

# Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивно опасных веществ

## РАДИАЦИОННО ОПАСНЫЕ

### ОБЪЕКТЫ

**Радиационный объект** - объект экономики (предприятие, организация, учреждение), на котором осуществляется деятельность по использованию источников ионизирующих излучений

1. Объекты с радиационной технологией
2. Объекты с ядерной технологией

**РОО** – объект, на котором хранят, транспортируют, перерабатывают или используют р/а в-ва, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти облучение ИИ или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов экономики а также ОПС.

# РАДИАЦИОННО ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ

**Радиационный объект** - объект экономики (предприятие, организация, учреждение), на котором осуществляется деятельность по использованию источников ионизирующих излучений.

**РОО** – объект, на котором хранят, транспортируют, перерабатывают или используют р/а в-ва, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти облучение ИИ или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов экономики а также ОПС.

# Радиационно опасные объекты (РОО)

**Атомные  
станции**

**Предприятия по  
изготовлению  
ядерного  
топлива**

**Предприятия по переработке  
отработанного ядерного  
топлива и захоронению р/а  
отходов**

**Научно-  
исследовательские и  
проектные организации**

**Транспортные ядерно-  
энергетические  
установки**

**Военные объекты  
(стационарные)**

ин  
не  
од  
ох  
за  
по  
ны  
го  
ли  
по  
,  
до  
ох  
от  
а  
р/  
а  
ш  
и  
ны  
и  
ра  
и  
к,  
во  
ло  
его  
го  
е  
х  
ки

# Радиационно опасные объекты (РОО)

- ✓ **Предприятия ядерного топливного цикла**, предназначенные для добычи и переработки урановой руды, переработки и захоронения радиоактивных отходов;
- ✓ **атомные станции (АС)**: атомные электростанции (АЭС), атомные теплоэлектроцентрали (АТЕЦ), атомные станции теплоснабжения (АСТ);
- ✓ **объекты с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ)**: корабельными ЯЭУ, космическими ЯЭУ и войсковыми атомными электростанциями (ВАЭС);
- ✓ **ядерные боеприпасы (ЯБП) и склады их хранения.**

# 10 самых известных радиационных объектов в Москве и рядом со столицей



# КЛАССИФИКАЦИЯ РОО

## Объекты с радиационной технологией:

- предприятия промышленности
- НИУ
- радиационно-химические производства

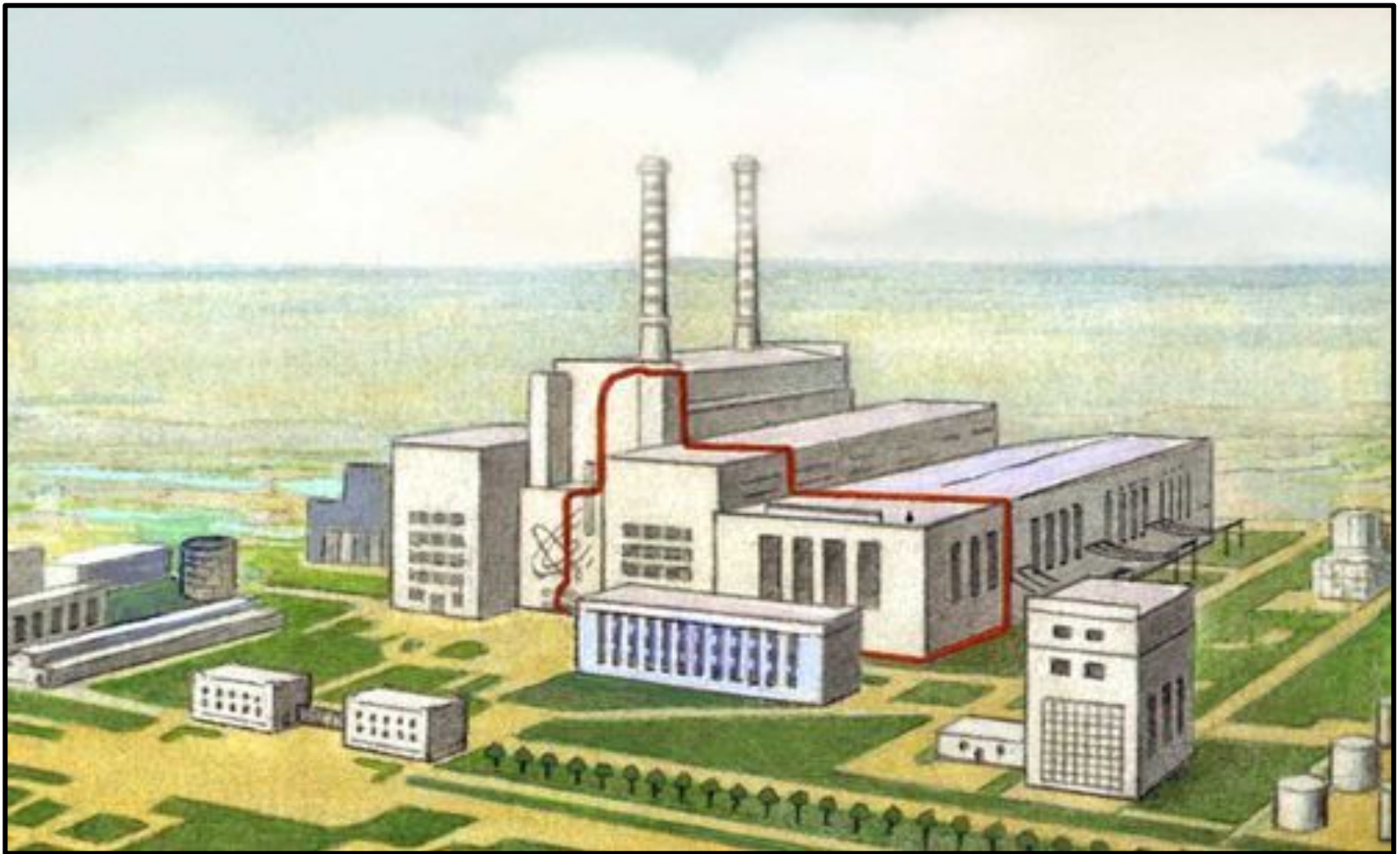
## Объекты с ядерной технологией

- предприятия ЯТЦ
- добыча и переработка урановой руды
- обогащение урана
- изготовление ядерного топлива
- использование топлива в ЯР
- транспортировка ядерного топлива
- переработка (РХЗ)
- обращение с РАО

