

# 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

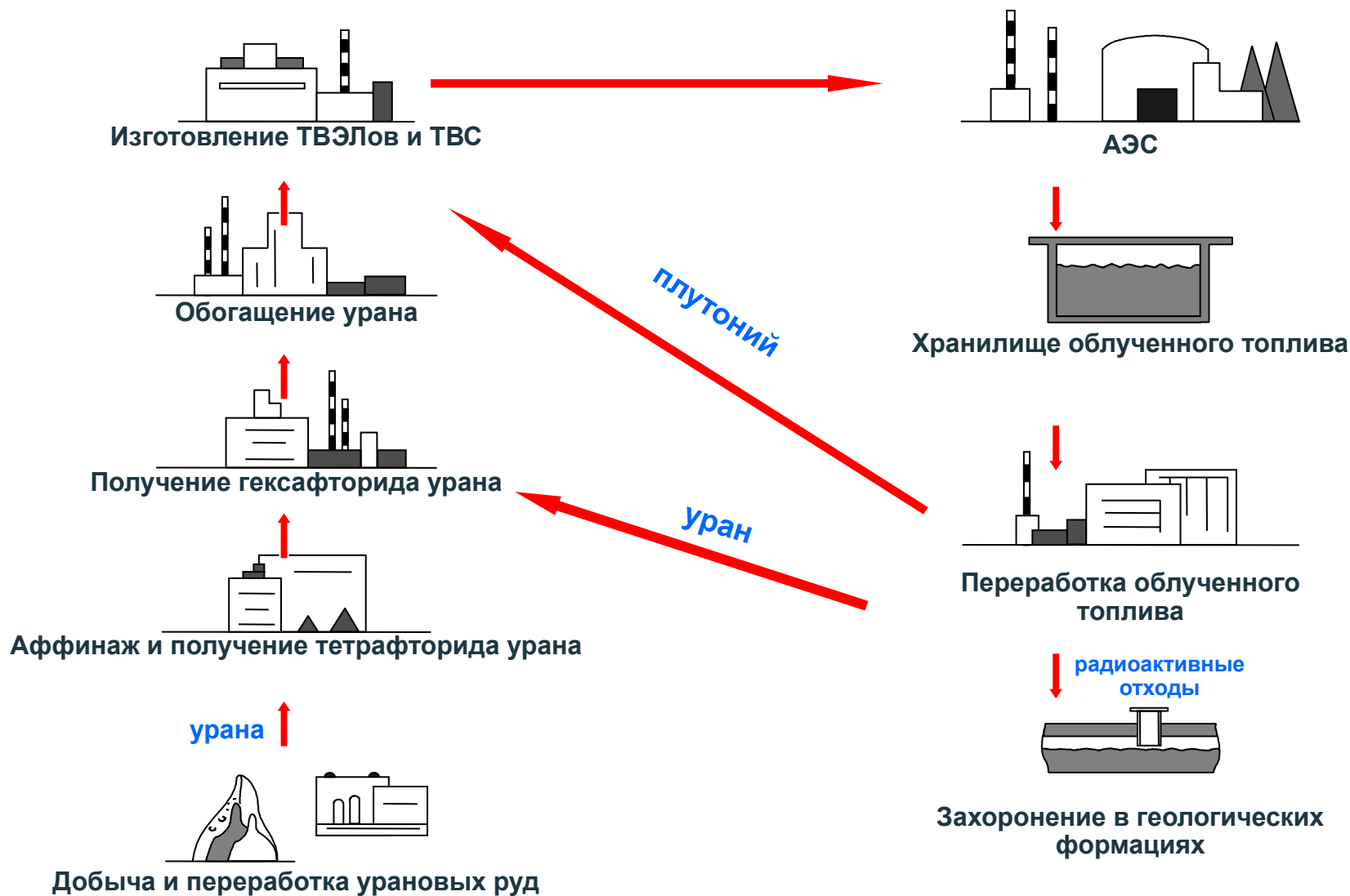
Объекты  
ядерного  
топливного цикла  
(АС) и ЯЭУ.

Научно-  
исследовательски  
е реакторы.

Объекты  
ядерно-  
оружейного  
комплекса.



