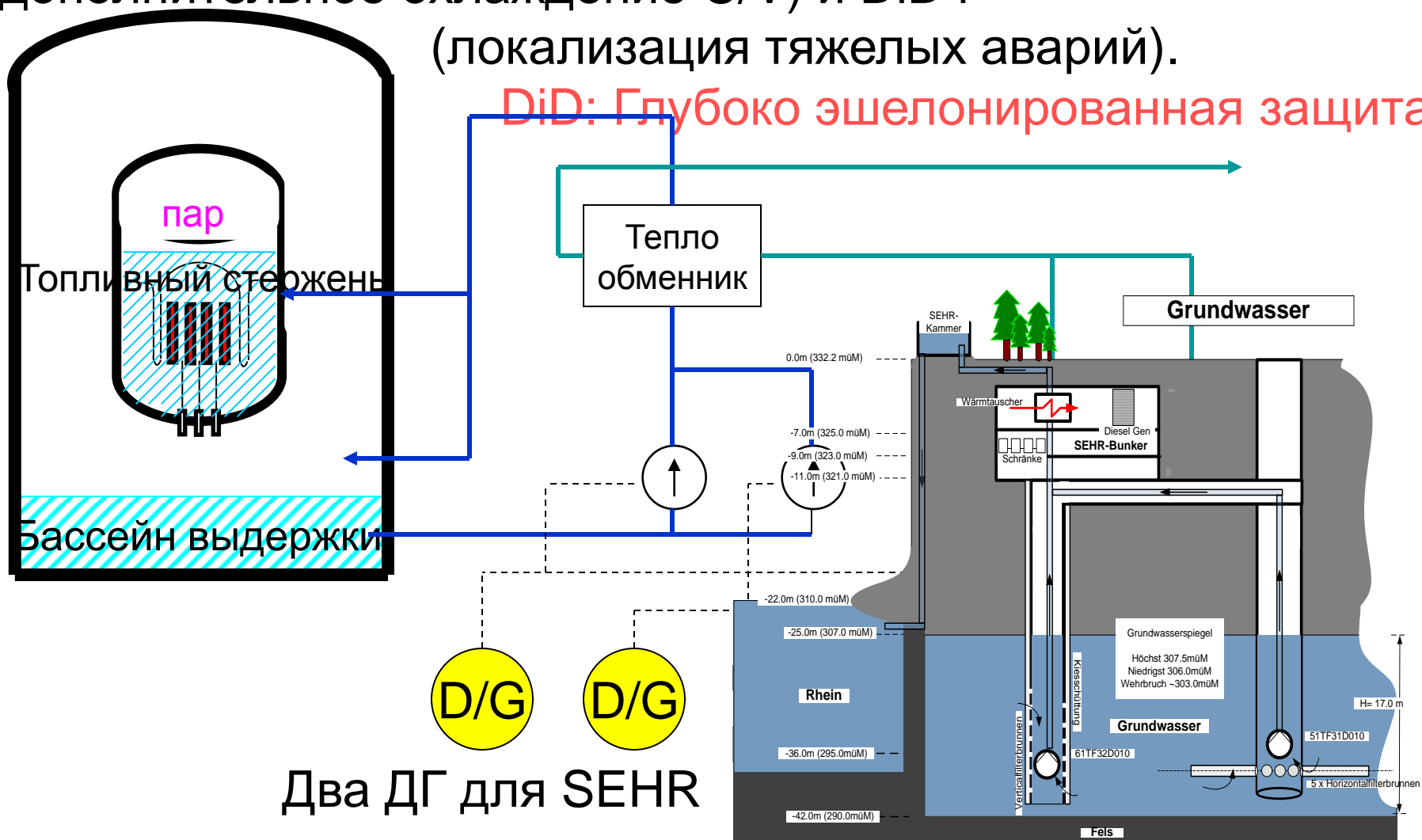
Backfitted on 1992 for (mitigation of Sever Accident)



SEHR: Специальная система аварийного отвода тепла

- После аварии на ТМ-2, ККЛ переоснастил DiD3 (дополнительное охлаждение C/V) и DiD4 (локализация тяжелых аварий).