# К радиационно-опасным объектам относятся:

- Предприятия ядерного топливного цикла





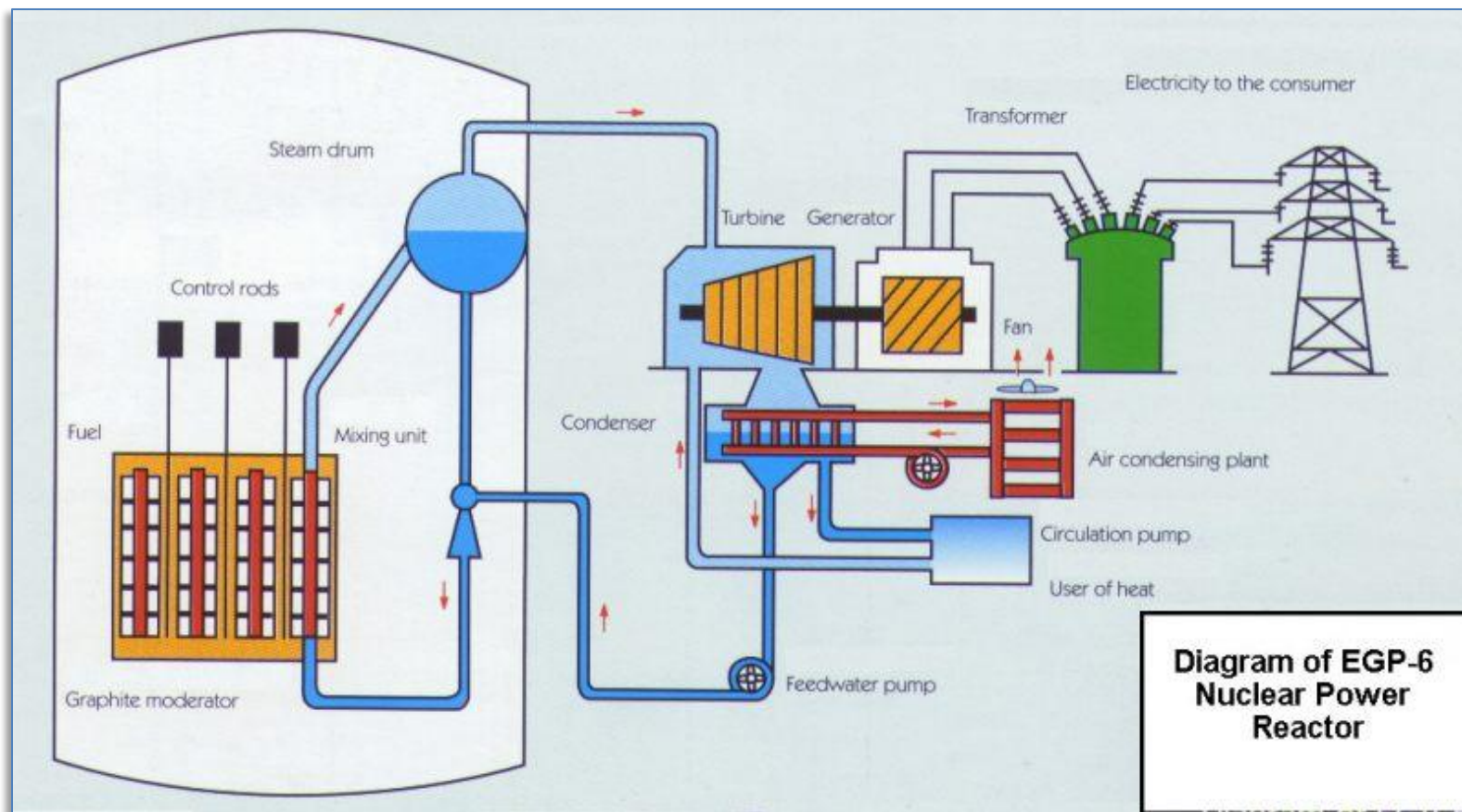
- Атомная электростанция (АЭС)



# Атомные электростанции России

Действующие	<a href="#">Балаковская</a> • <a href="#">Белоярская</a> • <a href="#">Билибинская</a> • <a href="#">Волгодонская</a> • <a href="#">Калининская</a> • <a href="#">Кольская</a> • <a href="#">Курская</a> • <a href="#">Ленинградская</a> • <a href="#">Нововоронежская</a> • <a href="#">Смоленская</a>
Проектируемые	<a href="#">Калининградская</a> • <a href="#">Центральная</a> • <a href="#">Нижегородская</a> • <a href="#">Плавучая</a> • <a href="#">Северская</a> • <a href="#">Тверская</a> • <a href="#">Южно-Уральская</a>
Остановленные	<a href="#">Обнинская</a> • <a href="#">Сибирская</a>
Недостроенные	<a href="#">Башкирская</a> • <a href="#">Татарская</a> • <a href="#">Воронежская АСТ</a> • <a href="#">Горьковская АСТ</a>

