

# Безопасность жизнедеятельности

## Радиационная безопасность, часть 2

# 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.

## Период полураспада радиоактивных элементов

**Уран 238 - 4,51 млрд лет**  
**Уран 235 - 710 млн лет**  
**Уран 234 - 247 тыс. лет**

Плутоний 238 - 86,4 года

Плутоний 239 - 24 360 лет

Плутоний 240 - 6 580 лет

Плутоний 241 - 14 лет

Плутоний 242 - 370 000 лет

Цезий 136 - 13,2 суток

Цезий 137 - 30 лет

Стронций 90 - 29 лет

Йод 131 - 8,04 суток

Йод 132 - 2,3 часа

Йод 133 - 20,8 часа

Йод 134 - 54 минуты

Цирконий 95 - 65 суток

Ниобий 95 - 35 суток

Торий 232 - 14,1 млрд лет

Барий 140 - 12,8 суток

Церий 141 - 32,5 суток

Водород 3 - 12,3 года



# Наземный ядерный взрыв

- При наземном (подземном) ядерном взрыве окружающая среда сильно нагревается, значительная часть грунта и скальных пород испаряется и захватывается огненным шаром (**при взрыве мощностью в 1 МТ испаряется и вовлекается в огненный шар около 20 тысяч тонн грунта**).
- Радиоактивные вещества оседают на расплавленных частицах грунта. В результате образуется мощное облако, состоящее из огромного количества радиоактивных и неактивных оплавленных частиц, которое поднимается и достигает своей максимальной высоты, стабилизируется, приобретая характерную грибовидную форму, и под действием воздушных потоков перемещается с определенной скоростью и в определенном направлении.
- **Большая часть радиоактивных осадков выпадает из облака в течение суток (до 24 ч) после ядерного взрыва.**

# Радиоактивное загрязнение при ядерном взрыве

- **Основные источники радиоактивности при ядерных взрывах:** продукты деления веществ, составляющих ядерное горючее (200 радиоактивных изотопов 36 химических элементов)
- **Радиоактивность продуктов взрыва с течением времени быстро уменьшается** - через 7 ч, 49 ч и через 343 ч после взрыва радиоактивность снижается соответственно в 10, 100 и 1000 раз по сравнению с активностью через час после взрыва.

# Зоны радиоактивного загрязнения при ядерном взрыве

**Зона «А»** – умеренного загрязнения (уровень радиации: 8-80 Рентген/ч)

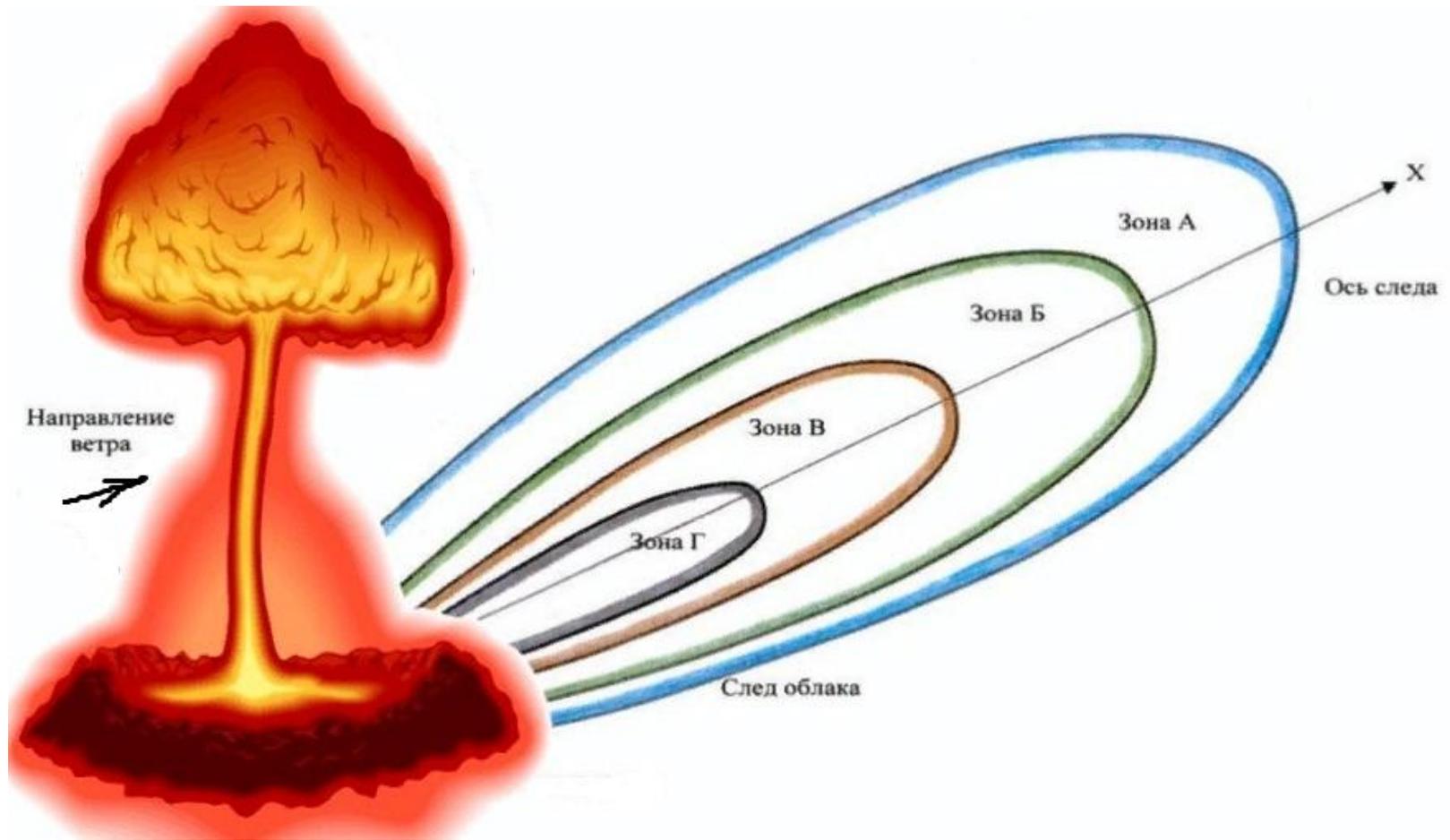
**Зона «Б»** - сильного загрязнения (80-240 Р/ч)