DiD: Глубоко эшелонированная защита



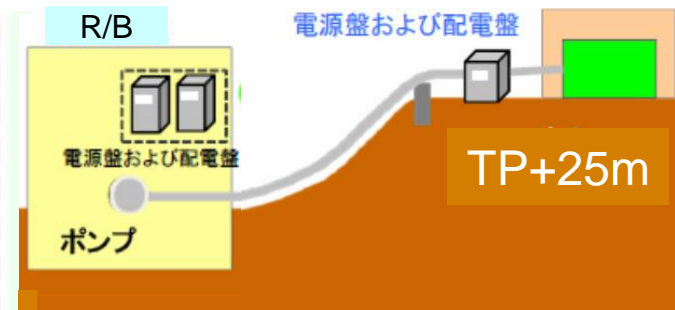
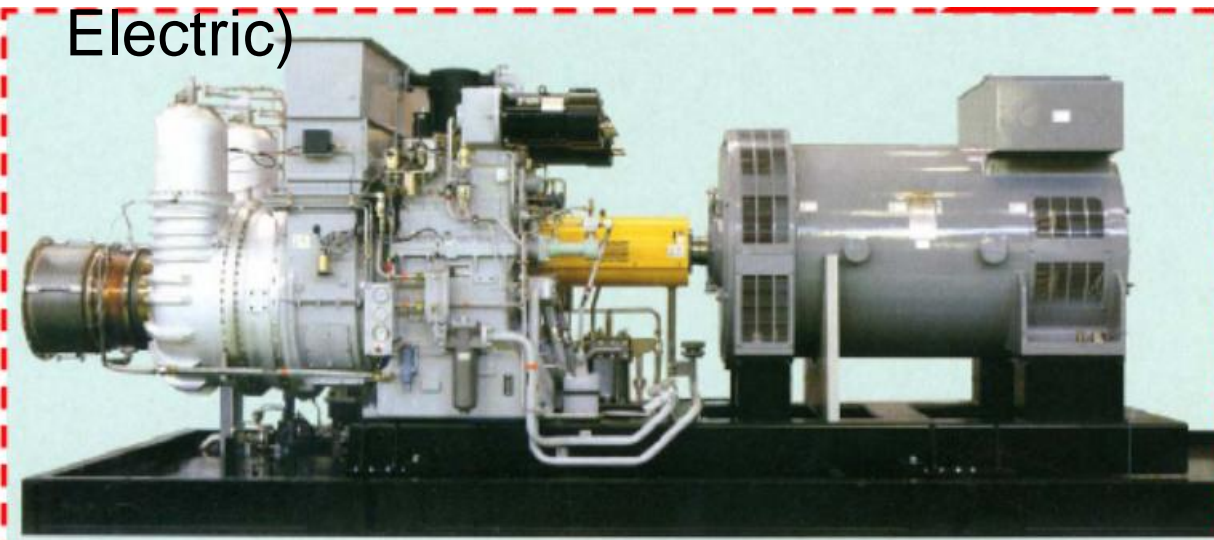
Два ДГ для SEHR

Специальный электрогенератор на высоте

- Передвижной газо-турбинный генератор 4000кВА на 31-м парковке (Нерсо)



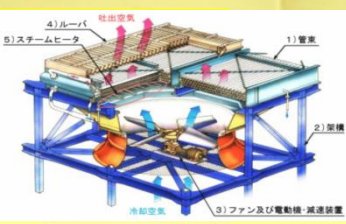
- Газо-турбинный генератор будет установлен на 25м (Chubu Electric)



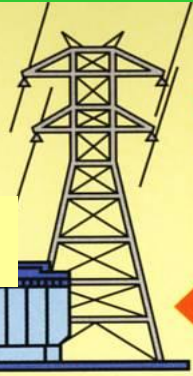
Газо-турбинный генератор
4000кВА, 3.2МВт
3.3кВ-6.6кВ
пуск за 40 сек

