

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 14.11.2022 15:29:14  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d79e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
Юго-Западный государственный университет  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 14 » 11 2021 г.



ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ»

Методические указания к проведению лабораторных работ  
для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность

Курск 2021

УДК 614

Составитель Е.А. Преликова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.В. Беседин*

**Лабораторные работы по дисциплине «Радиационная экология»:** методические указания к проведению лабораторных работ для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Е.А. Преликова. - Курск, 2021. - 54 с. Библиогр.: с. 54.

Приводятся методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Радиационная экология».

Предназначены для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 2021 г. Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л. 3,14 Уч.-изд.л. 2,84 Тираж 30 экз. Заказ 1056. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## РАДИОАКТИВНОСТЬ И ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

### **Цель работы:**

- 1) ознакомиться с явлением радиоактивности;
- 2) изучить закон радиоактивного распада и примеры его действия;
- 3) выполнить задания по изучаемой теме в соответствии с вариантом.

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Атомные ядра (нуклиды) состоят из элементарных частиц двух видов – протонов и нейтронов. Эти частицы объединяют общим названием *нуклоны*. Число протонов в ядре называется **атомным номером** и обозначается буквой  $Z$ . Общее число нуклонов в ядре называется **массовым числом** и обозначается буквой  $A$ . Для характеристики данного нуклида используют символ его химического элемента  $X$  и указывают  $A$  и  $Z$ :  ${}^A_ZX$ , например,  ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ ,  ${}^{137}_{55}\text{Cs}$  и др.

**Радиоактивностью** называется самопроизвольное (спонтанное) превращение одних атомных ядер в другие, сопровождаемое испусканием одной или нескольких частиц.

Принято считать, что время радиоактивного распада ядер составляет не менее 10-12 с. За это время происходит большое число разнообразных внутриядерных процессов, полностью формирующих вновь образовавшееся ядро.

Ядра, испытывающие радиоактивный распад, называются **радиоактивными**.

Ядра, не участвующие в радиоактивных превращениях, называются **стабильными**.

Такое деление достаточно условно, поскольку практически все ядра могут претерпевать радиоактивный распад, однако скорость распада у разных ядер неодинакова. Радиоактивность ядер, существующих в природных условиях, называется **естественной**.

Радиоактивность ядер, полученных с помощью ядерных реакций в лабораторных условиях (например, на ускорителях), называется *искусственной*.

Между ними нет принципиальных отличий. И в том, и в другом случае радиоактивные превращения подчиняются одним и тем же закономерностям. Распадающиеся ядра называются *материнскими*, а ядра, образующиеся в результате распада, - *дочерними*.

К радиоактивному распаду относятся  $\alpha$ -распад,  $\beta$ -распад, спонтанное деление тяжёлых ядер, протонный распад и др.

$\beta$ -распад обусловлен слабым взаимодействием, все остальные виды радиоактивных процессов - сильным взаимодействием. При радиоактивном распаде должны выполняться законы сохранения энергии, импульса, момента импульса, заряда и др.

Явление радиоактивности было открыто в 1896 г. французским физиком А. Беккерелем.

При радиоактивном распаде испускаются три вида радиоактивного излучения:

$\alpha$ -излучение,  
 $\beta$ -излучение и  
 $\gamma$ -излучение.

**$\alpha$ -частицы** представляют собой ядра гелия  ${}^4_2\text{He}$ .

**$\beta$ -частицы** являются электронами  $e^-$ , хотя возможен  $\beta$ -распад с испусканием позитронов  $e^+$ .

**$\gamma$ -излучение** представляет собой жесткое коротковолновое ( $\lambda < 10^{-10}$  м) электромагнитное излучение, испускаемое ядрами.

### **Закон радиоактивного распада**

Радиоактивный распад является принципиально статистическим явлением. Нельзя предсказать, в какой момент времени распадётся то или иное возбуждённое ядро. Однако можно с высокой степенью точности указать, какая часть нестабильных ядер распадётся за определённый промежуток времени. Выявляемые в радиоактивном распаде закономерности носят вероятностный характер и выполняются тем точнее, чем более велико число радиоактивных ядер.

Пусть в момент времени  $t$  имеется  $N$  одинаковых радиоактивных ядер. Будем считать, что ядра распадаются независимо друг от друга. Обозначим через  $\lambda$  вероятность распада

ядра в единицу времени - эта величина называется постоянной распада. Смысл  $\lambda$  заключается в том, что из  $N$  нестабильных ядер в единицу времени распадается в среднем  $\lambda N$  ядер. Тогда к моменту времени  $t + dt$  число радиоактивных ядер изменится (уменьшится) на  $dN = -\lambda N dt$ . Интегрируя по времени и считая, что постоянная распада  $\lambda$  не зависит от времени, получаем

$$N = N_0 \times e^{-\lambda t},$$

где  $N$  – число нераспавшихся ядер в момент времени  $t$ ;  
 $N_0$  – число нераспавшихся ядер в начальный момент времени  $t=0$ .

Это соотношение выражает **закон радиоактивного распада: число нераспавшихся ядер убывает с течением времени по экспоненциальному закону.**

Число ядер, испытавших радиоактивный распад за время  $t$ , равно:

$$N_0 - N = N_0 \times (1 - e^{-\lambda t}).$$

Интенсивность распада, происходящего в радиоактивном препарате, характеризуется величиной, называемой *активностью*  $A$ . Активность определяется как число распадов, происходящих в радиоактивном препарате в единицу времени. Из физического смысла  $\lambda$  и определения  $A$  следует, что

$$A = \lambda \times N = \left[ \frac{dN}{dt} \right] = \lambda \times N_0 \times e^{-\lambda \times t},$$

где  $A = \lambda \times N_0$  — активность радиоактивного препарата в момент времени  $t = 0$ .

Единицей измерения активности в СИ является Беккерель (Бк), равный одному распаду в секунду. Используется также внесистемная единица кюри (Ки), равная активности одного грамма изотопа радия  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  ( $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$ ). Активность единицы массы радиоактивного препарата  $A$  а  $m$  называется удельной активностью.

**Периодом полураспада**  $T_{1/2}$  называется время, за которое распадается половина первоначального количества радиоактивных ядер.

$$\text{Согласно определению, } \frac{N_0}{2} = N_0 \times e^{-\lambda \times T_{1/2}}$$

$$\text{Логарифмируя это равенство, получаем } T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Период полураспада разных ядер лежит в очень широких пределах. Он меняется от  $10^{-6}$  с для изотопа радона  $^{215}_{86}\text{Rn}$  до  $14 \times 10^{17}$  лет для изотопа свинца  $^{204}_{82}\text{Pb}$

Найдем среднее время жизни ядра  $\tau$ . Из всех  $N_0$  ядер распадается в промежуток времени между  $t$  и  $t + dt$  количество ядер  $|dN| = \lambda N dt$ . Предположим, что среднее время жизни каждого из этих ядер равно  $\tau$ . Тогда

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t \times \lambda \times N \times dt}{N_0} = \lambda \int_0^{\infty} t \times e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Таким образом, среднее время жизни радиоактивного ядра увеличивается при уменьшении вероятности распада ядра за единицу времени, которая определяется постоянной распада  $\lambda$ .

