

[www.migranov.ru](http://www.migranov.ru)



# Тема 4: «Защита населения и территорий при авариях на радиационно (ядерно) опасных объектах с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду»

Занятие 1: «Аварии на радиационно (ядерно) опасных объектах и радиоактивное загрязнение окружающей среды»

## Учебные вопросы:

1. Общие сведения о радиационно (ядерно) опасных объектах и их характеристика.
2. Аварии на радиационно (ядерно) опасных объектах и их поражающие факторы.
3. Характер радиоактивного загрязнения окружающей среды при авариях на АС.

Игорь Васильевич Курчатов — советский физик, «отец» советской атомной бомбы. Основатель и первый директор Института атомной энергии с 1943 г. по 1960 г., главный научный руководитель атомной проблемы в СССР, один из основоположников использования ядерной энергии в мирных целях. Академик АН СССР (1943).



В 1948 г. по предложению И. В. Курчатова начались первые работы по практическому применению энергии атома для получения электроэнергии. Первая в мире атомная электростанция мощностью 5 МВт была запущена 27 июня 1954 в СССР, в городе Обнинск.

**Действующие :** Балаковская • Белоярская • Билибинская • Ростовская • Калининская • Кольская • Курская • Ленинградская • Нововоронежская • Смоленская

**Проектируемые:** Кольская-2 • Курская-2 • Нижегородская • Приморская • Северская • Смоленская-2 • Тверская • Центральная • Южно-Уральская

**Строящиеся :** Балтийская • Ленинградская-2 • Нововоронежская-2 • Плавучая

**Остановленные:** Обнинская • Сибирская ; **Недостроенные :**

Башкирская • Воронежская • Горьковская • Татарская

Мировыми лидерами в производстве ядерной электроэнергии являются: США (836,63 млрд кВт·ч/год), Франция (439,73 млрд кВт·ч/год), Япония (263,83 млрд кВт·ч/год), Россия (160,04 млрд кВт·ч/год), Корея (142,94 млрд кВт·ч/год) и Германия (140,53 млрд кВт·ч/год). В мире действует 441 энергетический ядерный реактор общей мощностью 374,692 ГВт[1], российская компания «ТВЭЛ» поставляет топливо для 76 из них (17% мирового рынка)[2].

Крупнейшая АЭС в Европе — **Запорожская АЭС** у г. Энергодар (Запорожская область, Украина)- 6 энергоблоков мощностью 6 ГВт.  
**Крупнейшая АЭС в мире Касивадзаки-Карива** — 8,212 ГВт.



## ВНЕШНИЙ ВИД КУРСКОЙ АЭС

Город Курчатов Курской области. Состоит из четырёх блоков РБМК-1000, введённых в эксплуатацию в 1985 году. Мощность станции – 4 Гвт.



# ПЛАВУЧАЯ АТОМНАЯ СТАНЦИЯ «АКАДЕМИК ЛОМОНОСОВ»



Плавучая станция может использоваться для получения **электрической и тепловой энергии**, а также **для опреснения морской воды**. В сутки она может выдать от 40 до 240 тысяч тонн пресной воды.

# 1 Радиационно (ядерно) опасные объекты



Объекты, на которых хранятся, перерабатываются, используются или транспортируются радиоактивные вещества, при аварии на которых может произойти облучение ионизирующими излучениями людей, сельскохозяйственных животных и радиоактивное загрязнение окружающей среды.



# Ядерно опасные объекты (ЯОО)

Объекты, имеющие значительное количество ядерноделящихся материалов (ЯДМ) в различных физических состояниях и формах, потенциальная опасность функционирования которых заключается в возможности возникновения в аварийных ситуациях самоподдерживающейся цепной ядерной реакции (СЦЯР).