**Зона «В»** – опасного загрязнения (240-800 Р/ч)

**Зона «Г»** – чрезвычайно опасного загрязнения (> 800 Р/ч)



# Зоны радиоактивного загрязнения при ядерном взрыве



# Первый ядерный взрыв

- Первый взрыв был произведен **16 июля 1945 г.** в Америке, в штате Нью-Мексико.
- На верхней платформе 33-метровой стальной вышки была взорвана атомная бомба. Последствия: стальная конструкция вышки испарилась, на ее месте образовалась воронка диаметром 37 м и глубиной 1,8 м.
- В окружности 370 км была уничтожена вся растительность. Вспышка от взрыва на расстоянии 32 км казалась в несколько раз ярче, чем солнечный свет в полдень. После образовался огненный шар, существовавший несколько секунд. Свет от него был виден в населенных пунктах на расстоянии до 290 км. Звук от взрыва был слышен на таком же расстоянии.

# Воздушный ядерный взрыв

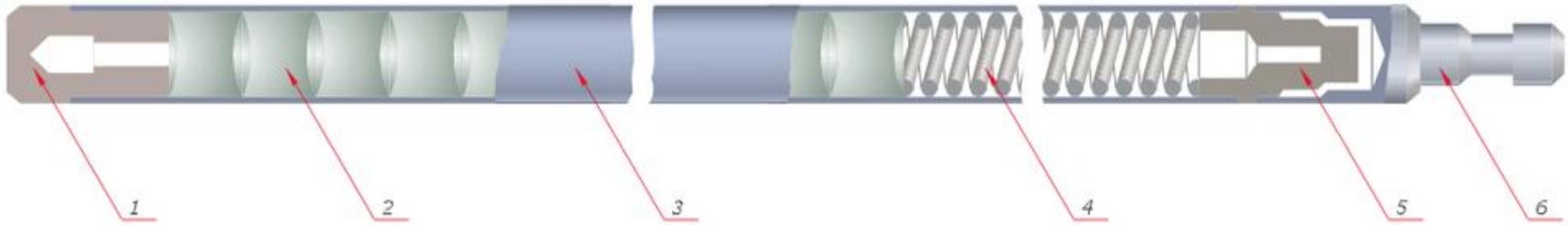
- При воздушном взрыве почти вся масса радиоактивных продуктов уходит в стратосферу и только небольшая часть остается в тропосфере.
- **Из тропосферы радиоактивные вещества выпадают в течение 1-2 месяцев, а из стратосферы- 5-7 лет.**
- За это время радиоактивно зараженные частицы уносятся воздушными потоками на большие расстояния от места взрыва и распределяются на огромных площадях. Поэтому они не могут создать опасного радиоактивного заражения местности. Опасность может лишь представлять радиоактивность в грунте и предметах, расположенных вблизи эпицентра воздушного ядерного взрыва.

# Радиоактивное загрязнение при аварии ядерного реактора

- На АЭС источником накопления радиоактивных веществ является реактор.
- В большинстве АЭС в качестве ядерного топлива применяются, главным образом, диоксид урана  $^{238}\text{U}$  (для воспроизводства ядерного топлива), обогащенный ураном  $^{235}\text{U}$  (делящееся вещество)
- Топливо размещается в тепловыделяющих элементах – твэлах (металлических трубках диаметром 6 - 15 мм, длиной до 4 м) - **см. следующий слайд**

# ТВЭЛ

1 - заглушка; 2 - таблетки диоксида урана; 3 - оболочка из циркония; 4 - пружина; 5 - втулка; 6 - наконечник



В твэлах происходит ядерная реакция (деление тяжелых ядер  $U_{235}$ ), сопровождающееся выделением тепловой энергии, которая затем передаётся теплоносителю

