# Чернобыль-86 (1), РБМК-1000 (№ 4), 26 апреля 1986

#### Перезагрузка под саркофагом

Текст: Вячеслав Загорский. Фото: pripyat.com.

#### ABTOP



Вячеслав Загорский Химический факультет МГУ, с.н.с.

ЛЕКЦИИ ЭТОГО АВТОРА

#### Нанотрубки из конопли

Пока не существует технологии получения однотипных нанотрубок, ученым приходится искать их естественные

#### Наномир, в котором мы живем

При постепенном уменьшении размеров частиц и изделий вдруг наступает момент, когда металл. фактически



Мелкий дождь, как выяснилось по возвращении, пропитал наши байдарки радиоактивным йодом-131 (период полураспада 8 суток), и снаряжение пришлось законсервировать на год.

В 1986 г. я работал по договору в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова. Помню всеобщий шок ИАЭ после 26 апреля 1986 года и до сих пор провожу в своей **школе** «чернобыльский **урок**».

Мы услышали об этой аварии, быстро превратившейся в катастрофу, в первомайском походе на реке Жиздре в Калужской области.



27 апреля 2006, 08:27





Ссылка дня > Зачистка Синая от

}{ Главная }{ Тенна }{ Мнения }{ Колонки }{ Круг чтения }{ Форум }{

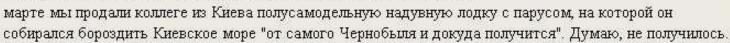
#### Чернобыль-86 как мера "чувства кнопки"

25 апреля 2006

Вячеслав Загорский, профессор МГУ

Четвертый энергоблок Чернобыльской атомной электростанции сильно повлиял на мою судьбу, котя непосредственно ликвидатором "на аварии" работать мне не пришлось.

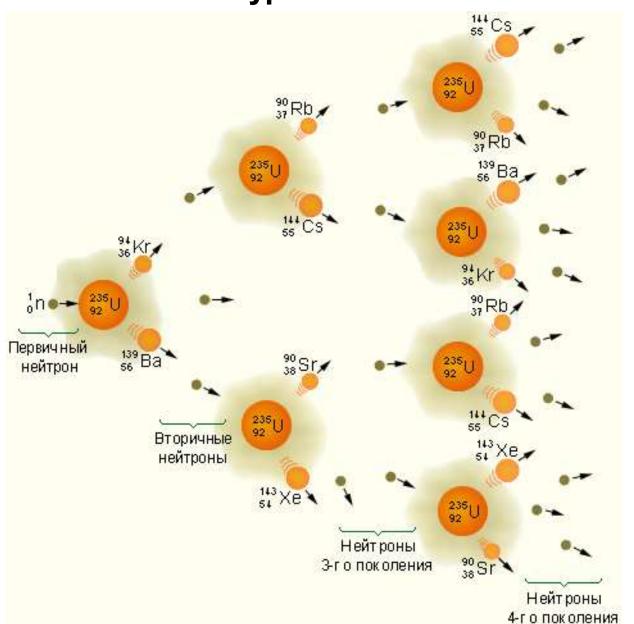
Весной 1986 года, числясь в МГУ, я по договору с Институтом атомной энергии им. И.В. Курчатова занимался на территории ИАЭ отработкой некоторых технологий, имеющих самое непосредственное отношение к реакторам РБМК-1000. Примерно в



Днем 26 апреля ничего про аварию и тем более катастрофу мы не знали, по крайней мере рядовые сотрудники. Поэтому, пользуясь замечательной советской традицией опечатывать все "опасные" заведения на государственные праздники, мы разошлись паковать байдарки.



# Схема развития цепной реакции деления ядер урана-235





Открытая физика 2.5 Рисунок 6.8.1 Модель 6.7

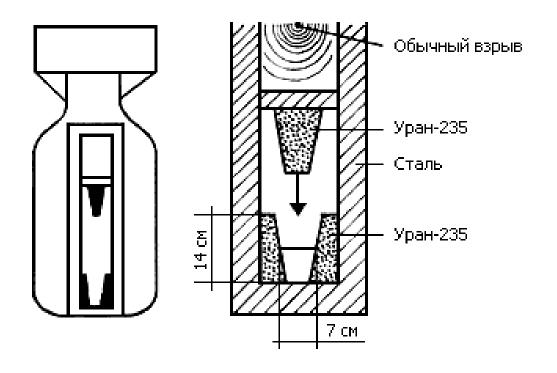
# Критическая масса

Критическая масса - это такое количество оружейного изотопа, при котором нейтроны, выделяющиеся при самопроизвольном делении ядер, не вылетают наружу, а попадают в соседние ядра и вызывают их искусственное деление.

Критическая масса металлического урана-235 - 52 кг. Это шар диаметром 18 см.

Критическая масса металлического плутония-239 - 11 кг (а по некоторым публикациям - 9 и даже 6 кг). Это шар диаметром около 9-10 см.

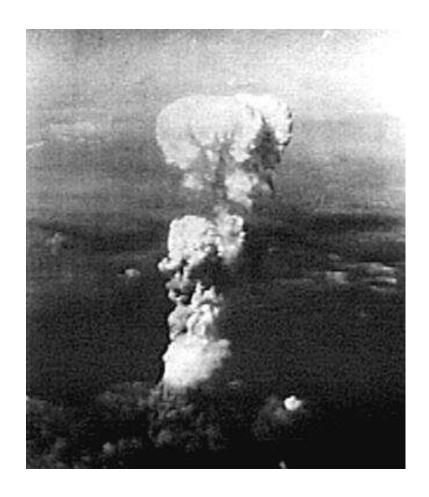
# **Первая урановая бомба «Малыш» (Хиросима, 6.08.45),** 64 кг урана-235





 $http://teufel5.narod.ru/weapons/w\_nuclear.html$ 

# **Результат применения «Малыша» (6.08.45)** Хиросима, эпицентр взрыва

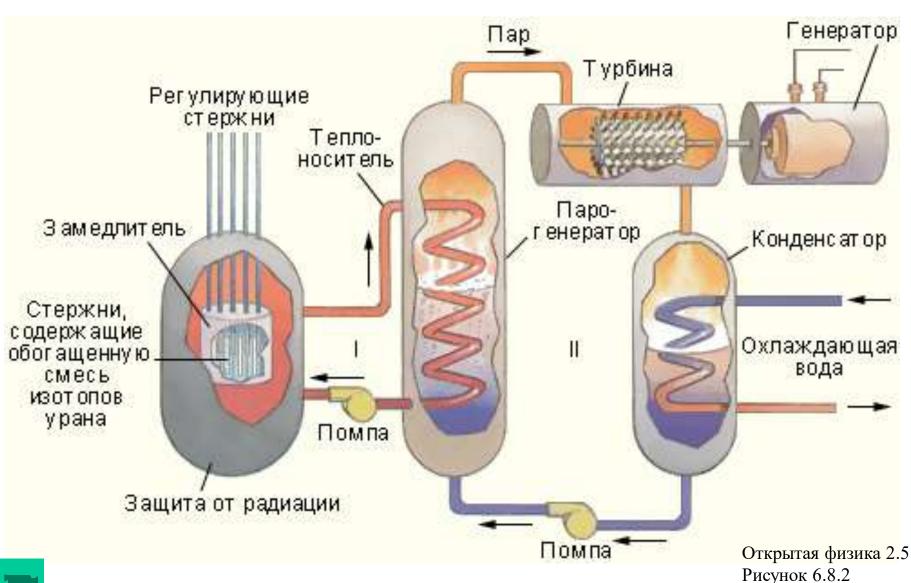




# Обнинская АЭС 26.06.1954 г., 5 МВт



#### Схема атомного реактора на тепловых нейтронах



Модель 6.8

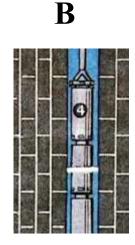


#### Сечение захвата тепловых нейтронов, барн

<sup>235</sup>U 2%



<sup>10</sup> B	3837	
<sup>11</sup> B	0,005	
Cd (средн)	2450	
<sup>113</sup> Cd	25000	
<sup>235</sup> U	508	
<sup>135</sup> Xe	27000	