Откуда период полураспада и среднее время жизни ядра связаны соотношением:

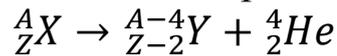
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx 0,693 \times \tau$$

### Альфа-распад

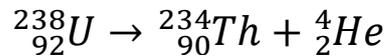
*Альфа-распадом* называют самопроизвольный распад атомного ядра на дочернее ядро и  $\alpha$ -частицу (ядро атома  $^4_2\text{He}$ ).

Альфа-распад, как правило, происходит в тяжёлых ядрах с массовым числом  $A \geq 140$  (хотя есть несколько исключений). Внутри тяжёлых ядер за счёт свойства насыщения ядерных сил образуются обособленные  $\alpha$ -частицы, состоящие из двух протонов и двух нейтронов. Образовавшаяся  $\alpha$ -частица подвержена большему действию кулоновских сил отталкивания от протонов ядра, чем отдельные протоны. Одновременно  $\alpha$ -частица испытывает меньшее ядерное притяжение к нуклонам ядра, чем остальные нуклоны. Образовавшаяся альфа-частица на границе ядра отражается от потенциального барьера внутрь, однако с некоторой вероятностью она может преодолеть его и вылететь наружу. С уменьшением энергии альфа-частицы проникаемость потенциального барьера очень быстро (экспоненциально) уменьшается, поэтому время жизни ядер с меньшей доступной энергией альфа-распада при прочих равных условиях больше.

Правило смещения Содди для  $\alpha$ -распада:



Пример (альфа-распад урана-238 в торий-234):



В результате  $\alpha$ -распада атом смещается на 2 клетки к началу таблицы Менделеева (то есть заряд ядра  $Z$  уменьшается на 2), массовое число дочернего ядра уменьшается на 4.

### Бета-распад

**Бета-распадом** называется процесс самопроизвольного превращения радиоактивного ядра в изобарное с испусканием электрона или позитрона.

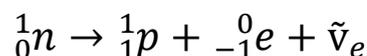
Известны три вида бета-распада:

- 1) электронный ( $\beta^-$ -распад) распад;
- 2) позитронный ( $\beta^+$ -распад) распад;
- 3) электронный захват (к-захват).

Беккерель доказал, что  $\beta$ -лучи являются потоком электронов. Бета-распад – это проявление слабого взаимодействия.

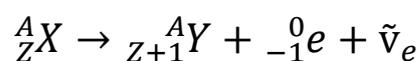
**Бета-минус-распад ( $\beta^-$  распад)** – это радиоактивный распад, сопровождающийся испусканием из ядра электрона и электронного антинейтрино.

Бета-распад является внутринуклонным процессом. Бета-минус-распад происходит вследствие превращения одного из  $d$ -кварков в одном из нейтронов ядра в  $u$ -кварк; при этом происходит превращение нейтрона в протон с испусканием электрона и антинейтрино:

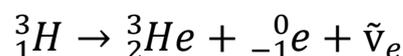


Свободные нейтроны также испытывают  $\beta^-$ -распад, превращаясь в протон, электрон и антинейтрино.

Правило смещения Содди для  $\beta^-$ -распада:



Пример (бета-распад трития в гелий-3):



После  $\beta^-$ -распада элемент смещается на 1 клетку к концу таблицы Менделеева (заряд ядра увеличивается на единицу), тогда как массовое число ядра при этом не меняется.

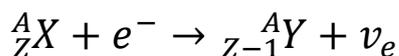
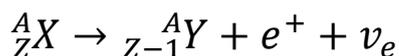
### ***Позитронный распад и электронный захват***

В позитронном распаде ( $\beta^+$ -распаде) ядро испускает позитрон и электронное нейтрино. При  $\beta^+$ -распаде заряд ядра уменьшается на единицу (ядро смещается на одну клетку к началу таблицы Менделеева), то есть один из протонов ядра превращается в нейтрон, испуская позитрон и нейтрино.

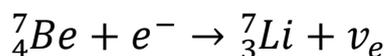
Позитронный распад всегда сопровождается конкурирующим процессом – электронным захватом. В этом процессе ядро захватывает электрон из атомной оболочки и испускает нейтрино, при этом заряд ядра также уменьшается на единицу. Однако обратное неверно: для многих нуклидов, испытывающих электронный захват ( $\epsilon$ -захват), позитронный распад запрещён законом сохранения энергии. В зависимости от того, с какой из электронных оболочек атома (K, L, M и т.д.) захватывается электрон при  $\epsilon$ -захвате, процесс обозначается как K-захват, L-захват, M-захват и т.д.

Все они, при наличии соответствующих оболочек и достаточности энергии распада, обычно конкурируют. Однако наиболее вероятен K-захват, поскольку концентрация электронов K-оболочки вблизи ядра выше, чем более удалённых оболочек. После захвата электрона образовавшаяся вакансия в электронной оболочке заполняется путём перехода электрона из более высокой оболочки. Этот процесс может быть каскадным (после перехода вакансия не исчезает, а смещается на более высокую оболочку), а энергия уносится посредством рентгеновских фотонов и/или оже-электронов с дискретным энергетическим спектром.

Правило смещения Содди для  $\beta^+$ -распада и электронного захвата:



Пример ( $\epsilon$ -захват бериллия-7 в литий-7):



После позитронного распада и  $\varepsilon$ -захвата элемент смещается на 1 клетку к началу таблицы Менделеева (заряд ядра уменьшается на единицу), тогда как массовое число ядра при этом не меняется.

### ***Двойной бета-распад***

Наиболее редким из всех известных типов радиоактивного распада является двойной бета-распад, он обнаружен на сегодня лишь для одиннадцати нуклидов, и период полураспада для любого из них превышает  $10^{19}$  лет. Двойной бета-распад в зависимости от нуклида может происходить:

- с повышением заряда ядра на 2 (при этом испускаются два электрона и два антинейтрино,  $2\beta^-$ -распад)
- с понижением заряда ядра на 2, при этом испускаются два нейтрино два позитрона (двухпозитронный распад,  $2\beta^+$ -распад)
- испускание одного позитрона сопровождается захватом электрона из оболочки (электрон-позитронная конверсия, или  $\varepsilon\beta^+$ -распад)
- захватываются два электрона (двойной электронный захват,  $2\varepsilon$ -захват).

Предсказан, но ещё не открыт безнейтринный двойной бета-распад.

### ***Общие свойства бета-распада***

Все типы бета-распада сохраняют массовое число ядра, поскольку при любом бета-распаде общее количество нуклонов в ядре не изменяется, лишь один или два нейтрона превращаются в протоны (или наоборот).

### **Гамма-распад (изомерный переход)**

Почти все ядра имеют, кроме основного квантового состояния, дискретный набор возбуждённых состояний с большей энергией (исключением являются ядра  $1\text{H}$ ,  $2\text{H}$ ,  $3\text{H}$  и  $3\text{He}$ ). Возбуждённые состояния могут заселяться при ядерных реакциях либо радиоактивном распаде других ядер. Большинство возбуждённых состояний имеют очень малые времена жизни (менее наносекунды). Однако существуют и достаточно долгоживущие состояния (чьё время жизни измеряется микросекундами, сутками или годами), которые называются изомерными, хотя граница между ними и короткоживущими состояниями весьма условна. Изомерные состояния ядер, как

правило, распадаются в основное состояние (иногда через несколько промежуточных состояний). При этом излучаются один или несколько гамма-квантов; возбуждение ядра может сниматься также посредством вылета конверсионных электронов из атомной оболочки. Изомерные состояния могут распадаться также и посредством обычных бета- и альфа-распадов.