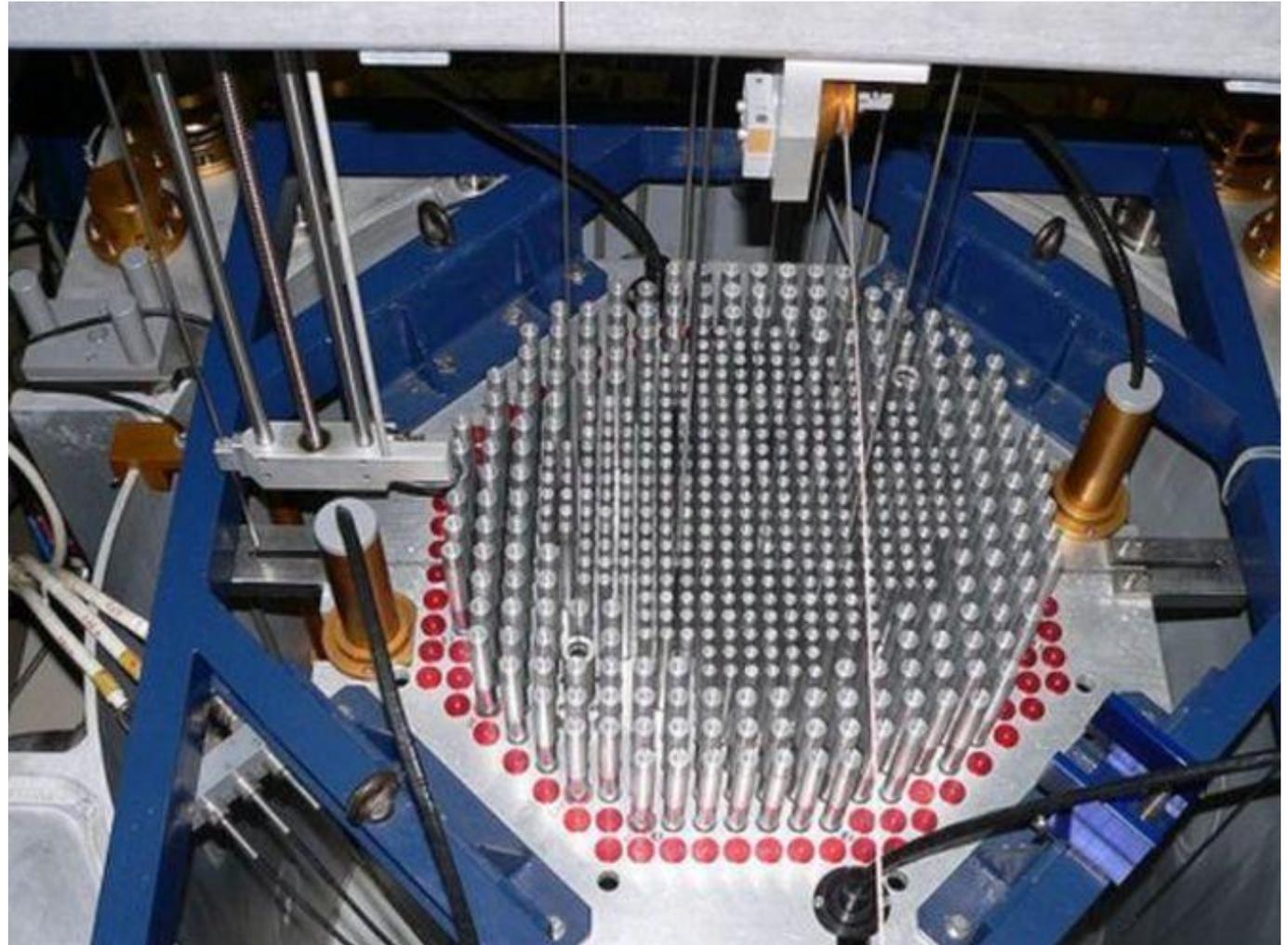
При номинальной мощности реактора температура на оси твэла составляет около  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на поверхности таблеток - около  $470\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Максимальная температура достигает соответственно  $1940\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ .  
Температура наружной поверхности трубки твэла составляет около  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$

# Ядерный реактор

- **В активной зоне реактора, где находятся твэлы, происходит реакция деления ядер урана - 235.** В результате торможения осколков деления их кинетическая энергия разогревает реактор. Это тепло затем используется для получения пара, вращения турбин и выработки электроэнергии.
- **Во время реакции в твэлах накапливаются радиоактивные продукты деления.**
- Если в ядерной бомбе процесс деления идет мгновенно, то в твэлах - длится несколько месяцев и более. За этот срок короткоживущие изотопы распадаются, и идет накопление радионуклидов с большим периодом полураспада (бета- и гамма-излучатели).

