

# 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, 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

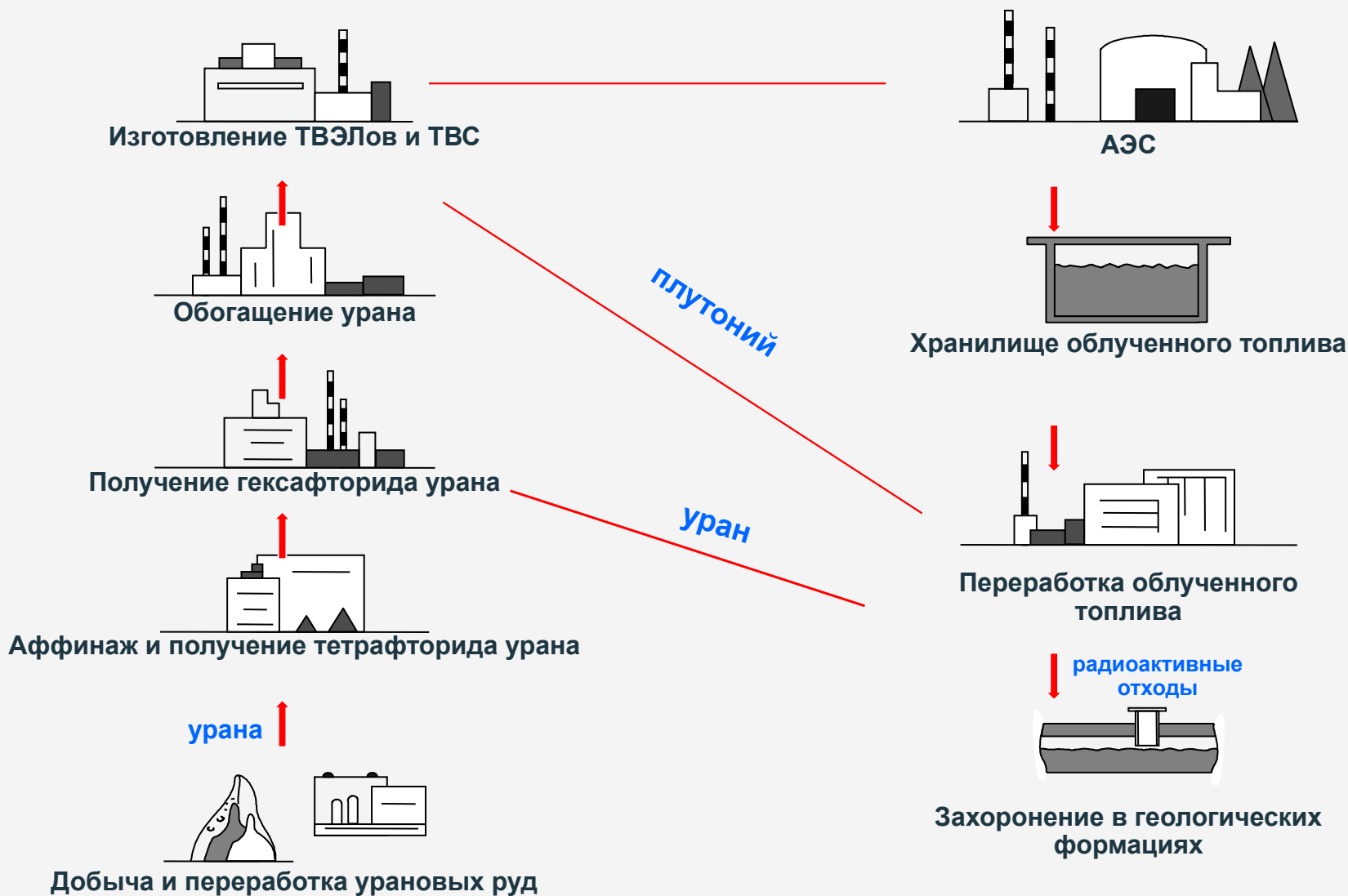
Объекты  
ядерного  
топливного цикла  
(АС) и ЯЭУ.

