



*Белорусский государственный университет
Биологический факультет*

Безопасность жизнедеятельности человека

Лекция 11

Смолич Игорь Иванович

Радиационная безопасность

Чтобы выяснить, как ионизирующее излучение действует на организм человека и другие биологические объекты, проводятся:

**Радиобиологические
эксперименты на
животных**



**Исследования заболеваемости в
группах облученных людей**

Жители Хиросимы и
Нагасаки, пострадавшие от
применения ядерного оружия
в 1945 году

Шахтеры урановых рудников

Больные, подвергшиеся терапевтическому облучению

Жертвы радиацион-
ных аварий

Работники атомной
энергетики и
промышленности



Радиационная безопасность

Поглощенная доза

Поглощенная доза излучения (D) — это количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной облучаемым объектом, в расчете на единицу массы вещества, из которого состоит объект.

$$D = \Delta E / \Delta m$$

ΔE — среднее количество энергии, переданное излучением веществу в элементарном объеме;

Δm — масса вещества в этом объеме.

Единицы измерения

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$$

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$$



Величина поглощенной дозы зависит от продолжительности облучения. С течением времени при облучении объекта поглощенная доза накапливается. Скорость такого накопления называют **мощностью поглощенной дозы (МД)**.

$$\text{МД} = \Delta D / \Delta t,$$

где ΔD — изменение поглощенной дозы за промежуток времени Δt .

Радиационные эффекты в организме человека

Детерминированные

(предопределенные)

Стохастические

(спонтанные, возникающие случайно)

Радиационная безопасность

Детерминированные (предопределенные)

- Появляются в результате повреждения ионизирующим излучением значительного числа клеток органов или биологических тканей, что приводит к серьезным физиологическим нарушениям в организме (радиационные ожоги, лучевая катаракта, лучевая болезнь и др.).
- Как правило, возникают непосредственно после воздействия ионизирующего излучения на организм (в течение нескольких часов или нескольких дней), когда поглощенные дозы превышают определенные пороговые уровни.
- Чем больше поглощенная доза, тем больше нарушений возникает в организме.
- *Характерны для высоких доз облучения (обычно 1 Гр и более).*
- Связь между облучением и возникшим заболеванием однозначна. Заболевание неизбежно (предопределено). Превышение дозового порога (определенного уровня поглощенной дозы) обязательно приводит к конкретному нарушению в организме человека.



Радиационная безопасность

Стохастические

(спонтанные, возникающие случайно)

- Проявляются в виде раковых и генетических заболеваний, которые сокращают продолжительность жизни человека.
- Возникновение заболевания является случайным событием, которое может реализоваться в любой момент по истечении определенного (скрытого, или латентного) периода после облучения. После завершения латентного периода человек может заболеть в любое время, однако может и вовсе не заболеть.
- Протекание заболевания (его тяжесть) не зависит от величины поглощенной дозы.
- *Характерны для средних (0,2 – 1 Гр) и малых (менее 0,2 Гр) доз облучения.*
- Предполагают, что стохастические эффекты могут возникать при любых сколь угодно малых дозах облучения.
- Вероятность возникновения стохастических эффектов возрастает с увеличением поглощенной дозы.



Радиационная безопасность

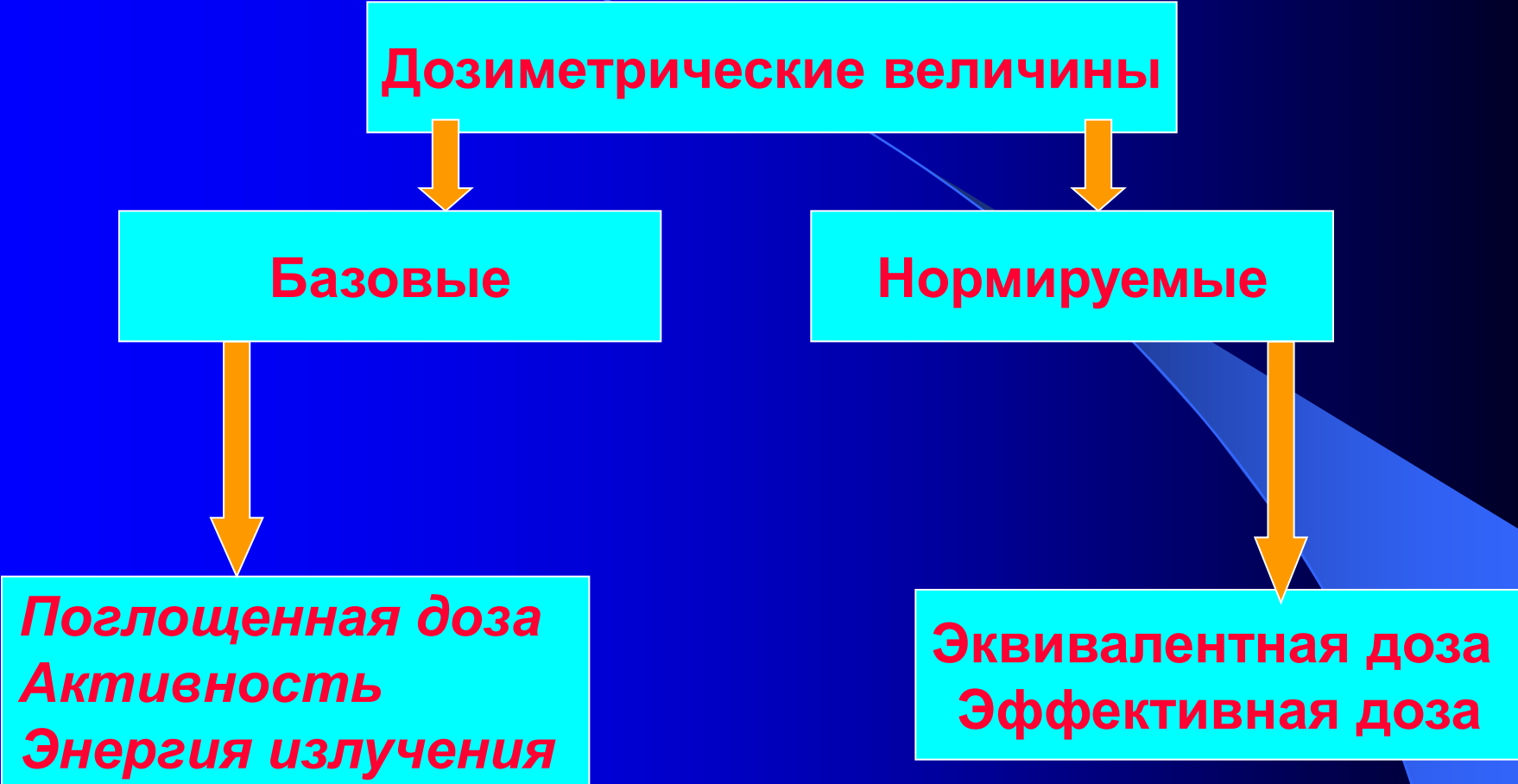
В результате воздействия ионизирующего излучения на объект меняются величины, характеризующие как само излучение, так и облучаемый объект.

Величины, характеризующие *ионизирующее излучение* и последствия его воздействия на облучаемый объект, называют *дозиметрическими*.

Различают
базовые и *нормируемые* дозиметрические величины.

Радиационная безопасность

Дозиметрические величины



```
graph TD; A[Дозиметрические величины] --> B[Базовые]; A --> C[Нормируемые]; B --> D[Поглощенная доза<br/>Активность<br/>Энергия излучения]; C --> E[Эквивалентная доза<br/>Эффективная доза];
```

The diagram is a flowchart on a blue background. At the top is a yellow box labeled 'Дозиметрические величины'. Two yellow arrows point down from this box to two more yellow boxes: 'Базовые' on the left and 'Нормируемые' on the right. From 'Базовые', a yellow arrow points down to a yellow box containing three lines of text: 'Поглощенная доза', 'Активность', and 'Энергия излучения'. From 'Нормируемые', a yellow arrow points down to a yellow box containing two lines of text: 'Эквивалентная доза' and 'Эффективная доза'.

Базовые

Поглощенная доза
Активность
Энергия излучения

Нормируемые

Эквивалентная доза
Эффективная доза

Радиационная безопасность

Базовые дозиметрические величины



*Поглощенная доза
Активность
Энергия излучения*



Характеризуют:

- степень физического излучения на вещество
- источник излучения
- само излучение

воздействия

Могут быть измерены непосредственно.

Радиационная безопасность

Нормируемые дозиметрические величины



Эквивалентная доза
Эффективная доза



Позволяют оценить вероятность возникновения стохастических эффектов в результате воздействия малых доз ионизирующего излучения (менее $0,2 \text{ Гр}$) на организм человека.

Не могут быть измерены непосредственно.

Их оценивают по величине, которая может быть непосредственно измерена (например, по величине поглощенной дозы), путем умножения ее на определенные коэффициенты.

Радиационная безопасность

*Эквивалентная доза облучения,
весовые множители излучения*



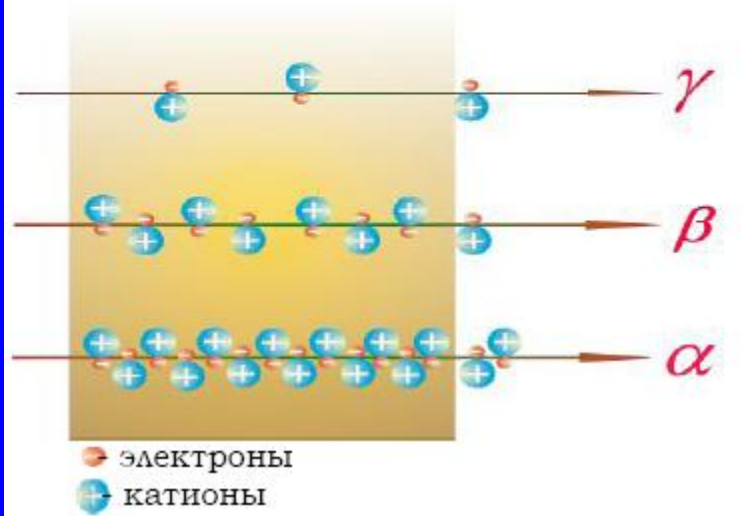
Радиационные эффекты, вызванные облучением организма, **зависят не только от величины поглощенной дозы,** но и **от вида излучения.**

Это означает, что **при одинаковой поглощенной дозе различные виды излучения могут вызывать неодинаковые биологические эффекты.**

Радиационная безопасность

Эквивалентная доза облучения, весовые множители излучения

Плотность ионизации биологической материи при прохождении ионизирующих излучений через участок хромосомы



Различие между повреждениями ДНК при воздействии бета- (или гамма) и альфа- излучений

Бета- или гамма- излучение

низкая плотность ионизации



Альфа- излучение



Радиационная безопасность

Эквивалентная доза облучения, весовые множители излучения

Количественно непросто оценивать и сравнивать действие разных ионизирующих излучений на организм человека.?????