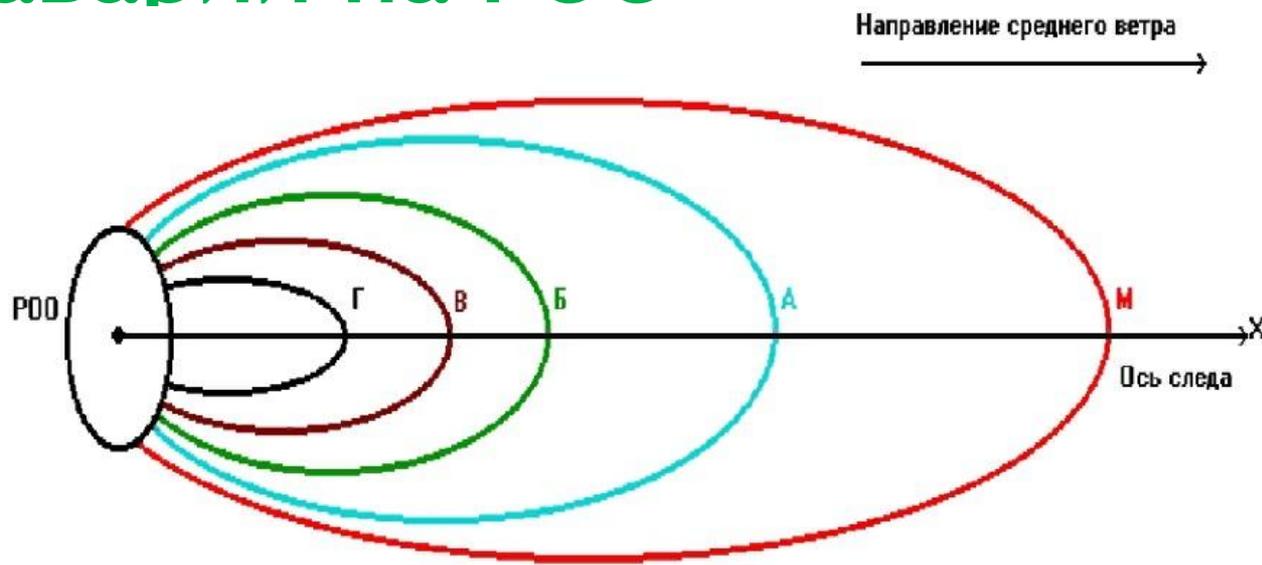
# Активная зона реактора



# ТВЭЛЫ

- Оболочки твэлов в настоящее время изготавливают из сплавов **алюминия, циркония** (температура плавления циркония = 1860 °С), **нержавеющей стали**
- Сплавы алюминия используются в реакторах с температурой активной зоны менее 250-270 °С, сплавы Zr - в энергетических реакторах при температурах 350-400 °С, а нержавеющая сталь, которая интенсивно поглощает нейтроны, - в реакторах с температурой более 400 °С.
- Иногда используют и другие материалы, например, графит.
- **Хорошая герметизация оболочки твэлов необходима для исключения попадания продуктов деления топлива в теплоноситель, что может повлечь распространение радиоактивных элементов в активную зону и первый контур охлаждения реактора**

# Зоны радиоактивного загрязнения при аварии на РОО



- Зона М - радиационной опасности
- Зона А - умеренного загрязнения
- Зона Б - сильного загрязнения
- Зона В - опасного загрязнения
- Зона Г - чрезвычайно опасного загрязнения

**В отличие от зонирования при ядерном взрыве, учитывается зона «М» - зона радиационной опасности (зона с правом на отселение)**

# Сравнение радиоактивных элементов, выделившихся при авариях 7 уровня INES

## Основные радиоактивные изотопы

### Чернобыль, 1986

I-131 (8 дней) Cs-134 (2 года)  
Cs-136 (13 дней) Sr-89 (54 дня)  
Cs-137 (30 лет) Sr-90 (29 лет)  
Pu-238 (88 лет)



Pu-240 (6564 лет)  
Pu-239 (24400 лет)  
Pu-103 (39 дней)

Pu-106 (374 дня)  
Np-239 (2,3 дня)  
Am-241 (432 года)  
Cm-244 (18 лет)



### Фукусима, 2011

I-131 (8 дней)  
Cs-136 (13 дней)  
Cs-134 (2 года)  
Cs-137 (30 лет)



Ba-140 (13 дней)  
Te-129m (34 дня)  
La-140 (1,7 дней)  
Cl-38 (38 мин)

# «Кто самый страшный?»

- Изотопы разных химических элементов по-разному воздействуют на организм человека; для них определено понятие «критический орган» - т.е. орган, на который преимущественно воздействует тот или иной изотоп.
- Например, изотопы стронция (стронций-89 и стронций-90) преимущественно поражают кости и костный мозг; изотоп йода-131 поражает щитовидную железу; изотоп полония-210 – селезенку и др.