# **Цепь продуктов распада, дающая отрицательную обратную связь**

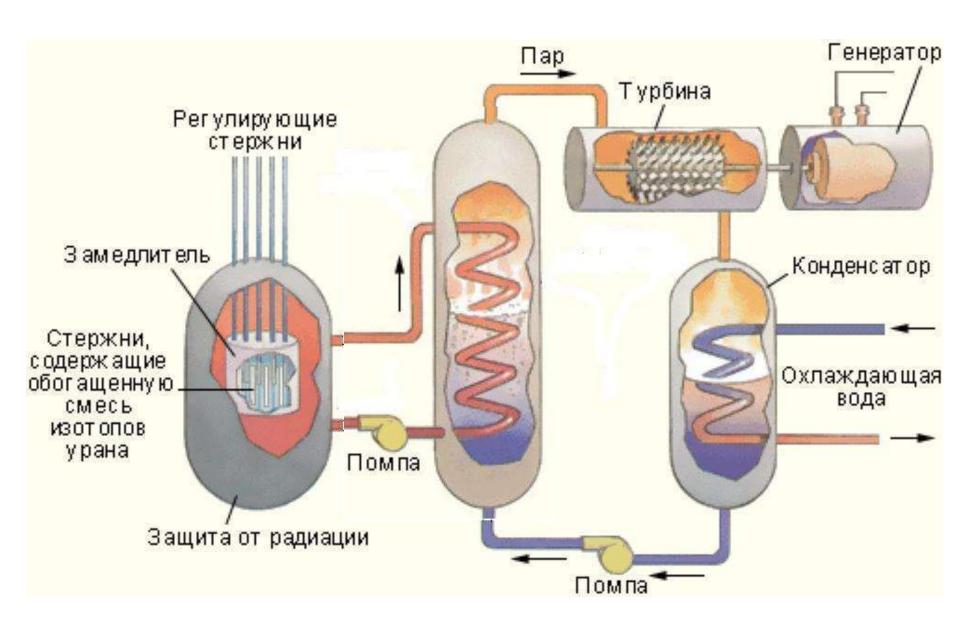
(«иодная яма» или «ксеноновое отравление»)

# Сравнительные «экологические» характеристики за год работы атомной и угольной электростанций с одинаковой мощностью 1000 мегаватт производимой электроэнергии

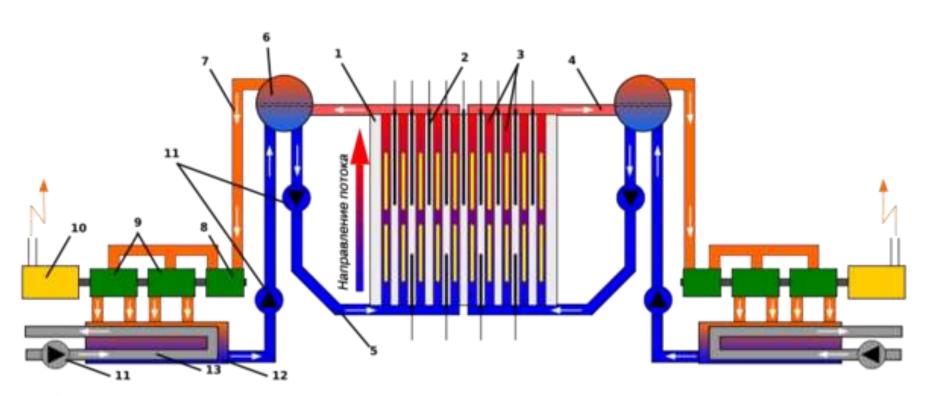
Ресурсы и отходы	<u>Атомная</u>	<u>Угольная</u>
Необходимо добыть за год	1000 т руды; из нее извлекается 1,5 т обогащенного урана	3500000 т угля
Твердые отходы за год	около 2 т отработанных тепловыделяющих элементов	100000 т золы
Газоообразные отходы за год	практически нет	до 12000000 т CO <sub>2</sub> до 400000 т SO <sub>2</sub>

сжигание угля в Германии приводит к загрязнению атмосферы аэрозольными частицами и диоксидом серы, что дает до 1100 смертей в год от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний.

#### Схема атомного реактора на тепловых нейтронах



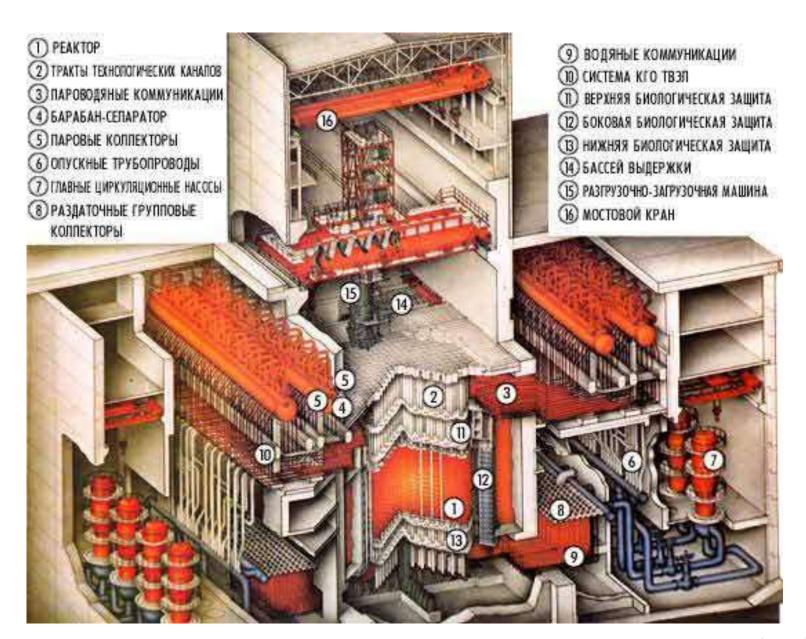
# Энергоблок Чернобыльской АЭС (построена в 1970-1983)