Научно-  
исследовательски  
е реакторы.

Объекты  
ядерно-  
оружейного  
комплекса.



# Цикл получения ядерного топлива, переработки и захоронения радиоактивных отходов





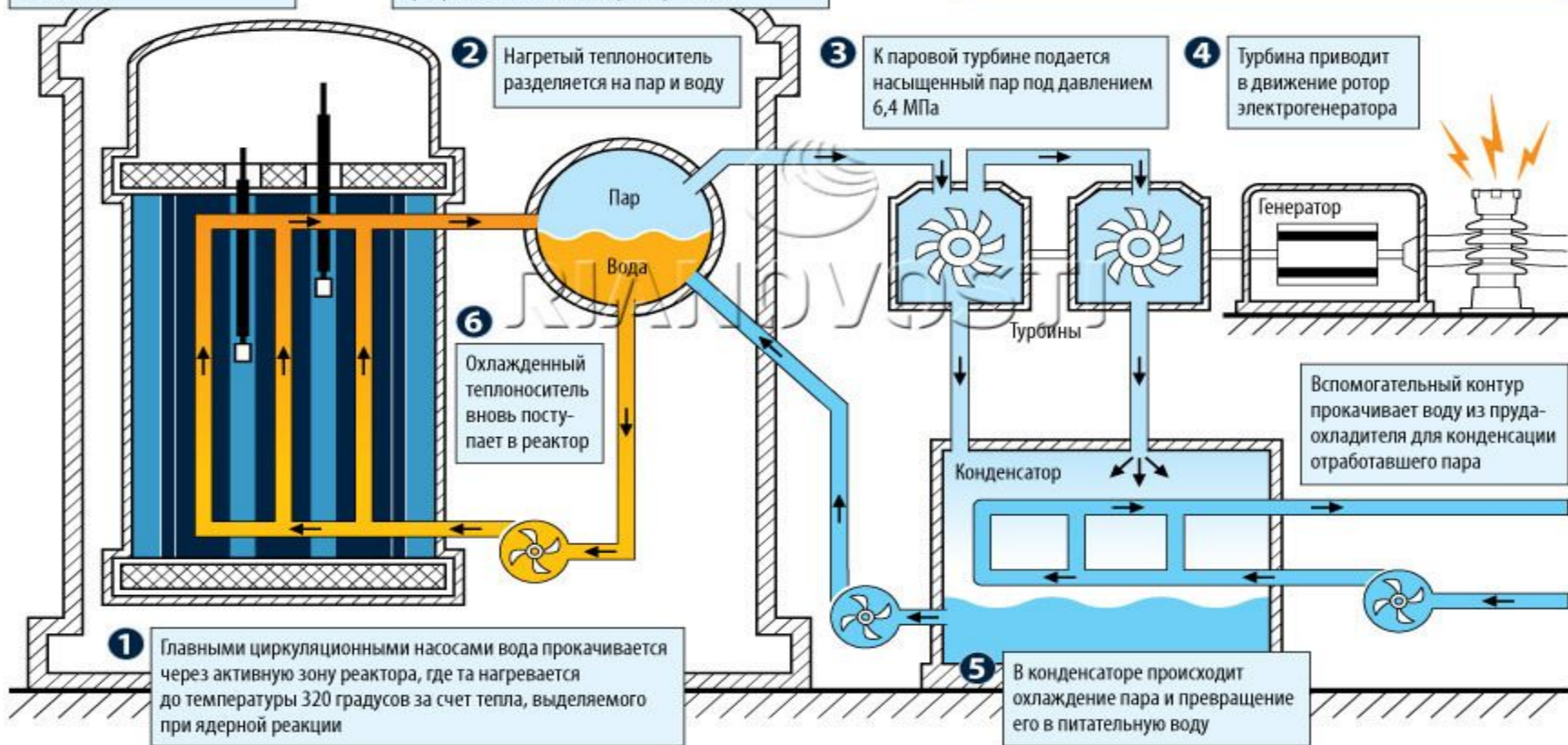