## ЯОО

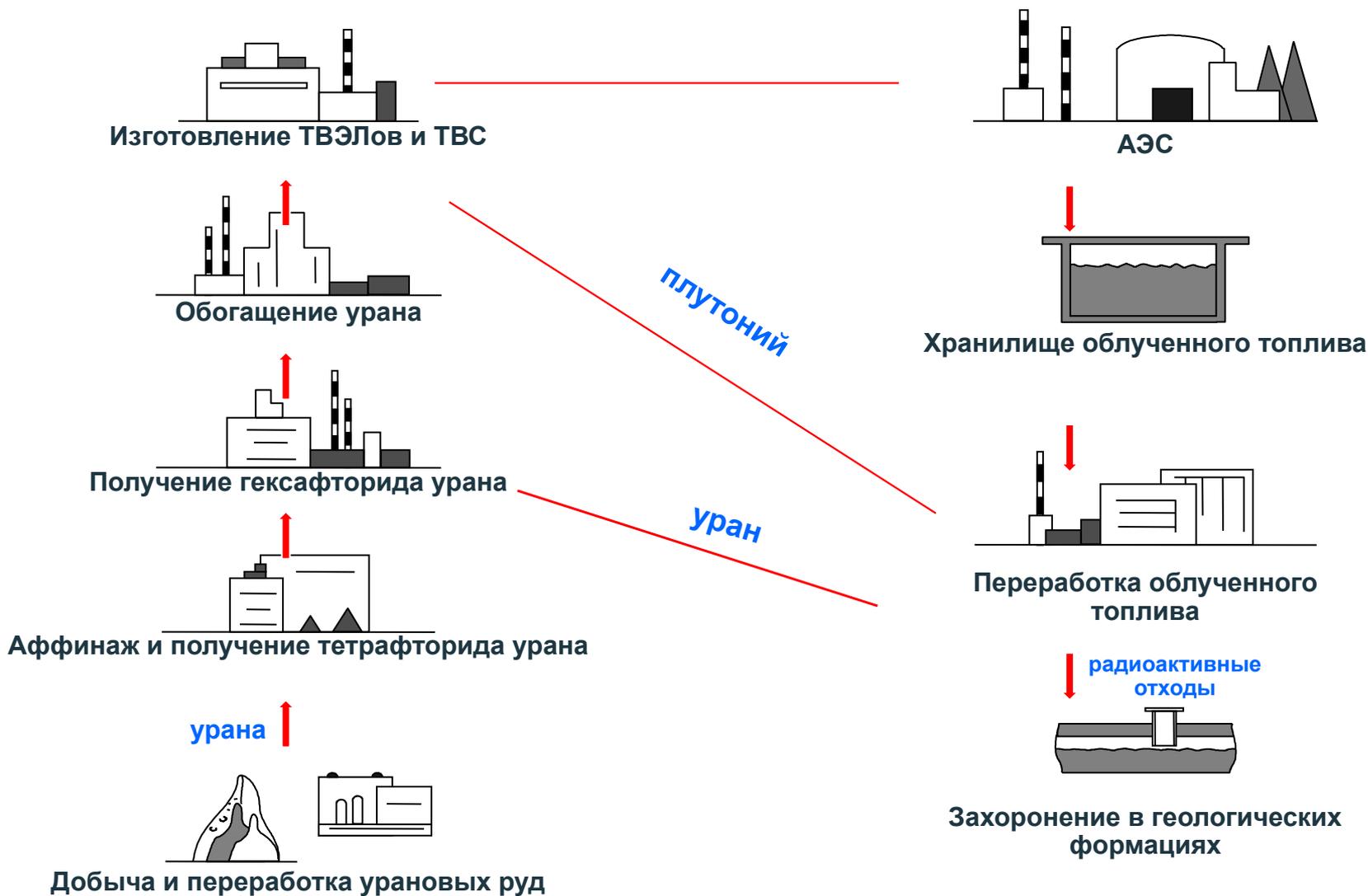
Объекты  
ядерного  
топливного цикла  
(АС) и ЯЭУ.

Научно-  
исследовательски  
е реакторы.

Объекты  
ядерно-  
оружейного  
комплекса.