Радиоактивный изотоп	Критический орган <sup>1</sup>	Эффектная энергия, мэв	Периоды полураспада и полувыведения, дни			Доля изотопа, попадающая					Предельно допустимое содержание у лиц, работающих с радиоактивными веществами, мккюри
			T <sub>физ.</sub>	T <sub>биол.</sub>	T <sub>эфф.</sub>	из желудка-но-кишечного тракта в кровь	в критический орган от общего содержания в теле	из крови в критический орган	при заглатывании	при вдыхании	
H <sup>3</sup> (окись трития)	Ткани тела	0,010	4,5 · 10 <sup>3</sup>	12	12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1 · 10 <sup>3</sup>
C <sup>14</sup> (CO <sub>2</sub> )	Кости	0,27	2,0 · 10 <sup>6</sup>	40	40	1,0	0,1	0,025	0,025	0,02	400
P <sup>32</sup>	»	3,5	14,3	1 155	14,1	0,75	0,5	0,5	0,375	0,32	6
S <sup>35</sup>	Все тело	0,056	87,1	90	44,3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,75	40
Ca <sup>45</sup>	Кости	0,43	164	1,8 · 10 <sup>4</sup>	162	0,6	0,9	0,9	0,94	0,54	30
Fe <sup>59</sup>	Селезенка	0,34	45,1	600	41,9	0,1	0,02	0,02	2 · 10 <sup>-3</sup>	6 · 10 <sup>-3</sup>	20
Co <sup>60</sup>	Все тело	1,5	1,9 · 10 <sup>3</sup>	9,5	9,5	0,3	1,0	1,0	0,3	0,4	10
Sr <sup>89</sup>	Кости	2,8	50,5	1,8 · 10 <sup>4</sup>	50,5	0,3	0,99	0,7	0,21	0,28	4
Sr <sup>90</sup>	»	5,5	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,8 · 10 <sup>4</sup>	6,4 · 10 <sup>3</sup>	0,3	0,99	0,3	0,09	0,12	2
I <sup>131</sup>	Щитовидная железа	0,23	8	138	7,6	1,0	0,2	0,3	0,3	0,23	0,7
Cs <sup>137</sup>	Все тело	0,59	1,1 · 10 <sup>4</sup>	140	140	1,0	1,0	1,0	1,0	0,75	30
Ba <sup>140</sup>	Кости	4,2	12,8	65	10,7	0,05	0,7	0,7	0,035	0,19	4
Ce <sup>144</sup>	»	6,3	290	1 500	243	10 <sup>-4</sup>	0,38	0,3	3 · 10 <sup>-5</sup>	0,075	5
Au <sup>198</sup>	Почки	0,41	2,7	280	2,7	0,1	0,03	0,03	3 · 10 <sup>-3</sup>	9 · 10 <sup>-3</sup>	20
Po <sup>210</sup>	Селезенка	55	138,4	60	42	0,06	0,07	0,04	2 · 10 <sup>-3</sup>	0,01	0,03
Ra <sup>226</sup>	Кости	110	5,9 · 10 <sup>5</sup>	1,64 · 10 <sup>4</sup>	1,6 · 10 <sup>4</sup>	0,3	0,99	0,1	0,03	0,04	0,1
Торий природный	»	270	—	7,3 · 10 <sup>4</sup>	7,3 · 10 <sup>4</sup>	10	0,9	0,7	7 · 10 <sup>-5</sup>	0,18	0,01
Уран природный	Почки	43	—	15	15	10 <sup>-2</sup>	0,065	0,11	1,1 · 10 <sup>-3</sup>	0,028	5 · 10 <sup>-3</sup>
U <sup>233</sup>	Кости	250	5,9 · 10 <sup>7</sup>	300	300	10 <sup>-2</sup>	0,85	0,11	1,1 · 10 <sup>-3</sup>	0,028	0,05
U <sup>235</sup>	Почки	46	2,6 · 10 <sup>11</sup>	15	15	10 <sup>-2</sup>	0,065	0,11	1,1 · 10 <sup>-3</sup>	0,028	0,03
Pu <sup>239</sup>	Кости	270	8,9 · 10 <sup>6</sup>	7,3 · 10 <sup>4</sup>	7,2 · 10 <sup>4</sup>	3 · 10 <sup>-5</sup>	0,9	0,8	2,4 · 10 <sup>-5</sup>	0,2	0,04

# Изотопы, выделяющиеся при авариях на РОО. **Стронций-90**

- Стронций является аналогом кальция, поэтому он наиболее эффективно откладывается в костной ткани (в мягких тканях задерживается менее 1 %).
- За счет отложения в костной ткани, он облучает костную ткань и костный мозг.
- Поступление большого количества изотопа Стронций-90 может вызвать лучевую болезнь.

**Стронций-90 – основная причина развития лучевой болезни пораженных при авариях на РОО.**

# ФОРМУЛА РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Формула радиоактивного распада **показывает уменьшение радиоактивности** (убыль числа радиоактивных ядер) **со временем** по экспоненциальному закону

# РАСЧЕТ ПЛОТНОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭВАКУАЦИИ, ОТСЕЛЕНИЯ, ПРОВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ И ДР.

Закон радиоактивного распада выражают формулой:

$$M_t = M_0 \cdot \exp(-0,693 \cdot t / T)$$

**$M_t$**  - активность радионуклида через время  $t$

**$M_0$**  - активность радионуклида в начальный момент времени (уровень радиации в момент аварии реактора или ядерного взрыва)

**$\exp$**  - экспонента, число  $e = 2,718$

**$T$**  - период полураспада радионуклида ( он разный для разных изотопов: для цезия-137 ~ 30 лет, для стронция-90 ~ 29,1 года)