!!! Разные виды излучения вызывают неодинаковые повреждения в организме.

!!! Характер нарушений зависит от типа облучаемого органа или биологической ткани.

!!!!!!! Ситуация значительно упрощается, если рассматривать облучение определенного органа или ткани конкретным видом излучения!!!!!!

Радиационная безопасность

Эквивалентная доза облучения, весовые множители излучения

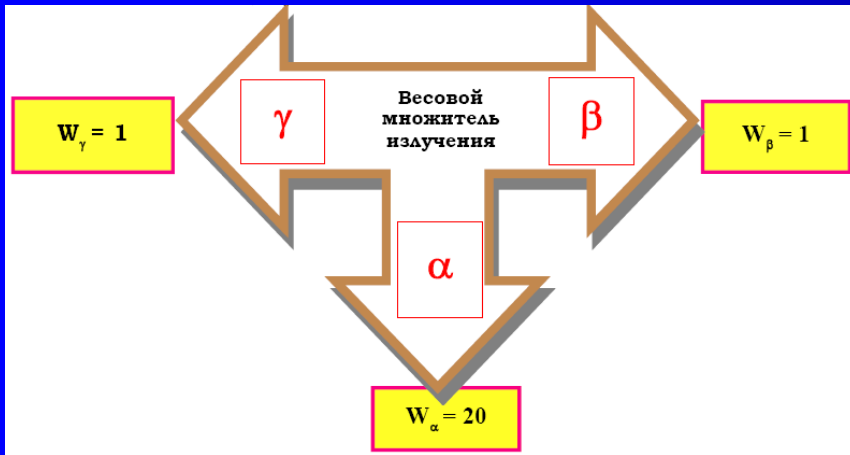


!!!!!!! Ситуация значительно упрощается, если рассматривать облучение определенного *органа* или *ткани* конкретным видом излучения!!!!

Биологические последствия при действии различных видов ионизирующего излучения на определенный орган (или ткань) учитывают с помощью **весовых множителей излучения (W_R)**.

Радиационная безопасность

Эквивалентная доза облучения, весовые множители излучения



Если умножим среднюю поглощенную дозу в органе или ткани на весовой множитель данного вида ионизирующего излучения, то получим эквивалентную дозу рассматриваемого органа или биологической ткани (H):

$$H = D \cdot W_R$$

где D — средняя *поглощенная доза* излучения R типа в органе или биологической ткани человека;

W_R — весовой множитель излучения.

Радиационная безопасность

**Эквивалентная доза облучения,
весовые множители излучения**



По величине *эквивалентной дозы* можно оценить риск возникновения радиационных эффектов при облучении определенного органа или ткани человека (*радиационный риск*).

Радиационная безопасность

**Эквивалентная доза облучения,
весовые множители излучения**

Радиационный риск



Радиационный риск — это вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

При малых и средних дозах облучения радиационный риск — это вероятность возникновения стохастических радиационных эффектов в результате воздействия ионизирующего излучения на организм человека.

Радиационная безопасность

Эквивалентная доза облучения, весовые множители излучения

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является *Зиверт* (Зв), по имени шведского ученого Рольфа Зиверта.



Рольф Зиверт
(1896 - 1966)

Первый председа-
тель Международной
комиссии по радио-
логической защите
(МКРЗ)

При одинаковой поглощенной дозе, равной **1 Гр**, эквивалентная доза от *гамма*- или *бета*-излучения составляет **1 Зв**, а от *альфа*-излучения — **20 Зв**.

Радиационная безопасность

*Эквивалентная доза облучения,
весовые множители излучения*



$$1 \text{ мЗв} = 10^{-3} \text{ Зв}$$

$$1 \text{ мкЗв} = 10^{-6} \text{ Зв}$$

$$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$$

Внесистемная единица измерения эквивалентной дозы — *биологический эквивалент рада (бэр)*.

Радиационная безопасность

Эквивалентная доза облучения, весовые множители излучения



Если на орган или ткань одновременно действует излучение различных видов (α, β, γ), при определении эквивалентной дозы излучения (**H**) оценивают эквивалентные дозы от каждого вида излучения и полученные дозы суммируют: $\longrightarrow$

$$H = D_{\alpha} \cdot W_{\alpha} + D_{\beta} \cdot W_{\beta} + D_{\gamma} \cdot W_{\gamma}$$

где $D_{\alpha}, D_{\beta}, D_{\gamma}$ — поглощенные дозы соответственно альфа-, бета- и гамма- излучения;

$W_{\alpha}, W_{\beta}, W_{\gamma}$ — весовые множители этих излучений

Величина эквивалентной дозы позволяет характеризовать действие излучения на конкретные орган или ткань без указания вида излучения, поскольку радиационные эффекты от разных видов излучения уже учтены с помощью весовых множителей излучения (W_R).

Радиационная безопасность

Эффективная доза облучения, тканевые весовые множители



Разные органы и ткани человека обладают неодинаковой радиационной чувствительностью и в различной степени поражаются ионизирующим излучением. Поэтому последствия облучения зависят не только от величины эквивалентной дозы, но и от типа органа или биологической ткани, которые подвергаются воздействию излучения. Чтобы оценить радиационный риск для организма человека в целом, была введена **эффективная доза облучения**.

Радиационная безопасность

Эффективная доза облучения, тканевые весовые множители



Относительную радиационную чувствительность органов или тканей к действию ионизирующих излучений учитывают с помощью **тканевых весовых множителей (W_T)**.

Они характеризуют относительный вклад каждого органа или биологической ткани человека в возникновение стохастических радиационных эффектов при равномерном облучении всего тела человека.

Радиационная безопасность

Эффективная доза облучения, тканевые весовые множители



Эффективная доза облучения (E) — это сумма эквивалентных доз облучения (H_{T_i}) отдельных органов (или тканей), умноженных на соответствующие тканевые весовые множители (W_{T_i}).

$$E = H_{T_1} \cdot W_{T_1} + H_{T_2} \cdot W_{T_2} + H_{T_3} \cdot W_{T_3} + \dots,$$

H_{T_1} , H_{T_2} и т. д. — эквивалентные дозы в органах или биологических тканях человека, обозначенных индексами T_1 , T_2 и т. д.;

W_{T_1} , W_{T_2} и т. д. — тканевые весовые множители соответствующих органов или биологических тканей.

Радиационная безопасность

Эффективная доза облучения, тканевые весовые множители



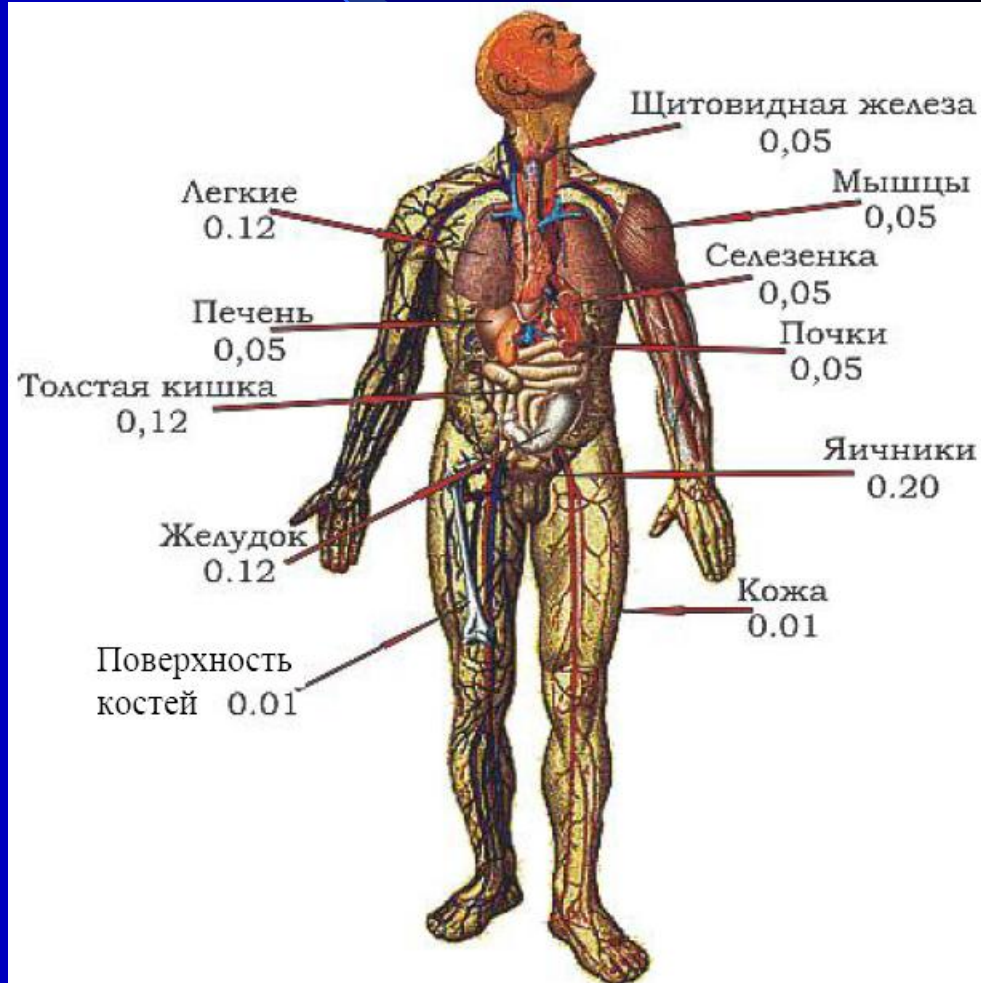
Человек и тканевые весовые множители (W_T)

**Годовая
эффективная
доза (E)**

$$E = E_{\text{внеш}} + E_{\text{внутр}}$$

$E_{\text{внеш}}$ — годовая эффективная доза внешнего облучения

$E_{\text{внутр}}$ — эффективная доза внутреннего облучения за этот же год



Радиационная безопасность



Коллективная

доза

Коллективная эффективная доза — это сумма индивидуальных эффективных доз, полученных группой людей от какого-либо источника излучения за определенный промежуток времени.

