

Кафедра геоэкологии и геохимии  
Курс «Техногенные системы и  
экологический риск»

- Лекция 13
- РАДИАЦИОННЫЙ РИСК
- ОСИПОВА Н.А.,
- доцент кафедры ГЭГХ

# РАДИАЦИОННЫЙ РИСК

$$R = P \times Y, \text{ где}$$

$R$  – риск;

$P$  – вероятность;

$Y$  – ущерб.

# 1. В чем сложность оценки радиационного риска?

- неопределенность медицинских последствий воздействия малых доз радиации в течение продолжительного времени;
- трудности в наблюдении за лицами, подвергшимися радиационному заражению;

- сокрытие, засекречивание фактов аварийных выбросов радионуклидов в окружающую среду;
- оценка некоторых видов риска, связанных с ядерно-топливным циклом, например риска выхода высокоактивных отходов из хранилищ, не имеет аналогов в человеческой практике, поэтому требует «разыгрывать» невероятно сложные сценарии, включающие множество событий с различными вероятностями.

## **2. Основные определения, количественные показатели радиационного риска**

**РАДИАЦИОННЫЙ РИСК** – это риск возникновения стохастических эффектов (смертность, заболеваемость), обусловленных воздействием ионизиационного излучения, в совокупности с величиной ущерба или последствий от них.

□ 2.1 РИСК ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ

□ 2.2 РИСК КОЛЛЕКТИВНЫЙ

□ 2.3 СОКРАЩЕНИЕ ОЖИДАЕМОЙ  
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ

## 2.1 ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ РИСК

- это отношение числа летальных исходов ( $N_{\text{ли}}$ ) в результате воздействия ионизиационного излучения к общему числу подвергшихся воздействию ( $N_{\text{обл}}$ ).
  - $R_{\text{инд}} = N_{\text{ли}} / N_{\text{обл}}$

- Этой формулой можно воспользоваться, если событие уже произошло. Для прогнозирования рисков также используются другие формулы:
- $R_{инд} = r \cdot H_{инд}$ ,
- $H_{инд}$  – индивидуальная эффективная эквивалентная доза; измеряется в зивертах, Зв, или миллизивертах, мЗв;



- $H_{инд} = D \cdot k$
- $D$ -поглощенная доза
- $k$ - соответствующий коэффициент качества, зиверт;
- $r$  – коэффициент смертельного исхода (коэффициент риска), связанного с действием ионизирующего излучения, отнесенного к 1 зиверту и 1 человеку, (Зв-1·чел.-1).

## 2.2 КОЛЛЕКТИВНЫЙ РИСК

- $R_{\text{колл}} = r \cdot H_{\text{колл}}$ ,
- где  $H_{\text{колл}} = H_{\text{инд}} \cdot N$ ,
- $R_{\text{колл}}$  – риск коллективный – число дополнительных случаев смертельных исходов в результате действия ионизирующего излучения, как правило, в год;

- *N колл* – коллективная эффективная эквивалентная доза. Единицами измерения этой величины служит человеко-зиверт (Зв·чел.). Её используют для оценки последствий облучения больших контингентов населения. Коллективная доза равна произведению эффективной эквивалентной индивидуальной дозы на число облучаемых людей  $N$ .

- Оценка эффективной (индивидуальной и коллективной) эквивалентной дозы – важный инструмент в определении взаимосвязи между радиационным загрязнением окружающей среды и медицинскими последствиями.

- В НРБ-99 приводятся следующие значения коэффициента риска: для профессионального облучения –  $5,6 \cdot 10^{-1} \text{ Зв}^{-1} \cdot \text{чел.}^{-1}$ , для населения –  $7,2 \cdot 10^{-1} \text{ Зв}^{-1} \cdot \text{чел.}^{-1}$ . В научной литературе значения коэффициента риска разнятся в более широких пределах, в зависимости от поглощенных доз: от  $1,65 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1} \cdot \text{чел.}^{-1}$ , до  $5,6 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1} \cdot \text{чел.}^{-1}$

- Различия в оценках этой величины в мире официальными комитетами по радиологической защите: 0,04 при низких дозах - 0,11 при высоких.
- Понимание смысла этого коэффициента позволяет оценить вероятность фатальных исходов, сопряженных с облучением от различных причин. Так, коэффициент  $1,65 \cdot 10^{-5}$  мЗв<sup>-1</sup>·чел.<sup>-1</sup> означает, что 2 человека из 10000 умрут от раковых заболеваний при получении дозы, равной 1 мЗв.

Пример 1. Средний житель России получает ежегодно за счет чисто природного излучения эффективную эквивалентную дозу 0,9 мЗв.

Рассчитать :

- индивидуальный риск смерти от этой дозы в год. Принять коэффициент риска равным  $1,65 \cdot 10^{-2}$  Зв-1·чел.-1
- число смертельных исходов год в России от рака за счет чисто природного излучения.

Решение:

$$R_{\text{инд.}} = r \cdot H_{\text{инд.}} =$$

$$1,65 \cdot 10^{-5} \text{ мЗв}^{-1} \cdot \text{чел.}^{-1} \cdot 0,9 \text{ мЗв} \cdot \text{чел.} \cdot$$
$$\text{год}^{-1} =$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Для сравнения: риск смерти от аварий на транспорте составляет  $3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ , что в 20 раз больше риска от природного излучения.



$$R_{\text{колл.}} = r \cdot H_{\text{колл.}} = r \cdot H_{\text{инд.}} \cdot N$$

$$= 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ мЗв}^{-1} \cdot \text{чел.}^{-1} \cdot 0,9$$

$$\text{мЗв} \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ чел.}$$

$$= 2227,5; \text{ где } N \text{ — численность населения России,}$$

- Пример 2. Эффективная эквивалентная доза облучения населения региона может достигать значения  $4,2 \cdot 10^7$  чел. ·Зв, в результате гипотетической диверсии на АЭС и полного распыления в атмосферу имеющихся радиоактивных материалов (от продуктов деления плутония в хранилищах и реакторах, по некоторым данным). Какое число дополнительных смертельных заболеваний можно ожидать от этих причин?