Контрмера 2. Система отвода тепла

Градирня Тепло распада: 1 %
1000МВтэ: 30МВт

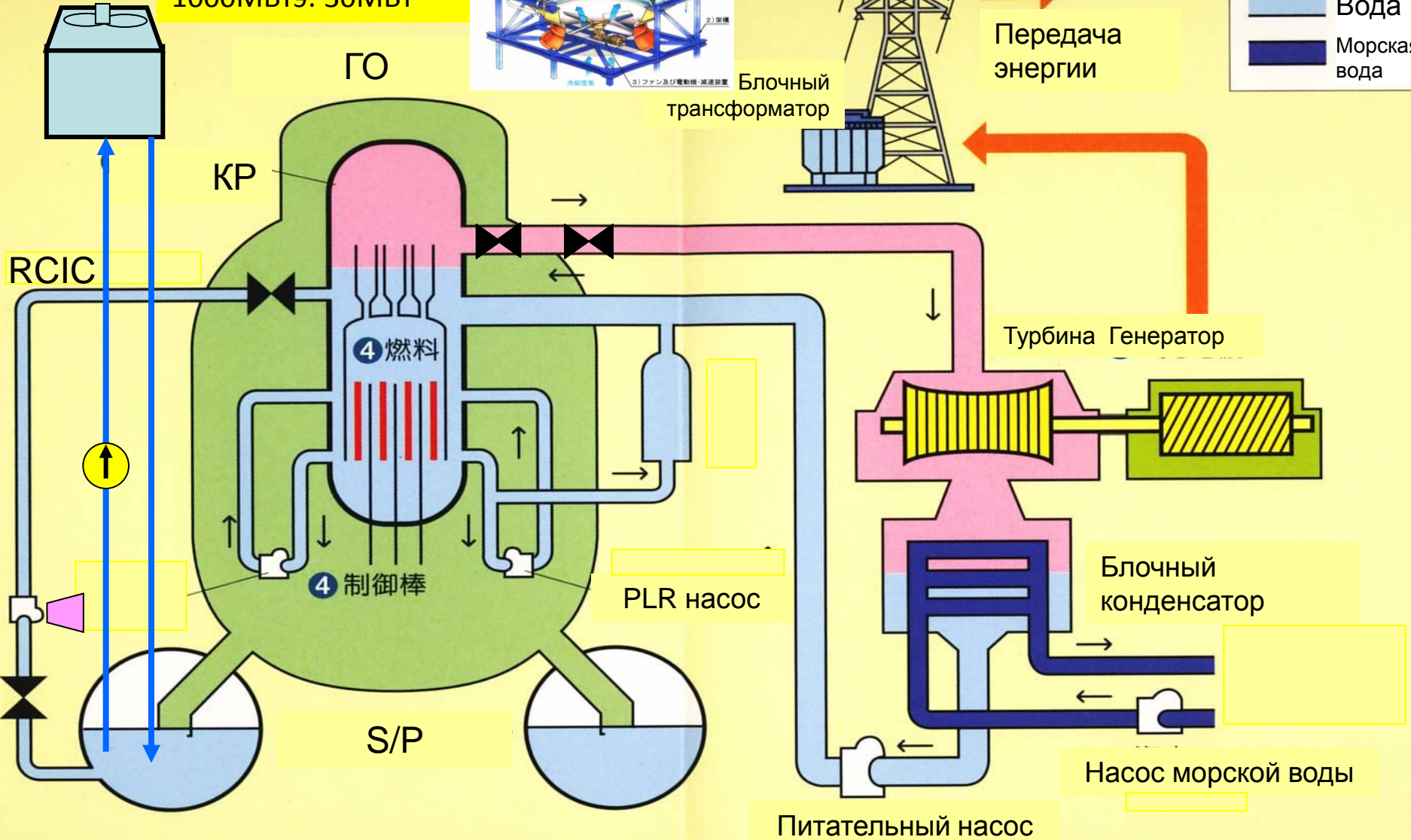