**$t$**  - рассматриваемый отрезок времени

## «Бытовая» радиация

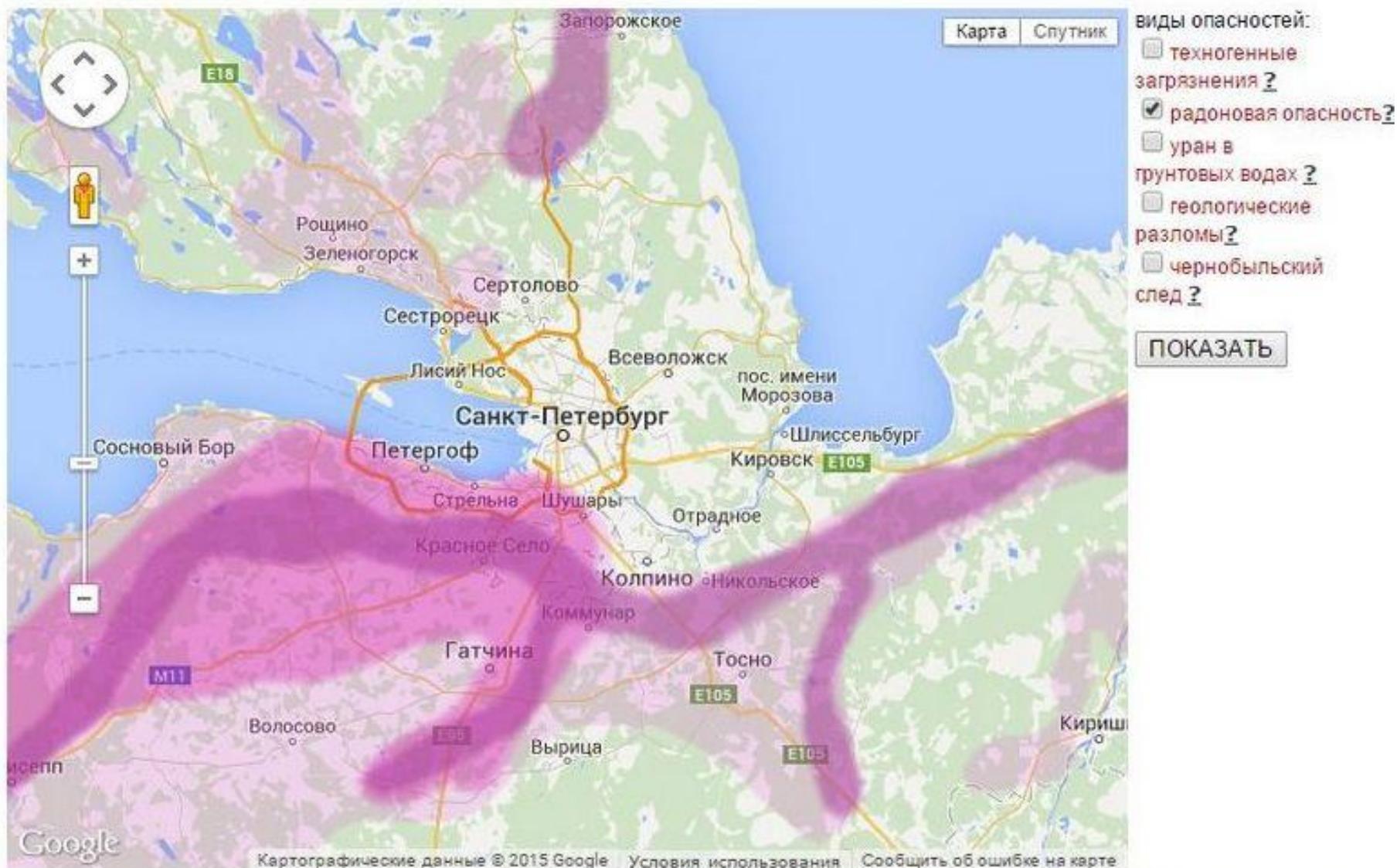
- По данным Американской комиссии радиационной безопасности и контроля, человек в среднем получает **55%** ионизирующей радиации за счет природных источников, в т.ч. радона (радиоактивный газ). Около **11%** - за счет медицинских манипуляций. Вклад космических лучей составляет примерно **8%**. Остальное – постоянный радиационный фон, контакты с изотопами при мелких бытовых авариях и др.

# НРБ 1999/2020

- **Наличие радионуклидов в воде из подземных источников:**
- *Приоритетный перечень определяемых радионуклидов в воде включает следующие природные радионуклиды:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  (обязательное определение для воды из подземных источников)*

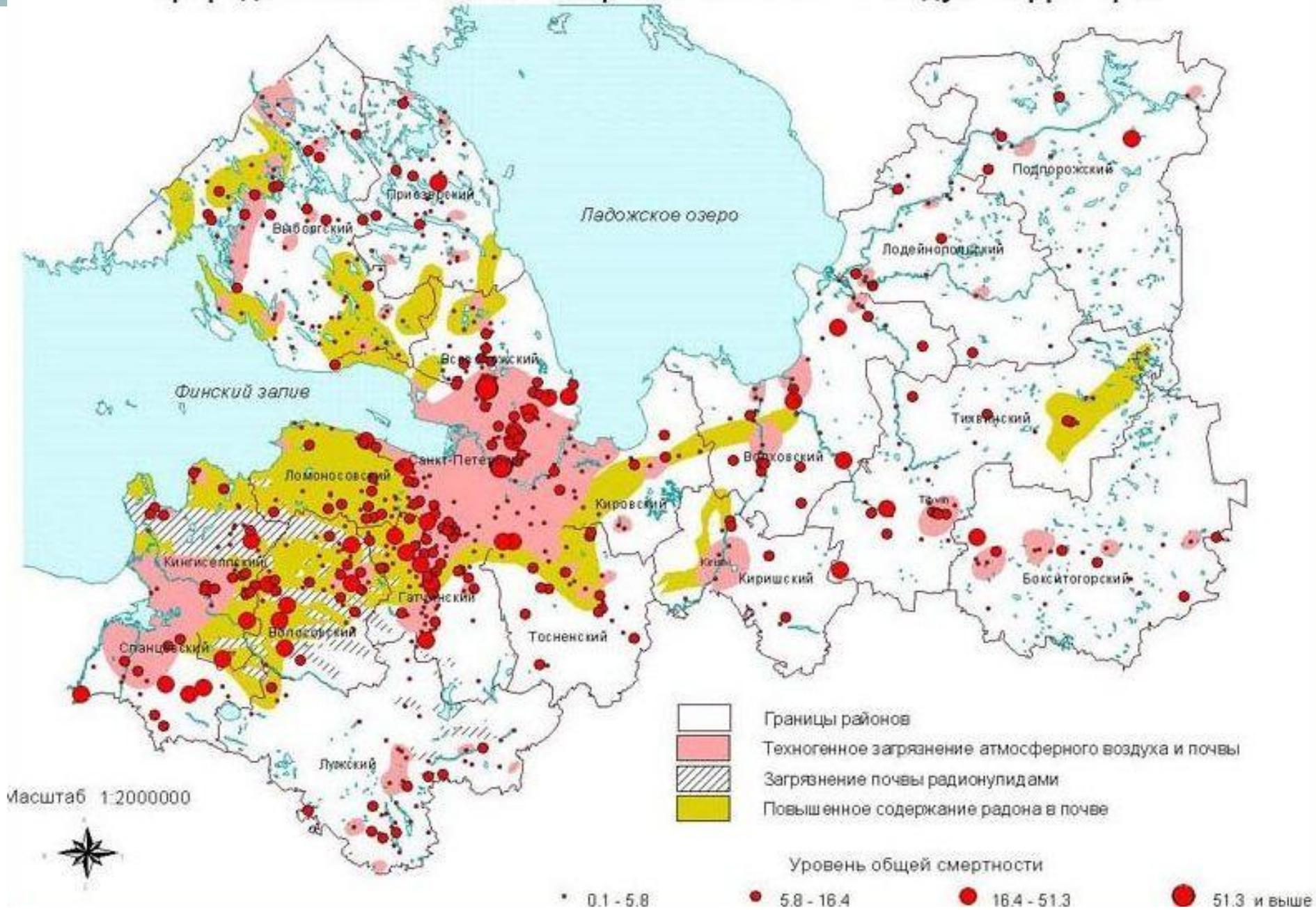
## Экология Ленинградской области и возможные риски для здоровья.

