

# Безопасность жизнедеятельности

## Радиационная безопасность, часть 1

# Радиационная безопасность

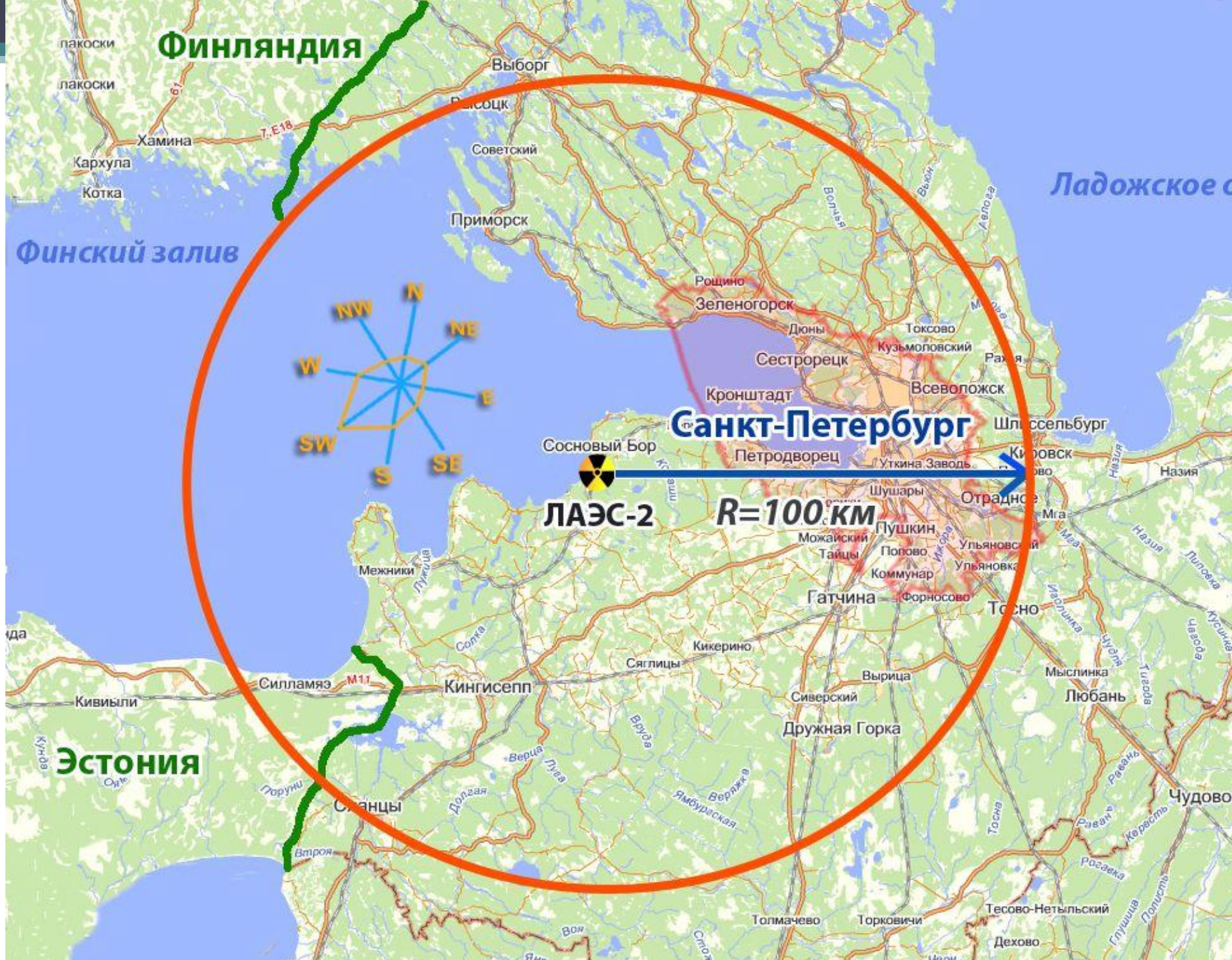
- **Радиационная безопасность – это состояние защищенности** настоящего и будущего поколений людей **от** вредного для их здоровья **воздействия ионизирующего излучения** (в формулировке федерального закона 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»)