# Цикл получения ядерного топлива, переработки и захоронения радиоактивных отходов



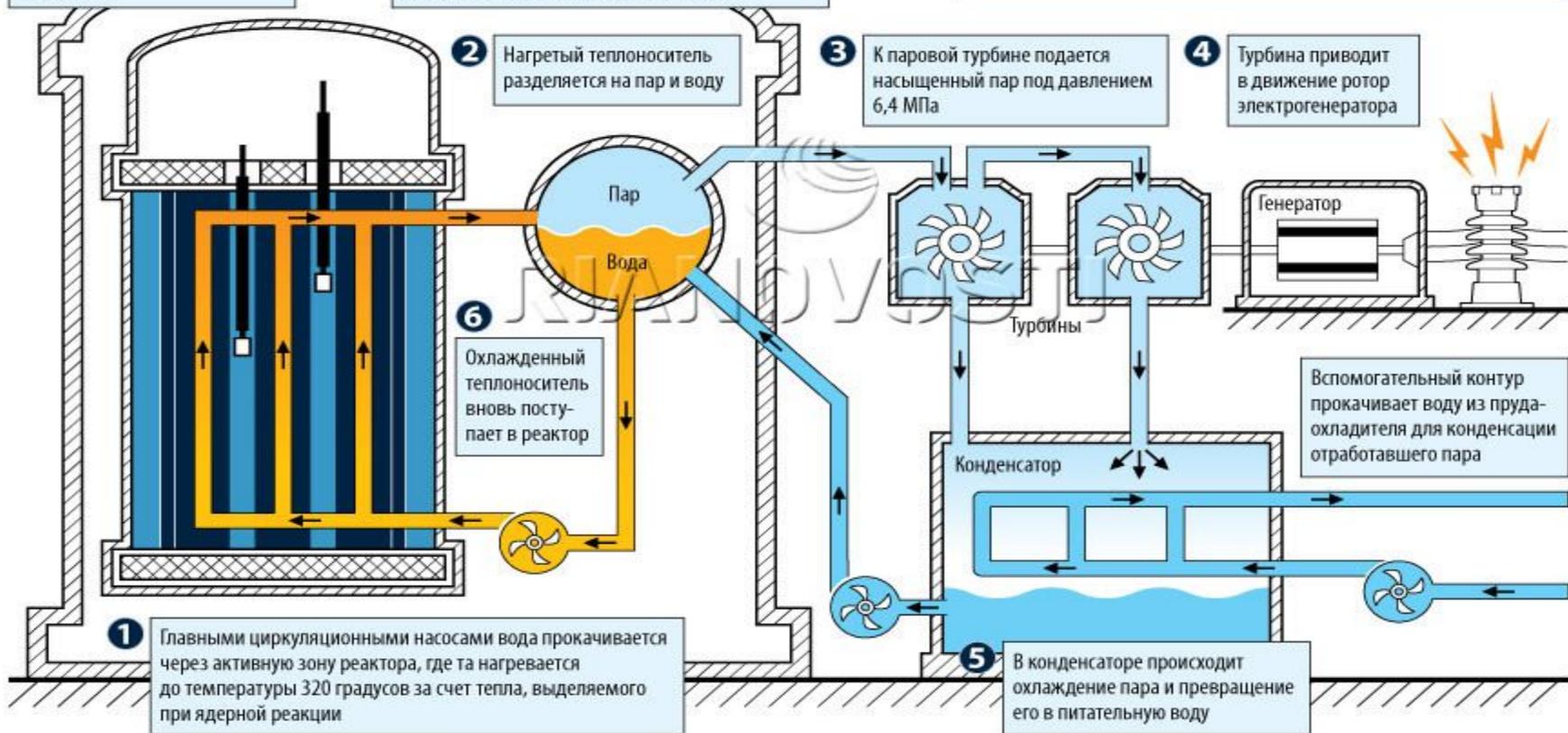
# Устройство атомной электростанции

Атомная электростанция (АЭС) – комплекс сооружений, предназначенных для выработки электрической энергии путем использования энергии, выделяемой при контролируемой ядерной реакции

## Основные процессы в работе АЭС

Контуры реактора герметичны для безопасности работы реактора для персонала и населения

Система управления и защиты реактора (СУЗ) – стержни, содержащие поглощающий нейтроны элемент (бор) предназначены для быстрого прекращения цепной ядерной реакции