# ЭГП-6 (водно-графитовый гетерогенный реактор канального типа).





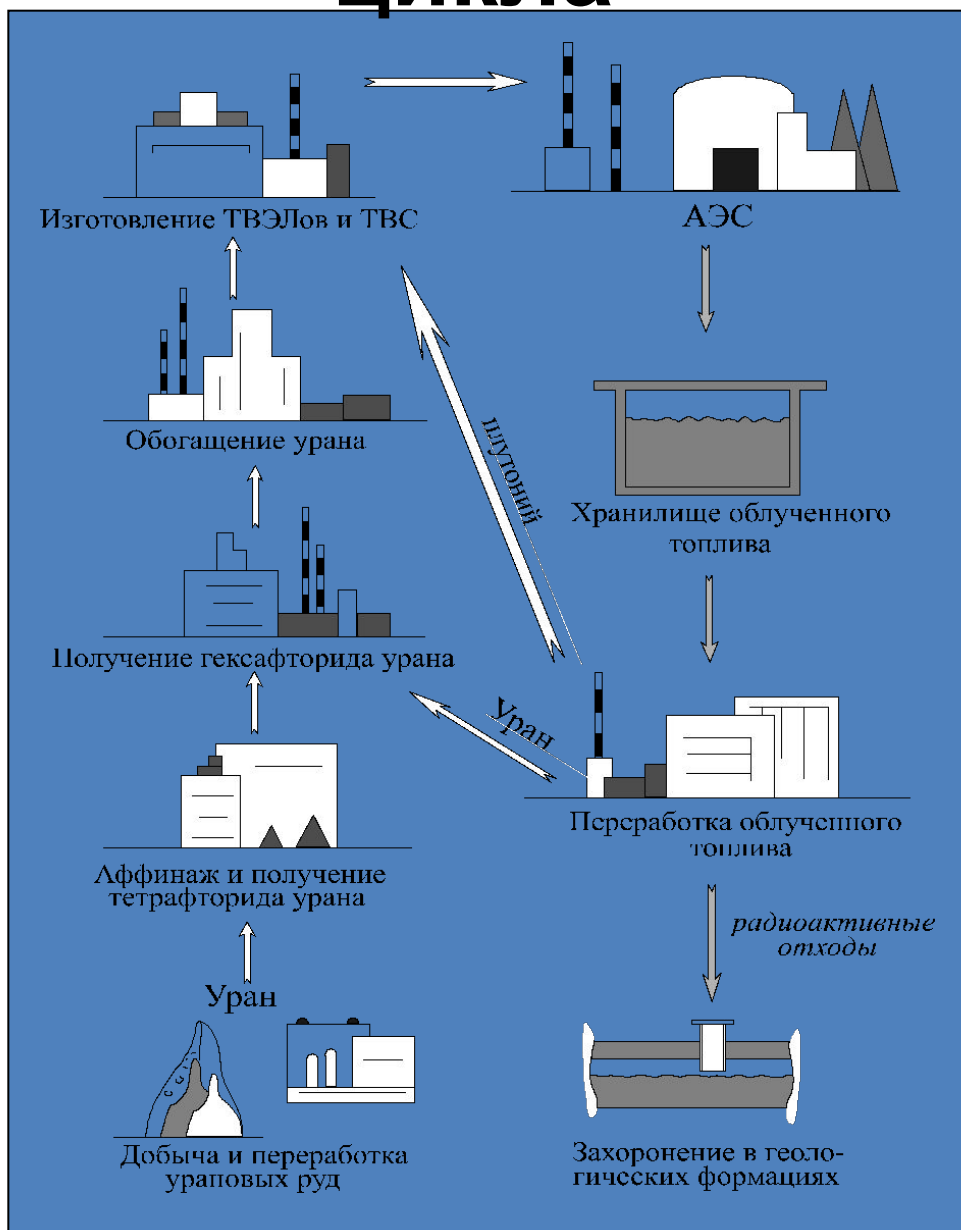
• Объекты с  
ядерными  
энергетическими  
установками