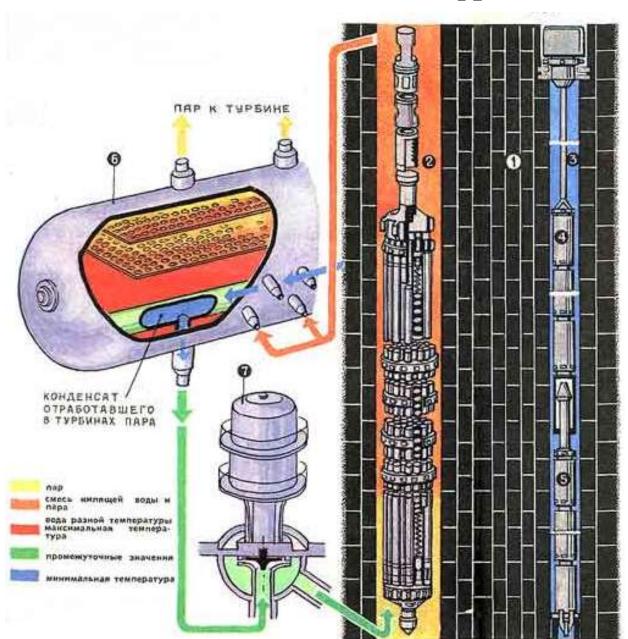
- 1 Графитовый замедлитель
- 2 Стержни управления и защиты
- 3 Технологические каналы
- 4 Пар
- 5 Вода
- 6 Барабан-сепаратор
- 7 Сухой пар

- 8 Турбина высокого давления
- 9 Турбины низкого давления
- 10 Электроический генератор
- 11 Циркуляционные насосы
- 12 Охладитель (конденсатор)
- 13 Вспомогательный водяной контур

#### Схема РБМК-1000



## Схема РБМК-1000 (фрагмент)



«*Наука и жизнь*» №12, 1989 год http://chernobil.land.ru/

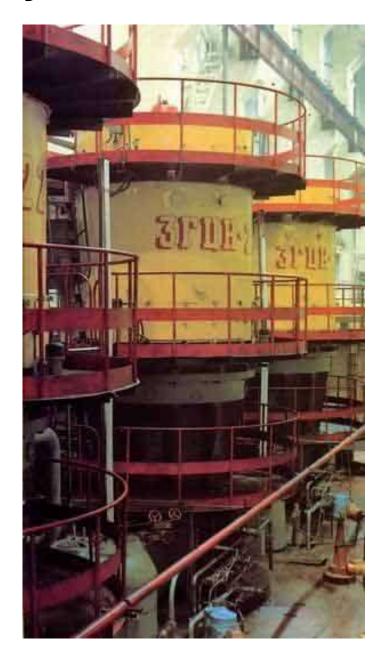
## 4-й энергоблок. Турбина и генератор (1985)



# Паровая турбина



# Главные циркуляционные насосы (48000 т/час)



#### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ РЕАКТОРА РБМК-1000 Тепловая мощность, МВт 3200 Электрическая мощность, МВт 1000 48000 Расход теплоносителя, т/ч Паропроизводительность, т/ч 5600 Давление теплоносителя, кгс/см 69 Температура теплоносителя, <sup>0</sup>C 284 Среднее массовое паросодержание 14 на выходе из каналов, % 1693 - 1661 Количество технологических каналов Количество стержней управления и защиты 211 180 Загрузка реактора ураном, т Начальное обогащение урана, % 2,0/2,422,3 Среднее выгорание топлива, МВтсут/кг

# Первая авария

9 сентября 1982 года после выполненного среднего планового ремонта во время пробного пуска реактора 1-го энергоблока на мощности 700 МВт тепловых при номинальных параметрах теплоносителя произошло разрушение тепловыделяющей сборки и аварийный разрыв технологического канала № 62-44. Вследствие разрыва была деформирована графитовая кладка активной зоны, в реакторное пространство выброшено значительное количество радиоактивных веществ из разрушенной тепловыделяющей сборки. Тяжёлые последствия аварии обусловлены несрабатыванием аварийной защиты.

# Чернобыль-86 (2)

# РБМК-1000 (№ 4) Последние часы

1 час ночи 25 апреля (пятница) Плановое снижение мощности

25 апреля с 14 до 23 часов Приостановка снижения мощности

25 апреля с 23 до 00.30 часов 26 апреля Ускорение снижения мощности

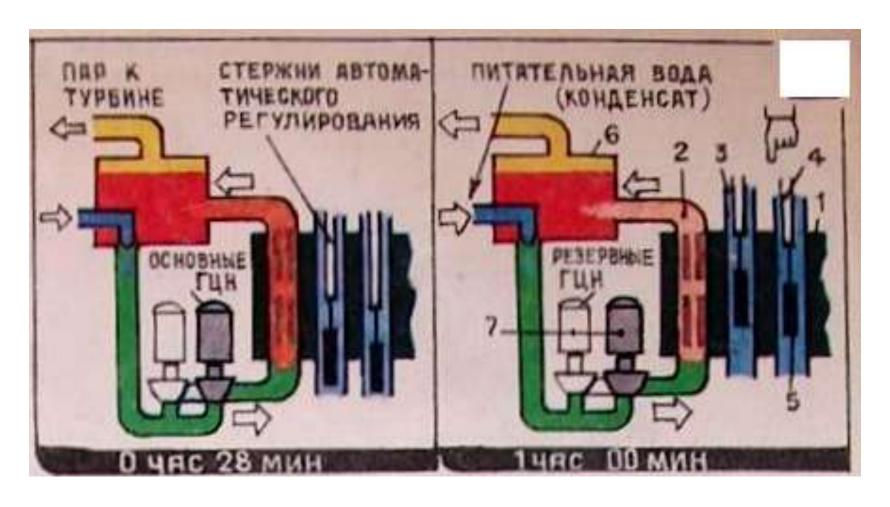
00.30 часов 26 апреля Мощность упала до 1% от номинала вместо нужных для эксперимента 22-30% Попытка поднять мощность. Мешает ксеноновое отравление реактора

1 час 23 минуты 10 секунд 26 апреля Попытка начала эксперимента. Израсходование ксенона

1 час 23 мин. 44 сек. взрыв от давления перегретого пара и водорода

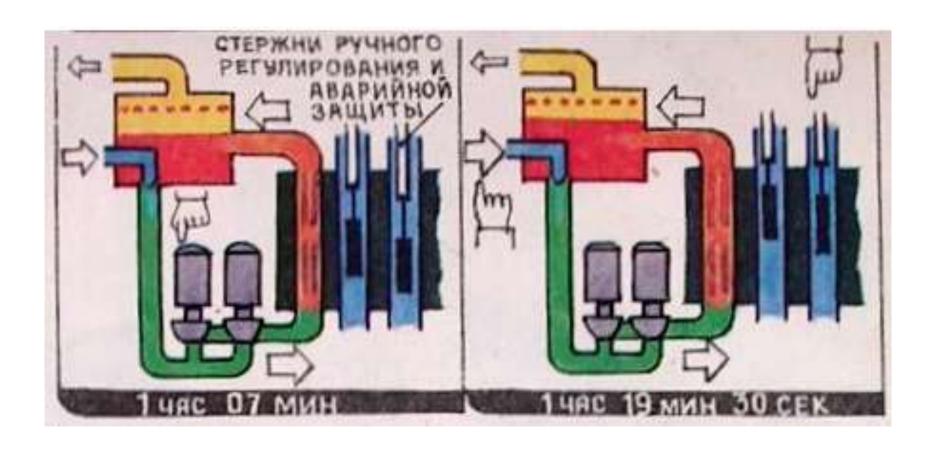
$$^{5}I \xrightarrow{6,6} ^{9,1} ^{9,1} ^{9}$$
 $^{5}I \xrightarrow{135} ^{135}C s$ 

## РБМК-1000 (№ 4) Последние минуты (1)



18 c 6,6 ч 9,1 ч
$$^{135}\text{T e} \xrightarrow{135}\text{I} \xrightarrow{135}\text{X e} \xrightarrow{135}\text{C s}$$