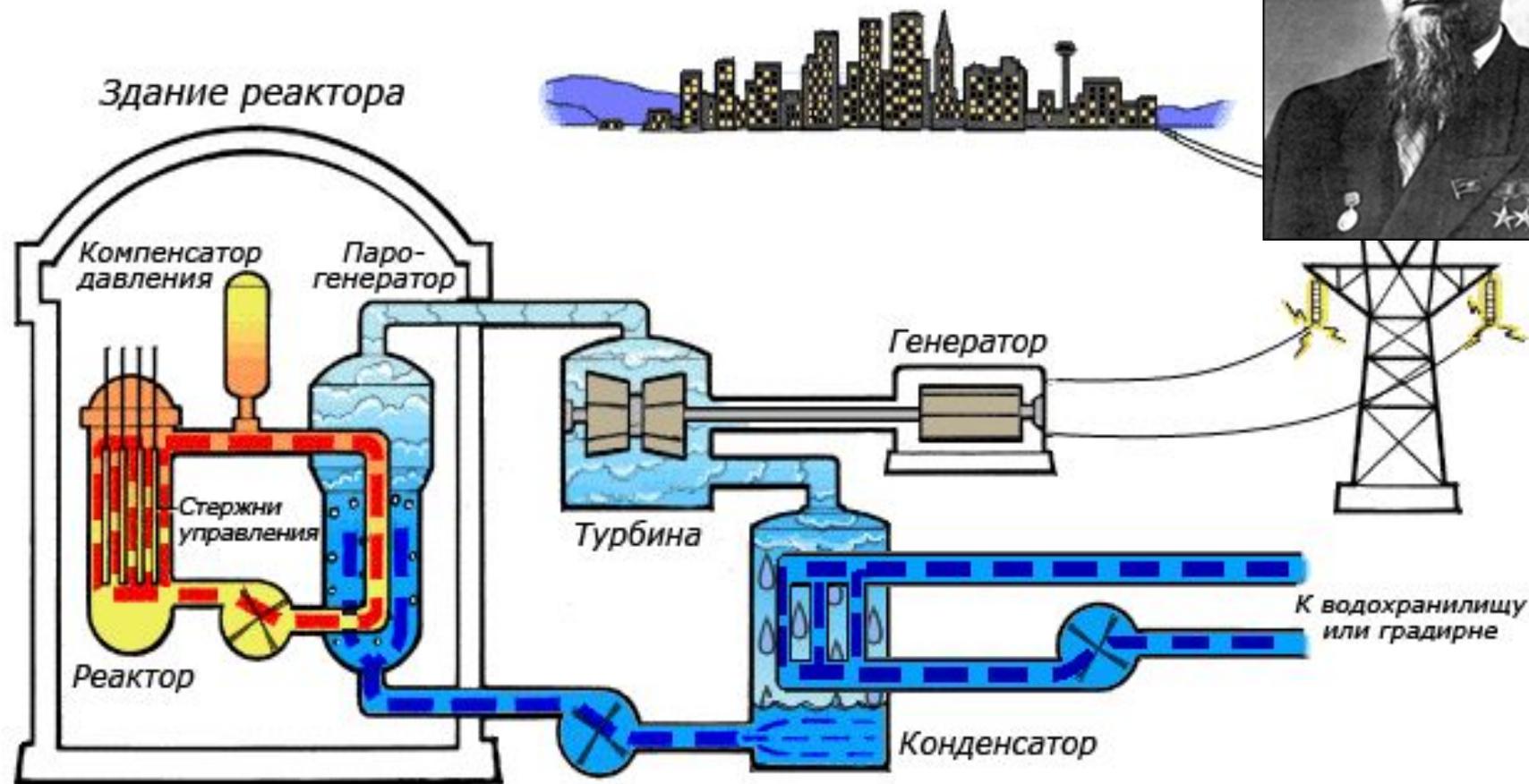


## Основной блок АЭС – атомный реактор

- Легководный реактор:
  - кипящий – пар, вращающий турбины, образуется в активной зоне (РБМК – реактор большой мощности, канальный)
  - водо-водяной – пар образуется во втором контуре, связанном с первым контуром теплообменниками и парогенераторами (энергетический реактор – ВВЭР)
- Газоохлаждаемый реактор с графитовым замедлителем
- Реактор, в котором и теплоносителем, и замедлителем является тяжелая вода, а топливом – природный уран
- Существует также реактор на быстрых нейтронах



# Принцип работы атомной электростанции на двухконтурном водо-водяном энергетическом реакторе



# КЛАССИФИКАЦИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

## ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

По типу реактора

На медлен.  
нейтронах

На быстрых  
нейтронах

По виду замедлителя нейтронов

графитные

водные

По виду теплоносителя

водные

водные

С жидким  
натрием

По количеству контуров

одноконтурные

двухконтурные

трехконтурн.

трехконтурные

По назначению

АЭС, АТЭЦ  
(теплоэлектростанция)

АЭС

АСТ (станция  
теплоснабжения)

АЭС

# Системы безопасности АС

Предназначены для предотвращения повреждений ядерного топлива и оболочек твэлов; аварий, вызванных нарушением контроля и управления цепной ядерной реакцией деления; нарушений теплоотвода из реактора и других аварийных ситуаций

Системы управления и защиты реактора (комплекс бариевых стержней - поглотителей нейтронов, опускаемых в активную зону для управления ходом реакции и остановки реактора)

Система аварийного охлаждения (система насосов для прокачки большой массы холодной воды через активную зону).

Системы безопасности должны включаться автоматически при возникновении аварийных ситуаций, требующих их действия.

# Аварии на радиационно (ядерно) опасных объектах

Нарушение штатного режима работы объекта с выбросом радиоактивных веществ (РВ), приводящее к облучению персонала, населения и радиоактивному загрязнению окружающей среды.



<http://inrt.ru>

В СССР первая тяжелая радиационная авария произошла 19 июня 1948 года, на следующий же день после выхода атомного реактора по наработке оружейного плутония (объект «А» комбината «Маяк» в Челябинской области) на проектную мощность

12 декабря 1952 года в Канаде произошла первая в мире серьезная авария на атомной электростанции. Техническая ошибка персонала АЭС Чолк-Ривер (штат Онтарио) привела к перегреву и частичному расплавлению активной зоны.

29 ноября 1955 года «человеческий фактор» привел к аварии американский экспериментальный реактор EBR-1 (штат Айдахо, США). В процессе эксперимента с плутонием, в результате неверных действий оператора, реактор саморазрушился, выгорело 40% его активной зоны.

10 октября 1957 года в Великобритании в Виндскейле произошла крупная авария на одном из двух реакторов по наработке оружейного плутония. Вследствие ошибки, допущенной при эксплуатации, Радиоактивные осадки загрязнили обширные области Англии и Ирландии; радиоактивное облако достигло Бельгии, Дании, Германии, Норвегии.

В ночь с 25 на 26 апреля 1986 года на четвертом блоке **Чернобыльской АЭС** (Украина) произошла крупнейшая ядерная авария в мире. В результате аварии произошло радиоактивное заражение в радиусе 30 км. Загрязнена территория площадью 160 тысяч квадратных километров. Пострадали северная часть Украины, Беларусь и запад России. Радиационному загрязнению подверглись 19 российских регионов с территорией почти 60 тысяч квадратных километров и с населением 2,6 миллиона человек.