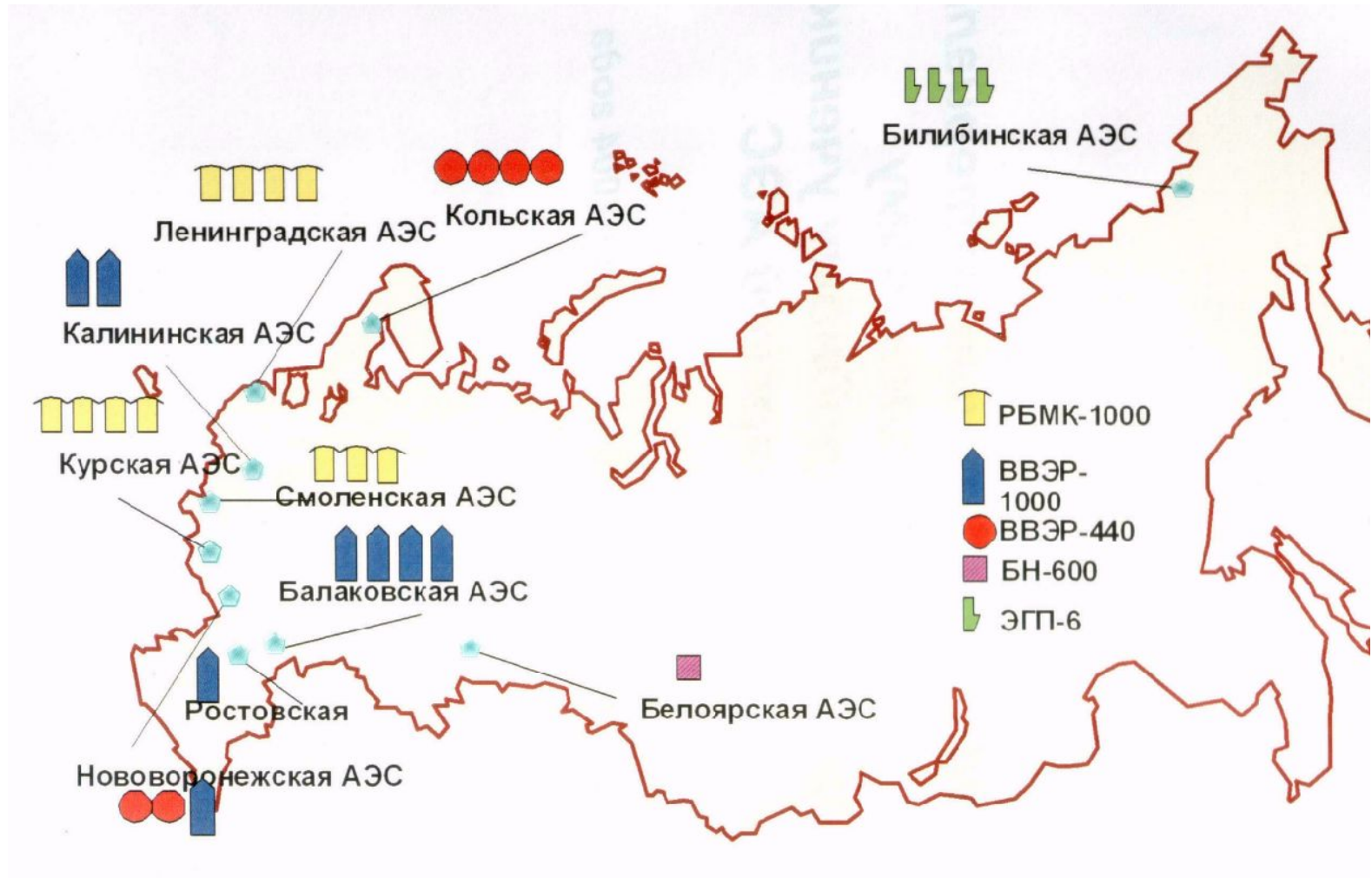


- Ядерные боеприпасы и склады для их хранения

# Предприятия ядерного топливного цикла



# Размещение атомных электростанций на территории России



## Характеристика опасности предприятий ЯТЦ

Предприятия	Число объектов в РФ	Радиоактивность, находящаяся на объекте	Возможность СЦЯР на объекте	Возможная площадь РЗМ, км <sup>2</sup>
Горно-металлический комбинат	единицы	0.3 Ки	невозможна	–
Обогатительный завод	единицы	1 U Ки/т	возможна	–
Изготовление ядерного топлива	единицы	1 U Ки/т	возможна	10
Атомная станция	десятки	$10^8 - 10^9$ Ки	возможна	>100
Транспортировка ядерного топлива	десятки	$10^4 - 10^5$ Ки	возможна	10
Радиохимический завод	единицы	$10^9 - 10^{10}$	возможна	>50
Полигоны для захоронения высокоактивных отходов	единицы	$>10^8$		

# Центральный зал РБМК-1000 (Ленинградская АЭС).





# Основные параметры ядерных

Параметры	ВВЭР - 440	ВВЭР-1000	РБМК-1000	РБМК-15000
Мощность МВт:				
Электрическая	440	1000	1000	1500
Тепловая	1375	3000	3200	4800
КПД, %	32	34	31	31,2
Загрузка урана, т	42	66	192	189

## Основные продукты активации и коррозии ядерного реактора

Нуклид	Период полураспада	Нуклид	Период полураспада
$^{51}\text{Cr}$	672	$^{93}\text{Nb}$	840
$^{54}\text{Mn}$	$7,5 \cdot 10^3$	$^{95}\text{Zr}$	$1,5 \cdot 10^3$
$^{58}\text{Co}$	$8,7 \cdot 10^3$	$^{110}\text{Ag}$	$6,0 \cdot 10^3$
$^{59}\text{Fe}$	$1,1 \cdot 10^3$	$^3\text{H}$	$1,1 \cdot 10^5$
$^{60}\text{Co}$	$4,6 \cdot 10^4$	$^{14}\text{C}$	$5,0 \cdot 10^7$
$^{65}\text{Zn}$	$5,8 \cdot 10^3$	$^{41}\text{Ar}$	1,8

## Ядерные реакторы классифицируются по:

- 1. спектру нейтронов** (на быстрых, тепловых и промежуточных нейтронах)
- 2. применяемых материалов** (используемому топливу, роду замедлителя и теплоносителя)
- 3. конструктивным особенностям** (корпусные и каналные)

## Существует несколько типов реакторов:

- ✓ водо-водяные кипящие
- ✓ водо-водяные с водой под давлением
- ✓ реакторы с газовым охлаждением
- ✓ реакторы с тяжелой водой
- ✓ водо-графитовые каналные реакторы (РБМК реактор большой мощности каналный, теплоноситель – вода, замедлитель – графит),
- ✓ водо-водяные энергетические реакторы, (ВВЭР, теплоноситель и замедлитель – вода, Россия) и др.

# КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПО СТЕПЕНИ ИХ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ

- **А** -  $1 \cdot 10^3$  Бк - **особо высокой радиотоксичности** (U-232, Ra-226, Np-237, Pu-238,239,240, Cm, Am, и пр).
- **Б** -  $1 \cdot 10^4$  и  $1 \cdot 10^5$  Бк с **высокой радиотоксичностью** (Co-60, Sr-90, Y-90, Cs-134,137, I-132,134 и пр).
- **В** -  $1 \cdot 10^6$  и  $1 \cdot 10^7$  Бк - со **средней радиотоксичностью** (I-131, Zr-95, Nb-95 и пр).
- **Г** -  $1 \cdot 10^8$  и  $1 \cdot 10^9$  Бк - **низкой радиотоксичности** (другие радионуклиды)

# Международная шкала ядерных событий



# МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ (INES)



**Радиационная авария (РА)** – потеря управления источником излучения, которая привела к облучению людей выше установленных норм или загрязнению среды РВ.

**Зона радиационной аварии** – территория, на которой суммарное внешнее и внутреннее облучение может превысить 5 мЗв за первый год.