# Правовая база обеспечения радиационной безопасности в РФ

- Федеральный закон от 09.01.1996 г. № **3-ФЗ** «О радиационной безопасности населения»;
- Федеральный закон от 30.03.1999 г. № **52-ФЗ** «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;
- **СП 2.6.1.2612-10** «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ 99/2010);
- **СП 2.6.1.24-03** «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций» (СП АС-03);
- **СП 2.6.1.28-2000** «Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций» (ПРБ АС-99);
- **СанПиН 2.6.1.2523-09** «Нормы радиационной безопасности» (**НРБ-99/2009**)

## «Мирный атом»

- 31 страна мира эксплуатирует 192 АЭС (438 энергоблоков) - **Франция: 75%**  
электроэнергии вырабатывается на АЭС
- С начала эксплуатации АЭС в 14 странах мира на них произошло более 150 инцидентов и аварий различной степени сложности.



**Финляндия**

Финский залив

Ладожское озеро

**Санкт-Петербург**

ЛАЭС-2

R=100 км

**Эстония**

лакоски  
лакоски  
Хамина  
Кархула  
Котка

Выборг  
Расоцк  
Советский  
Приморск

Роудино  
Зеленогорск  
Дюны  
Сестрорецк  
Кронштадт  
Токсово  
Кузьмоловский  
Всеволожск

Шлиссельбург

Сосновый Бор

Петродворец

Кировск

Кингисепп

Гатчина

Тосно

Кививыли

Силламяэ

Сланцы

Дружная Горка

Мыслинка

Чудово

Втроя

Сланцы

Толмачево

Торковичи

Тесово-Нетьельский

Дехово

# «Мирный атом» в России

- **10 действующих АЭС** +1 «плавучая» АЭС +8 АЭС строится (ввод до 2030 г.)
  - На АЭС вырабатывается около 19% энергии России
- А также:
- **113 исследовательских ядерных установок,**
  - **13 промышленных предприятий топливного цикла,**
  - **ок. 13 тыс. предприятий и объектов,** осуществляющих деятельность с использованием радиоактивных веществ и изделий на их основе



# радиационно-опасные объекты (РОО)

- **Радиационно-опасный объект (РОО)** – объект, **на котором перерабатывают, используют, хранят или транспортируют радиоактивные вещества**, и при аварии на котором или его разрушении может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства, а также окружающей природной среды (*в формулировке ГОСТ Р 22.0.05.94*)



# радиационно-опасные объекты (РОО)

- **Основным показателем степени потенциальной опасности** РОО при прочих равных условиях (надежность технологических процессов, качество профессиональной подготовки специалистов и т.д.) **является общее количество радиоактивных веществ**, находящихся на них

# радиационно-опасные объекты (РОО)

- атомные станции (АЭС);
- предприятия по регенерации отработанного топлива и временному хранению радиоактивных отходов;
- научно-исследовательские организации, имеющие исследовательские реакторы или ускорители частиц;
- морские суда с энергетическими установками;
- хранилища ядерных боеприпасов;
- полигоны, где проводятся испытания ядерных зарядов.

# Радиационная авария

- **Радиационная авария** – авария на радиационно-опасном объекте, приводящая к выходу или выбросу радиоактивных веществ и (или) ионизирующих излучений за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации данного объекта границы **в количествах, превышающих установленные пределы безопасности его эксплуатации.**

# МАГАТЭ

- Международное агентство по атомной энергетике (**МАГАТЭ**) – международная организация ООН
- действует под лозунгом «Атом для мира и развития» и выступает в качестве международного центра сотрудничества в ядерной области
- общее число членов: 171 страна (по состоянию на 5 февраля 2019 г), Россия – с 1957 года
- Последний вступивший член: Сент-Люсия – островное государство архипелага Малые Антильские острова, около о. Мартиника (2019 г.), страна Британского содружества