В контексте темы нашего портала, в разделе экологии мы рассматриваем не вопросы охраны окружающей среды, а вопросы благоприятной или неблагоприятной среды проживания жителей загородных домов и коттеджных поселков пригородов Санкт-Петербурга и Ленинградской области.



Результат воздействия неблагоприятных экологических факторов выражается в повышенной заболеваемости, в том числе онкологической и более высокой смертности в отдельных районах Ленинградской области.

# природного и техногенного загрязнения почвы и воздуха территорий



# мирное применение радиоизотопов

Сельское хозяйство



Углерод-11  
20 мин.

Медицинская диагностика



Натрий-24  
15 час.

Медицинская терапия



Йод-131  
8,4 сут.

Лечение лейкемии

Радиойодотерапия щитовидной железы

Промышленность



Криптон-85  
10,8 года

Радиоуглеродный анализ



Углерод-14  
5730 лет

Ядерная энергетика



Уран-235  
700 млн. лет

Светильные лампы наполняются радиоактивным криптоном, излучение которого заставляет светиться люминофор

Определение возраста деревьев, египетских пирамид.

# Радиация в сельском хозяйстве

- Широкое применение получают радиоактивные изотопы в сельском хозяйстве:
- **Облучение семян растений** (хлопчатника, капусты, редиса и др.) небольшими дозами гамма-лучей от радиоактивных препаратов приводит к увеличению урожайности.
- Большие дозы радиации вызывают мутации у растений и микроорганизмов, что в отдельных случаях приводит к появлению мутантов с новыми ценными свойствами (**радиоселекция**). Так были выведены ценные сорта пшеницы, фасоли и других культур, а также получены высокопродуктивные микроорганизмы, применяемые в производстве антибиотиков.
- Гамма-излучение радиоактивных изотопов используется также **для борьбы с вредными насекомыми и для консервации пищевых продуктов.**