# Устройство атомной электростанции

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

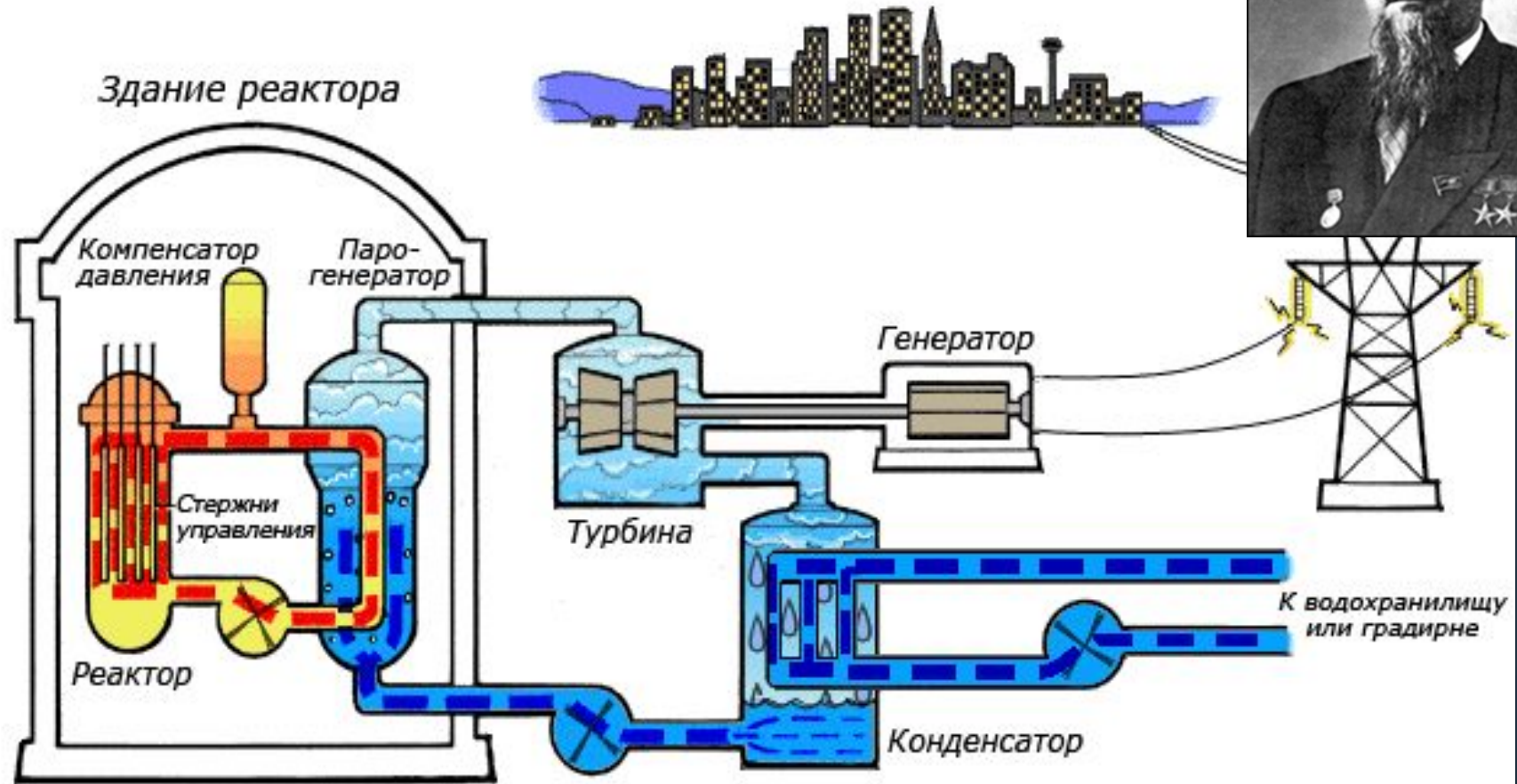


## Основной блок АЭС – атомный реактор

- 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)