# НРБ-99/2020

- нормативный документ, применяемый для обеспечения безопасности человека от воздействия на него ионизирующих излучений различного происхождения и мощности – **«Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2020)**.
- НРБ-99/2020 устанавливает **предельные уровни и суммарные дозы воздействия ионизирующих излучений всех видов**, а также другие требования, ограничивающие облучение человека

# НРБ-99/2020

## Основные пределы доз

Нормируемые величины*	Пределы доз	
	персонал (группа А)**	население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в		
хрусталике глаза***	150 мЗв	15 мЗв
коже****	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

# Эффективная доза облучения, Эквивалентная доза облучения

- **Эффективная доза (Еэф)** – это такая доза при неравномерном облучении тела человека, которая равна эквивалентной дозе (Еэкв) при равномерном облучении всего организма, при этом риск неблагоприятных последствий будет таким же, как и при неравномерном облучении тела человека.

$$\mathbf{E_{эф} = \sum E_{экв} \times K_p}$$

- $K_p$  - коэффициент радиочувствительности различных органов

# НРБ-99/2020

- **Эффективная доза для населения – не более 1 мЗв/год** в течение 5 последовательных лет, но не больше 5 мЗв за 1 год.
- Эффективная доза для населения за период жизни (70 лет) - 70 мЗв.
- Эффективная доза для персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) - 1000 мЗв.



# Классификация радиационных аварий

- Аварии, связанные с нарушением нормальной эксплуатации радиационно-опасных объектов (РОО), классифицируют на **проектные** и **запроектные**

# Проектная авария

- **Проектная авария** – это авария, для которой **определены в проекте:**
- исходные аварийные события, характерные для того или иного радиационно-опасного узла,
- конечные состояния (контролируемые состояния элементов и систем после аварии),
- предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие ограничение последствий аварий установленными пределами

# Запроектная авария

- **Запроектная авария** вызывается **не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями** и приводит к тяжелым последствиям.
- **В результате запроектной аварии** может произойти выход радиоактивных продуктов в количествах, приводящих к радиоактивному загрязнению прилегающей территории, возможному облучению населения выше установленных норм.
- При крайнем неблагоприятном развитии сценария аварии могут произойти тепловые и ядерные взрывы.

# Радиационная авария



- Основными поражающими факторами радиационных аварий являются **радиационное воздействие и радиоактивное загрязнение**.
- **Радиоактивное загрязнение** вызывается воздействием альфа-, бета- и гамма- ионизирующих излучений и обуславливается выделением при аварии непрореагированных элементов и продуктов деления ядерной реакции (радиоактивный шлак, радиоактивная пыль, осколки ядерного продукта), а также образованием различных радиоактивных материалов и предметов (например, грунта) в результате их облучения.
- Аварии могут сопровождаться **взрывами и пожарами**.

# МАГАТЭ: международная шкала событий на АЭС

- 7 уровней + нулевой уровень:
- **нулевой уровень - событие с отклонением ниже шкалы:** отсутствует значимость с точки зрения безопасности
- **первый уровень - незначительное происшествие:** функциональные отклонения или отключения в управлении, которые не представляют риска, но указывают на недостатки в обеспечении безопасности (отказ оборудования, ошибки персонала, недостатки руководства).

# МАГАТЭ: международная шкала событий на АЭС

- **второй уровень – происшествие средней тяжести:** отказ оборудования или его отклонение от параметров нормальной эксплуатации, которые хотя и не вызвали непосредственного влияния на безопасность станции, но должны привести к значительной переоценке мер по безопасности

# МАГАТЭ: международная шкала событий на АЭС

- **третий уровень – серьёзное происшествие:** выброс в окружающую среду радиоактивных продуктов в количестве, не превышающем 5-кратный допустимый суточный сброс. По факту - происходит значительное переоблучение работающих (порядка 50 мЗв), но за пределами площадки не требуется принятия защитных мер (пример: АЭС Вандельос, Испания, провинция Каталония, 1989 г.)