26 апреля 1986 года на четвертом блоке  
Чернобыльской АЭС. Разведка (уточнение фактической  
обстановки)



# Авария на АЭС Фукусима 12.03.2011



Введённая в эксплуатацию в 1971 году, АЭС «Фукусима-1», расположенная в городе Окума префектуры Фукусима, входит в число 25 крупнейших атомных электростанций мира. Шесть энергоблоков станции вырабатывают в общей сложности до 4,7 гигаваатт энергии. АЭС серии «Фукусима» - всего их в Японии шесть и ещё две готовятся к запуску — составляют основу энергетической системы страны.



# ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ АВАРИИ

## НА ОБЪЕКТЕ

**Ионизирующее излучение** как непосредственно при выбросе радиоактивных веществ, так и при радиоактивном загрязнении территории объекта.

**Тепловое воздействие** (при наличии пожаров или аварии).

**Ударная волна** (при наличии взрыва или аварии).

## ВНЕ ОБЪЕКТА

**Ионизирующее излучение** как поражающий фактор радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Из всех поражающих факторов, возникающих в результате аварии на РОО(ЯОО) наибольшую и специфическую опасность для жизни и здоровья людей представляет **ионизирующее излучение (ИИ)**.

# Критерии ионизирующих излучений

Ионизирующее излучение — квантовые (электромагнитные) или корпускулярные (поток элементарных частиц) излучения под воздействием которых в среде из нейтральных атомов и молекул образуются положительные или отрицательные заряженные частицы — ионы. Виды —  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ .

Дозовые критерии ионизирующих излучений:

**Поглощенная доза** ( $D$ ) — Средняя энергия, переданная источником излучения веществу, находящемуся в элементарном объеме. Грей (Дж/кг), рад ;

**Экспозиционная доза** ( $X$ ) — частный случай поглощенной дозы по ионизации воздуха. Отношение приращенного суммарного заряда фотонного излучения в элементарном объеме воздуха к массе воздуха в этом объеме. Кулон/кг, рентген;

**Эквивалентная доза** ( $H_{mp}$ ) — поглощенная доза в биологической ткани (для определения биологического воздействия ИИ на организм человека с учетом характера вида излучения. Зиверт (Зв)

**Эффективная доза** ( $H_{эф}$ ) — учитывает различную чувствительность человеческих органов к ИИ. Зиверт (Зв)

## Биологическое действие

Ионизация, создаваемая излучением в клетках, приводит к образованию свободных радикалов. Свободные радикалы вызывают разрушения целостности цепочек макромолекул (белков и нуклеиновых кислот), что может привести как к массовой гибели клеток, так и канцерогенезу и мутагенезу. Наиболее подвержены воздействию ионизирующего излучения активно делящиеся (эпителиальные, стволовые, также эмбриональные) клетки.

# Эффективная доза

Величина, используемая как мера определения риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности:  $H_{эф} = \sum W_t H_t$ , где  $W_t$  – взвешивающий коэффициент по ткани  $T$ ,  $H_t$  – эквивалентная доза за определенное время.

При облучении всего тела, 1 Зв вызывает изменения в крови, 2 – 5 Зв вызывает облысение и лейкопению, порядка 3 Зв приводит к смерти в течение 30 дней в 50 % случаев.

Острая лучевая болезнь (ОЛБ) – наступившая вследствие однократного облучения.

По тяжести ОЛБ делят на несколько степеней:

I степень 1÷2 Гр (проявляется через 14–21 день);

II степень 2÷5 Гр (через 4–5 дней);

III степень 5÷10 Гр (после 10–12 часов);

IV степень >10 Гр (после 30 минут). (1 Зв=1Гр).

Согласно Постановлению Главного государственного санитарного врача № 11 от 21.04.2006 "Об ограничении облучения населения при проведении рентгенорадиологических медицинских исследований" п. 3.2. необходимо

Обеспечить соблюдение годовой эффективной дозы **1 мЗв** при проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований, в том числе при проведении диспансеризации.

# Возможные аварии на АС и их характеристика

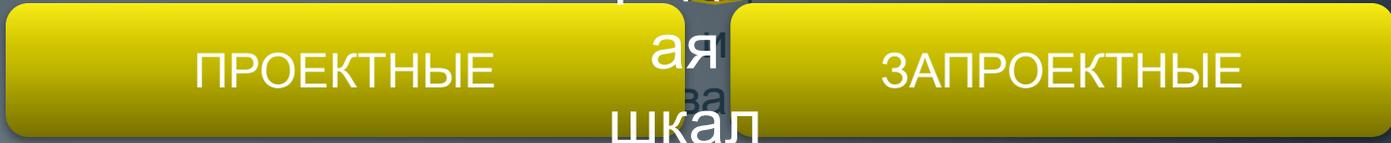
**Аварии на АС** носят радиационный характер, т.е. происходят с выбросом радиоактивных веществ.