# Цикл получения ядерного топлива, переработки и захоронения радиоактивных отходов





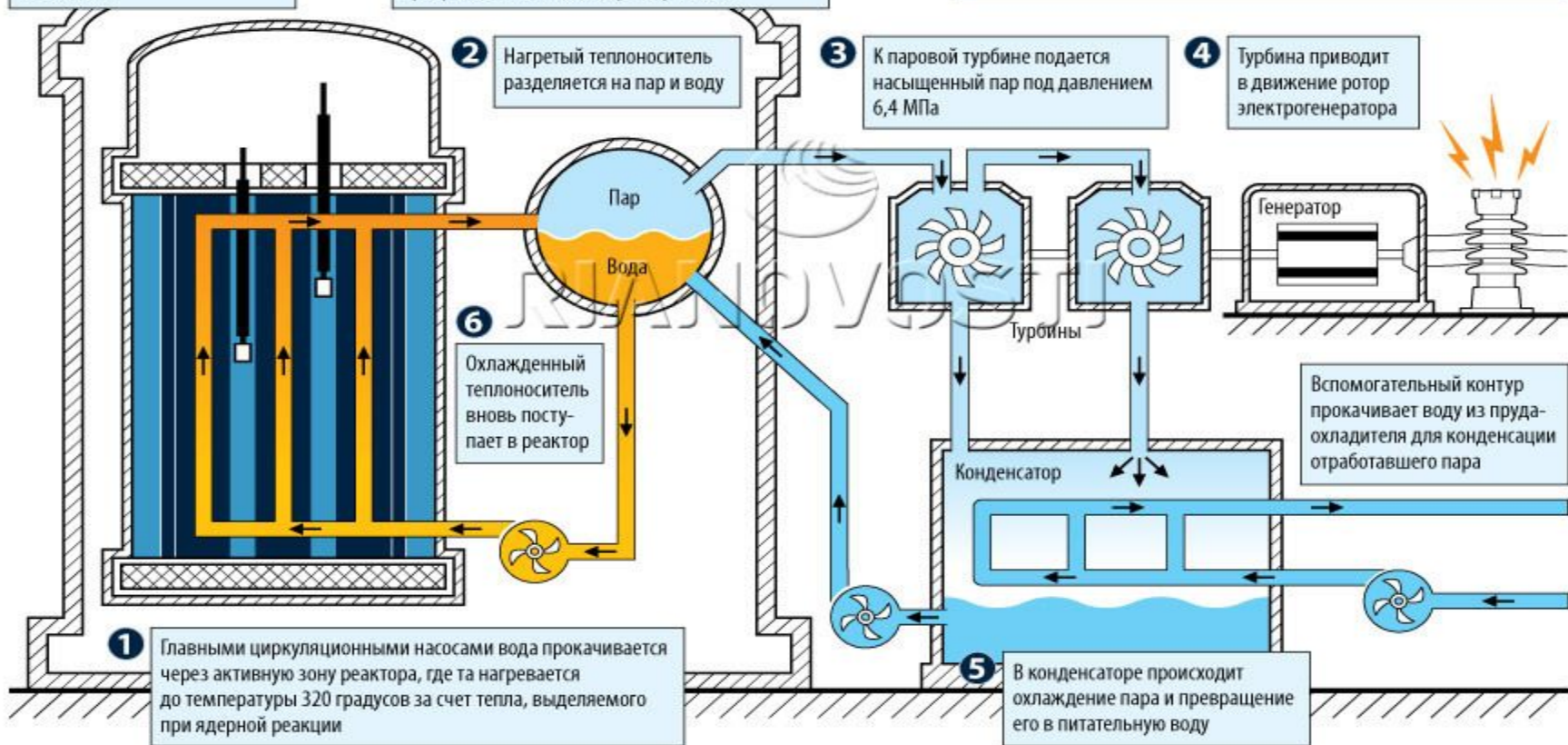
# Устройство атомной электростанции

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

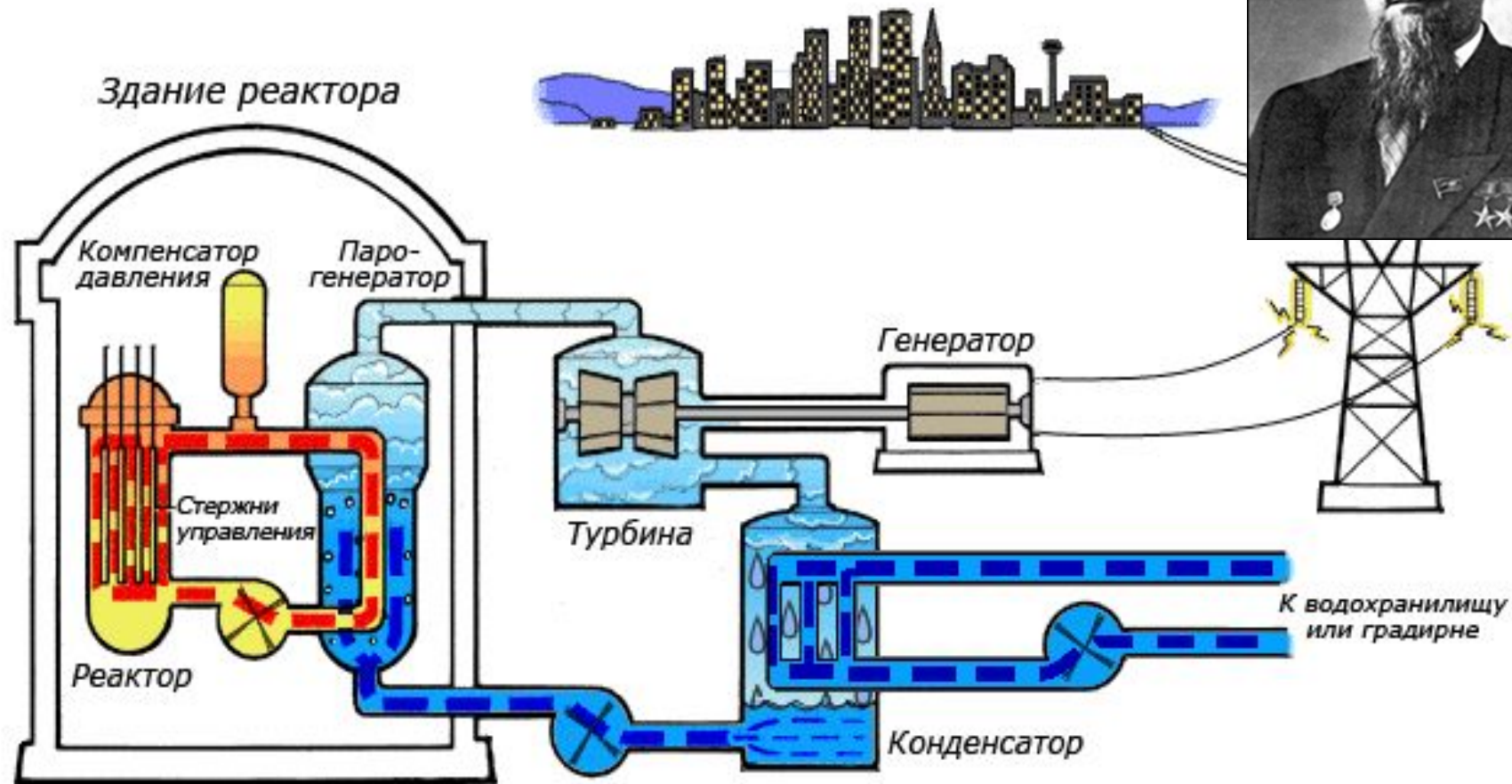


## Основной блок АЭС – атомный реактор

- 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-I», 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 среде из нейтральных атомов и молекул образуются положительные или отрицательные заряженные частицы – ионы. Виды  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ .

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 белокровие, 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**, связанна 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.