### Задача 1

В какое ядро превратится ядро (см. таблицу 1.1, колонку 1), испустив (см. колонку 2)-частицу? Записать уравнение ядерной реакции.

Таблица 1.1

Исходные данные для задания 1

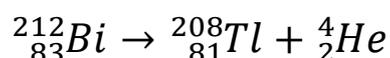
| № вар. | Радионуклид | Тип распада | Радионуклид | Тип распада | Радионуклид | Тип распада |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1      | Rb-79       | $\beta^+$   | Ra-223      | $\alpha$    | Sm-153      | $\beta^-$   |
| 2      | Rb-84       | $\beta^-$   | Zn-65       | $\beta^+$   | Pa-230      | $\alpha$    |
| 3      | Cs-130      | $\beta^+$   | Ra-228      | $\beta^-$   | Gd-151      | $\alpha$    |
| 4      | Cs-132      | $\beta^-$   | In-109      | $\beta^+$   | Th-228      | $\alpha$    |
| 5      | Cs-137      | $\beta^-$   | Cd-107      | $\beta^+$   | Pa-230      | $\alpha$    |
| 6      | Mn-52       | $\beta^+$   | Cd-115      | $\beta^-$   | U-230       | $\alpha$    |
| 7      | Fr-223      | $\beta^-$   | Hg-193      | $\beta^+$   | Eu-148      | $\alpha$    |
| 8      | Cu-60       | $\beta^+$   | Hg-203      | $\beta^-$   | U-232       | $\alpha$    |
| 9      | Co-58       | $\beta^+$   | Co-60       | $\beta^-$   | Np-235      | $\alpha$    |
| 10     | Ag-103      | $\beta^+$   | Zn-72       | $\beta^-$   | Pu-236      | $\alpha$    |
| 11     | Co-56       | $\beta^+$   | Sc-46       | $\beta^-$   | Am-240      | $\alpha$    |
| 12     | Au-194      | $\beta^+$   | Tl-204      | $\beta^-$   | Cf-250      | $\alpha$    |
| 13     | Au-199      | $\beta^-$   | Tl-202      | $\beta^+$   | Cm-244      | $\alpha$    |
| 14     | Ag-111      | $\beta^-$   | Y-88        | $\beta^+$   | Bk-245      | $\alpha$    |
| 15     | Mg-28       | $\beta^-$   | Po-210      | $\alpha$    | Y-91        | $\beta^-$   |
| 16     | Ca-45       | $\beta^-$   | Ac-225      | $\alpha$    | Np-234      | $\beta^+$   |
| 17     | Sr-89       | $\beta^-$   | As-74       | $\beta^+$   | Ac-227      | $\beta^-$   |
| 18     | Sr-90       | $\beta^-$   | Bi-205      | $\beta^+$   | Ce-141      | $\beta^-$   |
| 19     | Ba-131      | $\beta^+$   | Nd-147      | $\beta^-$   | Pa-233      | $\beta^-$   |
| 20     | Ba-140      | $\beta^-$   | Eu-146      | $\beta^+$   | Pm-147      | $\beta^-$   |

*Пример расчёта*

В какое ядро превратится ядро Bi-212, испустив  $\alpha$ -частицу?  
Записать уравнение ядерной реакции.

### Решение

Обозначим неизвестное ядро символом  ${}^A_ZX$ . Так как при  $\alpha$ -распаде атомный номер изменяется на -2, а массовое число на -4, то  $Z=83-2=81$ ,  $A=212-4=208$ . Элемент с порядковым номером 81 в периодической системе – таллий. Следовательно, ядро Bi-212 превратится в ядро Tl-208. Уравнение реакции имеет вид:



### Задача 2

Определить число нейтронов в ядре элемента  ${}^A_ZX$ ,  $A=\dots$ ,  $Z=\dots$   
Исходные данные для задания 2 представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Исходные данные для задания 2

| № вар. | $A_1$ | $Z_1$ | $A_2$ | $Z_2$ |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1      | 212   | 98    | 120   | 90    |
| 2      | 210   | 96    | 110   | 56    |
| 3      | 214   | 94    | 108   | 48    |
| 4      | 200   | 84    | 106   | 88    |
| 5      | 208   | 80    | 104   | 66    |
| 6      | 206   | 82    | 102   | 90    |
| 7      | 204   | 80    | 100   | 76    |
| 8      | 202   | 76    | 220   | 80    |
| 9      | 200   | 48    | 222   | 68    |
| 10     | 198   | 50    | 218   | 88    |
| 11     | 196   | 78    | 216   | 68    |
| 12     | 194   | 76    | 214   | 66    |
| 13     | 192   | 74    | 212   | 64    |
| 14     | 190   | 72    | 210   | 62    |
| 15     | 188   | 70    | 208   | 60    |
| 16     | 186   | 90    | 206   | 58    |
| 17     | 184   | 82    | 204   | 56    |
| 18     | 182   | 84    | 202   | 54    |
| 19     | 180   | 86    | 200   | 52    |
| 20     | 196   | 80    | 198   | 50    |

### Пример расчёта

Определить число нейтронов в ядре элемента  ${}^A_ZX$ ,  $A=210$ ,  $Z=84$ .

#### Решение

Атомное число  $A$  показывает число нуклонов в ядре (т.е. суммарное количество нейтронов и протонов). Зарядовое число  $Z$  показывает число протонов в ядре. Тогда число нейтронов будет определяться по формуле:  $N = A - Z = 210 - 84 = 126$

Ответ: 126

### Задача 3

Человек массой \_\_\_ кг в течение \_\_\_ ч подвергся действию  $\gamma$ -излучения, мощность которого составляла \_\_\_ мкР/час. Считая, что основным поглощающим элементом являются мягкие ткани, найти экспозиционную, поглощённую и эквивалентную дозы облучения. Найти поглощённую энергию излучения в единицах СИ.

Исходные данные для задачи 3 представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Исходные данные для задачи 3

| № вар. | Масса человека, кг | Продолжительность воздействия, ч | Мощность излучения, мкР/час |
|--------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1      | 52                 | 5                                | 29                          |
| 2      | 45                 | 6                                | 28                          |
| 3      | 70                 | 7                                | 30                          |
| 4      | 90                 | 4                                | 31                          |
| 5      | 68                 | 3                                | 32                          |
| 6      | 59                 | 2                                | 35                          |
| 7      | 54                 | 7                                | 27                          |
| 8      | 62                 | 8                                | 25                          |
| 9      | 66                 | 5                                | 26                          |
| 10     | 61                 | 4                                | 32                          |
| 11     | 70                 | 6                                | 31                          |
| 12     | 72                 | 7                                | 30                          |
| 13     | 74                 | 4                                | 28                          |
| 14     | 75                 | 3                                | 36                          |
| 15     | 77                 | 2                                | 35                          |
| 16     | 80                 | 6                                | 34                          |
| 17     | 88                 | 7                                | 33                          |
| 18     | 84                 | 8                                | 32                          |
| 19     | 81                 | 4                                | 32                          |

|    |    |   |    |
|----|----|---|----|
| 20 | 79 | 5 | 31 |
|----|----|---|----|

### *Пример расчёта*

Человек весом 60 кг в течение 6 ч подвергался действию  $\gamma$ -излучения, мощность которого составляла 30 мкР/час. Считая, что основным поглощающим элементом являются мягкие ткани, найти экспозиционную, поглощённую и эквивалентную дозы облучения. Найти поглощённую энергию излучения в единицах СИ.