# Авария на АЭС Вандельос, Испания, провинция Каталония

- 19 октября 1989 года в турбинном отделении первого энергоблока произошло загорание турбинного масла, который, однако, не привел к радиоактивным выбросам. Огонь уничтожил электропроводку как основных систем, так и аварийных, что привело к отказу оборудования. В результате в энергоблоке произошло затопление. Активные и эффективные действия персонала спасли от перегрева реактора и ядерное топливо
- В 1990 г. было принято решение о нецелесообразности восстановления энергоблока ввиду ошибок в его изначальном проектировании и возможности повторения инцидента. До 1997 г. все ядерное топливо из реактора было вывезено. К 2003 г. были дезактивированы и демонтированы почти все сооружения и оборудование в первом энергоблоке АЭС Вандельос.
- 25 августа 2004 года случился инцидент уже на втором энергоблоке АЭС Вандельос.



# МАГАТЭ: международная шкала событий на АЭС

- **четвертый уровень – авария в пределах АЭС:** выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду в количествах, не превышающие дозовые пределы для населения при проектных авариях. Облучение работающих порядка 1 Зв, вызывающее лучевые эффекты. (пример: АЭС Сен-Лоран Дез'О, Франция, 1980 г.)

# Аварии на АЭС Сен-Лоран Дез'О, Франция (уран-графитовые реакторы)

- 17 октября 1969 года на первом реакторе (расплавилось 50 кг урана в реакторе, 47 кг впоследствии были собраны, реактор восстановлен 16 октября 1970 г. Причина – человеческий фактор – ошибка оператора)
- 13 марта 1980 года авария на втором реакторе (расплавилось 20 кг урана в реакторе, для устранения аварии персоналу станции пришлось пойти на сброс в атмосферу радиоактивного йода в период с 22 по 26 марта 1980 года и сброс плутония в р. Луара, реактор восстановлен в 1983 г, проработал до 1992 г. Следы плутония в р. Луара регистрировали в течение 20 лет)

# Аварии на АЭС Сен-Лоран Дез'О, Франция

- 5 апреля 2012 года остановка реактора из-за выхода из строя датчика воды (сброс в р. Луара)



# МАГАТЭ: международная шкала событий на АЭС

- **пятый уровень – авария, опасная для окружающей среды:** выброс в окружающую среду такого количества продуктов, которое приводит к превышению дозовых пределов для проектных аварий. Разрушение большей части активной зоны, вызванное механическим воздействием или плавлением. В некоторых случаях требуется частичное введение планов мероприятий по защите персонала и населения на случай аварий (в т.ч. эвакуация)

# АЭС Три-Майл-Айленд, США, 1979 г.

- Вышел из строя энергоблок № 2 АЭС Three Mile Island (Три-Майл-Айленд, «Трехмильный остров»), в 16 км южнее города Гаррисберг, штат Пенсильвания, США
- 28 марта 1979 г, 4 часа утра
- «Спусковым механизмом» аварии стал вышедший из строя питательный насос второго контура охлаждения реактора. Аварийное развитие событий было обусловлено сочетанием ряда технических неполадок (заклинивание клапана, неправильные показания приборов, отказ нескольких насосов), грубых нарушений правил ремонта и эксплуатации, и «человеческого фактора».
- радиационный фон в помещениях гермооболочки превысил норму в 600 раз

# Последствия аварии

- Разрушение активной зоны: температура в реакторе во время аварии достигала 2200 градусов, в результате расплавилось около половины всех компонентов активной зоны (в абсолютных цифрах - почти 62 тонны)
- Некоторое количество радиоактивных газов и пара попало в атмосферу, и в результате каждый житель 16-километровой зоны вокруг АЭС получил облучение как во время сеанса флюорографии. Выбросов в атмосферу и воду высокоактивных нуклидов удалось избежать, местность не подверглась радиоактивному загрязнению.