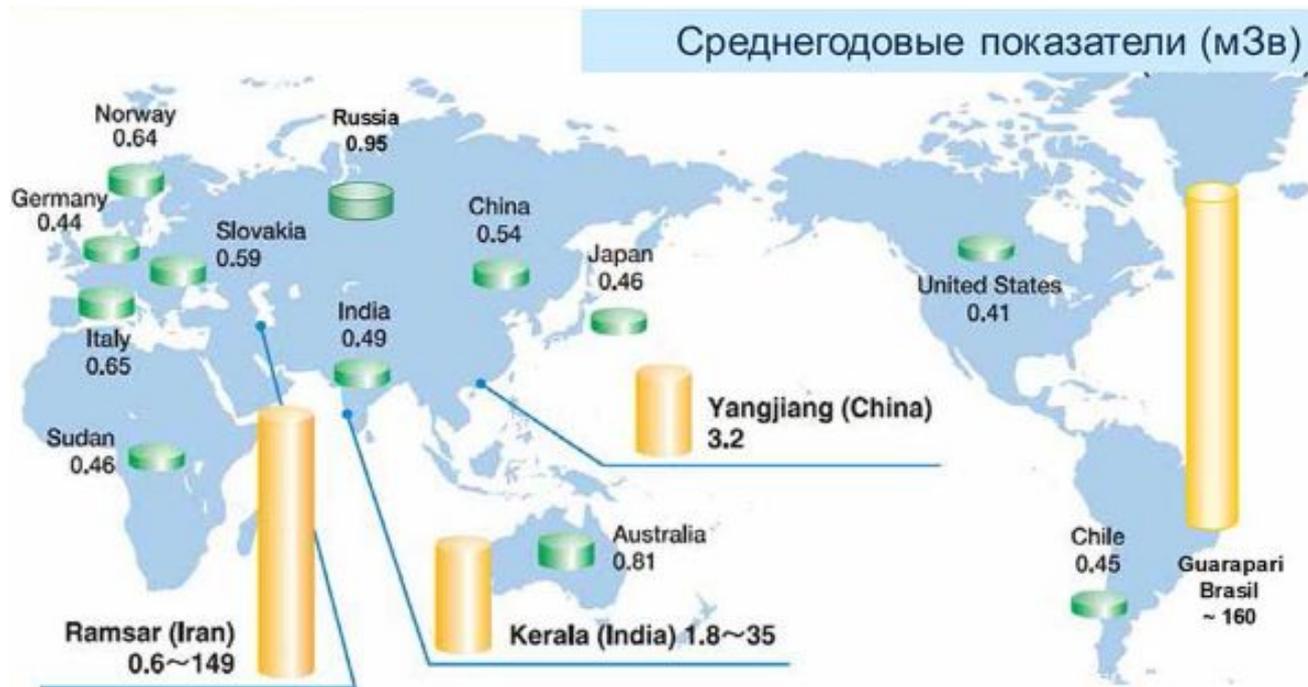
# Радиация в быту

- **«Светящиеся составы»** Люминесцирующие вещества светятся под действием радиоактивных излучений : прибавляя к люминесцирующему веществу (например, сернистому цинку) небольшое количество соли **радия (продукт многоступенчатого распада урана  $^{238}\text{U}$ )**, готовят постоянно светящиеся краски (нанесенные на циферблаты и стрелки часов, прицельные приспособления и т. п., делают их видимыми в темноте).
- **Для справки** – изотоп Радий-226 поражает кости и костный мозг, провоцируя развитие лучевой болезни

# Постоянный радиационный фон

- Естественный радиационный фон Земли связан с эволюцией биосферы (формирование земной коры и космические излучения)
- Нормальный радиационный фон составляет до 0,20 мкЗв/час (20 мкР/час).
- Порог безопасности для людей – 0,30 мкЗв/час (30 мкР/час).
- В Санкт-Петербурге – 13-14 мкР/час

# Непостоянный радиационный фон



- На пляже Гуарапарари в **Бразилии** — 160 мЗв/год (высокое содержание тория  $^{232}\text{Th}$  в песке)
- В горячих источниках гор. Рам-Сер (**Иран**) уровень радиации — до 149 мЗв/год.

# Уровни радиационного риска от величины эффективной дозы (мЗв)

Радиационный риск, отн. ед.	Эффективная доза, мЗв		
	Дети и подростки (до 18 лет)	Взрослые (18-64 года)	Лица старшего возраста (65 лет и более)
Пренебрежимый ( $< 10^{-6}$ )	<b><math>&lt; 0,01</math></b>	<b><math>&lt; 0,02</math></b>	<b><math>&lt; 0,2</math></b>
Минимальный ( $10^{-6} - 10^{-5}$ )	<b><math>0,01 - 0,1</math></b>	<b><math>0,02 - 0,2</math></b>	<b><math>0,2 - 2</math></b>
Очень низкий ( $10^{-5} - 10^{-4}$ )	<b><math>0,1 - 1</math></b>	<b><math>0,2 - 2</math></b>	<b><math>2 - 20</math></b>
Низкий ( $10^{-4} - 10^{-3}$ )	<b><math>1 - 10</math></b>	<b><math>2 - 20</math></b>	<b><math>20 - 200</math></b>
Умеренный ( $10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}$ )	<b><math>10 - 30</math></b>	<b><math>20 - 60</math></b>	<b><math>200 - 500</math></b>
Существенный ( $3 \cdot 10^{-3} - 10^{-2}$ )	<b><math>30 - 100</math></b>	<b><math>60 - 200</math></b>	<b>—</b>

# Лучевая болезнь

- Признаки заболевания зависят от дозы излучения, которой подвергался организм человека. Общие симптомы лучевой болезни негативно сказываются на общем самочувствии и сходны с проявлениями пищевой интоксикации:
  - тошнота;
  - приступы рвоты;
  - головокружение;
  - приступы мигрени;
  - сухость, горечь в полости рта;
  - повышение температуры тела;
  - судороги конечностей;
  - общая слабость.

# Лучевая болезнь, 4 степени

Степень	Доза, Р	Симптомы и возможный исход
Первая (легкая)	100...200	Слабость, тошнота, головокружение. Изменение состава крови. Все выздоровливают без лечения.
Вторая (средняя)	200...400	Те же симптомы, но более ярко выражены. 20% больных погибают от сопутствующих заболеваний.
Третья (тяжелая)	400...700	Высокая температура, рвота, понос, кровотечения. Сильная жажда при отсутствии аппетита. Выздоровление при своевременном и квалифицированном лечении (50% больных погибает).
Четвертая (крайне тяжелая)	>700...	Погибают все.

# Меры радиационной медицинской защиты

1. проведение йодной профилактики
2. использование специальных медицинских средств, способных минимизировать последствия радиационного воздействия на организм человека:
  - **адаптогены** (повышают общую сопротивляемость организма),
  - **радиопротекторы** (йодид калия),
  - **адсорбенты** (ускоряют выведение из организма радионуклеидов, в том числе – активированный уголь, полифепан и др.),
  - **комплексоны** (препараты, ускоряющие выведение радиоактивных веществ из организма, в том числе – фосфалюгель и др.).
  - При хронической лучевой болезни проводится симптоматическая терапия, в острой фазе – специальная противорадиационная терапия

- **Отдельным вопросом обеспечения радиационной безопасности является обращение с радиоактивными отходами, образующимися в процессе ядерного цикла.**
- В зависимости от вида образующихся отходов: жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), твердые радиоактивные отходы (ТРО), – применяют разные технологии и способы утилизации, более конкретно вопросы обращения с радиоактивными отходами будут рассмотрены на лекции «Отходы как особый вид опасностей».

Тема следующей лекции:

- **Химическая  
безопасность**