#### *Решение*

Экспозиционная доза облучения рассчитывается по формуле

$$X = N_x \times t$$

где  $N_x$  – мощность излучения, мкР/час;

$t$  – продолжительность воздействия, час.

Подставляя в неё известные нам значения, получаем  $X = 30 \times 6 = 180$  мкР.

$$D \text{ (рад)} = f \times X \text{ (Р)}.$$

Для мягких тканей  $f = 1$ . Отсюда следует, что  $D = 1 \times 180 = 180$  мкрад = 1,8 мкГр.

Эквивалентная доза облучения рассчитывается по формуле:

$$H = k \times D,$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий степень опасности различных видов радиации (для  $\gamma$ -излучения  $k = 1$ ).

В системе СИ для измерения эквивалентной дозы используется – Зиверт (Зв). Используемая внесистемная единица эквивалентной дозы – Бэр (бэр).

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$

Отсюда следует, что  $H = 1 \times 1,8 \text{ мкЗв} = 180 \text{ мкбэр}$ .

Поглощённая человеком энергия определяется по формуле:

$$E = D \times m,$$

где  $m$  – масса (вес) человека, кг.

Подставляя значения, получаем  $\Delta E = 1,8 \times 60 = 108$  мкДж.

Ответ:  $X = 180$  мкР;  $D = 180$  мкрад = 1,8 мкГр;  $H = 1,8$  мкЗв = 180 мкбэр;  $E = 108$  мкДж.

### **Задача 4**

На сколько градусов увеличится температура фантома (модели человеческого тела) массой \_\_\_ кг при дозе  $\gamma$ -излучения ( $X$ ) \_\_\_ Р? Удельная теплоёмкость фантома ( $c$ ) = \_\_\_ Дж/кг. Считать, что

вся полученная энергия идёт на нагревание. Исходные данные для задачи 4 представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Исходные данные для задачи 4

| № вар. | Масса человека, кг | Доза $\gamma$ -излучения, Р | Удельная теплоёмкость фантома Дж/кг |
|--------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1      | 52                 | 500                         | $4,0 \times 10^3$                   |
| 2      | 45                 | 550                         | $4,0 \times 10^3$                   |
| 3      | 70                 | 560                         | $4,3 \times 10^3$                   |
| 4      | 90                 | 580                         | $4,4 \times 10^3$                   |
| 5      | 68                 | 590                         | $4,5 \times 10^3$                   |
| 6      | 59                 | 570                         | $4,6 \times 10^3$                   |
| 7      | 54                 | 610                         | $3,8 \times 10^3$                   |
| 8      | 62                 | 612                         | $3,9 \times 10^3$                   |
| 9      | 66                 | 620                         | $5,0 \times 10^3$                   |
| 10     | 61                 | 588                         | $4,7 \times 10^3$                   |
| 11     | 70                 | 592                         | $4,8 \times 10^3$                   |
| 12     | 72                 | 598                         | $4,9 \times 10^3$                   |
| 13     | 74                 | 602                         | $3,0 \times 10^3$                   |
| 14     | 75                 | 604                         | $3,1 \times 10^3$                   |
| 15     | 77                 | 606                         | $3,2 \times 10^3$                   |
| 16     | 80                 | 608                         | $3,3 \times 10^3$                   |
| 17     | 88                 | 510                         | $3,4 \times 10^3$                   |
| 18     | 84                 | 520                         | $3,5 \times 10^3$                   |
| 19     | 81                 | 530                         | $3,6 \times 10^3$                   |
| 20     | 79                 | 550                         | $3,7 \times 10^3$                   |

*Пример расчёта*

На сколько градусов увеличится температура фантома (модели человеческого тела) массой 70 кг при дозе  $\gamma$ -излучения  $X=600$  Р? Удельная теплоёмкость фантома  $c = 4,2 \times 10^3$  Дж/кг. Считать, что вся полученная энергия идёт на нагревание.

*Решение*

600 Р соответствует 600 рад. поглощённой дозы.

1 рад = 0,01 Дж/кг.

В единицах СИ:  $D=6$  Дж/кг.

Поглощенная энергия рассчитывается по формуле:

$$E = D \times m,$$

где  $m$  – масса (вес) человека, кг.

Подставляя значения, получаем  $E = 6 \times 70 = 420$  Дж.

Получение теплоты сопровождается повышением температур

$$Q=E; Q=c \times m \times \Delta t.$$

$$\text{Отсюда, } \Delta t = \frac{E}{(m \times c)} = \frac{420}{(70 \times 4200)} = \frac{1}{700} = 0,0014 \text{ К}$$

Ответ:  $\Delta t=0,0014 \text{ К}$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое нуклоны?
2. Что называют массовым числом?
3. Что такое атомный номер?
4. Дайте определение понятию «радиоактивность».
5. Какие ядра называются радиоактивными?
6. Какие ядра называются стабильными?
7. Виды радиоактивности, их характеристика.
8. Какие ядра называются материнскими, дочерними?
9. Когда и кем было открыто явление радиоактивности?
10. Сформулируйте закон радиоактивного распада.
11. Что называют периодом полураспада?
12. Альфа-распад.
13. Бета-распад, его виды.
14. Гамма-распад (изомерный переход).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### РАСЧЁТ ЭКОРИСКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ВРЕДА ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ ЗАРАЖЁННЫХ ПРОДУКТОВ

*Цель работы:* приобретение знаний и навыков по расчёту экологического риска и индекса вреда от употребления в пищу заражённых продуктов.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Экологический риск** – это оценка на всех уровнях (от точечного до глобального) вероятности появления негативных изменений в окружающей среде, вызванных антропогенным или иным воздействием. Под экологическим риском понимают также вероятностную меру опасности причинения вреда природной среде в виде возможных потерь за определенное время.

Выделяют две основных категории рисков: риск абсолютный и риск относительный.

**Абсолютный риск** – число дополнительных случаев патологических эффектов, вызванных воздействием какого-либо фактора или их комбинации в пересчете единицы дозы и единицы времени на человека. Например, заболевания (частота) вследствие облучения составляют только часть от общего риска, т.е. избыток, обусловленный облучением (мы предполагаем, что воздействие факторов аддитивно) над спонтанным (ожидаемым) уровнем. В самой элементарной форме абсолютный риск характеризуется отношением пострадавших (заболевших не только от облучения) людей к численности популяции.

**Относительный риск** – отношение частоты неблагоприятных эффектов в популяции, подвергшейся воздействию вредного фактора, к частоте таких же эффектов при отсутствии действия фактора (в той же популяции). Под выражением «той же популяции» подразумевается подобие половой, возрастной, этнической и социальной структур.