По  
характеру  
протекания  
аварийного  
процесса  
аварии

**Радиационная авария** – это потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями персонала, стихийным бедствием или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных пределов или к радиоактивному загрязнению окружающей среды.

**Ядерная авария**, связанная с нарушением правил эксплуатации или с повреждением ядерного реактора, ядерного взрывного устройства или других объектов, содержащих делющиеся материалы, в результате которых происходит неконтролируемое выделение ядерной энергии деления, представляющее опасность для жизни и здоровья людей и наносящее ущерб окружающей природной среде.

Международная



ПО МАСШТАБУ

локальные

местные

территориальные

федеральные

трансграничные

оценки событий на атомных станциях

Наименование события	Уровень события	Содержание события Необходимость защиты населения

Росс

<b>1 АВАРИИ</b> Глобальная авария	7 (А О1)	Выброс в окружающую среду большой части продуктов деления активной зоны, приведший к превышению дозовых пределов для за проектной аварии. Возможны острые лучевые поражения населения; длительное воздействие на окружающую среду. <b>НЕОБХОДИМО проведение различных мер по защите населения (эвакуация).</b>
Тяжелая авария	6 (А О2)	Выброс в окружающую среду значительной части продуктов деления, приведший к превышению дозовых пределов для проектных аварий. Возможны поражения населения и воздействия на окр. среду. <b>Необходимо проведение мер по защите населения.</b>
Авария с риском для окружающей среды	5 (А О3)	Выброс в окр. среду продуктов деления, приведший к незн. превышению дозовых пределов для проект. аварии. Возможно част. поражения населения. <b>Необходимо проведение защиты населения и персонала станции.</b>

<p><b>Авария в пределах АС</b></p>	<p><b>4 ( А04)</b></p>	<p><b>Выброс в окружающую среду продуктов деления, не превышающих дозовых пределов для проектной аварии. Превышение дозовых пределов внутри АС. Необходимо проведение мер по защите персонала АС. Защиты населения не требуется</b></p>
<p><b>2 Происшествия</b></p> <p><b>Серьезное происшествие</b></p>	<p><b>3 ( П 01)</b></p>	<p><b>Выброс в окружающую среду продуктов деления выше допустимого выброса без нарушений пределов безопасной эксплуатации. Превышение дозовых пределов внутри АС. Возможны незначительные повреждения персонала. Требуется защита персонала. Защита населения не требуется.</b></p>
<p><b>Происшествие средней тяжести или незначительные</b></p>	<p><b>2 , 1 (По2 – П10)</b></p>	<p><b>Неработоспособность отдельных каналов систем безопасности или повреждения технологических систем, не приводящие к аварии, без выброса продуктов деления.</b></p>

# ХАРАКТЕР РАЗВИТИЯ (ФАЗЫ) АВАРИИ НА

## АС

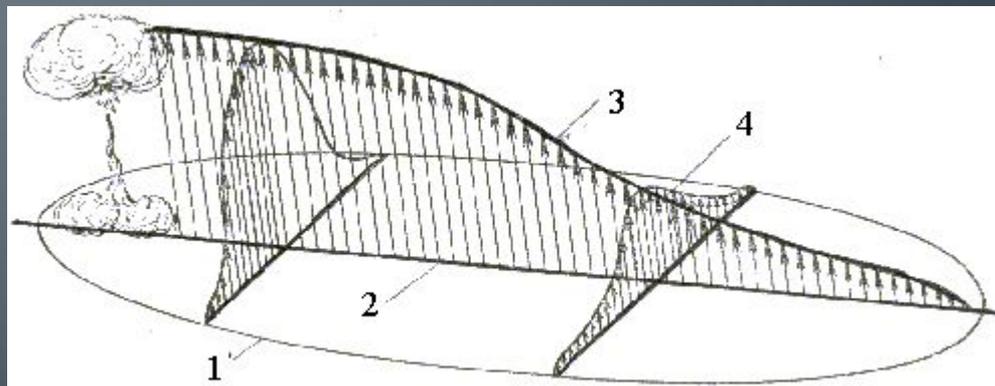
ФАЗЫ	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ	ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НАСЕЛЕНИЕ И ОКР. СРЕДУ
<b>РАННЯЯ (РФА)</b>	От момента возникновения аварийной ситуации до прекращения выброса продуктов распада, оседание радиоактивных осадков. (от нескольких часов до нес. суток)	<b>Внешнее облучение</b> (рад.облако, рад. загрязнение местности) и внутреннее – за счет ингаляционного поступления радионуклидов (йода-131) в организм человека.
<b>СРЕДНЯЯ (СФА)</b>	От окончания РФА до завершения принятия основных экстренных мер по защите населения. (ЧерАЭС- 1 год)	<b>Внешнее облучение</b> от загрязненной радионуклидами местности и, частично <b>внутреннее</b> за счет поступления рад-в в организм с пищевыми продуктами и водой
<b>ПОЗДНЯЯ (ПФА)</b>	Продолжается до тех пор, пока полностью не исчезнет необходимость в проведении мер защиты людей	<b>Внутреннее облучение</b> – поступление рад-в в организм с продуктами местного производства, «дарами леса»; <b>внешнее</b> облучение при нахождении на загрязненных территориях по