Величину коллективной эффективной дозы группы людей получают, умножая среднюю индивидуальную эффективную дозу на количество людей в рассматриваемой группе.

Единицей измерения коллективной эффективной дозы служит человеко-зиверт (чел.-Зв)

Радиационная безопасность



Коллективная

доза

Коллективная эффективная доза для определенной группы людей складывается из индивидуальных эффективных доз членов этой группы. Ее можно оценить для:

↓
группы людей определенного
возраста или пола

↓
жителей отдельного
населенного пункта

↓
населения области
или страны в целом



Радиационная безопасность



Коллективная

доза

**Годовая коллективная эффективная доза облучения
определенной группы людей:**

**коллективная эффективная
доза внешнего облучения**

+

**коллективная эффективная
доза внутреннего облучения**

*Предполагается, что дозы внешнего и внутреннего облучения получены
наблюдаемой группой в течение одного и того же года.*

Радиационная безопасность

Коллективная

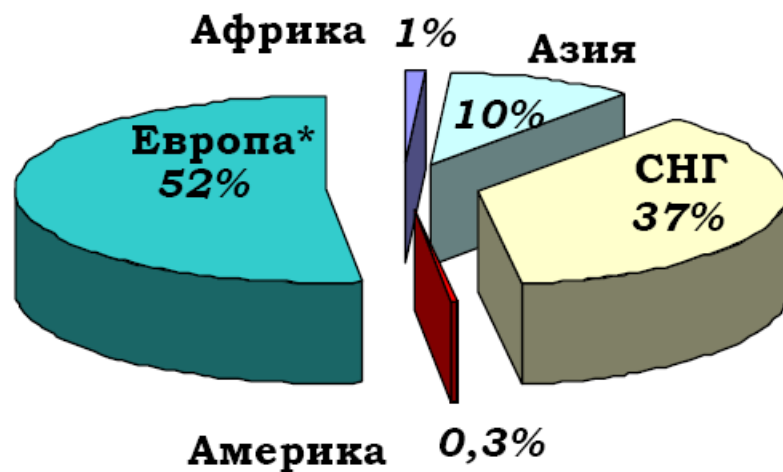
доза



Полная (ожидаемая) коллективная доза — это коллективная доза, которую получили (или получают) все поколения людей от какого-либо источника ионизирующего излучения за время его существования.

Ожидаемые коллективные дозы населения Земли от катастрофы на ЧАЭС (% от общей дозы)

ко
ка
ра



ая)
те
з и
я.

* — Коллективные дозы населения Европы за исключением европейских стран СНГ

Радиационная безопасность



Коллективная

доза

Величина полной (ожидаемой) коллективной дозы отражает масштаб последствий радиационной аварии. Она дает возможность предсказывать число ожидаемых неблагоприятных последствий облучения (дополнительных случаев раковых и генетических заболеваний).

Полная (ожидаемая) коллективная доза населения стран СНГ в результате Чернобыльской катастрофы оценивается величиной 370 000 чел-Зв/год. В соответствии с нормативными документами (НРБ-2000) коэффициент радиационного риска для населения составляет $7,3 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$.

Оценим по этим данным количество ожидаемых стохастических радиационных эффектов (**N**), связанных с последствиями Чернобыльской катастрофы для населения стран СНГ:

$$N = 370\,000 \text{ чел-Зв/год} \cdot 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ чел-Зв}^{-1} = 27\,010 \text{ чел/год}$$

Это означает, что среди населения СНГ от полученной коллективной дозы ежегодно ожидается 27 010 дополнительных случаев раковых и тяжелых генетических заболеваний.

Радиационная безопасность



Поскольку ожидаемая доза может быть предотвращена путем проведения защитных мероприятий, в последнее время в радиационной безопасности используют понятие “предотвращаемая доза”.

Предотвращаемая доза — это прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями.

Радиационная безопасность

Нормирование
облучения



Дозиметрия имеет практическую направленность и служит обеспечению **безопасности людей** при воздействии на них ионизирующего излучения. Основой для разработки мер, обеспечивающих радиационную безопасность человека, служит **радиационное нормирование**.

Нормирование предполагает установление некоторых допустимых уровней облучения человека, выше которых ущерб, наносимый облучением человеку, становится неприемлемым.

Радиационная безопасность

Нормирование
облучения



Эффективная и эквивалентная дозы характеризуют отдаленные последствия облучения организма человека:

- эффективная — для организма в целом,
- эквивалентная — для отдельных органов или тканей.

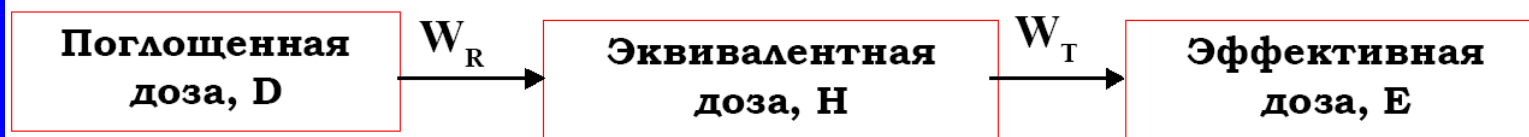
Поэтому эти дозы используют для установления предельно допустимых уровней облучения людей, т. е. для нормирования облучения.

Радиационная безопасность



Радиационные эффекты	Степень воздействия излучения на организм человека определяют:		
	<i>Количество поглощенной энергии излучения</i>	<i>Тип излучения</i>	<i>Восприимчивость биологической ткани к облучению</i>
	↓		
Детерминированные	Поглощенная доза	↓	
Стохастические	Эквивалентная доза		↓
	Эффективная доза		

Взаимосвязь между основными дозиметрическими величинами



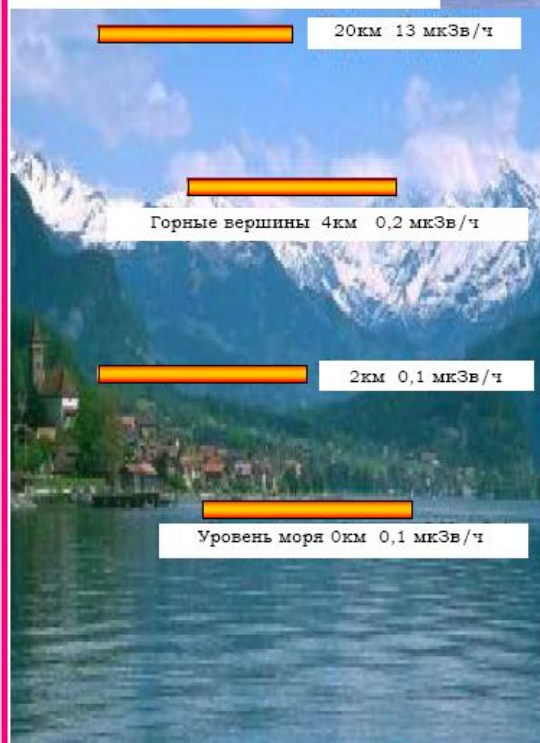
W_R — весовой множитель излучения R типа,
 W_T — тканевый весовой множитель.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Мощность дозы
от космического
излучения на
разной высоте
над уровнем моря



Средняя эффективная доза внешнего облучения жителей Республики Беларусь, Украины, средней полосы европейской части Российской Федерации от земных источников радиации составляет 0,35 мЗв в год. Однако есть места на земном шаре, где уровни радиации значительно выше, например, на побережье юго-западной Индии, в Бразилии (неподалеку от города Посус-ди-Калдас), Иране (вблизи города Рамсер).

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Внутреннее облучение вызывает **ионизирующее излучение**, сопровождающее **распад радионуклидов**, попавших **внутрь организма**.

В среднем, годовая эффективная доза жителя Земли, получаемая от всех естественных источников ионизирующего излучения, составляет 2,4 мЗв. Более 60 % этой эффективной дозы связано с радионуклидами, которые поступают в организм с пищей, водой, атмосферным воздухом и обуславливают *внутреннее облучение* организма человека. Остальные 40 % дозы приходятся на *внешнее облучение*, которое, в основном, связано с космическим излучением и *гамма-излучением* радионуклидов земной коры.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения

Основные источники:

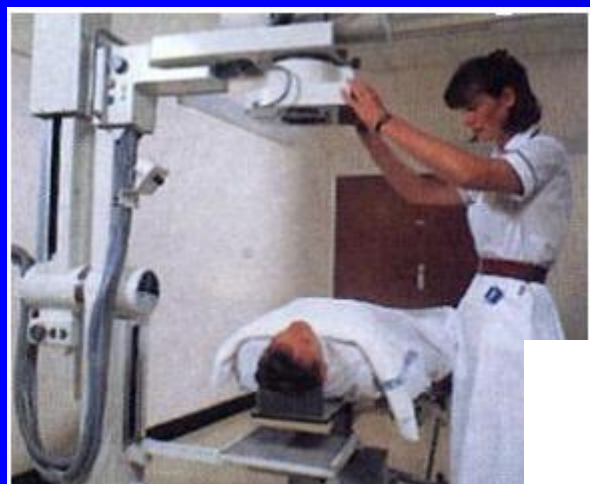
- ✓ Медицинская аппаратура;
- ✓ Промышленные устройства и установки, содержащие радиоактивные вещества;
- ✓ АЭС и другие промышленные предприятия ядерного топливного цикла;
- ✓ Скопления некоторых видов удобрений (калийных, фосфорных и др.);
- ✓ Отходы тепловых электростанций, работающих на органическом топливе.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения



Рентгеновская установка



Медицинская аппаратура

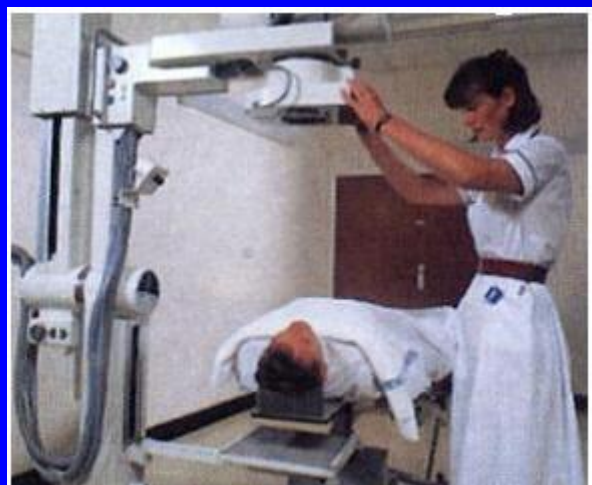
Рентгеновские, томографические и другие установки, используемые для диагностики заболеваний человека и лечения больных. В европейских странах индивидуальная годовая эффективная доза, получаемая людьми при медицинских обследованиях, меняется в интервале от 0,4 до 1,6 мЗв и составляет, в среднем, 1,1 мЗв.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения



Источники ионизирующего излучения широко используются в медицине.