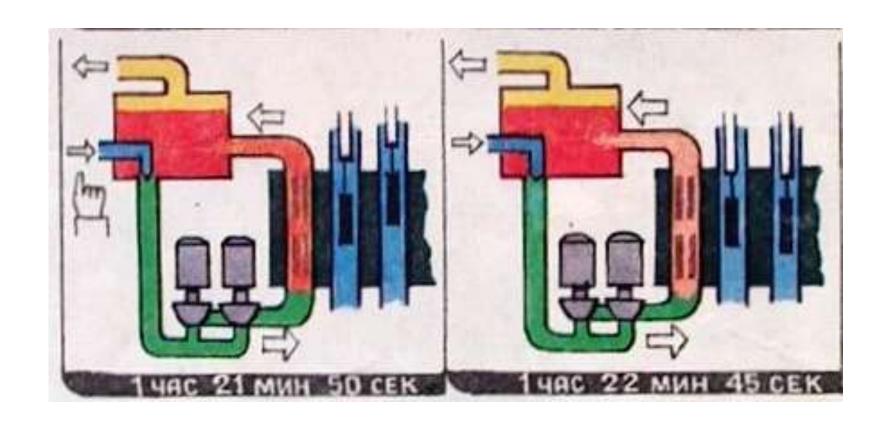
## РБМК-1000 (№ 4) Последние минуты (2)



18 c 6,6 प 9,1 प

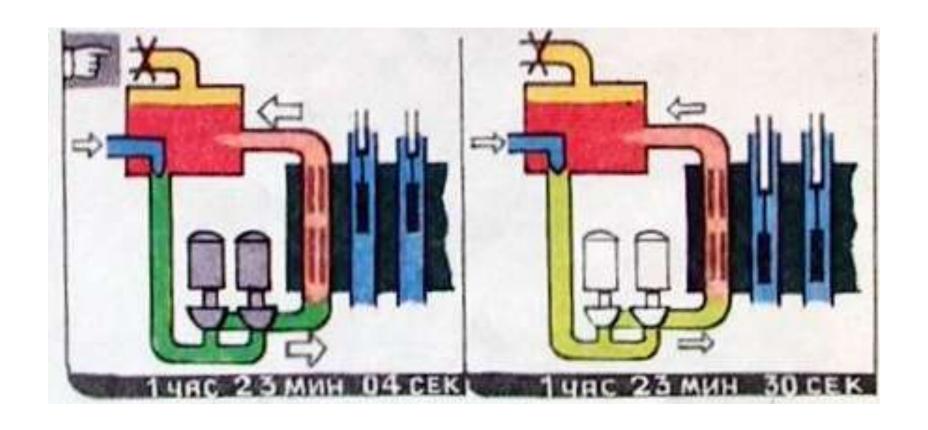
135Te ----→ 
$$^{135}I$$
 -----→  $^{135}X$  e -----→  $^{135}C$  s

## РБМК-1000 (№ 4) Последние минуты (3)



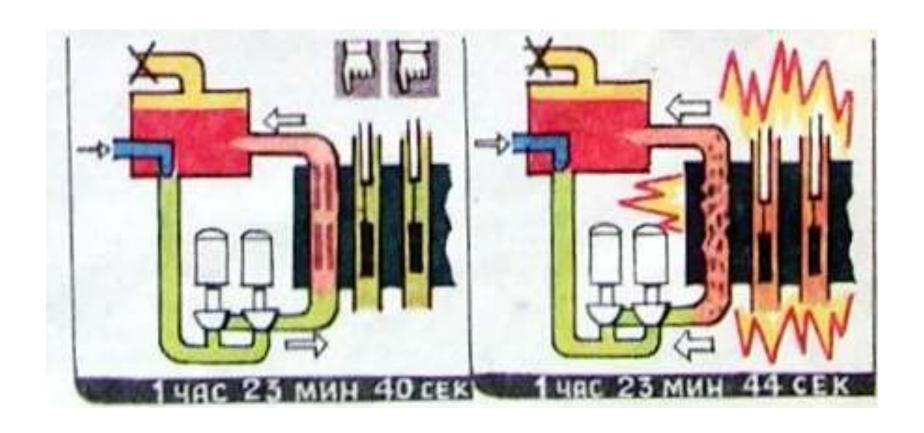
18 c 6,6 प 9,1 प  
135 T e ----→ 
$$^{135}$$
I -----→  $^{135}$ X e ----→  $^{135}$ C s

## РБМК-1000 (№ 4) Последние секунды (1)



$$9,1 \text{ } \text{ } \text{} \text{}$$
 $\longrightarrow 135 \text{C s}$ 

#### РБМК-1000 (№ 4) Последние секунды (2)



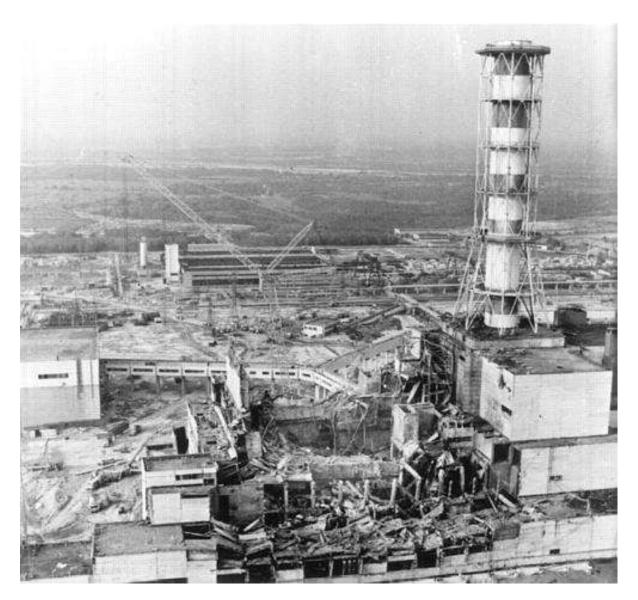
$$C + H_2O = CO + H_2$$

«Наука и жизнь» №12, 1989 год http://chernobil.land.ru/

# ЧАЭС (1985)











#### Официально...

# От Совета Министров СССР

Как уже сообщалось в печати, на Чернобыльской атомной электростанции, расположенной в 130 километрах севернее Киева, произошла авария. На месте работает правительственная комиссия под руководством заместителя Председателя Совета Министров СССР т. Щербины В. Е. В ее состав вошли руководители министерств и ведомств, видные ученые и специалисты.

По предварительным данным, авария произошла в одном из помещений 4-го энергоблока и привела к разрушению части строительных конструкций здания реактора, его повреждению и некоторой утечки радиоактивных веществ. Три остальных энергоблока остановлены, исправные и находятся в эксплуатационном резерве. При аварии погибли два человека.

Приняты первоочередные меры по ликвидации последствий аварии. В настоящее время радиационная обстановка на электростанции и прилегающей местности стабилизирована, пострадавшим оказывается необходимая медицинская помощь. Жители поселка АЭС и трех близлежащих населенных пунктов эвакуированы.

За состоянием радиационной обстановки на Чернобыльской АЭС и окружающей местности ведется непрерывное наблюдение.

#### Официально...

#### От Совета Министров СССР

На Чернобыльской атомной электростанции продолжаются работы по ликвидации последствий происшедшей аварии. В результате принятых мер за истекшие сутки выделение радиоактивных веществуменьшилось, уровни радиации в районе АЭС и в поселке станции снизились.