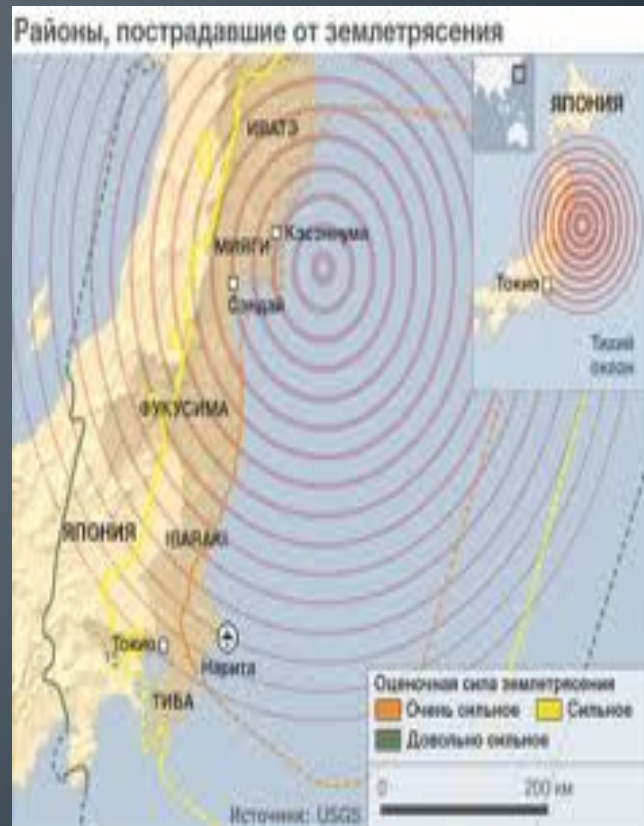


# Авария на АЭС Фукусима 12.03.2011





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 гигаватт 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 —  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ . Ки источника.

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 делюцирующие материалы, в результате которых происходит неконтролируемое выделение ядерной энергии деления, представляющее опасность для жизни и здоровья людей и наносящее ущерб окружающей природной среде.

Международная



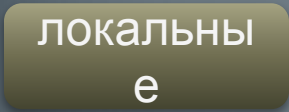
ПРОЕКТНЫЕ

ЗАПРОЕКТНЫЕ

ая  
шкал



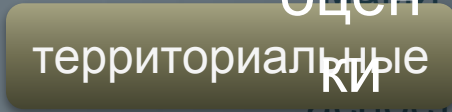
ПО МАСШТАБУ



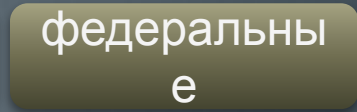
локальные



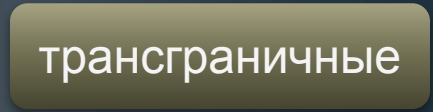
местные



территориальные



федеральные



трансграничные

оценки

СОБЫТИЙ  
на  
атомных  
стан

ЦИЯХ  
(в

Росс

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

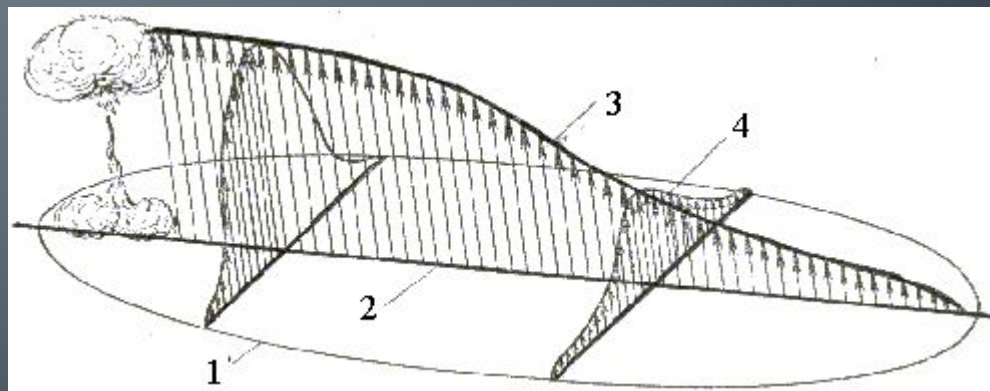
ФАЗЫ	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ	ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НАСЕЛЕНИЕ И ОКР. СРЕДУ
<b>РАННЯЯ (РФА)</b>	От момента возникновения аварийной ситуации до прекращения выброса продуктов распада, оседание радиоактивных осадков. (от нескольких часов до нес. суток)	<b>Внешнее облучение</b> (рад.облако, рад. загрязнение местности) 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