Блочный трансформатор

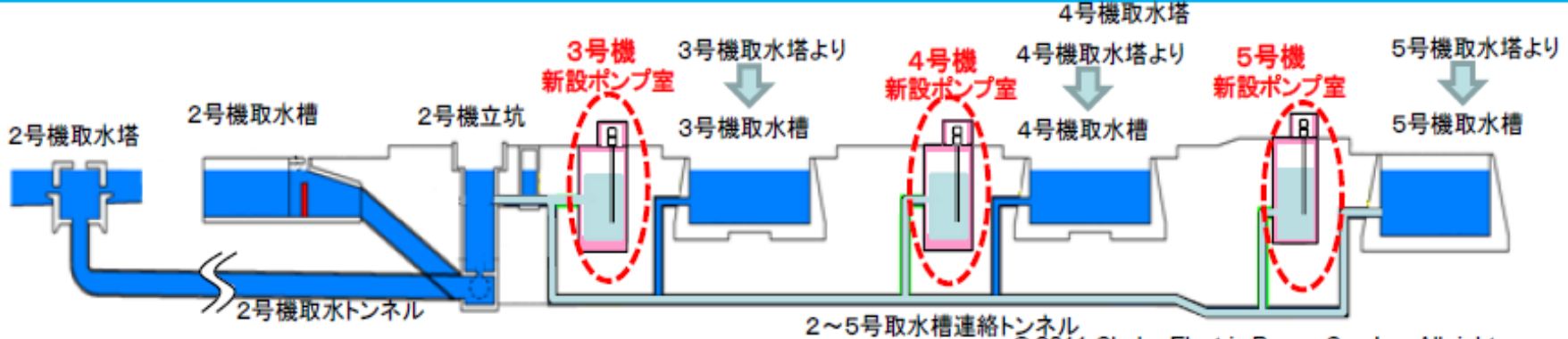
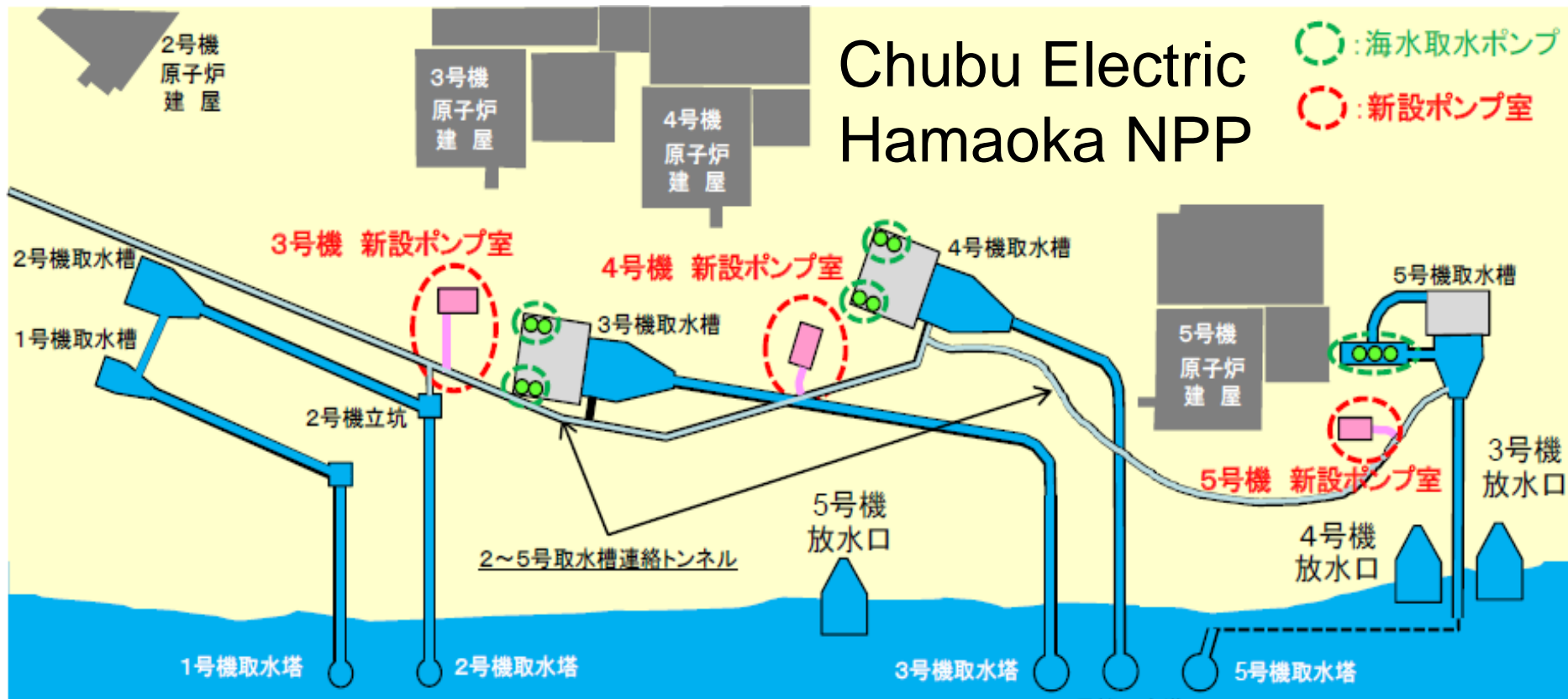