Проводимые специалистами измерения с помощью контрольной аппаратуры свидетельствуют о том, что цепной реакции деления ядерного топлива не происходит, реактор находится в заглушенном состоянии.

Развернуты работы по очистке загрязненных участков прилегающей местности, 
к их выполнению привлечены 
специализированные подразделения, оснащенные необходимой современной техникой 
и эффективными средствами.

Некоторые агентства на Западе распространяют слухи о В том, что якобы при аварии В на АЭС погибли тысячи людей В Как уже сообщалось, фактачески погибли 2 человека, гос питализировано всего 197; из них 49 покинули госпиталь после обследования. Работа предприятий, колхозов, совковов и учреждений идет нормально.

#### От Совета 2 мая 1986 г. Министров СССР

В течение 30 апреля на Чернобыльской атомной электростанции продолжалась работа по осуществлению комплекса технических мер.

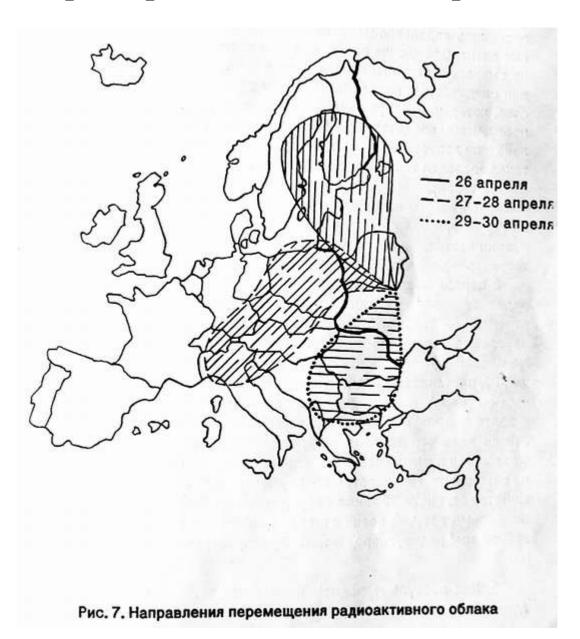
Радиоактивность на территории АЭС и в поселке электростанции уменьшилась в полтора-два раза.

Ведется работа по дезактивации загрязненных участков, прилегающих к территории АЭС.

Продолжается оказание помощи пострадавшим, среди них 18 человек находятся в тяжелом состоянии.

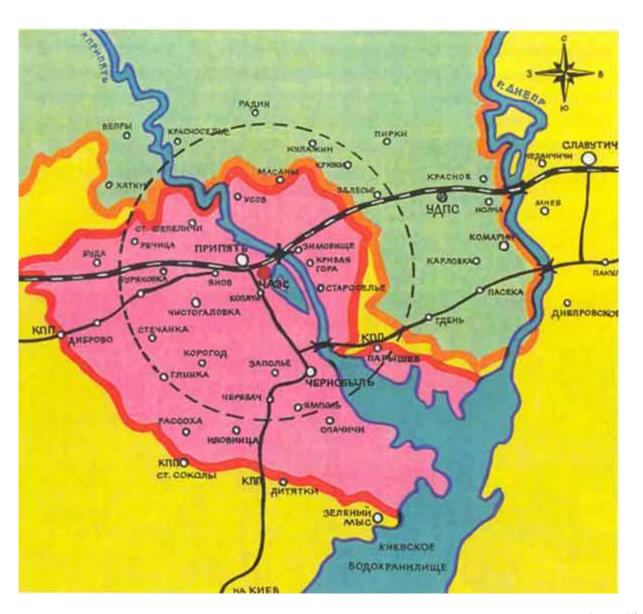
В числе пострадавших иностранных граждан нет.

#### Выбросы радиоактивных материалов (апрель 1986)



Люцко А.М. Фон Чернобыля - Минск, 1990

## 30-километровая зона (апрель 1986)



Наиболее опасные компоненты выброса при катастрофе (май 1986)			
Изотоп	% выброса	Масса выброса, г	Период полураспада
Иод-131	50	142	8 суток
Цезий-137	30	27000	30 лет
Стронций-90	10	4000	29 лет
Плутоний-239	8	26400	24390 лет

## Единицы измерения

При дозе рентгеновского или гамма-излучения, равной 1 Р, в 1 см<sup>3</sup> воздуха образуется 2,082·10<sup>9</sup> пар ионов Биологический эквивалент рентгена — устаревшая внесистемная единица измерения эквивалентной дозы излучения.

1 БЭР = доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и доза рентгеновских или гамма-лучей в 1 Рентген.

1 БЭР = 0.01 Зв.

100 БЭР равны 1 зиверту.

1 3в = 1 Дж/кг для излучений с коэффициентом качества

Грэй — единица поглощенной дозы излучения в системе CИ.

1 Гр = поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж.

1 Гр = 1 Дж/кг = 100 рад.

## Радиация и организм

Для оценки влияния ИИ на человека используются поправочные коэффициенты.

До недавнего времени при расчёте "эквивалентной дозы" использовались "коэффициенты качества излучения" (К) - поправочные коэффициенты, учитывающие различное влияние на биологические объекты (различную способность повреждать ткани организма) разных излучений при одной и той же поглощённой дозе. Используются при расчёте "эквивалентной дозы".

Сейчас эти коэффициенты в Нормах радиационной безопасности (НРБ-99) назвали очень "по-научному" -

"Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчёте эквивалентной дозы (WR)".

Эти коэффициенты равны соответственно:

рентгеновское, гамма, бета-излучение, электроны и позитроны - 1 протоны с Е более 2 Мэв - 5

нейтроны с Е менее 10 кэв) - 5

нейтроны с Е от 10 кэв до 100 кэв - 10

альфа-частицы, осколки деления, тяжёлые ядра - 20

и так далее.

## Единицы измерения

Значение 1 кюри изначально было определено как активность эманации радия (т. е. радона-222), находящейся в радиоактивном равновесии с 1 граммом радия-226<sup>[6]</sup>. В настоящее время единица привязана к беккерелю (по определению, 1 Ки = 3,7·10<sup>10</sup> Бк точно)

#### Человек и радиация



Рис. 13.

Коэффициенты радиационного риска для тканей и органов человека при равномерном облучении всего тела

## Человек и радиация

**Безопасным считается излучение, мощность которого не превышает 0,2 микрозиверта в час**. Допустимая доза радиации для человека не превышает 0,05 3в.

100 БЭР равны 1 зиверту.

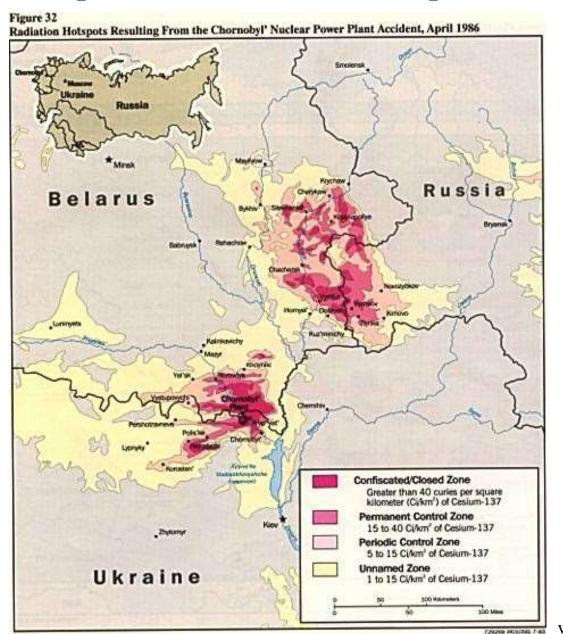
## КПД иодной профилактики?