#### Правила допустимого экологического риска

- 1) неизбежность потерь в природной среде;
- 2) минимальность потерь в природной среде;

- 3) реальная возможность восстановления потерь в природной среде;
- 4) отсутствие вреда здоровью человека и необратимость изменений в природной среде;
- 5) соразмерность экологического вреда и экономического эффекта.

### **Составляющие экологического риска**

- оценка состояния здоровья человека и возможного числа жертв;
- оценка состояния биоты (в первую очередь фотосинтезирующих организмов) по биологическим интегральным показателям;
- оценка воздействия загрязняющих веществ, техногенных аварий и стихийных бедствий на человека и окружающую природную среду.

### **Классификация рисков**

Экологический риск, как один из видов риска, можно классифицировать по масштабу проявления, по степени допустимости, по прогнозированию, по возможности предотвращения, по возможности страхования.

Исходя из причин возникновения, можно представить такую классификацию экологических рисков.

*Природно-экологические риски* – риски, обусловленные изменениями в окружающей природной среде.

*Технико-экологические риски* – риски, обусловленные появлением и развитием техносферы:

*Риск устойчивых техногенных воздействий* – риск, связанный с изменениями окружающей среды в результате обычной хозяйственной деятельности;

*Риск катастрофических воздействий* – риск, связанный с изменениями окружающей среды в результате техногенных катастроф, аварий, инцидентов.

*Социально-экологические риски* – риски, обусловленные защитной реакцией государства и общества на обострение экологической обстановки:

*Эколого-нормативный риск* – риск, обусловленный принятием экологических законов и норм или их постоянным ужесточением;

*Эколого-политический риск* – риск, обусловленный экологическими акциями протеста.

*Экономо-экологические риски* – риски, обусловленные финансово-хозяйственной деятельностью.

### **Оценка экологического риска**

**Оценка экологических рисков** – это выявление и оценка вероятности наступления событий, имеющих неблагоприятные последствия для состояния окружающей среды, здоровья населения, деятельности предприятия и вызванного загрязнением окружающей среды, нарушением экологических требований, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

Оценка экологических рисков включает следующие *этапы*:

- ◆ установление, какие аварийные ситуации, связанные с загрязнением окружающей среды, могут возникнуть вследствие проекта

- ◆ оценка стоимости работ по полному устранению экологически значимых последствий, вызванных аварийной ситуацией каждого вида

- ◆ определение вероятностей аварийных ситуаций каждого вида.

### **МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДЕКСА ВРЕДА ОТ УПОТРЕБЛЕНИЯ В ПИЩУ ЗАГРЯЗНЁННЫХ ПРОДУКТОВ**

**Индекс ежедневного потребления заражённой воды** можно рассчитать по формуле:

$$I = \frac{C \times V \times n \times t}{m \times N} \quad (1)$$

где I – индекс ежедневного потребления заражённой воды, мг/кг в день;

C – концентрация загрязняющего вещества;

V – потребление воды в сутки, л;

n – частота потребления, день;

t – продолжительность воздействия, год;  
m – масса тела человека, кг;  
N – частота воздействия, день.

**Риск ежедневного потребления заражённой воды:**

$$Risk = I \times a \quad (2)$$

где a – фактор злокачественного новообразования, (мг/кг в день)<sup>-1</sup>

**Дневная доза хронического воздействия от загрязняющего вещества** (мг/кг в день) рассчитывается по формуле (3)

$$E = \frac{C \times V}{m} \quad (3)$$

**Коэффициент вреда загрязняющего вещества:**

$$HI = \frac{E}{D} \quad (4)$$

где HI – коэффициент вреда загрязняющего вещества;  
D – пороговое значение загрязняющего вещества, мг/кг.

**Общий индекс вреда загрязняющих веществ:**

$$HI_{общ} = \sum_{i=1}^n HI \quad (5)$$

Если  $HI < 1$ , то ущерба здоровью нет.

**Индекс вреда от употребления в пищу загрязнённых продуктов** (мг/кг) рассчитывается по формуле 6.

$$Ir = \frac{C \times q \times f}{m} \quad (6)$$

где q – потребление продукта в пищу, г/день;  
C – концентрация, мг/кг;  
f – доля загрязнённого продукта в общем объёме потребления;  
m – масса тела человека, кг.

**Индекс вреда, связанный с хроническим потреблением в пищу загрязнённых продуктов:**

$$IR = \frac{Ir}{D} \quad (7)$$

где  $I_r$  – индекс вреда от употребления в пищу загрязнённых продуктов, мг/кг;  
 $D$  – пороговое значение загрязняющего вещества, мг/кг.

### **ЗАДАНИЕ**

Произвести расчёт экологического риска и определить индекс вреда от употребления в пищу заражённых продуктов (в соответствии с вариантом).

#### **Вариант 1**

Рассчитайте вероятность возникновения (риск) злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,000875 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 70 кг; частота потребления 70 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,029 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

#### **Вариант 2**

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 3,5; 0,0035 и 0,0105 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 70 кг; частота потребления 70 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### Вариант 3

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,107 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,8. Потребление рыбы в пищу составляет 6,5 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 70 лет, вес тела человека 70 кг. Время усреднения составляет 70 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### Вариант 4

Рассчитайте вероятность (риск) возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,000529 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 55 кг; частота потребления 65 дней в году; продолжительность воздействия 65 лет; ежедневное потребление воды 1 л. Период усреднения равен 65 годам при частоте 360 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,031 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### Вариант 5

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 2,9; 0,0075 и 0,0095 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 70 кг; частота потребления 70 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### **Вариант 6**

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,267 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,7. Потребление рыбы в пищу составляет 9,5 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 70 лет, вес тела человека 90 кг. Время усреднения составляет 70 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### **Вариант 7**

Рассчитайте вероятность (риск) возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,000569 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 49 кг; частота потребления 90 дней в году; продолжительность воздействия 90 лет; ежедневное потребление воды 1,5 л. Период усреднения равен 90 годам при частоте 330 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,044 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### **Вариант 8**

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 3,1; 0,0195 и 0,0049 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 20 кг; частота потребления 80 дней в году; продолжительность воздействия 80 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 80 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### Вариант 9

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,164 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,3. Потребление рыбы в пищу составляет 10,15 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 50 лет, вес тела человека 64 кг. Время усреднения составляет 50 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### Вариант 10

Рассчитайте вероятность (риск) возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,00170 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 80 кг; частота потребления 25 дней в году; продолжительность воздействия 25 лет; ежедневное потребление воды 3 л. Период усреднения равен 25 годам при частоте 365 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,049 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### Вариант 11

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 2,3; 0,0061 и 0,0074 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 73 кг; частота потребления 60 дней в году; продолжительность воздействия 60 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 60 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### **Вариант 12**

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,457 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,54. Потребление рыбы в пищу составляет 4,5 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 70 лет, вес тела человека 56 кг. Время усреднения составляет 70 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### **Вариант 13**

Рассчитайте вероятность (риск) возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,0004689 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 61 кг; частота потребления 45 дней в году; продолжительность воздействия 45 лет; ежедневное потребление воды 1 л. Период усреднения равен 45 годам при частоте 361 день за год. Фактор злокачественного новообразования 0,015 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### **Вариант 14**