# Последствия аварии

- В настоящее время АЭС Three Mile Island продолжает работу: функционирует энергоблок № 1, который во время аварии находился в ремонте, и был запущен в 1985 г.
- Второй энергоблок закрыт, внутренняя часть реактора полностью вынута и утилизирована, а за площадкой ведется наблюдение.
- Станция будет работать до 2034 года.
- После аварии на АЭС Три-Майл-Айленд в США было принято решение больше не строить атомных электростанций

# МАГАТЭ: международная шкала событий на АЭС

- **шестой уровень – тяжелая авария:** выброс в окружающую среду большого количества радиоактивных продуктов, накопленных в активной зоне, в результате которого дозовые пределы для проектных аварий будут превышены, а для запроектных - нет.
- Для ослабления серьезного влияния на здоровье населения необходимо введение планов мероприятий по защите персонала и населения в случае аварий в радиусе 25 км, включающих эвакуацию населения



## Атомный комплекс «Селлафилд». Уиндскейл, Великобритания, 10 октября 1957

- В результате пожара в графитовом реакторе с воздушным охлаждением для производства оружейного плутония произошёл крупный (550-750 ТБк) выброс радиоактивных веществ.

### **Последствия аварии:**

- Выброс радиоактивного  $^{131}\text{I}$  (по расчётам порядка 20 тыс. Кюри, 740 ТБк) + долгосрочное загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  (800 Кюри, 30 ТБк)

## Атомный комплекс «Селлафилд». Уиндскейл, Великобритания, 10 октября 1957

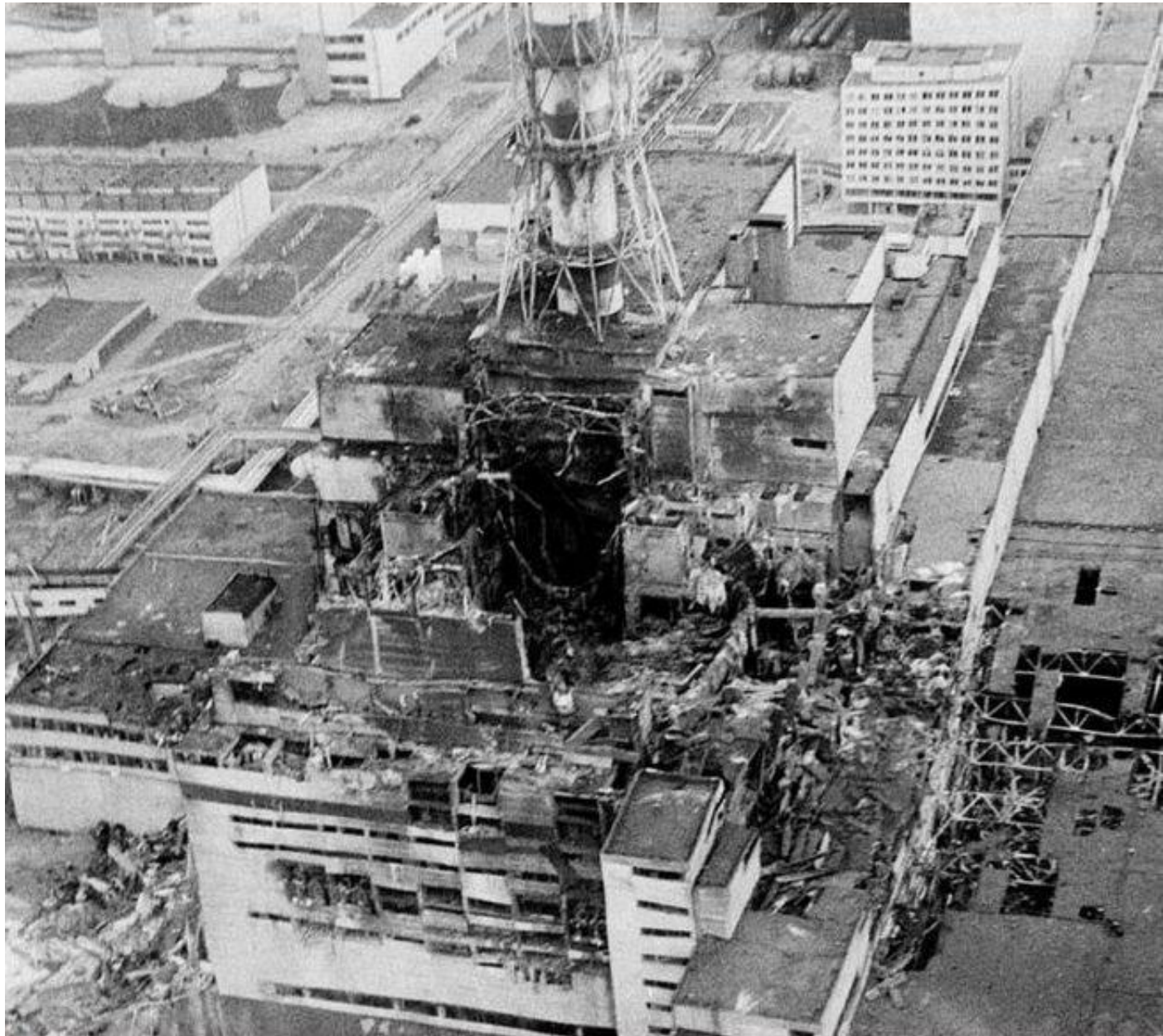
- После аварии производился контроль поступающего в продажу молока, из находящихся поблизости ферм его продажа была запрещена в течение 6 недель.
- По оценке специальной комиссии, среди населения могло произойти около 30 дополнительных смертей от заболевания раком (0,0015% прироста смертности от рака), то есть за время, в течение которого могут произойти эти 30 смертей, среди подвергшихся облучению людей по статистике умерло бы около 1 млн. человек.