### Причины РА

- ✓ недостатки управления и организации эксплуатации – 53%
- ✓ ошибки в конструкции – 15%
- ✓ дефекты изготовления – 13%
- ✓ ошибки при проектировании – 12%

# САМЫЕ КРУПНЫЕ В МИРЕ РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ

За последние 62 года зафиксировано порядка **33 аварий** уровня 2 и выше по шкале INES\*, в том числе: 6 – в США, 5 – в Японии, по 3 – в Великобритании и СССР/России

\* Шкала INES

- аномалия **1**
- инцидент **2**
- серьезный инцидент **3**
- авария с локальными последствиями **4**
- авария с широкими последствиями **5**
- серьезная авария **6**
- крупная авария **7**

## Гаррисберг, США

1979

До 1986 года авария на АЭС «Три-Майл Айленд» считалась самой крупной в истории мировой ядерной энергетики и до сих пор считается самой тяжелой в истории США. Произошел незначительный выброс в атмосферу инертных радиоактивных газов. Эвакуация не проводилась. Средняя доза радиации в 16-километровой зоне для человека сопоставима с дозой, получаемой при флюорографии.

## Чернобыль, СССР

1986

Крупнейшая ядерная авария в мире. Пожар длился почти 2 недели. В атмосферу попали 190 тонн радиоактивных веществ. Произошло заражение в радиусе 30 км. Загрязнена территория площадью 160 000 км<sup>2</sup>, в том числе 46 500 км<sup>2</sup> – в Беларуси. У 134 человек подтвердили диагноз «острая лучевая болезнь», 31 человек умер.

1952

## Чок-Ривер, Канада

Первая в мире серьезная авария на АЭС. Около 3 800 м<sup>3</sup> загрязненной воды попали во внешнюю среду, в том числе в мелкие каналы рядом с рекой Оттава.

1957

## Уиндскейл, Великобритания

Самая крупная авария в истории британской ядерной индустрии. Пожар в активной зоне продолжался 4 дня, всего сгорело около 11 тонн урана. Радиоактивное облако достигло Бельгии, Германии, Дании, Норвегии.

1957

## Челябинск-40, СССР

Первая радиационная ЧС техногенного характера в СССР, известная как Кыштымская. Была засекречена до 1989 года. В результате взрыва емкости с ядерными отходами на химкомбинате «Маяк» в атмосферу попали 80 тонн радиоактивных веществ. Облако свыше 20 000 м<sup>2</sup> распространилось над Восточным Уралом. Более 5 000 человек подверглись облучению до 100 рентген. Эвакуировали около 12 тысяч жителей.

2011

## Фукусима, Япония

Причиной аварии стало землетрясение магнитудой 9,0 и последовавшее за ним цунами. Объем выбросов во внешнюю среду оценивают в 1/5 выбросов после аварии на ЧАЭС. Потребовалась эвакуация жителей 30-километровой зоны. Площадь земель, подлежащих дезактивации, составляет 3% территории страны.

# РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ

## Международная шкала событий на АЭС

- 1 уровень (незначительное происшествие)** - функциональное отклонение, которое не представляет какого-либо риска, но указывает на недостатки в обеспечении безопасности
- 2 уровень (происшествие средней тяжести)** - отказы оборудования или отклонения от нормальной эксплуатации, которые не оказывают влияния на безопасность станции, но способны привести к переоценке мер безопасности
- 3 уровень (серьёзное происшествие)** - выброс в окружающую среду РП в количестве, не превышающем 5 кратного допустимого суточного выброса, переоблучение работающих до 50 мЗв



# РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ

## Международная шкала событий на АЭС

- 4 уровень (авария в пределах АЭС)** - выброс в окружающую среду РП в количествах, не превышающих дозовые пределы для населения при проектных авариях, облучение персонала порядка 1 Зв, вызывающее лучевые эффекты
- 5 уровень (авария с риском для окружающей среды)**- выброс в окружающую среду РП, которое приводит к превышению дозовых пределов для проектных аварий, требует частичное введение планов защиты
- 6 уровень (тяжелая авария)** - выброс в окружающую среду большого количества РП, необходимо введение планов защиты населения и персонала в ограниченной зоне в районе АЭС
- 7 уровень (глобальная авария)** - выброс большого количества РП, накопленных в активной зоне, возможны острые лучевые поражения, последующее влияние на здоровье населения, проживающего на большой территории, включающее более чем одну страну

# КЛАССИФИКАЦИИ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

**по масштабам  
радиационных  
последствий**

**ЛОКАЛЬНАЯ**  
здание,  
сооружение

**МЕСТНАЯ**  
СЗЗ объекта

**ОБЩАЯ**  
за пределы СЗЗ  
объекта

**по типовым  
нарушениям  
нормальной  
эксплуатации**

**ПРОЕКТНАЯ**

**ЗАПРОЕКТН  
АЯ**

# Стадии (фазы) развития радиационных аварий

---

- **Ранняя стадия** - длится от начала аварии до формирования первичного следа облака- продолжительность 10 суток
- характеризуется наиболее интенсивным действием радиационных факторов
- внешнее облучение от облака и РЗМ
- внутреннее облучение при вдыхании радионуклидов из облака выброса