Можно выделить следующие области их применения:

- лучевая диагностика;
- радиоизотопная диагностика;
- радиационная терапия.



Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения

Использование радионуклидов для диагностики

Что помогает установить ?

Радионуклиды
^{131}I
^{75}Se
^{24}Na
^{42}K
$^{99\text{m}}\text{Tc}$

Состояние щитовидной железы

Функционирование поджелудочной железы

Скорость кровотока и проницаемость кровеносных сосудов

Нарушения биологических процессов с участием калия

Опухоли головного мозга , патологию слюнных желез, крупных сосудов , скелета , почек, печени, сердца

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения

Ионизирующее излучение используют в медицине для стерилизации

- хирургических инструментов;
- систем переливания крови;
- аппаратов «сердце», «легкие», «искусственная почка» и др.

Метод основан на способности ионизирующего излучения убивать болезнетворные микроорганизмы.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения



Установка для контроля грузов

Промышленные устройства и установки, содержащие радиоактивные вещества

Установки для проверки пассажиров и их багажа, пожарные дымовые детекторы, установки для контроля качества и структуры сплавов, смазочных материалов, для определения толщины бумаги и фольги, для стерилизации медицинских инструментов, продуктов питания, облучения автомобильных шин с целью увеличения их пробега, и другие технические устройства.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения

Примеры использования источников ионизирующего излучения в промышленности

- Обнаружение дефектов в промышленных изделиях.
- Контроль толщины различных материалов.
- Определение уровня жидкости в резервуарах.
- Контроль качества полупроводниковых кристаллов.
- Синтез новых веществ:
фенола из бензола,
бромэтилена из этилена и бромистого водорода.



**Установка для
контроля грузов**

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения

Примеры использования источников ионизирующего излучения в промышленности



Установка для контроля грузов

➤ Изменение структуры и свойств материалов: получение композиционных материалов (древесно-, бетоно-, стекло-, цементополимеров); вулканизация полибутадиена и других эластомеров при производстве шин и резинотехнических изделий; нанесение лакокрасочных покрытий на бумагу, дерево, металл, шифер, полимерные пленки; имплантирование (внедрение) примесей в монокристаллы кремния с целью получения полупроводниковых материалов с заданными свойствами.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения

Примеры использования источников ионизирующего излучения в промышленности



Установка для контроля грузов

- Контроль распределения легирующих добавок в сплавах.
- Определение равномерности распределения добавок при варке стекла.
- Контроль утечки токсичных и ядовитых веществ.
- Определение степени износа металлических деталей и истирания поверхностей механических устройств .

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения

Часы со светящимся циферблатом, тонкие оптические линзы

При изготовлении таких часов в прошлом веке использовали соединения радия, позднее их стали заменять соединениями трития (^3T), прометия (^{147}Pm) и других радионуклидов. Это позволило уменьшить дозы облучения людей. В 1967 году были введены международные нормы на облучение людей от подобных изделий. Тем не менее, выпущенные ранее часы все еще находятся в употреблении. До сих пор радионуклиды используются при изготовлении светящихся указателей входа-выхода, компасов и других изделий.

При изготовлении особо тонких оптических линз внесение соединений радиоактивного тория (^{232}Th) в стекло в процессе его варки позволяет очень точно контролировать толщину линз. Это значительно улучшает оптические свойства линз, хотя и может приводить к дополнительному облучению хрусталика глаза.



Часы со светящимся циферблатом

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Ионизирующие излучения искусственного происхождения

Минеральные удобрения и органическое топливо тепловых электростанций, содержащие радионуклиды естественного происхождения



Тепловая электростанция



Атомная электростанция



Атомные электростанции и другие предприятия ядерного топливного цикла

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

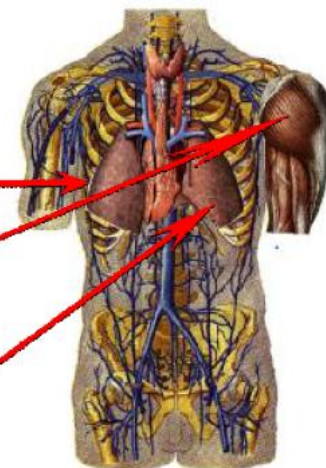
Способы поступления радионуклидов в организм человека:

- *ингаляционный* (через органы дыхания)
- *пероральный* (с пищей и водой)
- *через кожу, слизистые оболочки глаз*

За 55 лет жизни доза облучения человека в результате попадания в его организм радионуклидов естественного происхождения в среднем составляет 10 мЗв.

Радионуклиды концентрируются:

- *радий и полоний — в костной ткани ;*
- *радиоактивные изотопы углерода и калия — в мышцах ;*
- *радон и продукты его распада — в легких.*



Ежегодно человек получает:

- от природных источников излучения ~ **86 %**
 - от искусственных источников излучения ~ **14 %**
- суммарной дозы внешнего и внутреннего облучения

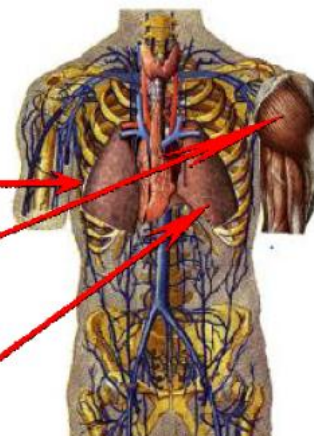
Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Радионуклиды концентрируются:

- радий и полоний — **в костной ткани** ;
- радиоактивные изотопы углерода и калия — **в мышцах** ;
- радон и продукты его распада — **в легких**.



Радионуклиды ^{210}Pb и ^{210}Po могут также поступать в организм:

- с морепродуктами (морской рыбой, моллюсками, креветками и др., которые извлекают эти элементы из морской воды);
- с мясом северного оленя. Радионуклиды поступают в организм животных преимущественно зимой, когда основной пищей оленей становятся лишайники, обладающие способностью накапливать полоний и свинец из почвы.

Люди, живущие в Западной Австралии, где отмечается повышенное содержание в почве природного урана, получают дозы облучения в 75 раз превосходящие средний уровень доз, получаемых жителями Земли. Это связано с употреблением в пищу местными жителями мяса и внутренностей овец и кенгуру, в организме которых накапливается уран. Эти животные, в основном, питаются травой, куда уран поступает из почвы.

Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



Компоненты
среды играющие
важную роль в
поступлении
радионуклидов
внутрь организма
человека

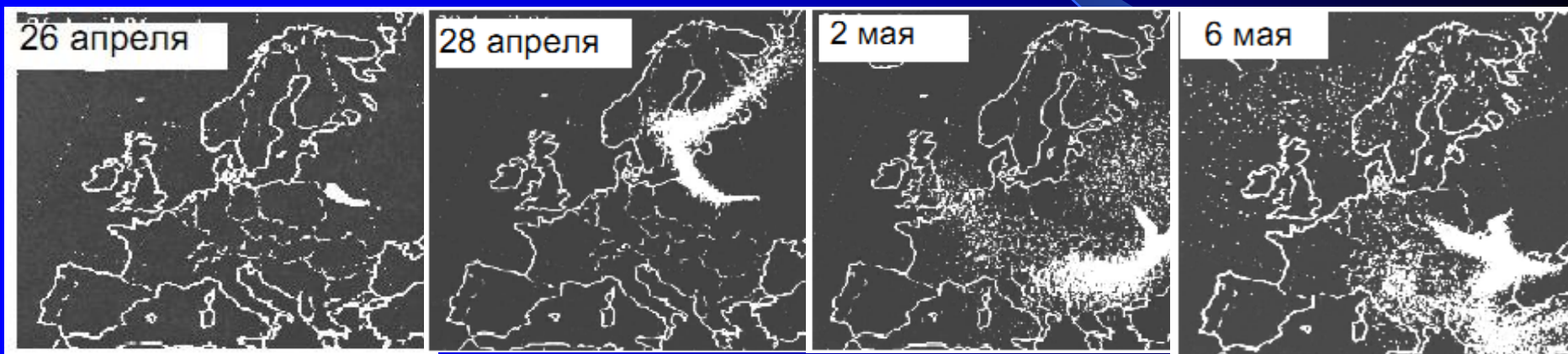


Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



Распространение радиоактивного облака в период выброса после катастрофы на ЧАЭС



Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Основные радионуклиды, накопившиеся в активной зоне реактора к моменту катастрофы

Группа радионуклидов	Изотоп	Период полураспада	Доля активности радионуклидов в выбросе *, %
Радиоактивные инертные газы	^{133}Xe	5,3 суток	100
Радионуклиды, входящие в состав относительно легкоплавких (летучих) соединений	^{131}I	8,0 суток	38 - 56
	^{134}Cs	2,06 года	24 - 30
	^{137}Cs	30,17 лет	26 - 30
	^{132}Te	3,26 часов	37 - 44