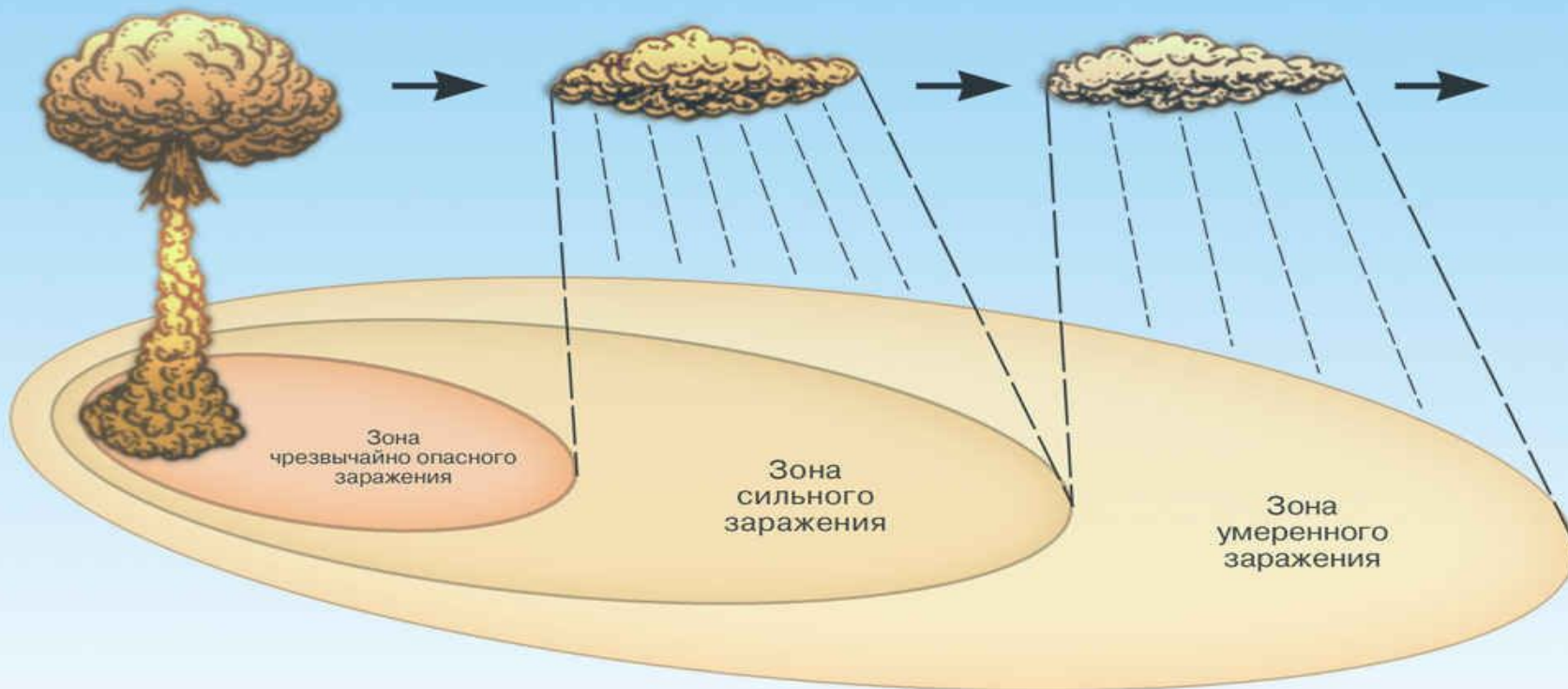
# загрязнения окружающей среды при авариях на АС.

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.