**Аварии на РОО**  
(по критерию возможности  
локализации аварии системами  
безопасности АС )

**ПРОЕКТНЫЕ**

**ЗАПРОЕКТНЫЕ**

**ПО МАСШТАБУ**

**локальные**

**местные**

**территориальные**

**федеральные**

**трансграничные**

**Международная шкала  
оценки событий на атомных  
станциях (в России введена  
с 1990г.)**

**Наименование  
события**

**Уровень  
события**

**Содержание события**

**Необходимость защиты населения**

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

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

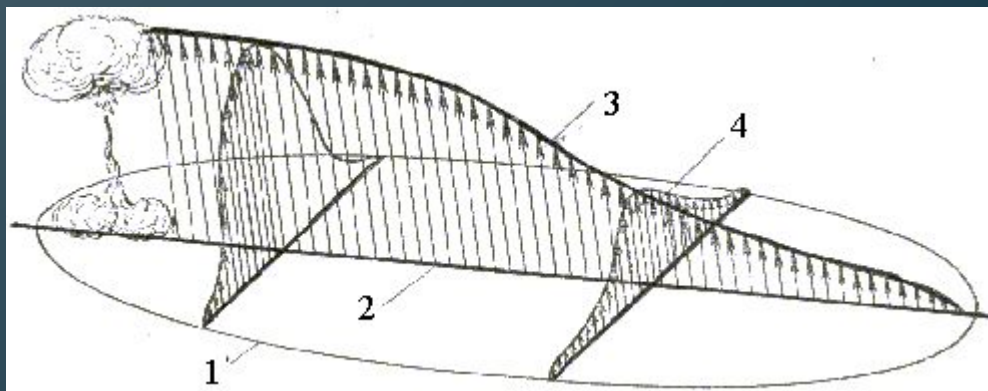


## 3 Характер радиоактивного

III

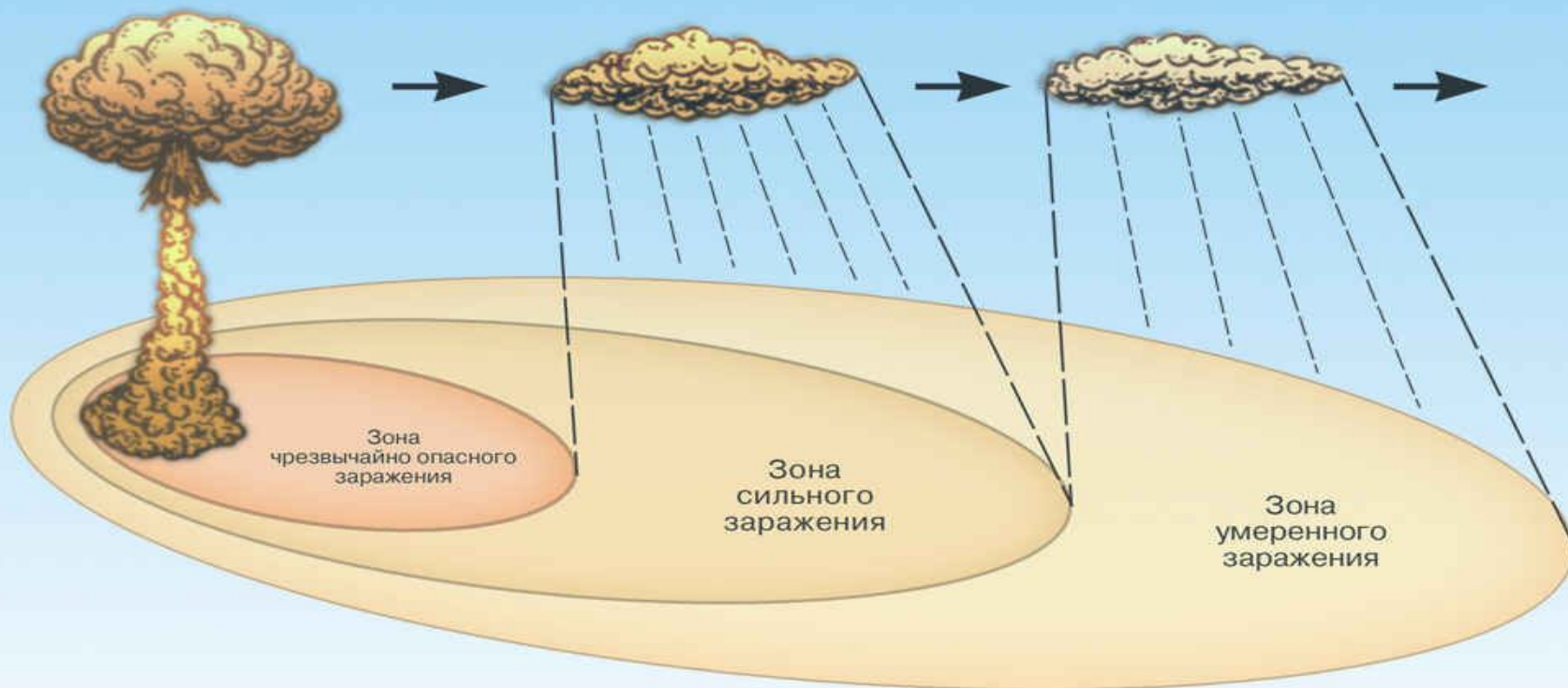
# загрязнения окружающей среды при авариях на АС.