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Основные радионуклиды, накопившиеся в активной зоне реактора к моменту катастрофы

Группа радионуклидов	Изотоп	Период полураспада	Доля активности радионуклидов в выбросе, % [*]
Радионуклиды в составе соединений промежуточной летучести	⁸⁹ Sr	50,6 суток	3,5 - 5,2
	⁹⁰ Sr	28,5 лет	4 - 6
	¹⁰³ Ru	39,4 суток	3,5
	¹⁰⁶ Ru	367 суток	1 - > 3,5
	¹⁴⁰ Ba	12,8 суток	3,5 - 5

Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



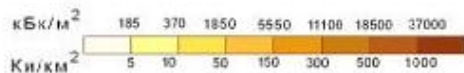
Основные радионуклиды, накопившиеся в активной зоне реактора к моменту катастрофы

Группа радионуклидов	Изотоп	Период полураспада	Доля активности радионуклидов в выбросе, % *
Радионуклиды в составе тугоплавких (низколетучих) соединений	⁹⁵ Zr	64,0 суток	3,0 - 3,6
	⁹⁹ Mo	2,75 суток	4,4
	¹⁴¹ Ce	35,2 суток	3,5 - 3,6
	¹⁴⁴ Ce	285 суток	3,6 - 4,2
	²³⁹ Np	2,35 суток	2 - 3,5
	²³⁸ Pu	87,7 года	3,5
	²³⁹ Pu	24 100 лет	3,5
	²⁴⁰ Pu	6 550 лет	3,5 - 3,7
	²⁴¹ Pu	14,4 года	3,5
	²⁴² Cm	162,8 суток	3,5

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Загрязнение территории Беларуси ^{131}I (1986 год)

Условные обозначения



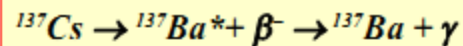
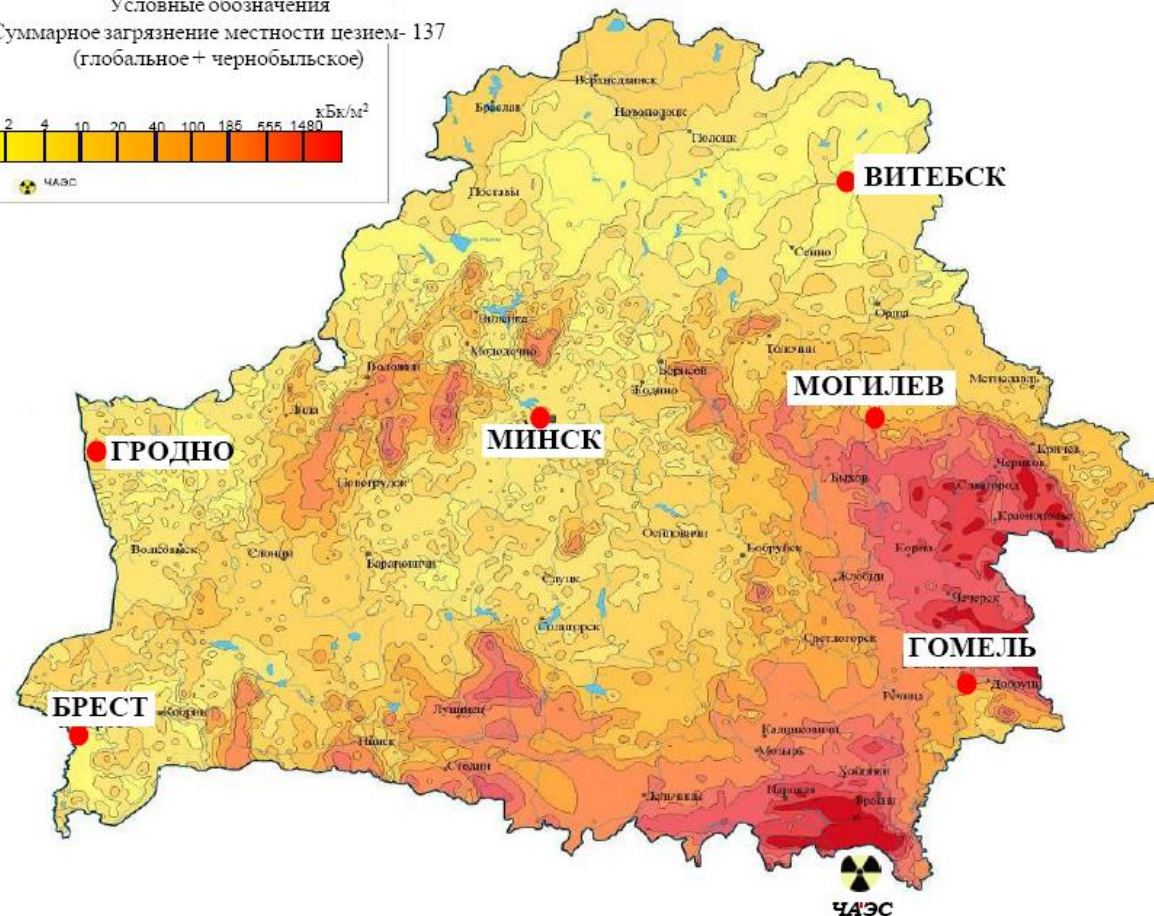
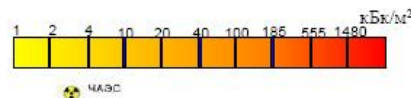
Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



Загрязнение территории Беларуси ^{137}Cs (1986 год)

Условные обозначения
Суммарное загрязнение местности цезием-137
(глобальное + черновыльское)



$^{137}\text{Ba}^*$ — ядра атомов бария в возбужденном (метастабильном) состоянии, из которого они могут самопроизвольно перейти в основное, более устойчивое состояние.

$$T_{1/2} (^{137}\text{Cs}) = 30,17 \text{ лет}$$

$$T_{1/2} (^{137}\text{Ba}^*) = 2,55 \text{ мин.}$$

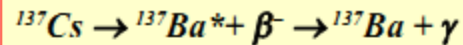
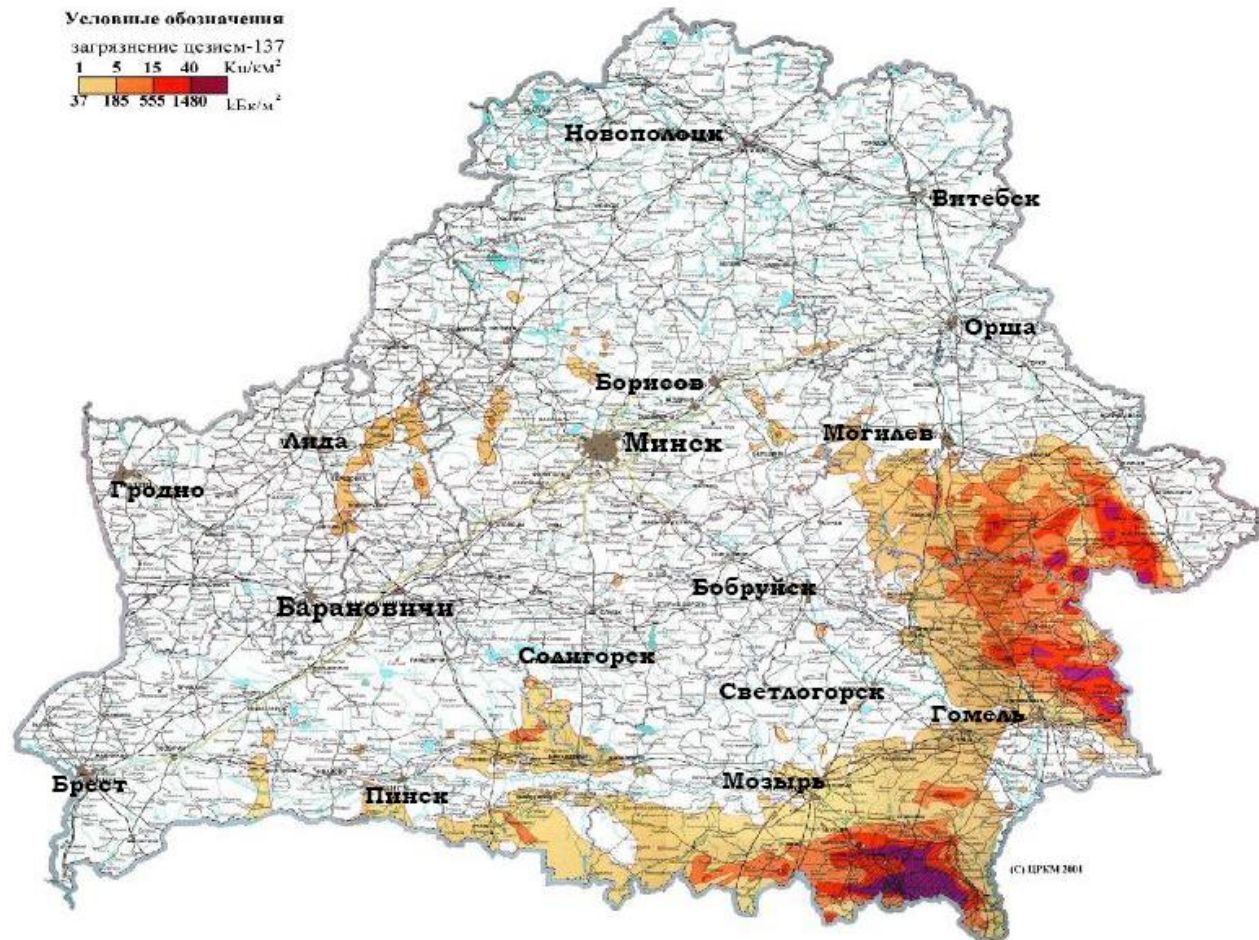
Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Загрязнение территории Беларуси ^{137}Cs (2001 год)

Условные обозначения
загрязнение цезием-137
1 5 15 40 Кн/км²
37 185 555 1480 ГБк/м²