Решение:

$$R_{\text{колл}} = r \cdot H_{\text{колл}} = \\ 4,2 \cdot 10^7 \cdot 1,65 \cdot 10^{-2} = 693000.$$

Эти заболевания могут возникать в течение 50–60 лет, следовательно, в год надо ожидать  $693000/50 = 12–14$  тысяч смертельных исходов.

- Пример 3. По литературным данным , в течение 50 лет, которые пройдут после Чернобыльской катастрофы, все население Земли получит коллективную эффективную эквивалентную дозу порядка
- $5.10^5$  чел.·Зв. Каково ожидаемое количество смертельных исходов и среднее ожидаемое количество смертей ежегодно?

- Решение:  $R_{\text{колл}} = r \cdot N_{\text{колл}} = 5 \cdot 10^5 \cdot 1,65 \cdot 10^{-2} = 8250$ . Среднее количество смертей  $8250/50 = 165$ , что на два порядка ниже числа смертельных исходов в результате гипотетической аварии. Хотя вероятность диверсии очень мала, нельзя недооценивать эффекты поражения и ущерба, вызванного гипотетическим нападением на крупную АЭС, которые очень велики.

# Задачи для самостоятельного решения

- Коллективная доза, полученная ликвидаторами последствий аварии на Чернобыльской АЭС оценивается как 12481,1 чел.·Зв, число ликвидаторов аварии составило 119416 чел. Какова эффективная эквивалентная индивидуальная доза? Каково число смертей от радиационно-индуцированного рака в течение последующей жизни? (Коэффициент риска при больших дозах облучения предлагают брать равным  $5,6 \cdot 10^{-2}$  Зв-1·чел.-1)..

## 2.3 СОКРАЩЕНИЕ ОЖИДАЕМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ

$$\Delta L = R \cdot \ln \partial L$$

- $\Delta L$  - величина, показывающая, на сколько лет, или месяцев, или дней укорачивается в среднем жизнь индивидуума, подвергающегося тому или иному риску.,  $L$  – средняя величина оставшейся жизни человека, подвергающегося риску.

- Примем, что онкологическое заболевание сокращает жизнь человека в среднем на 20 лет
- Попробуем оценить, насколько сократится ожидаемая продолжительность жизни жителя России, который родился после аварии в Чернобыле и который получит обусловленную этой аварией среднюю полную эффективную эквивалентную дозу, равную 0,81 мЗв.



- Вероятность индивидуального риска за всю жизнь составит:
- $R_{инд} = r \cdot H_{инд} = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ мЗв}^{-1} \cdot \text{чел.}^{-1} \cdot 0,81 \text{ мЗв} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .
- $\Delta L = R_{инд} \cdot L = 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 20 = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ лет} = 2,3 \text{ час}$ . Это и есть вызванный радиационными последствиями Чернобыля риск, выраженный средним сокращением ожидаемой продолжительности жизни. Для сравнения отметим, что одна пачка сигарет сокращает среднюю продолжительность жизни на 3, 3 часа.

### **3. Основные источники радиационного риска естественного и техногенного происхождения**

# Источники радиационного риска

## ПРИРОДНЫЕ:

- внешнее облучение
- внутреннее облучение
- радон

## ТЕХНОГЕННЫЕ

- применение ионизирующего излучения в медицине;
- развитие энергетики на угле;
- испытание ядерного оружия;
- все стадии функционирования ядерно-топливного цикла (ЯТЦ).

# ПРИЧИНЫ ПРЕВЫШЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

1. Уровень радиации в некоторых местах земного шара превосходит средний уровень радиации. В Бразилии, в 200 км к северу от Сан-Паулу (район Пасус де-Колдес) мощность дозы достигает 250 мЗв/год. В 600 км от нее есть морской курорт Гуарапары с мощностью дозы до 175 мЗв/год. Население Гуарапары составляет 12000 человек плюс 30000 курортников ежегодно. Причиной высокой мощности экспозиционной дозы являются обогащенные монацитом пески.

2. Облучение за счет космических лучей сильно зависит от высоты над уровнем моря

3. Использование газа и угля для приготовления пищи

В местах, где характерен этот способ сжигания угля, плотность населения чрезвычайно высока (например, в Китае), и вся летучая зола попадает на людей. Ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза облучения населения Земли в результате выбросов радионуклидов из индивидуальных печей, плит и каминов составляет не менее 105 чел.·Зв.

4. Применение некоторых строительных материалов.

# **Зависимость эффективной эквивалентной дозы от высоты над уровнем моря**

| <b>Высота над уровнем<br/>моря, м</b> | <b>Эффективная<br/>эквивалентная зона,<br/>мкЗв/час</b> |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 0                                     | 0,03                                                    |
| 2000                                  | 0,1                                                     |
| 4000                                  | 0,2                                                     |
| 12000                                 | 0,5                                                     |

# ПРИЧИНЫ РИСКА АВАРИЙ В ЯТЦ

- грубые нарушения технологии и технологических регламентов, недостаточная профессиональная подготовка и низкая технологическая дисциплина персонала
- Организационные меры по обеспечению безопасности неэффективны
- техническое состояние оборудования неудовлетворительно.

- График замены ядерно-опасного оборудования не соблюдается, обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты ухудшается.
- Парк переносных приборов дозиметрического контроля стареет, что затрудняет раннее выявление полученной дозы облучения.