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 5,9; 0,0031 и 0,0089 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 68 кг; частота потребления 40 дней в году; продолжительность воздействия 40 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 40 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### **Вариант 15**

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,4678 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,59. Потребление рыбы в пищу составляет 9,5 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 70 лет, вес тела человека 90 кг. Время усреднения составляет 70 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### **Вариант 16**

Рассчитайте вероятность (риск) возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,000529 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 85 кг; частота потребления 65 дней в году; продолжительность воздействия 65 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 65 годам при частоте 360 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,034 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### **Вариант 17**

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 2,9; 0,0075 и 0,0095 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 70 кг; частота потребления 70 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### **Вариант 18**

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,27889 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,8. Потребление рыбы в пищу составляет 10,1 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 70 лет, вес тела человека 90 кг. Время усреднения составляет 70 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### **Вариант 19**

Рассчитайте вероятность возникновения (риск) злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,000875 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 80 кг; частота потребления 95 дней в году; продолжительность воздействия 60 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 60 годам при частоте 365 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,029 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### **Вариант 20**

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 3,1; 0,0022 и 0,0111 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 100 кг; частота потребления 110 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет; ежедневное потребление воды 2,5 л. Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### **Вариант 21**

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,101 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,74. Потребление рыбы в пищу составляет 6,0 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 50 лет, вес тела человека 70 кг. Время усреднения составляет 70 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### **Вариант 22**

Рассчитайте вероятность (риск) возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,000529 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 50 кг; частота потребления 65 дней в году; продолжительность воздействия 60 лет; ежедневное потребление воды 1,5 л. Период усреднения равен 65 годам при частоте 360 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,031 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### **Вариант 23**

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 2,4; 0,0069 и 0,0083 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 30 кг; частота потребления 50 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет; ежедневное потребление воды 1,5 л. Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### **Вариант 24**

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,301 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,69. Потребление рыбы в пищу составляет 8,7 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 70 лет, вес тела человека 60 кг. Время усреднения составляет 70 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### **Вариант 25**

Рассчитайте вероятность (риск) возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,000541 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 40 кг; частота потребления 60 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет; ежедневное потребление воды 1,5 л. Период усреднения равен 60 годам при частоте 230 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,044 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### **Вариант 26**

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 2,8; 0,0173 и 0,0061 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 20 кг; частота потребления 100 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет; ежедневное потребление воды 1 л. Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### **Вариант 27**

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,156 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,26. Потребление рыбы в пищу составляет 8,5 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 50 лет, вес тела человека 84 кг. Время усреднения составляет 50 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### **Вариант 28**

Рассчитайте вероятность (риск) возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении заражённой бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Сделайте вывод о том, сколько человек подвергается риску заболевания.

Исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,00185 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 110 кг; частота потребления 35 дней в году; продолжительность воздействия 35 лет; ежедневное потребление воды 3 л. Период усреднения равен 35 годам при частоте 365 дней за год. Фактор злокачественного новообразования 0,049 (мг/кг в день)<sup>-1</sup>.

### **Вариант 29**

Рассчитайте индекс вреда от неканцерогенного воздействия загрязнённой воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 2,1; 0,0047 и 0,0053 мг/л соответственно. Сделайте вывод о том, существует ли ущерб здоровью населения.

Исходные данные: вес человека, подвергающегося воздействию, 51 кг; частота потребления 50 дней в году; продолжительность воздействия 60 лет; ежедневное потребление воды 2 л. Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год. Пороговое значение фенола 0,6 мг/кг в день, нитробензола 0,0005 мг/кг в день, цианида 0,002 мг/кг в день.

### **Вариант 30**

Рассчитайте индекс вреда, связанный с хроническим употреблением в пищу рыбы, загрязнённой фенолом. Концентрация фенола в рыбе равна 0,18182 мг/кг. Доля загрязнённого продукта в общем объёме потребляемой рыбы равна 0,91. Потребление рыбы в пищу составляет 9,7 г/день при частоте воздействия 365 дней в году. Продолжительность воздействия 70 лет, вес тела человека 95 кг. Время усреднения составляет 70 лет при частоте усреднения 365 дней за год. Пороговое значение фенола равно 0,6 мг/кг в день.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Дайте определение понятию «экологический риск».
2. Абсолютный и относительный риски: сходства, отличия.
3. Правила допустимого экологического риска.
4. Составляющие экологического риска.
5. Классификация экологического риска по причинам возникновения.
6. Оценка экологического риска.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### КОНТРОЛЬ РАДИОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ДОЗИМЕТРОМ ДРГ-01Т1

#### **Цель работы:**

- 1) ознакомиться с техническими характеристиками, назначением, принципом действия дозиметра ДРГ-01Т1;
- 2) научиться производить контроль радиоактивного заражения местности с его помощью.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сегодня источники ионизирующих излучений (ИИИ) используются практически во всех отраслях народного хозяйства: в науке; ядерной энергетике, в промышленности, в медицине. Радиация очень опасна для здоровья человека, поэтому радиационная безопасность и защита от нее является одним из важнейших вопросов современности.

**Радиоактивность** – самопроизвольное превращение ядер атомов одних элементов в другие, сопровождающееся испусканием ионизирующих излучений.

**Вещество радиоактивное** – вещество в любом агрегатном состоянии, содержащее радионуклиды с активностью, на которые распространяются требования НРБ-99 и ОСПОРБ-99.

**Радиационный контроль** – контроль за соблюдением норм радиационной безопасности и основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и иными источниками ионизирующего излучения, а также получение информации об уровнях облучения людей и о радиационной обстановке на объекте и в окружающей среде.

**Ионизирующее излучение** – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.

Для характеристики поля фотонного излучения при его воздействии на среду используют экспозиционную дозу, которая определяет ионизационную способность только рентгеновского и гамма-излучения в воздухе.

**Доза экспозиционная фотонного излучения** – это отношение суммарного заряда всех ионов одного знака в воздухе при полном

торможении электронов и позитронов, которые были образованы фотонами в объеме воздуха, к массе воздуха в этом объеме. Единицей экспозиционной дозы в системе СИ является кулон (Кл) на 1 кг воздуха. Внесистемной единицей экспозиционной дозы является рентген (Р).

### **Назначение дозиметра ДРГ-01Т1**

Дозиметр ДРГ-01Т1 – цифровой широко диапазонный носимый дозиметр мощности экспозиционной дозы фотонного излучения (далее – дозиметр).

Дозиметр предназначен для измерения мощности экспозиционной дозы на рабочих местах, в смежных помещениях и на территории предприятий, использующих радиоактивные вещества и другие источники ионизирующих излучений, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения. Кроме того, дозиметр может быть использован для контроля эффективности биологической защиты, радиационных упаковок и радиоактивных отходов, а также измерения мощности экспозиционной дозы в период возникновения, протекания и ликвидации последствий аварийных ситуаций.

Дозиметр применяется для оперативного группового контроля мощности экспозиционной дозы работниками служб радиационной безопасности, дефектоскопических лабораторий, санитарно-эпидемиологических станций и т.д.