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.

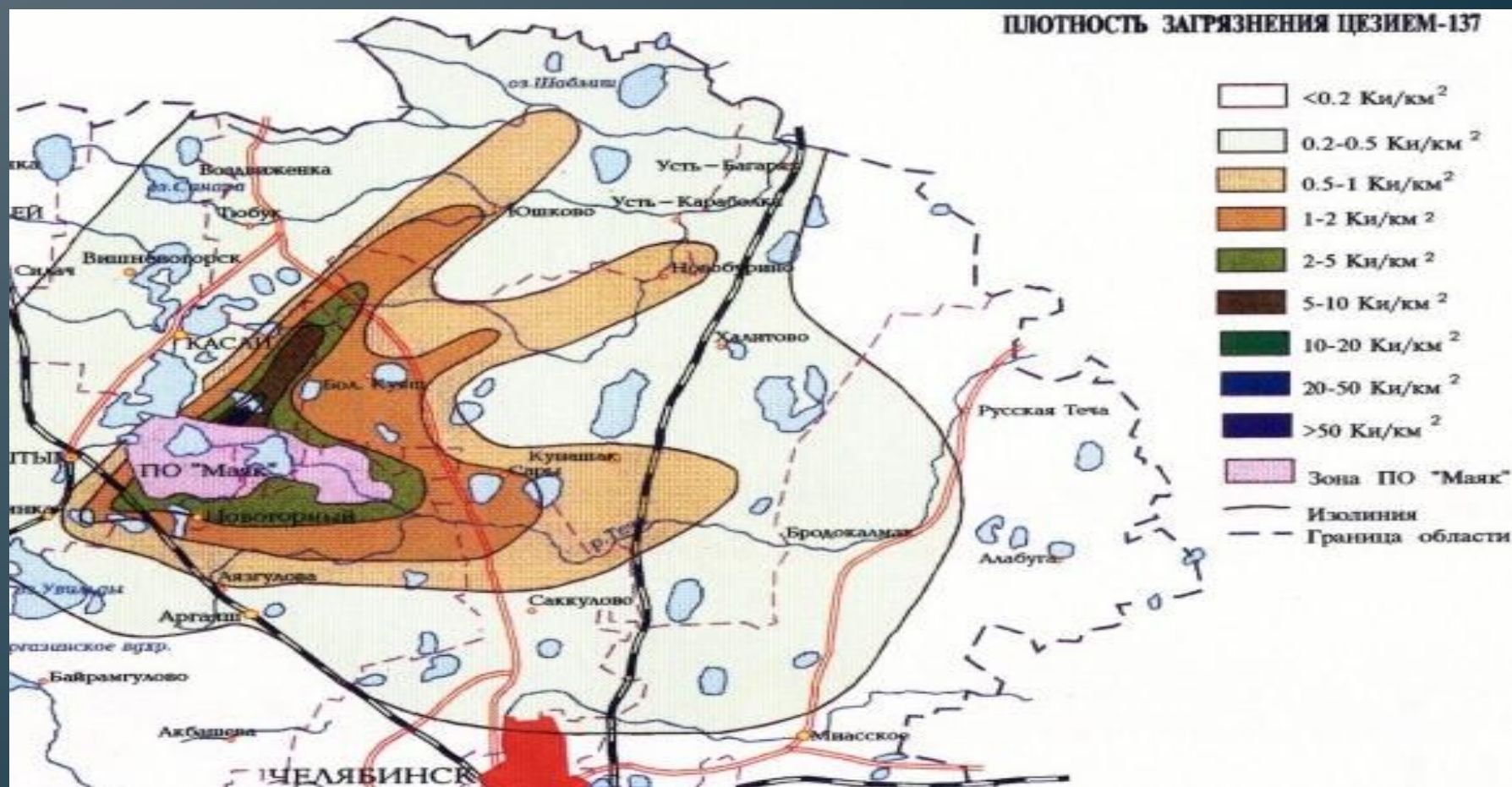


# Форма радиоактивного загрязнения местности при аварии на АС

**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.



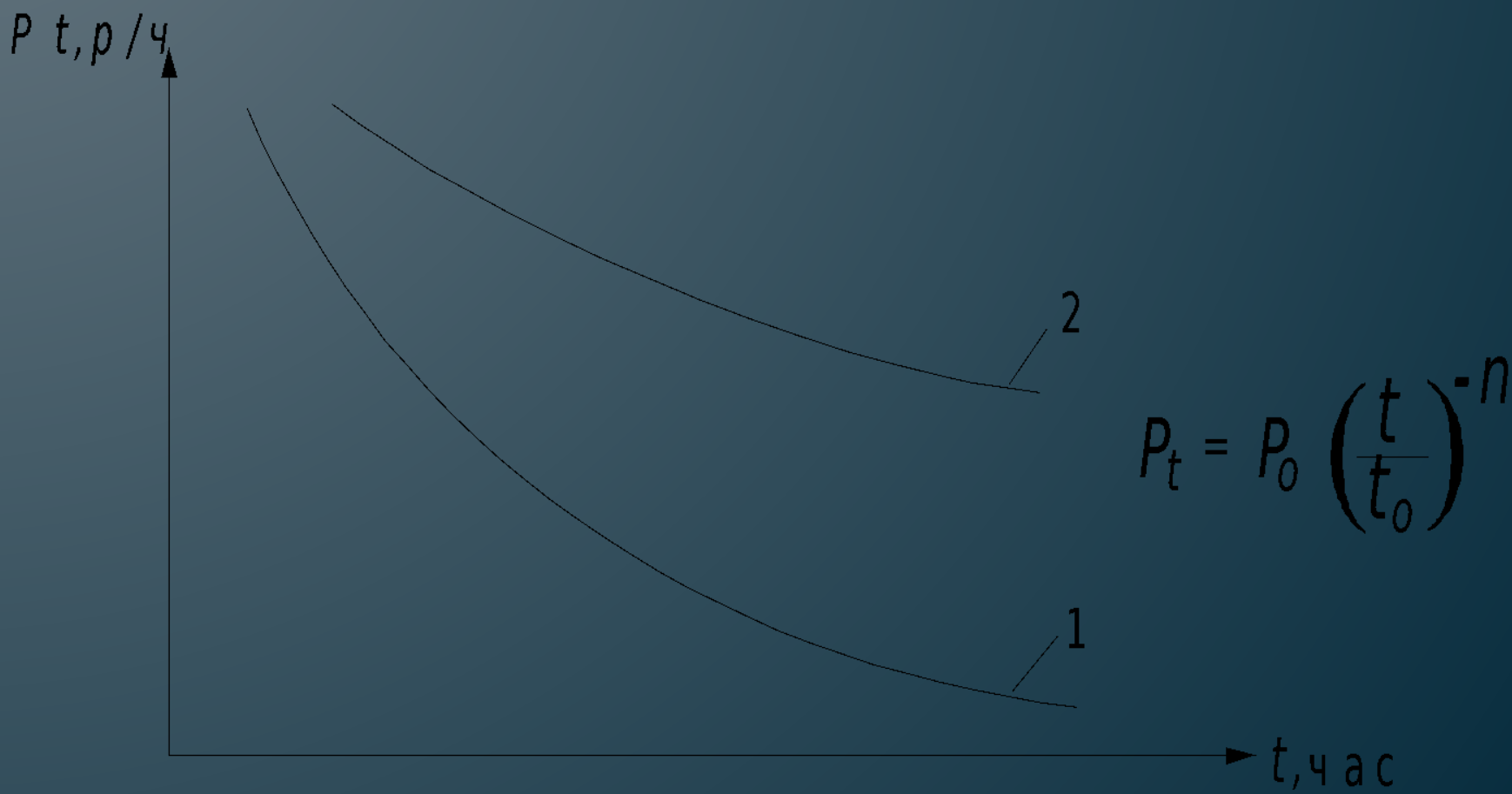


Аэрозоли, из которых состоит радиоактивное облако, имеют **мелкодисперсный характер** с размером частиц 2мкм (микрометров,  $1\text{мкм}=10^{-6}\text{м}$ ) и менее, вследствие чего они обладают высокой проникающей способностью через фильтры защитных средств, что способствует их поступлению (прежде всего 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    |
|------------------------|---|------|------|------|-----|------|------|
| $K_{сп}$ АС            | 1 | 1,32 | 1,55 | 1,83 | 1,9 | 2,02 | 2,15 |
| $K_{сп}$ ЯВ            | 1 | 2,3  | 3,7  | 5,3  | 6,7 | 8,6  | 10   |