Иодистый калий в таблетках, который раздавали школьникам в зараженных зонах в сентябре 1986 г. (120 суток после катастрофы), необходим, чтобы препятствовать накоплению в щитовидной железе высокорадиоактивного иода-131 с периодом полураспада 8 суток. Во сколько раз больше была бы эффективность этой профилактической меры, если бы иодистый калий начали раздавать (и принимать) сразу после аварии? Можно условно считать, что к 1 мая 1986 г. выброс иода-131 прекратился.

## Сколько жертв в 2-м поколении?

100 кг "оружейных" изотопов образца 1945 года («Малыш»+»Толстяк») дали в Японии через 50 лет 367 тысяч "хибакуся". Сколько пораженных второго поколения будет в 2036 году на территории России, Беларуси, Украины, если активность 50 т (!) "топливных" изотопов примерно в 10 раз ниже, чем "оружейных"?

#### Загрязнение цезием-137 (апрель 1986)



#### Загрязнение цезием-137 (10 мая 1986)

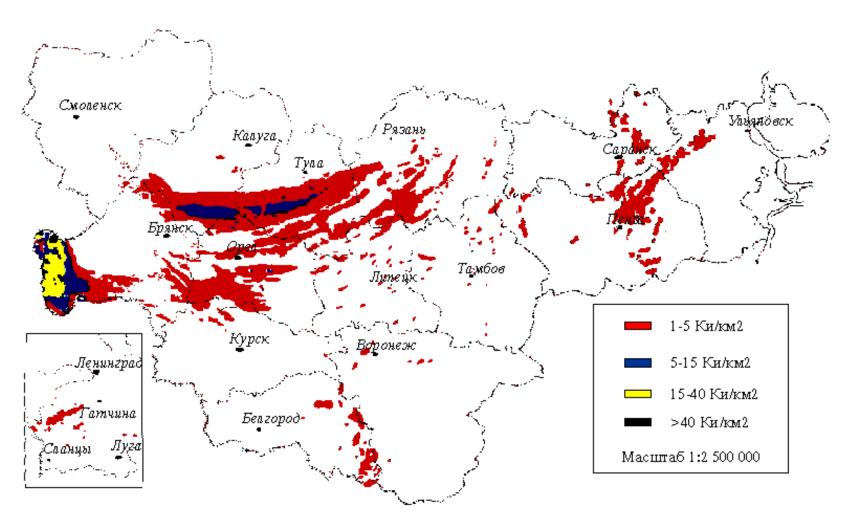


Рис. 1. Карта плотности загрязнения цезием-137 с запасом > 1 Ки/км2 территории европейской части России

## Еще один мирный атом... В 1971г в 340 км от Москвы был проведен подземный ядерный взрыв

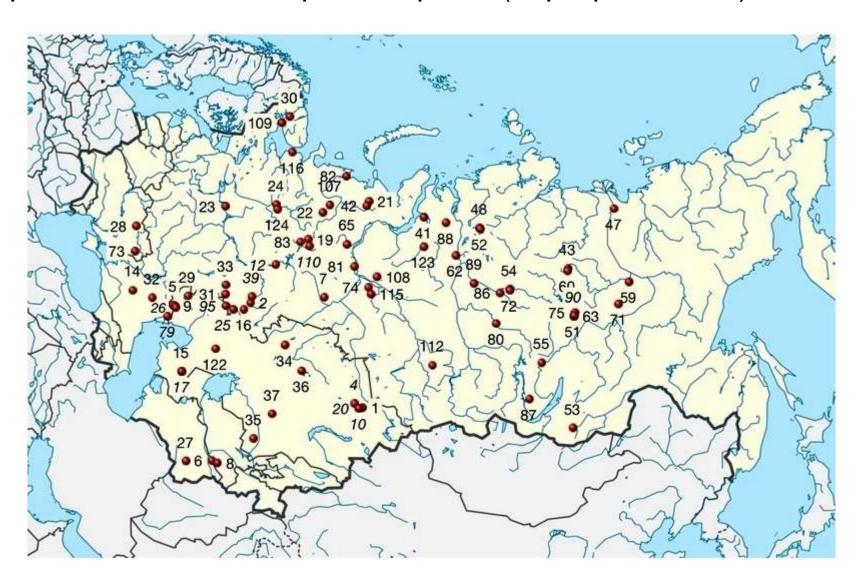
В 1971 году на территории «Глобус-1» был проведен подземный ядерный взрыв, последствия которого сухо называют «аварийными» - взрыв произошел на глубине 620 м, но после взрыва из скважины еще 20 дней бил гейзер из смеси инертных газов и воды. Сейчас площадь грязной зоны не превышает 1 га, говорится в отчете института ВНИПИпромтехнологии.

В 2004 году был доказан риск изменения русла Шачи с затоплением скважины, что могло привести к радиоактивному загрязнению Волги и в связи с этим прорыли обводной канал. На сегодня источниками излучения остаются небольшие участки грунта - пятна, где максимальная удельная активность почвы достигает 100 тыс. беккерелей на кг, что в десятки тысяч раз выше нормы.

## И еще один мирный атом...

Прое́кт «Тайга́» — кодовое название проекта, разработанного в СССР с целью создания искусственного канала с помощью экскавационных групповых ядерных <u>взрывов между реками Печора — Колва (Пермский край)</u> для подпитки мелеющего Каспийского моря. Для создания канала планировалось провести 250 ядерных взрывов. Экспериментальный подрыв трёх ядерных зарядов был проведён 23 марта 1971 года, но впоследствии проект был закрыт из-за попадания радиоактивных частиц за территорию Советского Союза

# Начиная с 1965 года по 1988 на территории СССР было произведено 124 ядерных взрыва ("Программа -7")



## Проект «Тайга» в действии



ученые и военные получили требуемое: продолговатую воронку длиной 700 м, шириной 380 м и глубиной до 15 м. Серийные ядерные взрывы действительно способны были моментально провести земляные работы, на которые обычным способом, даже с использованием самой современной техники, ушли бы долгие годы.