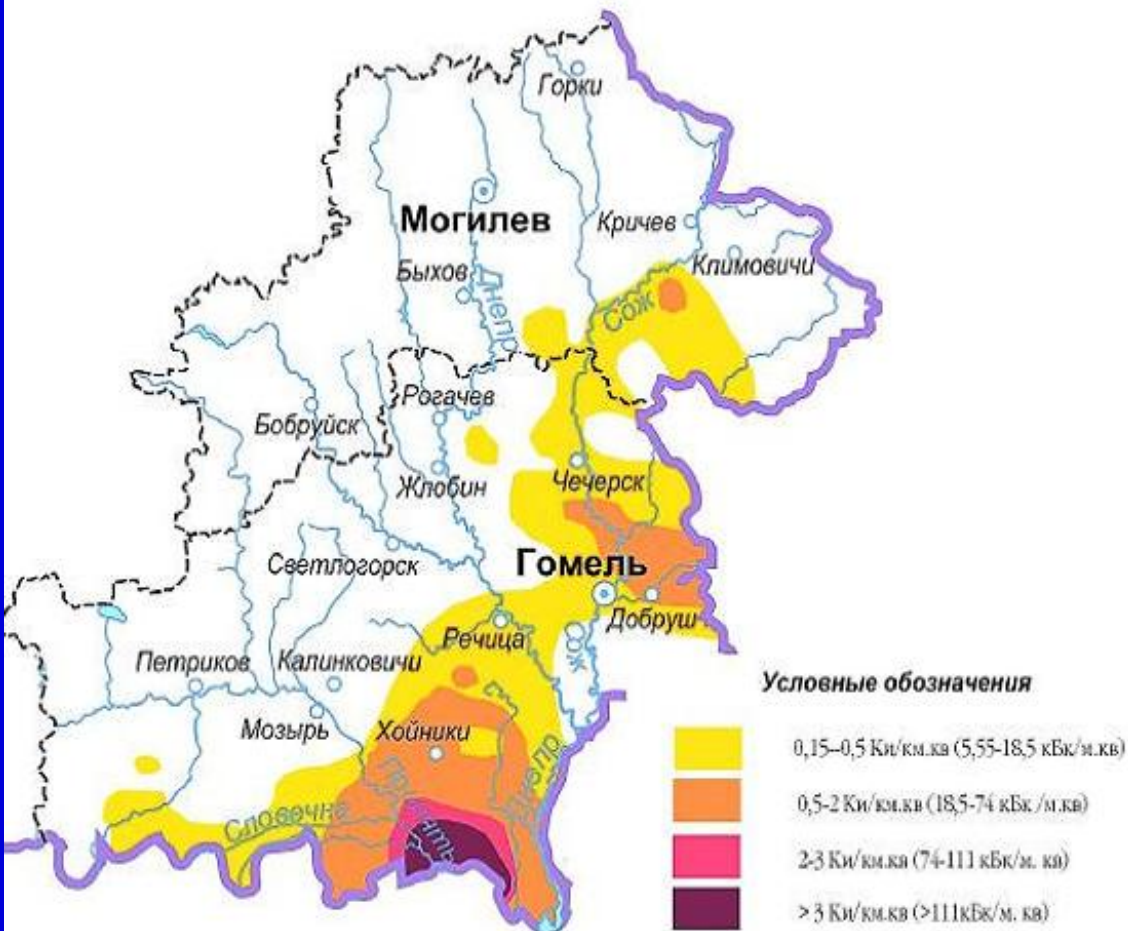
$^{137}\text{Ba}^*$ — ядра атомов бария в возбужденном (метастабильном) состоянии, из которого они могут самопроизвольно перейти в основное, более устойчивое состояние.

$$T_{1/2} (^{137}\text{Cs}) = 30,17 \text{ лет}$$

$$T_{1/2} (^{137}\text{Ba}^*) = 2,55 \text{ мин.}$$

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Загрязнение территории Беларуси ^{90}Sr (2001 год)



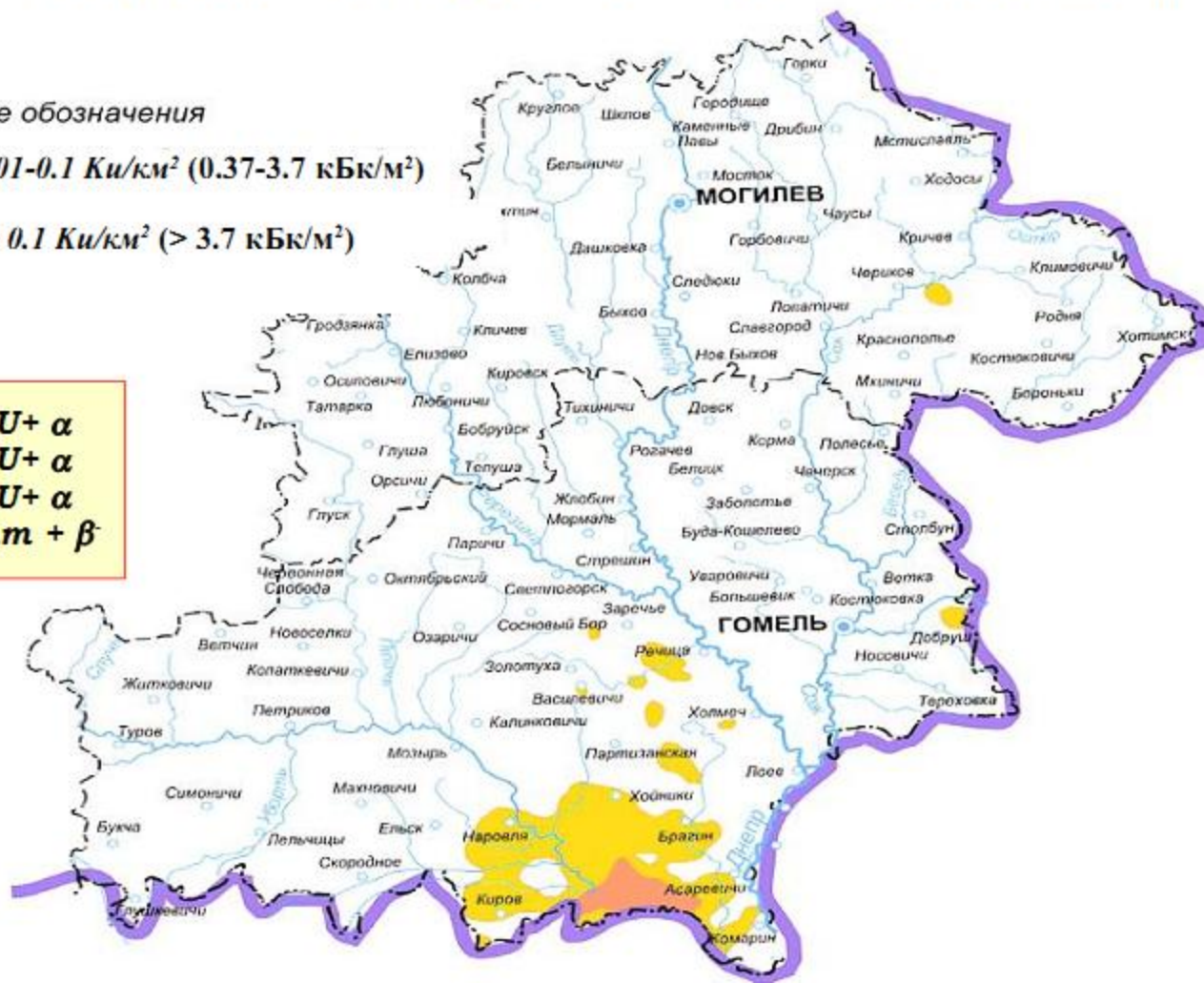
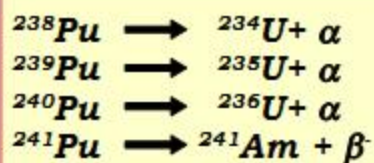
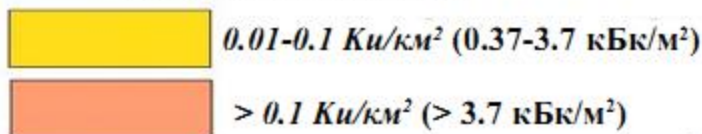
Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



Загрязнение территории Беларуси ^{238}Pu , ^{239}Pu и ^{240}Pu (2001 год)

Условные обозначения



Радиационная безопасность

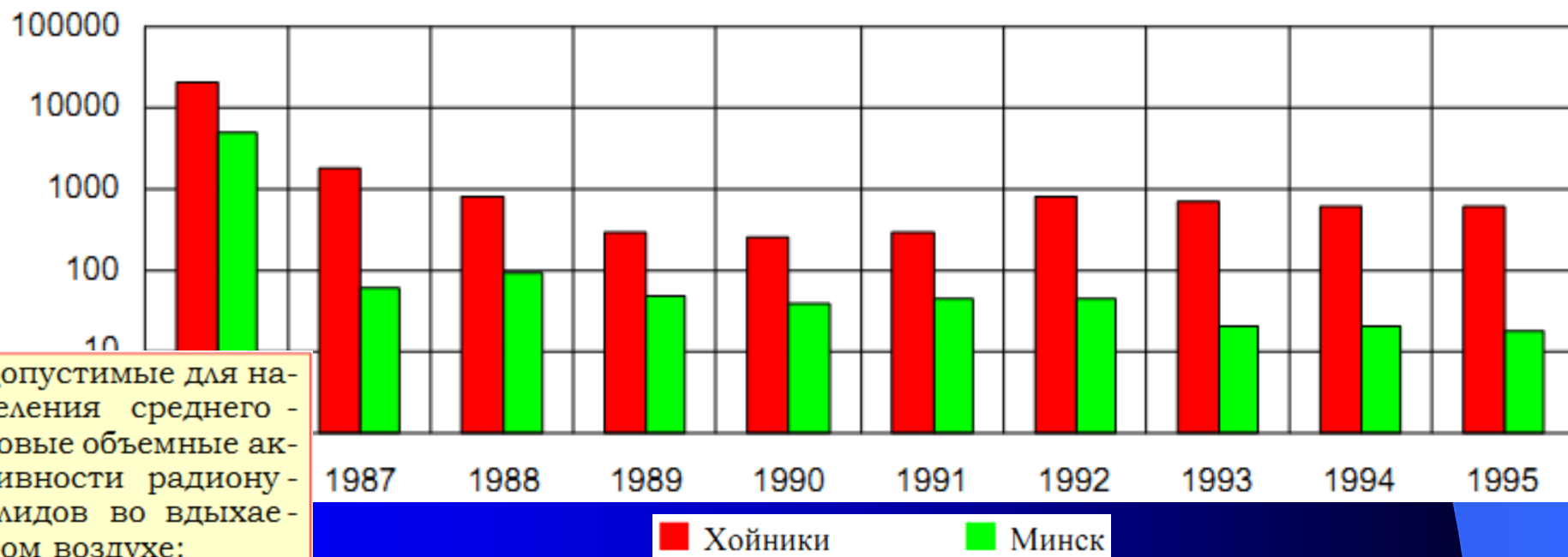


Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Среднегодовое содержание ^{137}Cs в приземном воздухе городов Хойники и Минск после Чернобыльской катастрофы