# МАГАТЭ: международная шкала событий на АЭС

- **седьмой уровень – глобальная авария:** выброс в окружающую среду большого количества радиоактивных продуктов, накопленных в активной зоне, в результате которого будут повышены дозовые пределы для запроектных аварий.
- Возможность острых лучевых поражений.
- Последующее влияние на здоровья населения, проживающего на большой территории, включающей более чем одну страну. Д
- лительное воздействие на окружающую среду

# Чернобыльская авария, 26 апреля 1986 г., СССР

- в ночь с 25 на 26 апреля планировалось проведение эксперимента на четвёртом энергоблоке чернобыльской атомной электростанции. Суть эксперимента была в том, чтобы снизить мощность энергоблока с 3200 мегаватт (номинальная мощность блока) до 700 мегаватт. Эксперимент стал причиной аварии (ошибка персонала).
- Результат - два взрыва, в результате которых полностью разрушен четвёртый энергоблок



# Ликвидация последствий

- Через 4 минуты после взрыва (01:24) местная пожарная команда начала тушить пожар на крыше реактора.
- Были вызваны дополнительные пожарные команды из области и из Киева.
- К 4 часам утра пожар был локализован.
- К концу дня 26 апреля началась йодная профилактика города Припять.
- 27 апреля было принято решение эвакуировать жителей города Припять (50 тыс. человек эвакуировано в течение 3 часов, 15:00 – 18:00)
- 2 мая эвакуировали всех в радиусе 10 км.
- 4-7 мая ликвидировали жителей на территории радиусом 30 км.
- К 25 июля зона отчуждения полностью огорожена и закрыта для всех. Периметр зоны – 196 км.
- 14 ноября было завершено сооружение «Саркофага»

# «Чернобыльская катастрофа»

26 апреля 1986 г.

- «Авария на Чернобыльской АЭС по совокупности последствий является самой крупной катастрофой современности, общенародным бедствием, затронувшим судьбы миллионов людей, проживающих на огромных территориях» (*из Постановления Верховного Совета, 1990 г.*)
- Одиннадцать областей - **17 млн. человек** (из них 2,5 млн. детей до 5-летнего возраста) - оказались в зоне поражения.
- В районах жесткого радиационного контроля: 1 млн. человек из Гомельской, Могилевской, частично Брянской, Житомирской, Киевской и Черниговской областей.