Дозиметр соответствует 4 группе ГОСТ 22261-82 и предназначен для работы в условиях:

- при температуре окружающего воздуха от минус 10 до плюс 40 °С;
- при относительной влажности воздуха до 90% при +30 °С;
- при атмосферном давлении от 84 до 106,7 кПа
- при наличии фонового нейтронного излучения;
- в условиях загрязнения помещений радиоактивными веществами;
- в помещениях с плохой освещенностью и темноте;
- в постоянных магнитных полях напряженностью 318,31 А/м.

Работа с дозиметром должна проводиться в условиях, которые не выходят за пределы рабочих условий эксплуатации. Дозиметр во

время перерывов в работе должен быть выключен во избежание непроизводительного расходования энергии источника питания.

В условиях работ, при которых возможно радиоактивное загрязнение поверхности дозиметра, а также при неблагоприятных погодных условиях (осадки, пыль), необходимо использовать защитный полиэтиленовый чехол.

В случае попадания радиоактивной влаги и пыли на корпус дозиметра, удаление должно производиться тканью, смоченной этиловым спиртом.

В условиях работ в помещениях с плохой освещенностью и в темноте для подсветки шкалы цифрового индикатора следует пользоваться кнопкой

Длительное нажатие кнопки подсветки приводит к непроизводительному расходованию энергии источника питания.

Замена источника питания производится в следующей последовательности:

- 1) открыть крышку отсека источника питания, отвернув винт М 2,5×8;
- 2) вынуть колодку питания из отсека на длину проводов;
- 3) придерживая колодку питания, отсоединить источник питания и соединить между собой соответствующие контакты нового источника питания и колодки;
- 4) поместить колодку питания в отсек;
- 5) закрыть крышку отсека источника питания, завернув винт М 2,5×8<sup>1</sup>.

### **Технические характеристики дозиметра ДРГ-01Т1**

Дозиметр обеспечивает измерение мощности экс позиционной дозы в интервале энергий фотонов от 8 до 480 Дж (от 0,050 МэВ до 3,0 МэВ).

Измерение мощности экспозиционной дозы возможно в двух режимах работы:

- 1) режим – «Поиск»;
- 2) режим – «Измерение».

Дозиметр в режимах работы «Измерение» и «Поиск» обеспечивает измерение мощности экспозиционной дозы в

---

<sup>1</sup> В отсеке питания возможна установка аккумуляторной батареи 7Д-0, 115-У 1.1

диапазоне от 0,010 мР/ч до 9,999 Р/ч с разбивкой всего диапазона на два поддиапазона:

- I- от 0,010 мР/ч до 9,999 мР/ч;
- II - от 0,010 Р/ч до 9,999 Р/ч.

В режиме работы «Поиск» дозиметр обеспечивает измерение мощности экспозиционной дозы в диапазоне от 0,10 мР/ч до 99,99 Р/ч с разбивкой всего диапазона на два поддиапазона:

- I- от 0,10 мР/ч до 99,99 мР/ч;
- II - от 0,10 Р/ч до 99,99 Р/ч.

Время измерения в режиме работе «Измерение» не превышает 25 с, в режиме «Поиск» – 2,5 с,

Время установления рабочего режима не более 4 с.

Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения (для 95% доверительного интервала) в любой точке поддиапазона при градуировке по источнику II-го разряда цезий-137 в нормальных условиях<sup>2</sup> применения составляет:

- в режиме работы «Измерение»  $\pm [15+0,05 (y / \bar{y}-1)]\%$
- в режиме работы «Поиск»  $\pm [30+0,01 (\bar{y} / y-1)]\%$

где  $\bar{y}$  – измеренное значение мощности экспозиционной дозы в единицах соответствующего поддиапазона измерения (мР/ч или Р/ч);

$y$  – предел измерения в единицах соответствующего поддиапазона измерения (мР/ч или Р/ч).

Значения влияющих величин, характеризующих климатические воздействия в рабочих условиях применения, составляют:

- 1) температура окружающего воздуха (от минус 10 до плюс 40) °С;
- 2) относительная влажность воздуха (до 90% при +30 °С);
- 3) атмосферное давление (от 84 до 106,7) кПа.

Дополнительная относительная погрешность прибора от изменения температуры в рабочих условиях применения не превышает  $\pm 3\%$  на 10 °С от показаний дозиметра в нормальных условиях.

Дополнительная относительная погрешность прибора от изменения относительной влажности воздуха в рабочих условиях применения не превышает  $\pm 15\%$  от показаний дозиметра в нормальных условиях.

---

<sup>2</sup> Нормальным климатическим условиям соответствуют: температура окружающего воздуха (20±5) °С; относительная влажность воздуха (от 30 до 80) %; атмосферное давление (от 84 до 106,7) кПа.

В качестве детекторов излучения использованы четыре газоразрядных счетчика СБМ-20 и два счетчика СИ-34Г (СИ-40Г) с корректирующими свинцовыми фильтрами для выравнивания энергетической зависимости чувствительности.

Нормальное рабочее положение дозиметра, соответствующее максимальной чувствительности – направление излучения перпендикулярно плоскости расположения детекторов (геометрический центр секторов обозначен на задней крышке дозиметра).

В качестве источника питания в дозиметре используется батарея типа «Корунд».

Наработка на отказ дозиметра не менее 5000 часов.

Установленный срок службы дозиметра до капитального ремонта не менее 8 лет. Полный срок службы – не менее 10 лет.

Габаритные размеры дозиметра не превышают 175×90×55 мм.

Масса дозиметра (без источника питания) не превышает 0,6 кг.

### **Устройство и принцип работы дозиметра ДРГ-01Т1**

Конструктивно дозиметр выполнен из двух частей: литого корпуса и плат печатного монтажа (рис. 3.1). Внутри литого корпуса расположены три платы печатного монтажа с размещенными на них деталями электронной схемы: плата индикации; плата управления; плата детекторов.

Структурно функциональные блоки прибора представлены следующими устройствами: четырехразрядным счетчиком импульсов, дешифратором, формирователем входного потока импульсов, регулируемым генератором частоты, стробирующем устройством, формирователем временного интервала, устройством команд, одновибратором и управляемым высоковольтным преобразователем.



Рисунок 3.1 – Дозиметр ДРГ-01Т1

В газоразрядных счетчиках СБМ-20, СИ 34Г (СИ 40Г) под воздействием гамма-квантов генерируются электрические импульсы тока, поступающие на формирователь входного потока импульсов, входной каскад которого преобразует импульсы тока в импульсы напряжения с амплитудой, необходимой для регистрации дальнейшей счетной схемой. С выхода делителя частоты формирователя импульсного потока импульсы поступают на четырехразрядный счетчик. Накопленная информация за время измерения на счетчике поступает на индикатор через деформацию счетчика в семисегментный позиционный код индикатора.

Время измерения определяется частотой регулируемого генератора и коэффициентом деления числа импульсов формирователем временного интервала. Изменением (регулировкой) времени измерения производится масштабирование (преобразование) входной информации с детекторов в абсолютную величину выходного параметра (мР/ч, Р/ч).

Одновибратор импульсов выполняет двойную функцию: осуществляет совместно со стробирующим устройством коррекцию нелинейности счетной характеристики, вызванной просчетами («мертвым временем») детекторов и осуществляет управление мощностью высоковольтного преобразователя напряжения для питания детекторов в зависимости от их загрузки.