Передача энергии

█	Пар
█	Вода
█	Морская вода



Теплопоглощение сетью морской воды

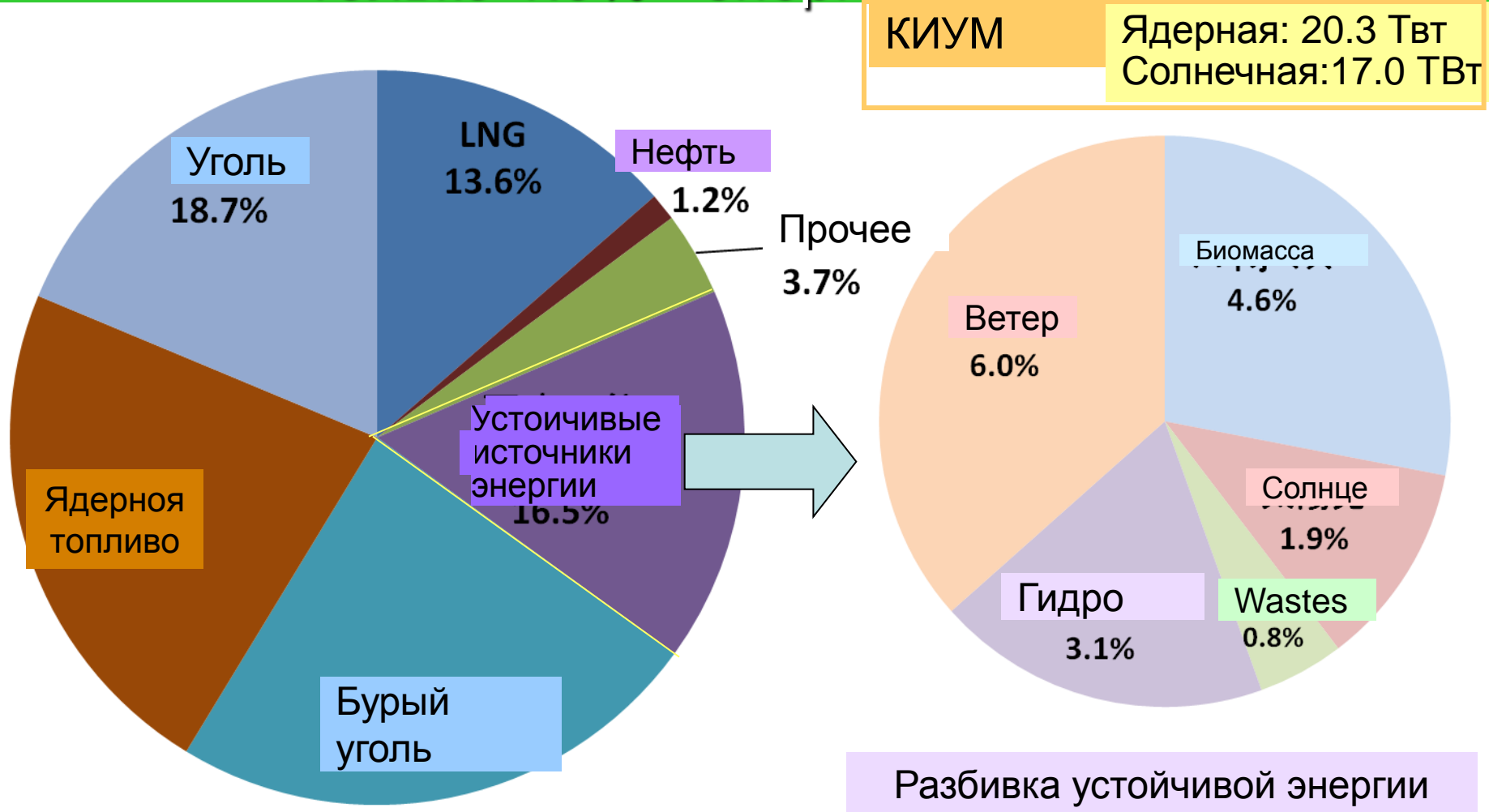


Контрмера 3. Защита от цунами

Diablo Canyon NPP



Пополняемые источники энергии в Германии: только 1.9% - энергия солнца



Источники энергии в Германии в 2010 году (Суммарно 6.2×10^{11} кВтч, ориентировочно) Статистика по пополняемым источникам энергии

Тепловая волна-убийца в Европе



Число жертв убийственной жары во Франции составило 50,000 умерших в 2003 и 2006 годах