^{137}Cs , мкБк / куб.м

1 Бк = 10^6 мкБк



Допустимые для населения средние годовые объемные активности радионуклидов во вдыхаемом воздухе:

^{131}I – 7,3Бк/м³
 ^{137}Cs – 27Бк/м³
 $^{239,240}\text{Pu}$ – 0,002Бк/м³

Радиационная безопасность

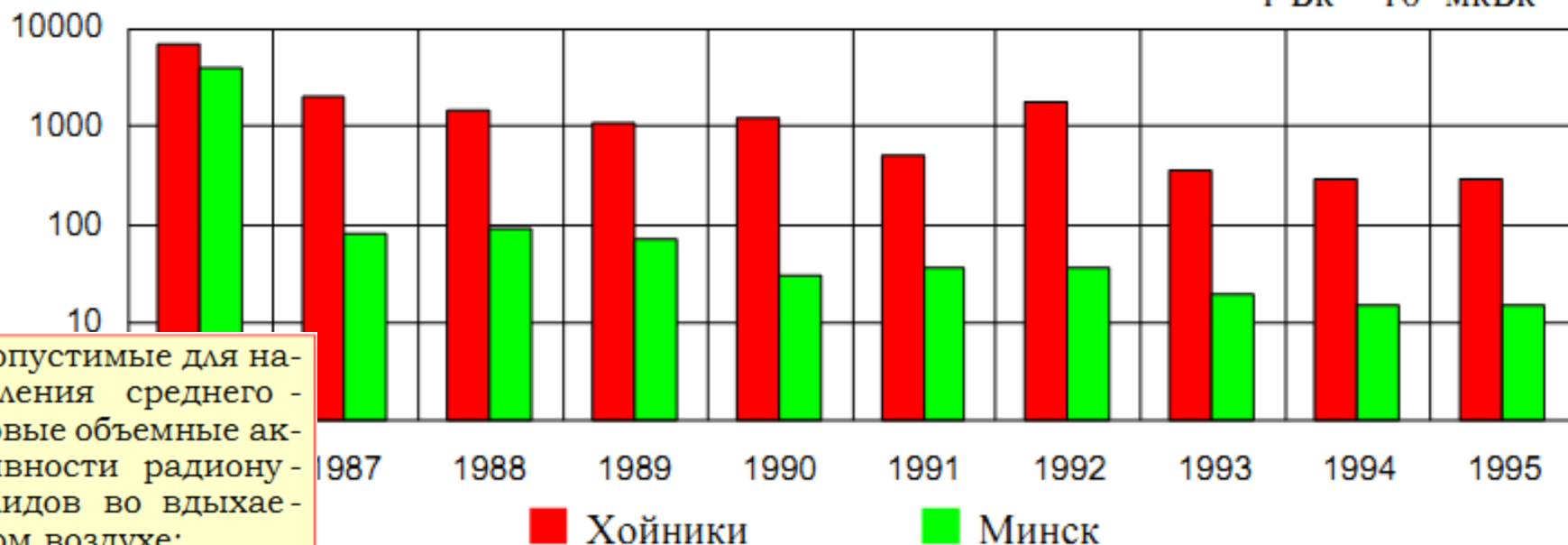


Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Среднегодовое содержание изотопов плутония ^{238}Pu , ^{239}Pu и ^{240}Pu в приземном воздухе городов Хойники и Минск после Чернобыльской катастрофы

$^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$, нБк/куб.м

1 Бк = 10^9 мкБк



Допустимые для населения средние годовые объемные активности радионуклидов во вдыхаемом воздухе:

^{131}I – 7,3Бк/м³

^{137}Cs – 27Бк/м³

$^{239,240}\text{Pu}$ – 0,002Бк/м³

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

В соответствии со статьей 4 Закона «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению после катастрофы на Чернобыльской АЭС», территория Республики Беларусь разделена на 5 зон в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения почв и величины среднегодовой эффективной дозы облучения населения от чернобыльских радионуклидов.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

1. Зона эвакуации (отчуждения)

1. Территория, прилегающая к ЧАЭС (в основном, в радиусе 30-км), с которой в 1986 году в соответствии с существующими нормами радиационной безопасности было эвакуировано население;

Позже на территории Беларуси в этой зоне был создан Полесский Государственный радиационно-экологический заповедник для наблюдения за состоянием природной среды в условиях радиоактивного загрязнения.

2. Территория, с которой проведено дополнительное отселение людей и где уровни радиоактивного загрязнения составляют

- по ^{90}Sr — более 111 кБк/м² (3 Ки/км²);
- по $^{238,239,240}\text{Pu}$ — более 3,7 кБк/м² (0,1 Ки/км²).

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

2. Зона первоочередного отселения

Территория с уровнем радиоактивного загрязнения:

- по ^{137}Cs — 1 480 кБк/м² (40 Ки/км²) и более;
- по ^{90}Sr — 111 кБк/м² (3 Ки/км²) и более;
- по $^{238,239,240}\text{Pu}$ — 3,7 кБк/м² (0,1 Ки/км²) и более.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

3. Зона последующего отселения

Территория с уровнем радиоактивного загрязнения:

- по ^{137}Cs — от 555 до 1480 кБк/м² (от 15 до 40 Ки/км²);
- по ^{90}Sr — от 74 до 111 кБк/м² (от 2 до 3 Ки/км²);
- по $^{238,239,240}\text{Pu}$ — от 1,85 до 3,7 кБк/м² (от 0,05 до 0,1 Ки/км²).

Среднегодовая эффективная доза облучения населения — может превышать 5 мЗв/год.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

4. Зона с правом на отселение

Территория с уровнем радиоактивного загрязнения:

- по ^{137}Cs — от 185 до 555 кБк/м² (от 5 до 15 Ки/км²);
- по ^{90}Sr — от 18,5 до 74 кБк/м² (от 0,5 до 2 Ки/км²);
- по $^{238,239,240}\text{Pu}$ — от 0,74 до 1,85 кБк/м² (от 0,02 до 0,05 Ки/км²).

Среднегодовая эффективная доза облучения населения — может превышать 1 мЗв/год.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

5. Зона проживания с периодическим контролем

Территория с уровнем радиоактивного загрязнения:

- по ^{137}Cs — от 37 до 185 кБк/м² (от 1 до 5 Ки/км²);
- по ^{90}Sr — от 5,55 до 18,5 кБк/м² (от 0,15 до 0,5 Ки/км²);
- по $^{238,239,240}\text{Pu}$ — от 0,37 до 0,74 кБк/м² (от 0,01 до 0,02 Ки/км²).

Среднегодовая эффективная доза облучения населения — не должна превышать 1 мЗв/год.

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

в основном, обусловлено гамма-излучающими радионуклидами.

В первый период после Чернобыльской катастрофы (апрель-май 1986 года) радиационную обстановку в пострадавших районах Беларуси преимущественно определяли радионуклиды с коротким периодом полураспада, среди которых важную роль играл изотоп ^{131}I ($T_{1/2} = 8$ дней).

В настоящее время, когда радионуклиды с периодом полураспада до 2 лет практически полностью распались, внешнее облучение населения загрязненных районов, в основном, определяет долгоживущий изотоп ^{137}Cs ($T_{1/2} \approx 30$ лет).

обусловлено попаданием радиоактивных веществ внутрь организма с продуктами питания и водой, а также в процессе дыхания. Излучение радионуклидов приводит к облучению внутренних органов и тканей, определяя дозу внутреннего облучения человека.

В настоящее время в районах, пострадавших от Чернобыльской катастрофы, внутреннее облучение населения, в основном, связано с загрязнением продуктов питания ^{137}Cs . В некоторых районах, где в почве присутствует изотоп ^{90}Sr , он также может попадать в организм человека и облучать его изнутри.

Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



В настоящее время в Республике Беларусь действуют «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде», принятые в 1999 году (РДУ-99).

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)

Наименование продукта	Бк /кг, (л)	Наименование продукта	Бк /кг, (л)
¹³⁷Cs			
Вода питьевая	10	Молоко и цельномолочная продукция	100
Молоко сгущенное и концентрированное	200	Творог и творожные изделия	50
Сыры сычужные и плавленые	50	Масло коровье	100
Мясо и мясные продукты, в том числе: • говядина, баранина и продукты из них, • свинина, птица, и продукты из них	500 180	Картофель	80

Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)

Наименование продукта	Бк /кг, (л)	Наименование продукта	Бк /кг, (л)
¹³⁷Cs			
Хлеб и хлебобулочные изделия	40	Мука, крупы, сахар	60
Жиры растительные	40	Жиры животные и маргарин	100
Овощи и корнеплоды	100	Фрукты	40
Садовые ягоды	70	Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	74
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185	Грибы свежие	370
Грибы сушеные	2500	Специализированные продукты детского питания, готовые к употреблению	37
Прочие продукты питания	370		



Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)

Наименование продукта	Бк /кг, (л)	Наименование продукта	Бк /кг, (л)
⁹⁰Sr			
Вода питьевая	0,37	Молоко и цельномолочная продукция	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7	Картофель	3,7
Специализированные продукты детского питания готовые к употреблению	1,85		

Примечание.