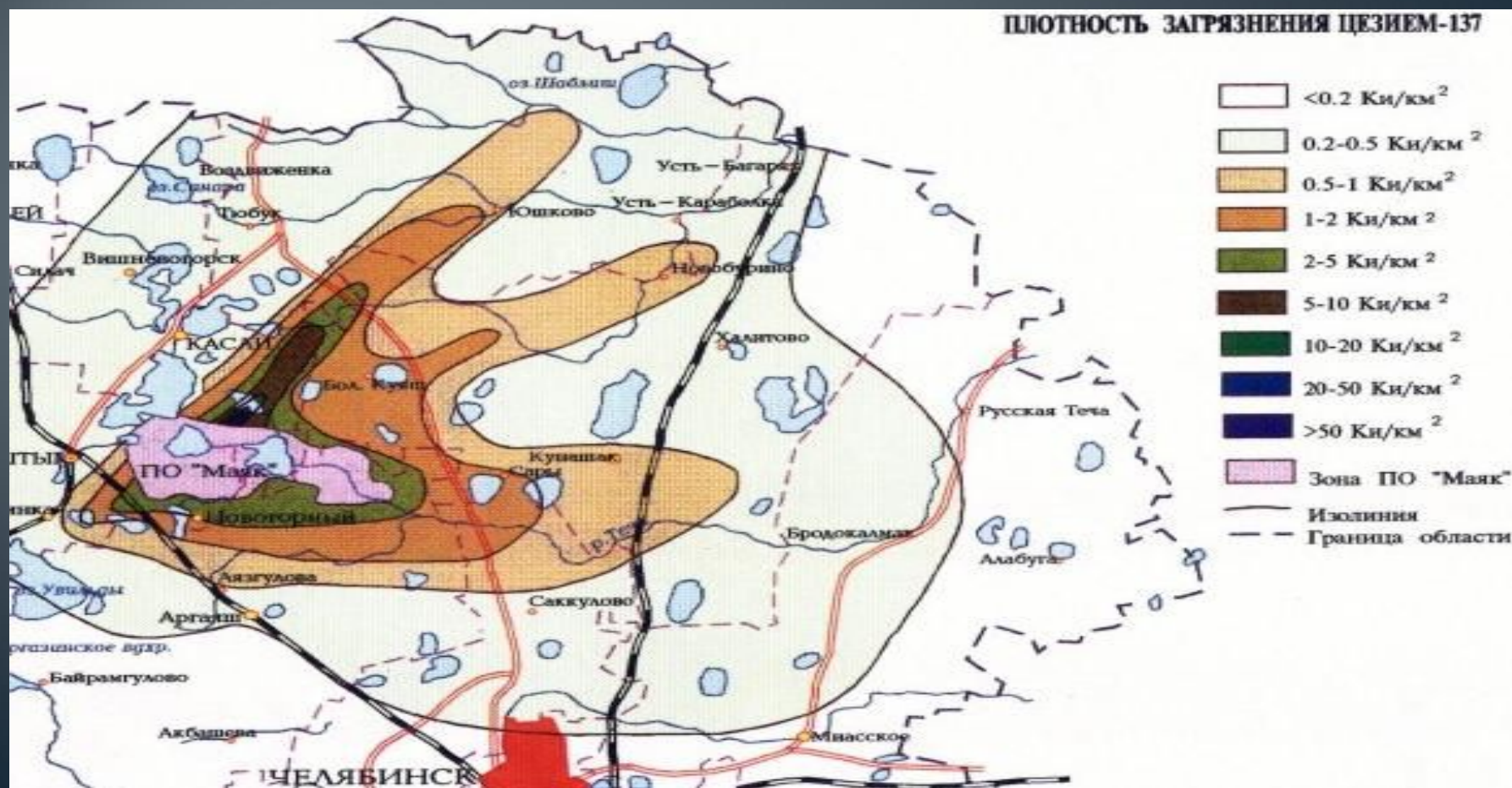


# Форма радиоактивного загрязнения местности при аварии на АС

**НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА**



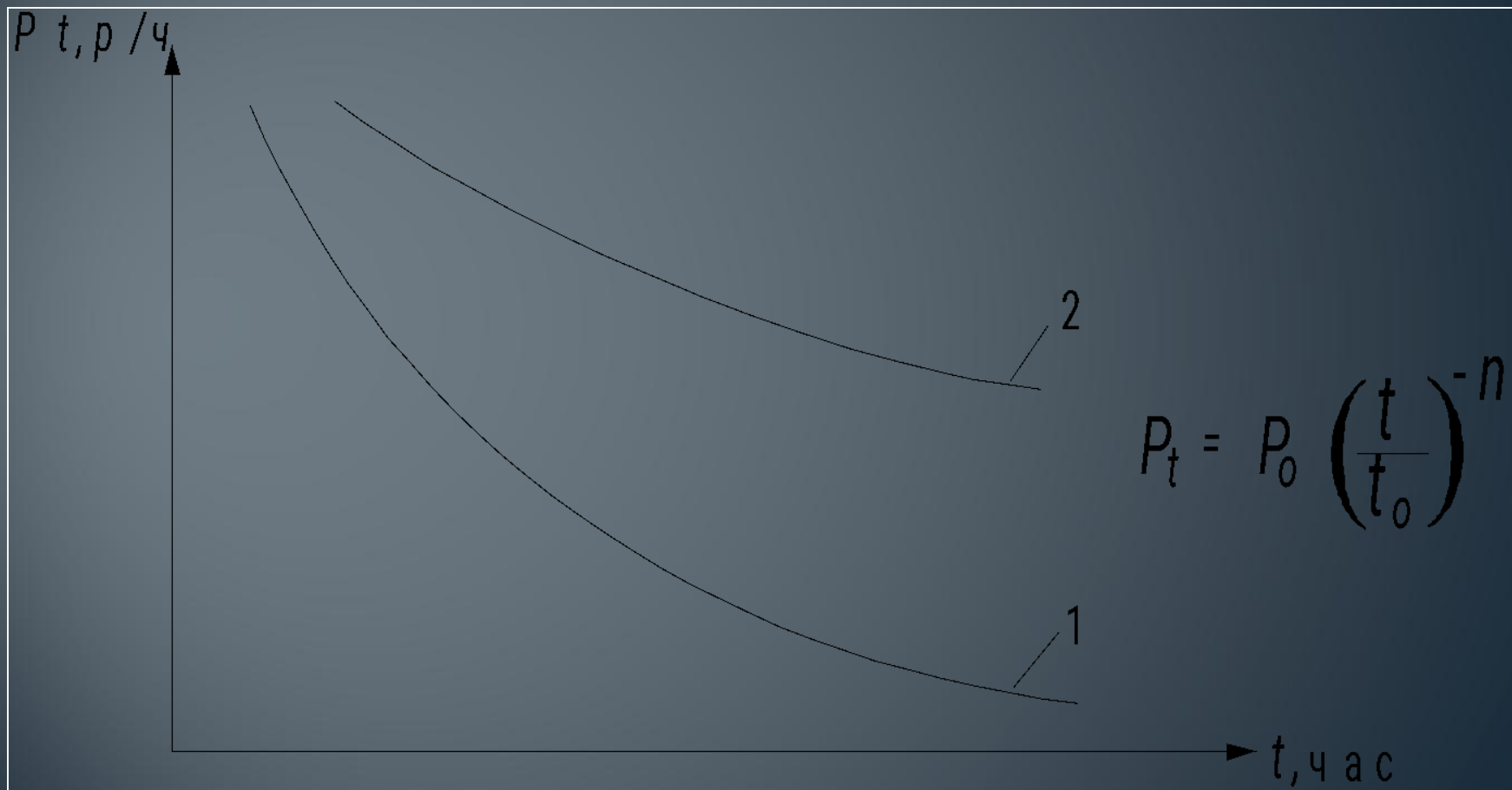
Радиоактивное загрязнение местности в рассматриваемых условиях будет иметь **неравномерный «пятнистый» характер**, когда участки с высокими уровнями радиации могут обнаруживаться на большом удалении от источника загрязнения.



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