Река Эльба, Дрезден, Германия, июль 2006



干上がったエルベ川
欧州【AFP=時事】

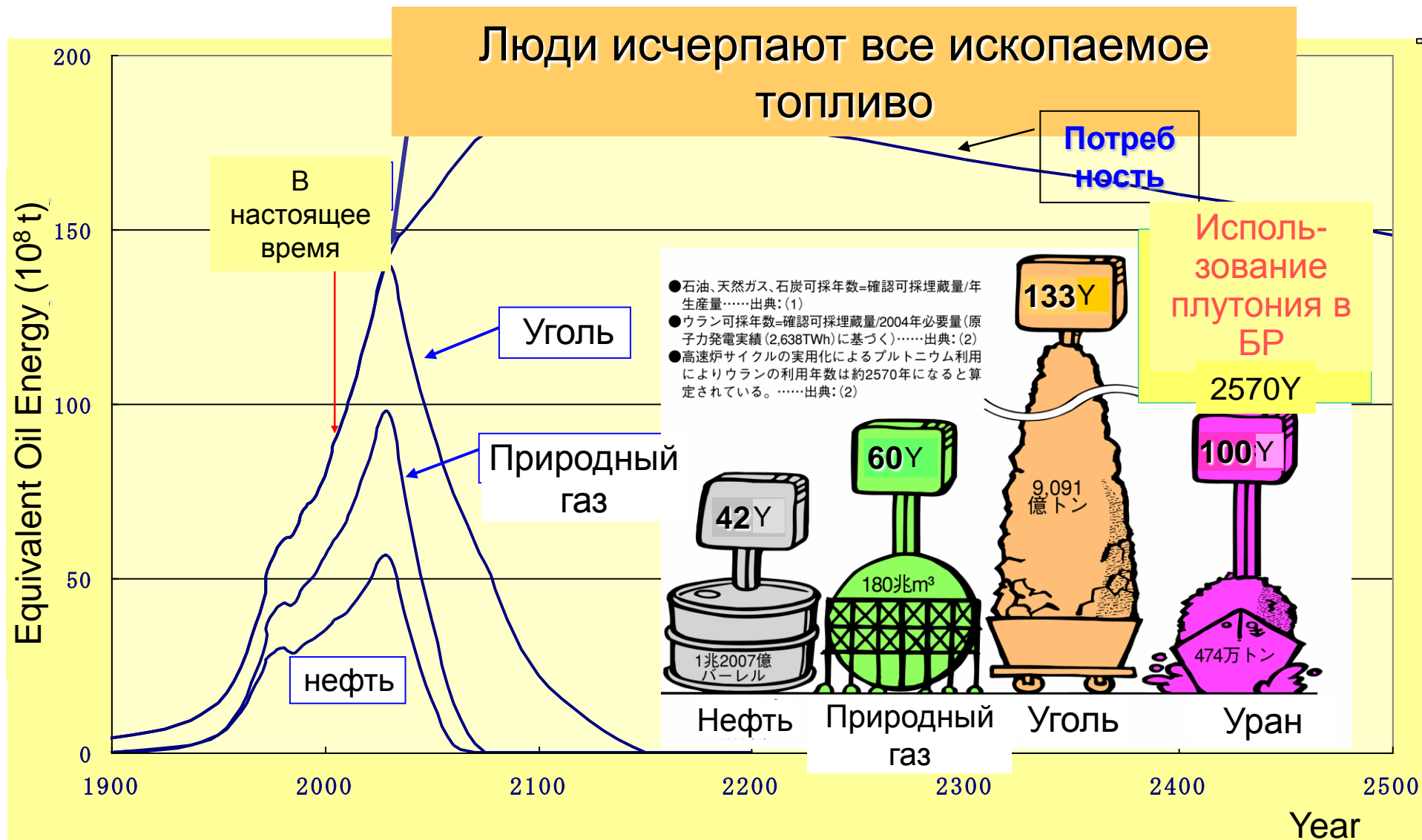


- Глобальное потепление приносит тепловые волны
- CO₂ может быть куда более опасным нежели радиоактивность

The death toll in France during a Europe-wide July heat wave was estimated 40. But it was nothing like the summer of 2003, when killer heat combined with social dysfunction, leaving 15,000 dead.



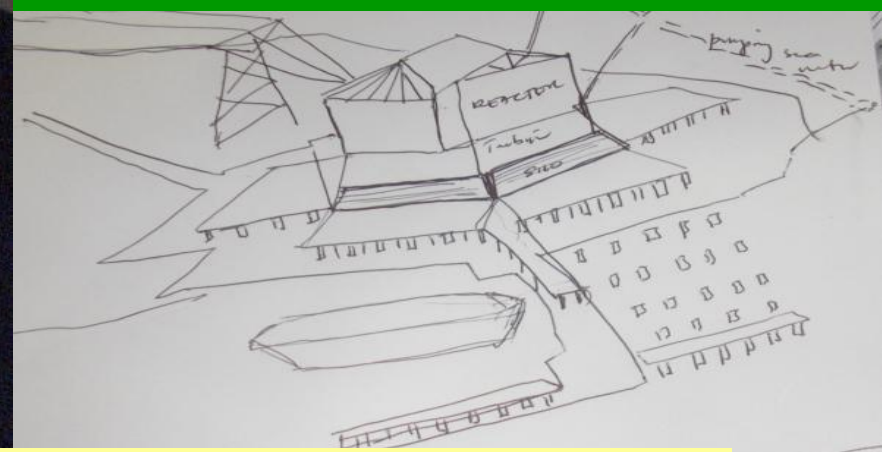
Оценка объемов энергии, полученной из ископаемого топлива



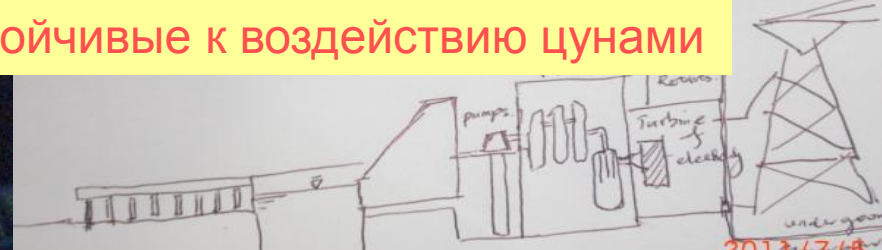
Прогресс в Малайзии, Kuala Lumpur



Образование в области атомной электроэнергетики в Малайзии



АЭС, устойчивые к воздействию цунами



Заключение

- Аварии на АЭС Фукусима Дайичи будет положен конец, если достаточное исследование приведет к установке мер противодействия в отношении цунами, таких как водонепроницаемые двери, мобильные источники энергоснабжения и т.д.
- В Европе уже установлены система отвода тепла и вентиляционно-фильтрующие система как ответ на уроки, извлеченные из аварий на Три Майл Айленд и на Чернобыльской АЭС.
- Вентиляционная линия должна быть независимой от системы ПГ SGTS/ и стационарной линии системы вентиляции и кондиционирования.
- Учитывая извлеченные уроки из аварии на АЭС Фукусима мы должны достигнуть первоклассного уровня безопасности на всех АЭС мира.
- Солнечной энергии и пополняемых источников энергии недостаточно для замещения ядерной энергии. Оба вида энергии должны использоваться в будущем.
- Образование в области атомной энергетики очень важно для поддержания технологии ядерной безопасности и культуры безопасности в мире.