## Средняя стадия

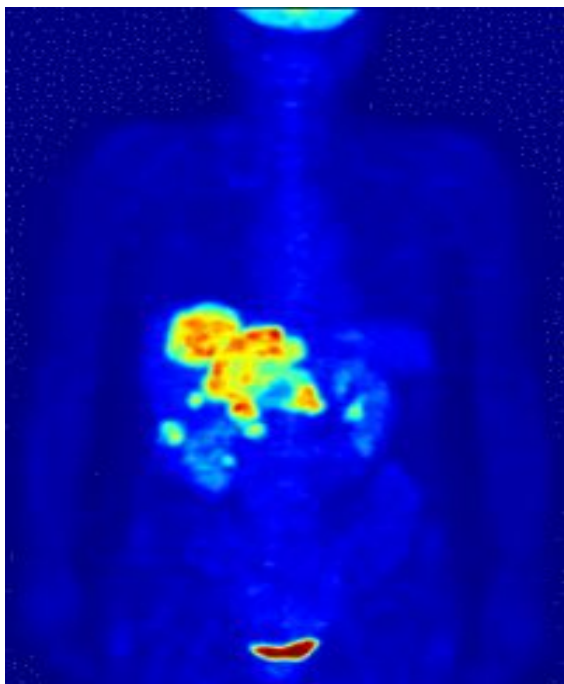
- Наличие строгих ограничений жизнедеятельности населения в зоне РЗМ
- продолжительность - до 1 года (до принятия всех мер по защите населения)
- основные факторы радиационного воздействия:
  - внешнее облучение от РЗМ
  - внутреннее ингаляционное облучение
  - внутреннее облучение при употреблении загрязненных продуктов питания и питьевой воды

## Поздняя (восстановительная) стадия

- Длится до снятия всех ограничений
- основные факторы радиационного воздействия:
- внешнее облучение от РЗМ
- внутреннее ингаляционное облучение от вторично поднятой активности
- внутреннее облучение при употреблении загрязненных продуктов питания и питьевой

# Последствия радиационных аварий

**Последствия РА** – возникшая в результате аварии на РОО радиационная обстановка, а также ее долговременные последствия, наносящие ущерб за счет радиационного воздействия на персонал, население, объекты техносферы и природную среду.



## Поражающие факторы радиационных аварий.

- проникающая радиация (при разрушении реактора)
- радиационное загрязнение местности, воздуха, объектов
- пожары, взрывы



## Факторы, оказывающие влияние на ход аварии и последующую радиационную обстановку

- объем выброса
- состав р/н, их период полураспада, их агрегатное состояние и свойства
- метеорологические и климатические факторы
- рельеф местности
- результативность работ по ликвидации последствий



## Последствия аварий оцениваются:

- масштабом и степенью радиационного воздействия и р/а загрязнения
- составом р/н
- количеством р/н в выбросе.

## Характеристики радиационного воздействия:

- эффективные эквивалентные дозы внутреннего и внешнего облучения органов и тканей человека;
- поверхностная (объемная) плотность р/а в-в (активность р/н, приходящаяся на единицу площади).

**Прогнозируемые уровни облучения,  
при которых безусловно необходимо срочное вмешательство**

<b>Орган или ткань</b>	<b>Поглощенная доза в органе или ткани за 2-е суток, Гр</b>
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	2

**Критерии для принятия неотложных решений в начальном  
периоде аварийной ситуации**

<b>Меры защиты</b>	<b>Прогнозируемая доза за первые 10 суток, мГр</b>			
	На все тело		Щитовидная железа, легкие, кожа	
	Уровень А	Уровень Б	Уровень А	Уровень Б
Укрытие	5	50	50	500
Йодная профилактика				
взрослые	—	—	250*	2500*
дети	—	—	100*	1000*
Эвакуация	50	500	500	5000

## ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

<b>Наименование зоны</b>		<b>Эффективная эквивалентная доза, мЗв</b>
<b>Ранняя и промежуточная фазы</b>	<b>восстановительная фаза</b>	
<b>Решается вопрос об отселении в соответствии с «Критериями для принятия решений о введении мер радиационной защиты при радиационных авариях»)</b>	<b>Зона радиационного контроля</b>	<b>1-5</b>
	<b>Зона ограниченного проживания</b>	<b>5-20</b>
	<b>Зона отселения</b>	<b>20-50</b>
	<b>Зона отчуждения</b>	<b>&gt;50</b>

# ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ РА

Зона радиационного контроля — от 1 мЗв до 5 мЗв.

- мониторинг радиоактивности объектов окружающей среды,
- меры по снижению доз на основе принципа оптимизации
- другие необходимые активные меры защиты населения.

Зона ограниченного проживания населения - от 5 мЗв до 20 мЗв.

- меры мониторинга и защиты населения,
- добровольный въезд на указанную территорию не ограничивается.
- населению разъясняется риск ущерба здоровью

**Зона отселения** — от 20 мЗв до 50 мЗв.

- въезд на указанную территорию для постоянного проживания не разрешен, запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей.
- радиационный мониторинг людей и объектов внешней среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты.

**Зона отчуждения** — более 50 мЗв.

- постоянное проживание не допускается.
- мониторинг и защита работающих с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем.

# Профилактика возможных радиационных аварий и снижение ущерба от них

## Создание высоконадежной техники и технологий

- Создание реакторов повышенной устойчивости и систем технологической безопасности
- Бездефектное изготовление оборудования, качественное выполнение монтажа, соблюдение технологий и правил эксплуатации

# Профилактика возможных радиационных аварий и снижение ущерба от них

## Рациональное размещение РОО с учетом возможных последствий аварии

Расстояние от АЭС до ближайшего населенного пункта

- 8 км до поселка с населением. 50 тыс. человек
- 30 км до города с населением от 50 тыс до 1 млн человек
- 100 км до города с населением св. 2 млн. человек

# Профилактика возможных радиационных аварий и снижение ущерба от них

## Меры по ограничению распространения выброса за пределы СЗЗ (санитарно-защитных зон)

- Конструктивные способы предотвращения и локализации выбросов
- Мероприятия по локализации реактора
- Установление СЗЗ



# Меры по защите персонала и населения

- Создание автоматизированной системы контроля радиационной обстановки
- Создание локальной системы оповещения в 30 км зоне
- Строительство и приведение в готовность защитных сооружений в радиусе 30 км
- Определение перечня населенных пунктов и численности проживающего в них населения, подлежащего защите или эвакуации
- Создание запасов медикаментов, СИЗ и пр.
- Подготовка населения к действиям в условиях радиационной аварии
- Создание на АЭС специальных формирований
- Прогнозирование радиационной обстановки
- Организация радиационной разведки
- Периодическое проведение учений по ГО