## 3 Характер радиоактивного

III

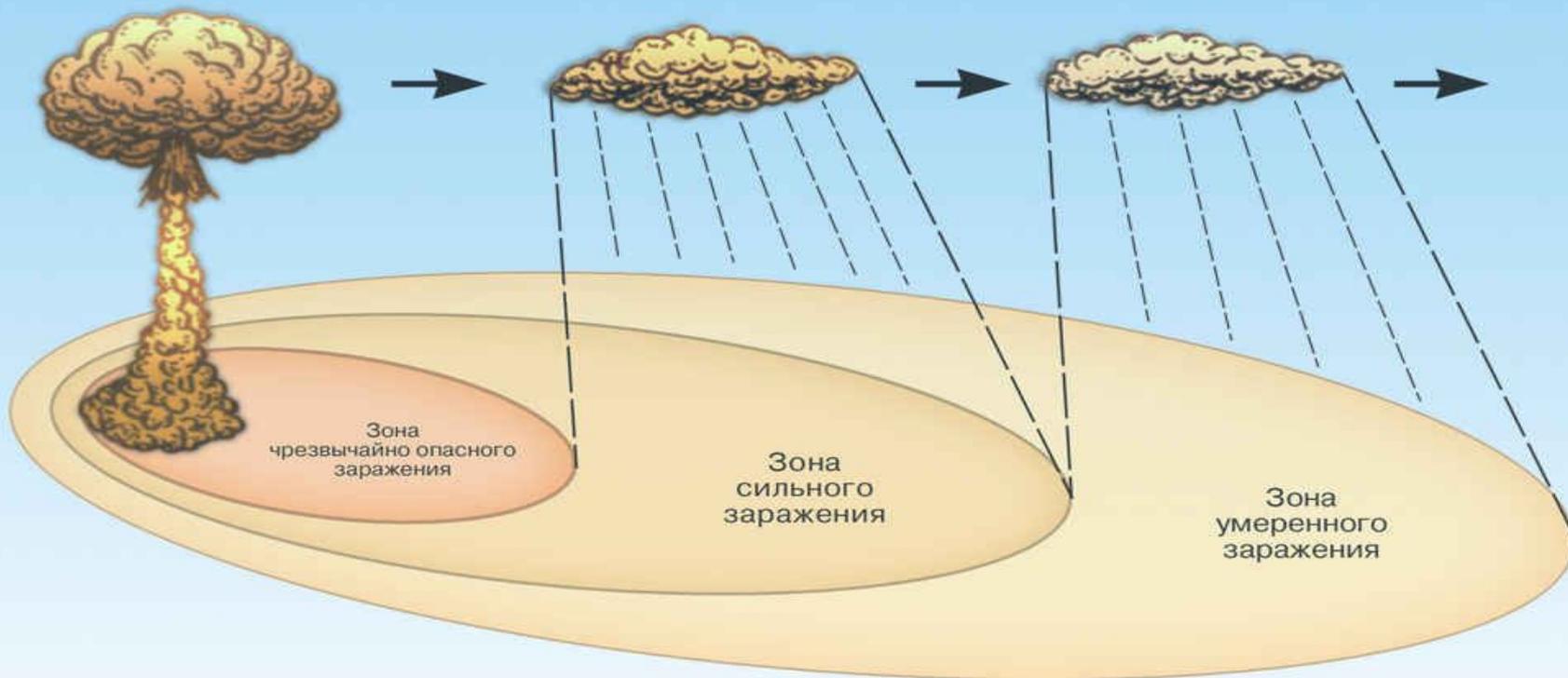
# загрязнения окружающей среды при авариях на АС.

При авариях на АС с взрывом (разгерметизацией) реактора в результате оседания продуктов выброса **возникает радиоактивное загрязнение** окружающей среды, **которое вместе с облаком газоаэрозольной смеси радионуклидов создаёт мощный поток ионизирующих излучений, являющийся основным поражающим фактором для населения, проживающего за пределами промышленной зоны АС.** Кроме того, радиоактивное загрязнение местности будет **иметь ряд других особенностей**, влияющих на характер мер по защите населения и территорий.