## На маяке и метеостанции - РИТЭГ



Плутоний-238 чаще всего применяется в космических аппаратах.  $\alpha$ -распад с энергией 5,5 МЭв (один грамм дает ~0,54 Вт). Период полураспада 88 лет (потеря мощности 0,78 % в год) с образованием высокостабильного изотопа  $^{234}$ U. **Стронций-90** - один грамм дает  $\sim$ 0,46 Вт

#### Схема «саркофага»



## Строительство «саркофага»



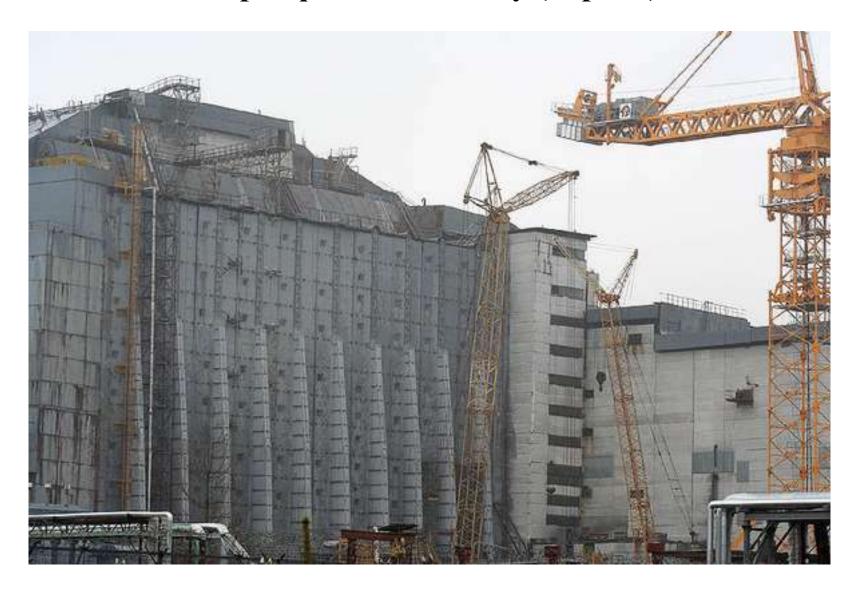
## Строительство «саркофага»



### Строительство «саркофага»



### «Саркофаг» в 2006 году (апрель)



#### Зараженная техника (апрель 2006)



Медаль вручается непосредственным участникам ликвидации радиационных аварий на ядерных установках надводных и подводных кораблей и других военных объектах



## Памятник в Стерлитамаке



#### Город Припять в 2006 году



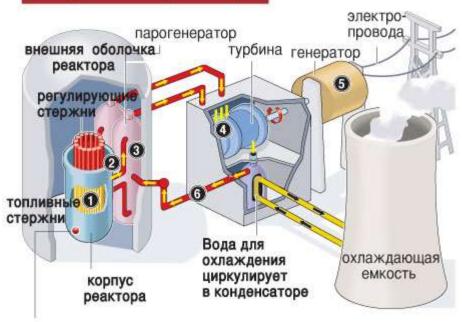
http://lenta.ru/topics/twenty/

#### Город Припять в 2006 году



## Фукусима-1 (1967-1979) март 2011 г

#### Устройство реактора



Процесс плавления ядерных стержней может разрушить герметичность реактора и привести к серьезной утечке радиации

- Ядерная реакция генерирует тепло
- Тепло передается воде
- Вода превращается в пар
- Пар вращает турбины
- В генераторе энергия вращения турбин преобразуется в электроэнергию
- Охлажденная вода закачивается насосами обратно в реактор

**ГР** Источник: ANPRO

## Через 25 лет после Чернобыля

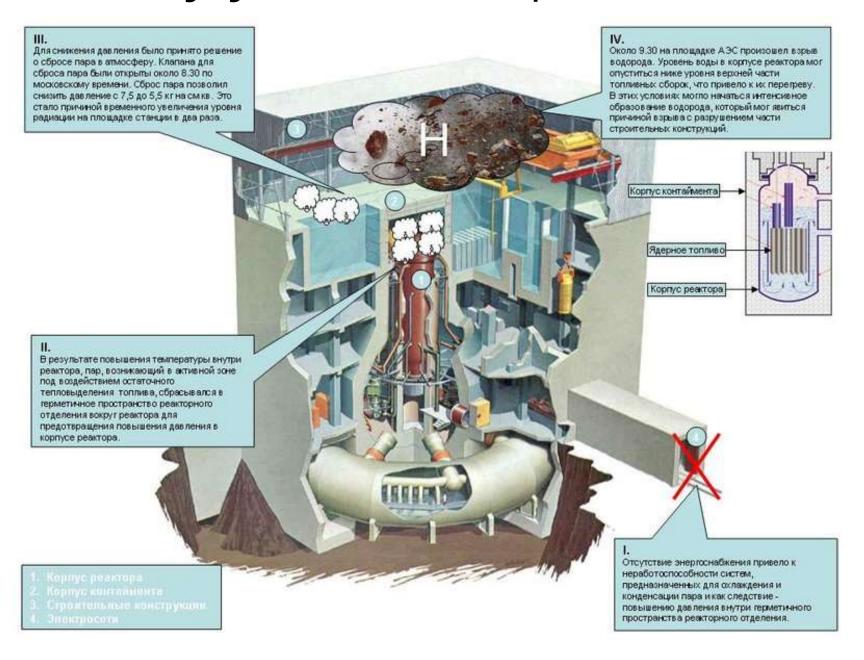
## Фукусима-2011

В.В.Загорский – 04.2006, 2010, 2011

В пятницу, 11 марта 2011 года, в Японии произошло землетрясение магнитудой 9. Его эпицентр находился в океане у восточного побережья острова Хонсю, в районе префектуры Мияги. Землетрясение стало самым сильным за всю историю Японии и вошло в пятёрку самых сильных в мире. Подземные толчки и последовавшее цунами повредили системы охлаждения и насосные станции АЭС «Фукусима-1».

В субботу, 12 марта, в 15:36 на АЭС «Фукусима-1» произошёл взрыв на 3-м энергоблоке, затем последовал взрыв на 1-м энергоблоке. Ещё два взрыва и пожары произошли на АЭС «Фукусима-1» 15 марта на 2-м и 4-м энергоблоках в 6:10 и 10:22 утра по местному времени

## **Фукусима-1** 12 марта 2011 г



## Фукусима-1 15 марта 2011 г



## Фукусима-1 15 марта 2011 г



### ЧАЭС (27-30 апреля 1986)



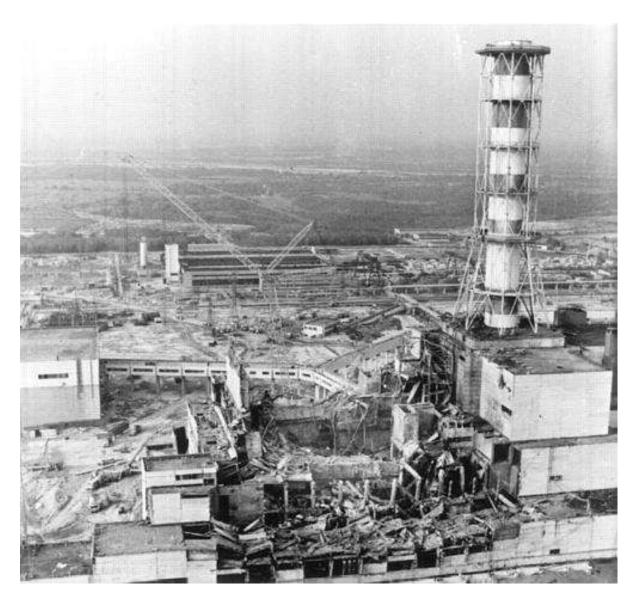
## Фукусима-1 15 марта 2011 г



## Фукусима-1 12 марта 2011 г



## ЧАЭС (27-30 апреля 1986)



## **Фукусима-1** март 2011 г



#### После аварии...

#### Состояние энергоблоков

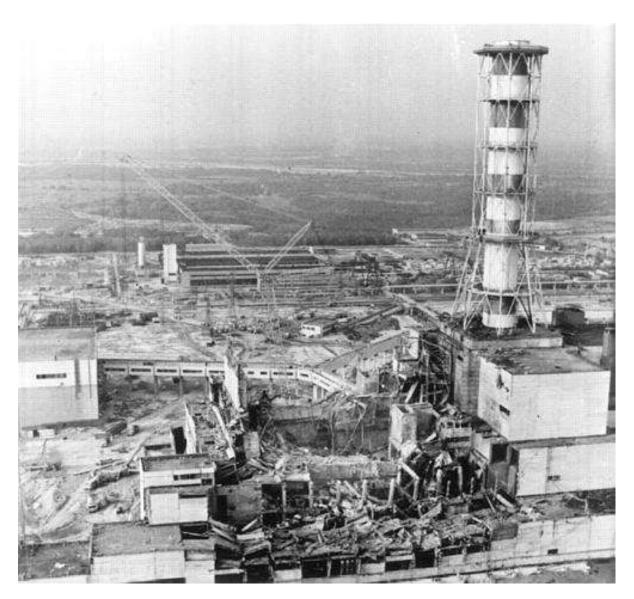
[править]