# *Мероприятия, проводимые в зоне радиоактивного загрязнения*

- Выявление и оценка радиационной обстановки
- Оповещение населения о возникшей опасности
- Ввод в действие режимов радиационной защиты
- Проведение радиационной профилактики
- Защита органов дыхания и кожи
- Эвакуация производственного персонала и населения
- Организация дозиметрического контроля

# *Мероприятия, проводимые в зоне радиоактивного загрязнения*

- Дезактивация дорог, зданий, технологического оборудования
- Санитарная обработка
- Ограничение доступа в загрязненные районы
- Простейшая обработка продуктов питания
- Перевод сельскохозяйственных животных на незагрязненные пастбища
- Введение посменной работы на объектах с высокими мощностями доз излучения

# *Действия населения при радиационных авариях*

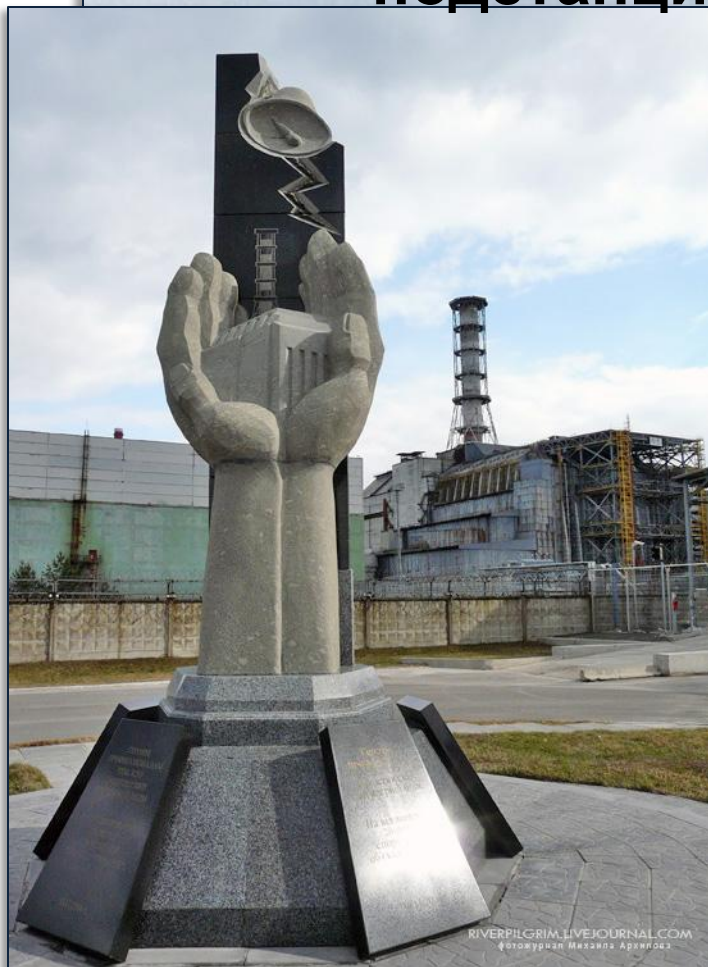
- Действовать согласно полученным указаниям
- Защитить органы дыхания и укрыться в ближайших зданиях;
- Провести герметизацию помещения, продуктов питания, воды и необходимых вещей
- Провести йодную профилактику (5% р-р йода 3-5 капель на стакан воды для взрослого, 1-2 капли на 100гр воды для ребенка 1-2 лет; повторить через 6-7 часов).
- При приготовлении еды все продукты тщательно промывать, строго соблюдать правила личной гигиены

# Чернобыльская АЭС



# Чернобыльская АЭС

Комплекс  
подстанций





Село  
Копачи



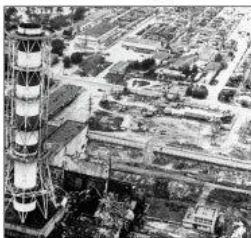
4  
энергоблок



5  
энергоблок



# Последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС



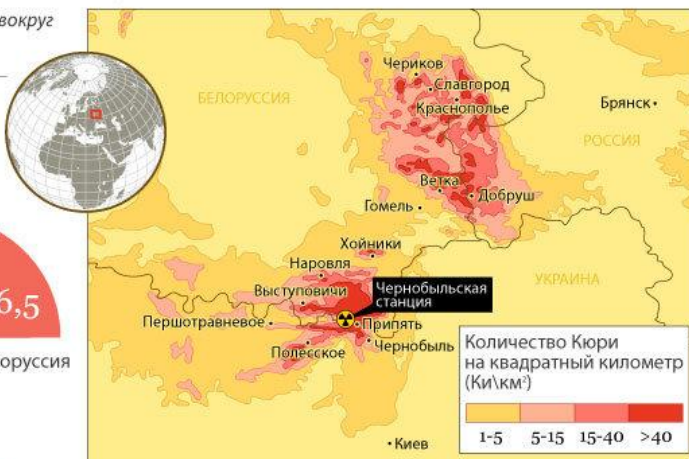
**Авария на Чернобыльской АЭС** — разрушение 26 апреля 1986 года четвертого энергоблока Чернобыльской атомной электростанции, расположенной на территории Украинской ССР (ныне — Украина)

- Погибли в течение первых трех месяцев после аварии — **31 чел.**
- Погибли от отдаленных последствий облучения (за 15 лет) — **от 60 до 80 чел.**
- Перенесли лучевую болезнь — **134 чел.**
- Принимали участие в ликвидации последствий — **более 600 000 чел.**

## Загрязнение земной поверхности

- Из сельскохозяйственного оборота выведено: около **5 млн га земель**
- Радиус зоны отчуждения вокруг АЭС: **30 км**

Карта радиоактивного загрязнения нуклидом цезий-137, наиболее долгоживущим вредным веществом, образовавшимся в результате аварии