# Форма радиоактивного загрязнения местности при аварии на АС

**НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА**

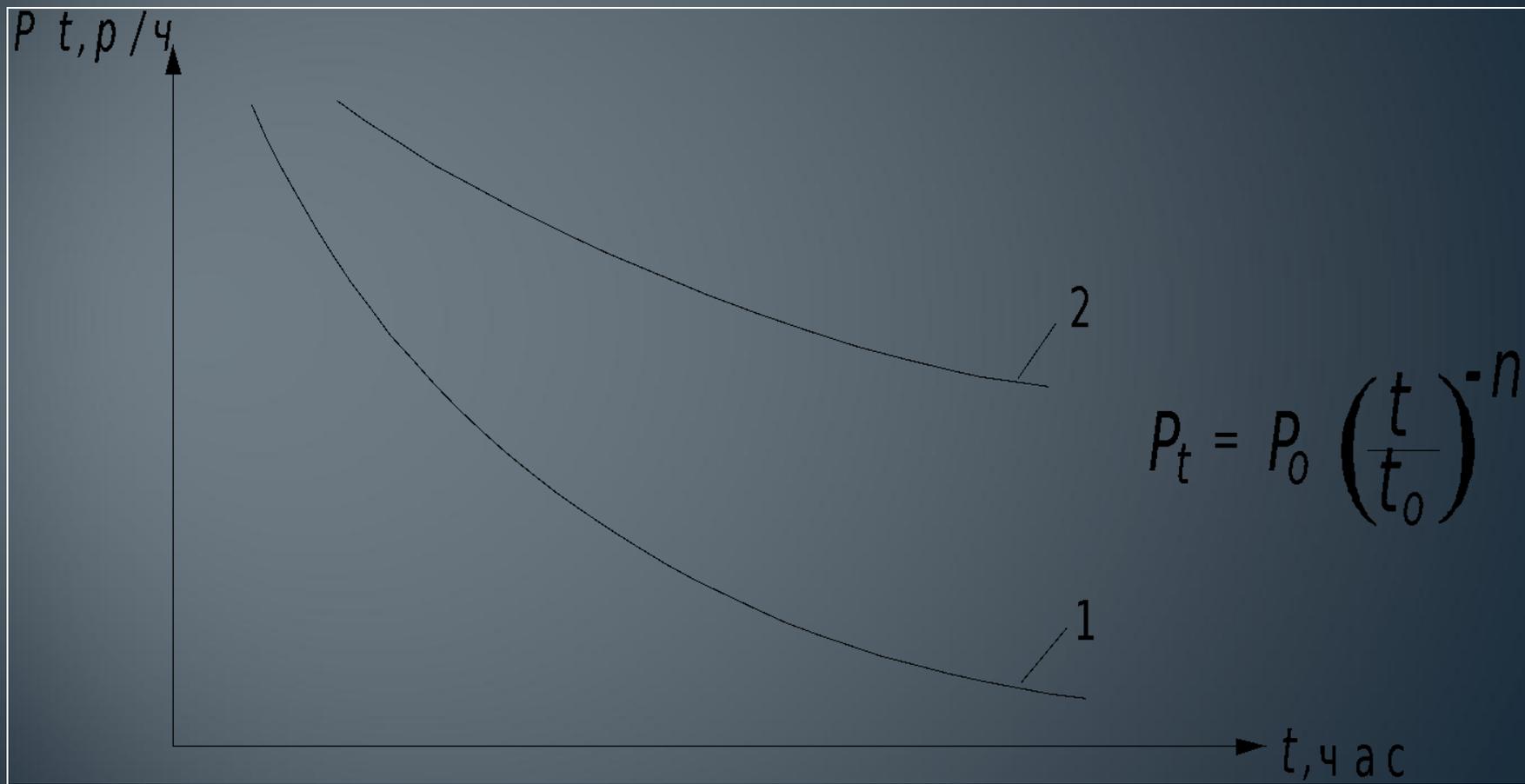




Аэрозоли, из которых состоит радиоактивное облако, имеют **мелкодисперсный характер** с размером частиц 2мкм (микрометров,  $1\text{мкм}=10^{-6}\text{м}$ ) и менее, вследствие чего они обладают высокой проникающей способностью через фильтры защитных средств, что способствует их поступлению (прежде всего биологически опасных «горячих частиц» в органы дыхания человека даже при наличии фильтрующих СИЗ.



# График закона спада активности



- 1- при ядерном взрыве;  
2- при разрушении (аварии) ЯЭР

Естественный спад активности радионуклидов при загрязнении в результате аварии на АС происходит значительно медленнее и более плавно, чем при загрязнении от ядерных взрывов, а следовательно, и загрязнение в результате аварии на АС будет продолжаться значительно дольше, чем аналогичная при ядерном взрыве.

Коэффициент спада  $K_{сп}$  в зависимости от времени, прошедшего после взрыва

Время после взрыва (ч)	1	2	3	4	5	6	7
К сп АС	1	1,32	1,55	1,83	1,9	2,02	2,15
К сп ЯВ	1	2,3	3,7	5,3	6,7	8,6	10