**Критерии для принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов**

Меры защиты	Предотвращаемая эффективная доза, мЗв	
	уровень А	уровень Б
Ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов и питьевой воды	5 за первый год  1/год в последующие годы	50 за первый год  10/год в последующие годы
Отселение	50 за первый год	500 за первый год
	1000 за все время отселения	



# Фукусима-1, Япония, 11 марта 2011 г.

- В течение последующих четырех дней авария на Фукусима-1 сопровождалась взрывами: сначала в энергоблоке № 1, затем № 3 и в № 2, результатом чего стало разрушение корпусов реакторов. Эти взрывы привели к высвобождению более высокого уровня радиации со станции.



# Фукусима-1, Япония, 11 марта 2011 г.

- Причина - землетрясения в 9,1 балла последовало цунами, которое подняло волну на 40 м.
- волна высотой 15-17 м накрыла ядерную станцию, преодолев дамбу: затопило территорию АЭС, в том числе нижние уровни. В итоге, прекратили работу дизельные генераторы, остановились насосы, которые охлаждали остановленные энергоблоки. Это привело к повышению давления в реакторах, которое сначала пытались сбросить в термооболочку, потом - в атмосферу. В этот момент водород проник одновременно с паром в реактор и привел к радиационному излучению.

# Последствия Фукусимы-1

- Уровень радиации превысил норму в 5 раз, даже спустя несколько месяцев он оставался высоким в зоне эвакуации (эвакуировано 47 000 жителей)
- Территория станции и ее окрестности заряжены, в том числе радиационные элементы обнаружили в питьевой воде, молоке и многих других продуктах, в морской воде и в почве.
- Повышен радиационный фон в некоторых регионах страны.
- АЭС Фукусима официально была закрыта в 2013 г.
- Ущерб составил 189 млрд. американских долларов (оценка 2017 г.)
- Область катастрофы признана непригодной для жизни не на одно десятилетие. По прогнозам, полностью решить проблему с АЭС Фукусима, Япония потратит около 40 лет.

# Источники радиоактивного загрязнения:

- аварии на АЭС или другой ядерной энергетической установке,
- в результате ядерного взрыва,
- как следствие безответственного хранения и халатного обращения с радиоактивными препаратами в медицине, научных учреждениях и промышленности.

# Радиоактивное загрязнение

- **уровень радиоактивного загрязнения местности** (радиоактивный след) **и длительность загрязнения** (уменьшение радиоактивности до природного фонового уровня) **зависят** от причины, вызвавшей загрязнение (радиоактивного инцидента)

# Радиоактивное загрязнение

- **при ядерном взрыве** преобладают радионуклиды с коротким периодом полураспада, и на следе радиоактивного облака происходит быстрый спад мощности дозы излучения;
- **при авариях на радиационно-опасных объектах** радиоактивное заражение атмосферы и местности происходит легколетучими радионуклидами (йода, цезия, стронция, урана), обладающих длительными периодами полураспада.

# Самые радиоактивно загрязненные почвы в мире

- территория Хенфорда (штат Вашингтон, США) – бывший комплекс по ядерным разработкам (загрязнена площадь в 518 кв. км)
- почвы в Сомали (использовались для незаконного захоронения ядерных отходов).
- Семипалатинский полигон в Казахстане, где проводились ядерные испытания (считается самой радиационно опасной территорией в мире).
- Гор. Майлуу-Суу (Кыргызстан), - урановые рудники , чрезвычайно высокая концентрация радиоактивных изотопов в округе рудников.
- Чернобыльская зона
- Гор. Фукусима, Япония (землетрясение и цунами в марте 2011 года, вызвавшее аварию на АЭС)

# Самые радиоактивно загрязненные почвы в мире

- Промышленный комплекс "Маяк" (гор. Челябинск-40, возле гор. Кыштым), авария в 1957 году привела к радиационному загрязнению 25 000 га пахотных земель.
- ОАО Сибирский химический комбинат (Томская обл., Россия)
- *Рекомендуется просмотр видеоролика*