**Ки (кюри)** — внесистемная единица измерения активности. Радиоактивность вещества равна 1 Ки, если в нем каждую секунду происходит  $3,7 \times 10^{10}$  радиоактивных распадов

Общая площадь пострадавших регионов, тыс. кв. км



## Средние дозы, полученные разными категориями населения



<b>Ликвидаторы</b> ↓ 600 000 чел.	1986—1989 г.	~100 мЗв
<b>Эвакуированные</b> ↓ 116 000 чел.	1986 г.	33 мЗв
<b>Жители зон со «строгим контролем»</b> ↓ 270 000 чел.	1986—2005 г.	>50 мЗв
<b>Жители других загрязненных зон</b> ↓ 5 000 000 чел.	1986—2005 г.	10—20 мЗв

**мЗв (миллизиверт)** — одна тысячная доля зиверта. Зиверт — единица измерения количества энергии, поглощенной организмом под воздействие излучения. Через другие единицы измерения зиверт выражается следующим образом:  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж} / \text{кг}$ . Естественное фоновое излучение в среднем равно  $2,4 \text{ мЗв/год}$

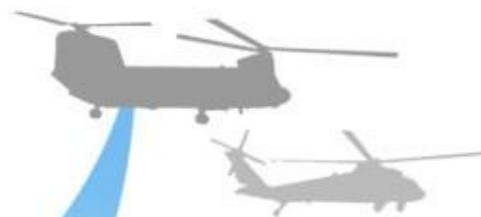
Первый взрыв — тепловой — уничтожил реактор и запустил процессы, приведшие к образованию взрывоопасной газовой смеси





# АЭС «Фукусима-1»

11 марта из-за землетрясения магнитудой 8,9 на АЭС отключилось электроснабжение, реакторы в 1, 2 и 3 энергоблоках автоматически остановились (4, 5 и 6 были планово отключены). Для снабжения электроэнергией систем охлаждения реакторов были запущены резервные дизель-генераторы, но их вывела из строя волна цунами.



Разрушенная крыша позволяет заливать корпус реактора сверху, с вертолётов, водой с борной кислотой, чтобы уменьшить интенсивность ядерных реакций

в бассейне для хранения отработавшего ядерного топлива.

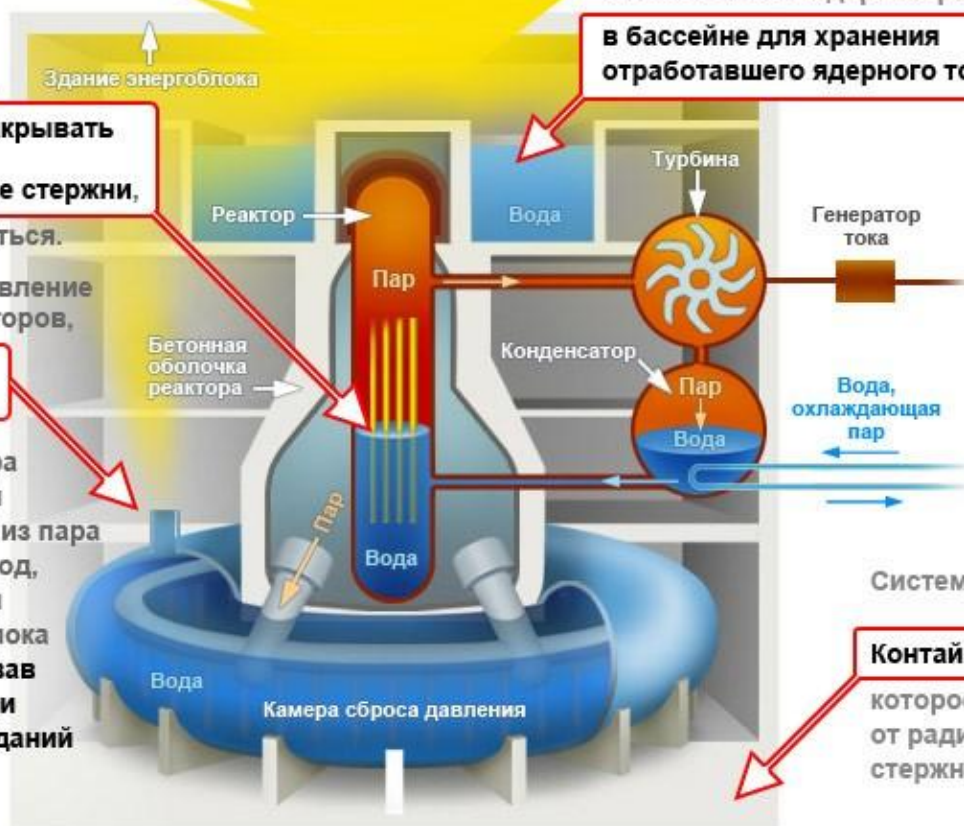
Уровень воды в реакторах упал,

вода перестала закрывать радиоактивные тепловыделяющие стержни, они начали плавиться.

Чтобы снизить давление в оболочках реакторов,

пар выпустили в турбинный зал.

Из-за контакта пара с металлическими частями реактора из пара выделился водород, который скопился в здании энергоблока и взорвался, вызвав разрушения крыши и верхней части зданий энергоблоков.



Энергоблоки

4 3 2 1 6 5

**Состояние на 17 марта:**

Уровень радиации над третьим энергоблоком **400 миллизивертов в час**

**Разрушены здания** 1, 3 и 4 энергоблоков, корпус 2 энергоблока поврежден.

**Повреждены оболочки реакторов** 2, 3 и 4 энергоблоков

**Расплавлены топливные стержни** на 1-м (на 70%), 2-м (на 33%) и 3-м (процент не сообщается) энергоблоках. Стержни 4-го плавятся.

Систему охлаждения пытаются восстановить.

**Контеймент — мощное бетонное дно реактора,** которое должно защитить окружающую среду от радиоактивных веществ при расплавлении стержней с ядерным топливом.