#### Значимость по шкале JAIF

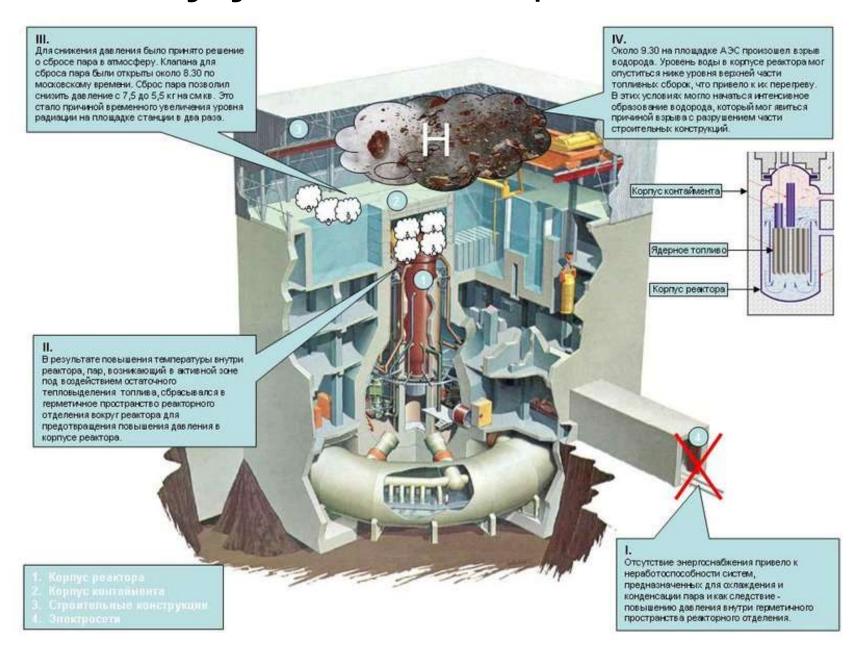
Низкая Высокая Тяжелая ситуация

Состояние станции на 07:00 (мск), 4 июня 2011 года <sup>[140]</sup>	1	2	3	4	5	6
Мощность реактора, электрическая (МВт)	460	784	784	784	784	1100
Мощность реактора, тепловая (МВт)	1380	2381	2381	2381	2381	3293
Тип реактора	BWR-3	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-5
Состояние на момент землетрясения	На мощности → автоматически остановлен			остановлен		
Количество ТВС в реакторе	400	548	548	Топливо выгружено	548	764
Целостность активной зоны и твэлов	Повреждена (расплавление активной зоны )	Повреждена (расплавление активной зоны )	Повреждена (расплавление активной зоны )	Топливо выгружено	Норма	Норма
Целостность корпуса реактора	Ограниченные повреждения и течь	Неизвестно	Неизвестно			
Целостность гермооболочки	Предполагаются повреждения и течь	Предполагаются повреждения и течь	Предполагаются повреждения и течь	Не повреждена	Не повреждена	Не повреждена
Система охлаждения 1 (ECCS/RHR)	Не работоспособна	Не работоспособна	Не работоспособна	Не требуется	Работоспособна	Работоспособна

### ЧАЭС (27-30 апреля 1986)



## **Фукусима-1** 12 марта 2011 г



## Параметры станции Фукусима-1

Энергоблок <sup>[3]</sup>	Тип реакторов <sup>[4]</sup>	Мощность		Начало	Энергетический	Вводв
		Чистый	Брутто	строительства	пуск	эксплуатацию
Фукусима I-1	BWR-3 <sup>[5]</sup>	439 МВт	460 MBt	25.07.1967	17.11.1970	26.03.1971
Фукусима І-2	BWR-4	760 MBτ	784 МВт	09.06.1969	24.12.1973	18.07.1974
Фукусима I-3	BWR-4	760 MBt	784 МВт	28.12.1970	26.10.1974	27.03.1976
Фукусима І-4	BWR-4	760 MBt	784 МВт	12.02.1973	24.02.1978	12.10.1978
Фукусима І-5	BWR-4	760 MBt	784 МВт	22.05.1972	22.09.1977	18.04.1978
Фукусима I-6	BWR-5	1067 МВт	1100 MBt	26.10.1973	04.05.1979	24.10.1979
Фукусима I-7 (план) <sup>[6]</sup>	ABWR	1339 МВт	1380 МВт		Планы отмен	нены 04.2011
Фукусима I-8 (план) <sup>[7]</sup>	ABWR	1339 МВт	1380 МВт		Планы отмен	чены 04.2011

# Уровень радиации грунтовых вод под "Фукусимой" увеличился в 6,5 тыс. раз (октябрь 2013)

http://top.rbc.ru/incidents/18/10/2013/882926.shtml

#### Справка:

В пятницу, 11 марта 2011 года, в Японии произошло землетрясение магнитудой 9. Его эпицентр находился в океане у восточного побережья острова Хонсю, в районе префектуры Мияги. Землетрясение стало самым сильным за всю историю Японии и вошло в пятёрку самых сильных в мире. Подземные толчки и последовавшее цунами повредили системы охлаждения и насосные станции АЭС «Фукусима-1».

В субботу, 12 марта, в 15:36 на АЭС «Фукусима-1» произошёл взрыв на 3-м энергоблоке, затем последовал взрыв на 1-м энергоблоке. Ещё два взрыва и пожары произошли на АЭС «Фукусима-1» 15 марта на 2-м и 4-м энергоблоках в 6:10 и 10:22 утра по местному времени

# Кальбуко (Чили) 23 апреля 2015 г



# Кальбуко (Чили) 23 апреля 2015 г



## Эйяфьятлайокудль 14 апреля 2010 г.



# Эйяфьятлайокудль



# Эйяфьятлайокудль

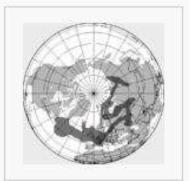


## Эйяфьятлайокудль

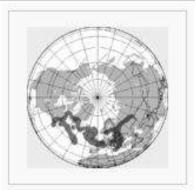
#### Схемы распространения вулканического пепла



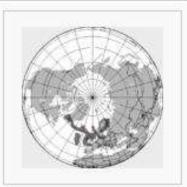
Распространение облака пепла к 17 апреля 2010 18:00 UTC.<sup>[25]</sup>



Распространение облака пепла к 19 апреля 2010 18:00 UTC.<sup>[25]</sup>



Распространение облака пепла к 21 апреля 2010 18:00 UTC.<sup>[25]</sup>



Распространение облака пепла к 22 апреля 2010 18:00 UTC.<sup>[25]</sup>