1. Для продуктов питания, потребление которых составляет менее 5 кг в год на человека (специи, чай, мед и др.), устанавливаются допустимые уровни в 10 раз более высокие, чем для прочих пищевых продуктов.
2. К специализированным продуктам детского питания относятся продукты промышленного производства, имеющие специальную маркировку, а также продукция детских молочных кухонь.
3. Для колбасных мясных изделий и мясных консервов, в рецептуры которых входит конина, мясо диких животных, устанавливаются такие же нормативы, как для говядины.
4. Для макаронных изделий устанавливаются такие же нормативы, как для хлеба и хлебобулочных изделий.

Допустимые уровни содержания ¹³⁷Cs в продуктах питания и в питьевой воде в отдельных странах (Бк/кг, Бк/л)

Продукт	Белоруссия	Россия	Украина	Япония
Зерно продовольственное и крупы	60	70	50	100
Хлеб и хлебобродуки	40	40	20	100
Картофель	80	80	60	100
Овощи (листовые, корнеплоды, зелень)	100	100	40	100
Фрукты	40	40		100
Мясо и мясодукуты: - говядина, баранина - свинина, птица	500 180	160	200	100
Рыба и рыбодукуты	370*	130	150	100
Молоко и целномолочная продукция	100	100	100	50
Вода	10	0,1 (α – акт.)	2	10
Свежие ягоды (дикорастущие)	185	160	500	100
Свежие грибы	370	500	500	100
Сушеные дикорастущие ягоды и грибы	2500	2500	2500	100
Продукты детского питания	37	40-100	40	50

Допустимые уровни содержания ⁹⁰Sr в продуктах питания и в питьевой воде в отдельных странах (Бк/кг, Бк/л)

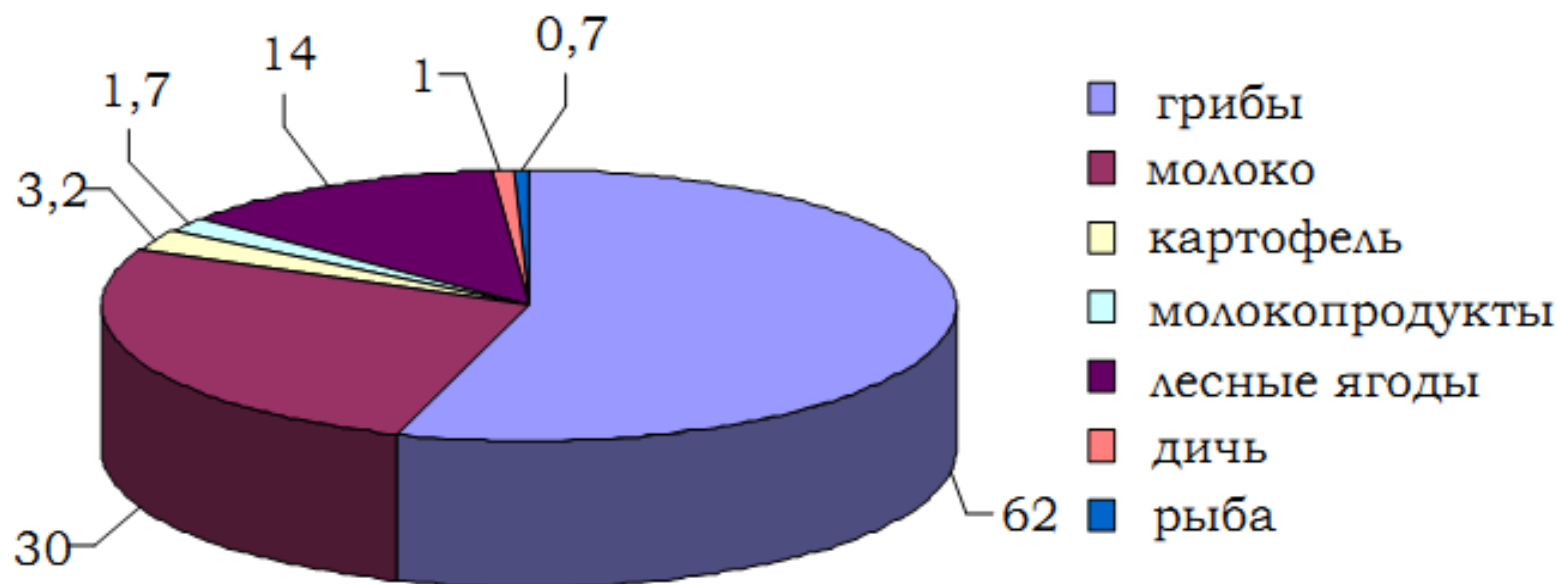
Продукт	Белоруссия	Россия	Украина	Япония
Зерно продовольственное и крупы	11	40	20	-
Хлеб и хлебобродуки	3,7	20	5	-
Картофель	3,7	40	20	-
Овощи (листовые, корнеплоды, столовая зелень)	-	40	20	-
Фрукты	-	30	10	-
Мясо и мясодукуты:	-	50	20	-
Рыба и рыбодукуты	-	100	35	-
Молоко	3,7	25	20	-
Вода	0,37	-	2	-
Свежие дикорастущие ягоды и грибы	-	6050	5050	-
Сушеные дикорастущие ягоды и грибы	-	250	250	-
Продукты детского питания	1,85	-	5	-

Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



Вклад загрязненных ^{137}Cs продуктов питания в дозу внутреннего облучения жителей населенных пунктов лесной зоны (%)

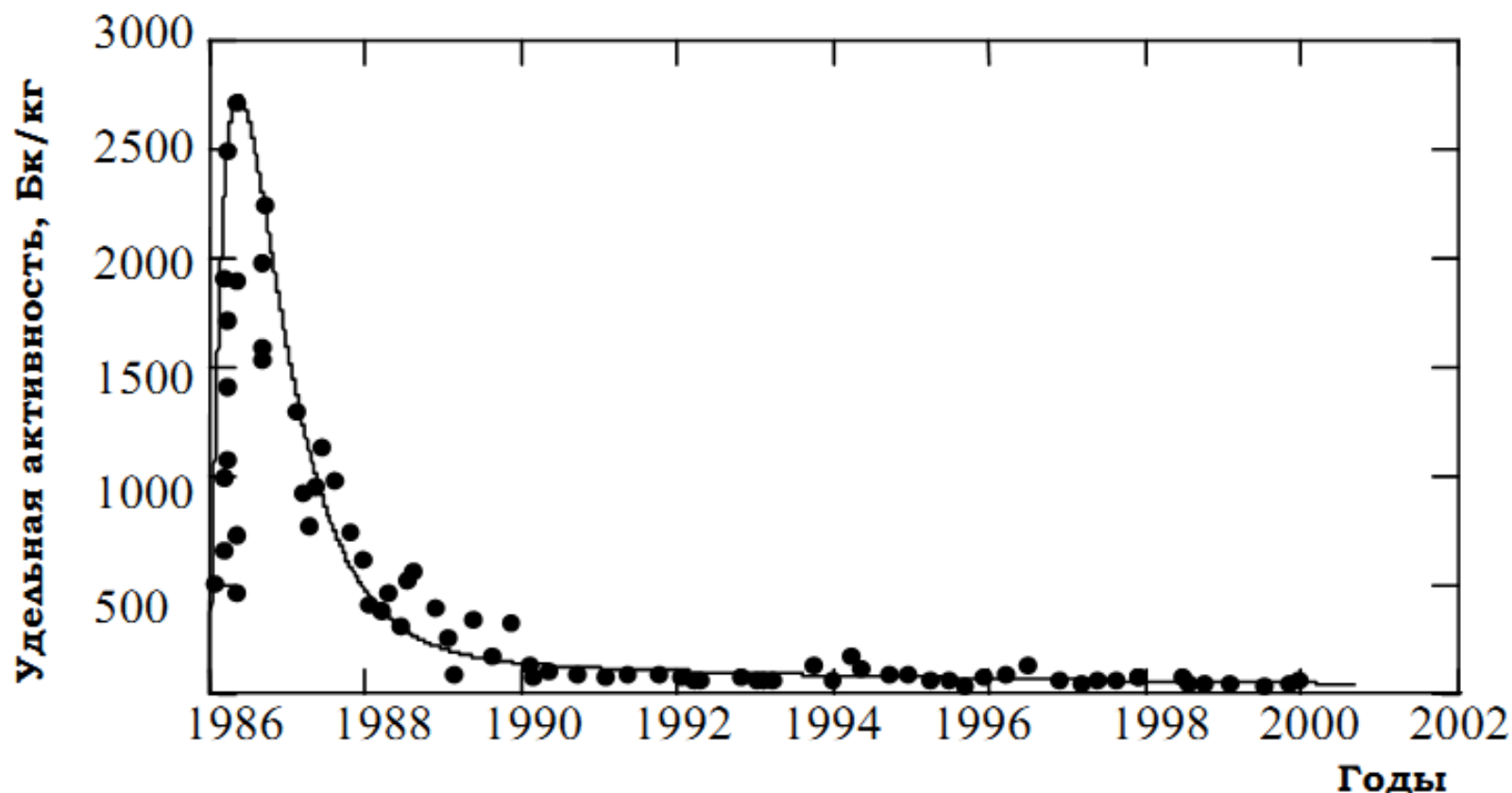


Радиационная безопасность

Формирование доз внутреннего и внешнего облучения



Изменение содержания ^{137}Cs в организме жителей Беларуси, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях



Радиационная безопасность



Формирование доз внутреннего и внешнего облучения

Распределение населенных пунктов в зависимости от среднегодовой эффективной дозы облучения их жителей (2001 год)

Область	Число населенных пунктов со среднегодовой эффективной дозой облучения				Всего населенных пунктов
	< 1 мЗв*	1 - 3 мЗв	3 - 5 мЗв	> 5 мЗв	
Брестская	118	41	8	-	167
Витебская	2	-	-	-	2
Гродненская	146	1	-	-	147
Гомельская	1 105	395	28	-	1 528
Минская	185	4	-	-	189
Могилевская	728	119	7	1	855
Всего по республике	2 285	560	43	1	2 888

* – в этих населенных пунктах плотность загрязнения территории радионуклидами превышает уровень, установленный законодательством Республики Беларусь для безопасного проживания