Устройство команд вырабатывает импульсы управления основными узлами дозиметра в различных режимах работы.

Принцип работы дозиметра заключается в следующем: фотонное излучение, воздействуя на газоразрядные счетчики, вызывает появление в них электрических импульсов тока, которые поступают на входной каскад. Он преобразует импульсы тока в импульсы напряжения, которые с коллектора через контакты переключателя режимов работы поступают на вход делителя частоты. С выхода делителя входная частота с детекторов поступает на устройство индикации для дальнейшей обработки.

### **Подготовка к работе дозиметра ДРГ-01Т1**

1. Изучить до начала работы с дозиметром настоящие методические указания, принцип работы и назначение органов управления.

2. Произвести внешний осмотр. Установить в отсеке питания батарею «Корунд», соблюдая полярность.

3. Включить дозиметр, для чего установить переключатель поддиапазона в одно из положений: мР/ч или Р/ч, а переключатель режимов работы в положение КОНТР.

4. Осуществить сброс показаний нажатием кнопки СБРОС.

5. На цифровом табло при правильном функционировании счетных устройств дозиметра и пригодности источника питания должно отображаться число  $0513 \pm 1$ .

6. Прибор готов к работе.

### **Порядок работы**

1. Установить переключатель режимов работы в положение ПОИСК, переключатель поддиапазонов измерения в положение мР/ч.

2. Произвести сброс показаний нажатием кнопки СБРОС.

3. Определить направление излучения по максимальным показаниям на цифровом табло, ориентируя дозиметр в пространстве. Отсчет показаний производится непосредственно в единицах установленного поддиапазона измерения.

4. В режиме работы «Поиск» смена информации на цифровом табло осуществляется автоматически в такт с миганием запятой в младшем разряде.

5. Для повышения точности измерения при уровнях мощности дозы в пределах до 9,999 мР/ч или до 9,999 Р/ч

соответствующих поддиапазонов, определение действительного значения целесообразно производить в положении ИЗМЕР переключателя режима работы.

6. В режиме работы «Измерение» на цифровом табло отображаются нули во всех разрядах и мигает запятая в младшем разряде. Отсчет показаний производится в конце цикла измерения в момент прекращения мигания запятой младшего разряда. Показания на цифровом табло сохраняются до момента нажатия кнопки СБРОС и запуска дозиметра на новый цикл измерения.

7. При уровнях мощности дозы, превышающих предельные значения на каждом поддиапазоне измерения, на цифровом табло отображается переполнение – высвечивается символ «П» и отсутствует мигание запятой младшего разряда.

8. При отображении переполнения на поддиапазоне мР/ч в режиме работы «Измерение» переключатель режимов работы перевести в положение ПОИСК. Если в этом режиме работы отображается переполнение, необходимо переключатель поддиапазонов перевести в положение Р/ч и нажатием кнопки СБРОС запустить дозиметр.

9. При эксплуатации дозиметра в условиях повышенной влажности воздуха и минусовой температуре необходимо использовать форсированный режим работы преобразователя высокого напряжения, для чего нажать кнопку СБРОС и удерживать ее в течение всего цикла измерения в режимах работы «Поиск» или «Измерение»<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Длительное нажатие кнопки СБРОС в нормальных условиях применения приводит к неоправданному расходу энергии источника питания.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение понятию «радиоактивное заражение».
2. Дать определение понятию «экспозиционная доза».
3. Единицы измерения экспозиционной дозы.
4. Что такое «радиоактивность»?
5. Какое вещество принято считать радиоактивным?
6. Дать определение «ионизирующее излучение».
7. Принцип действия дозиметра ДРГ-01Т1.
8. Назначение, основные технические характеристики прибора ДРГ-01Т1.
9. Порядок подготовки прибора ДРГ-1Т1 к работе и проведение измерений.
10. В чем заключается радиационный контроль?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### РАСЧЕТ УРОВНЯ РАДИАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ РАДИАЦИОННОГО ЗАРАЖЕНИЯ

#### *Цель работы:*

1) ознакомиться с порядком действий при оценке радиационной обстановки, рассчитать уровень радиации, определить зону радиационного заражения.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Проникающая радиация ядерного взрыва* представляет собой совместное нейтронное и  $\gamma$ -излучение, обладающее огромной энергией. Эти виды излучения различны по своим физическим свойствам, а общим для них является то, что они способны распространяться на расстояния до 2,5–3 км. Проходя через биологическую ткань,  $\gamma$ -кванты и нейтроны могут разрушать любые химические связи и ионизировать атомы, входящие в состав живых клеток. В результате такого воздействия нарушается нормальный обмен веществ и изменяется характер жизнедеятельности клеток, отдельных органов и систем организма, что приводит к возникновению специфического заболевания – *лучевой болезни*.

В зависимости от дозы облучения различают четыре степени лучевой болезни:

- ☒ первую (легкую);
- ☒ вторую (среднюю);
- ☒ третью (тяжелую);
- ☒ четвертую (крайне тяжелую).

Лучевая болезнь **I степени** возникает при суммарной дозе облучения 150–250 Р. Скрытый период продолжается две-три недели, после чего появляются недомогание, общая слабость, тошнота, головокружение, периодическое повышение температуры. В крови уменьшается содержание лейкоцитов. Лучевая болезнь I степени излечима.

Лучевая болезнь **II степени** возникает при суммарной дозе излучения 250–400 Р. Скрытый период длится около недели. Признаки заболевания выражены более ярко. При активном лечении выздоровление наступает через 1,5–2 мес.

Лучевая болезнь **III степени** наступает при дозе 400–600 Р. Скрытый период составляет несколько часов. Болезнь протекает интенсивно и тяжело. В случае благоприятного исхода выздоровление может наступить через 6–8 мес.

При дозе облучения свыше 600 Р возникает лучевая болезнь **IV степени**, которая без лечения обычно заканчивается смертью в течение двух недель.

При дозах, превышающих 5000 Р, люди, как правило, погибают в течение нескольких минут. Тяжесть поражения, в известной мере, зависит и от состояния организма до облучения и его индивидуальных особенностей. Сильное переутомление, голодание, болезнь, травмы, ожоги повышают чувствительность организма к воздействию проникающей радиации, при этом человек теряет сначала физическую работоспособность, а затем – умственную. Необходимо отметить, что проникающая радиация, кроме негативного воздействия на организмы людей и животных, а также на растения, вызывает обратимые и необратимые изменения в различных материалах и элементах электротехнического, радиотехнического и оптического назначения.

*Необратимые изменения* происходят вследствие появления дефектов в кристаллической решетке материалов и протекания различных физико-химических процессов, приводящих к нагреву, деструкции и сшиванию полимеров, окислению контактов, газо- и пылевыделению, появлению вторичного радиационного излучения и др.

Появление *обратимых изменений* связано с ионизацией материалов и окружающего воздуха, что обуславливает снижение сопротивления газовых сред и диэлектриков и возрастание утечек тока. Такие изменения снижают механическую прочность и изменяют физико-химические характеристики материалов и изделий, вносят помехи в работу различной аппаратуры, вплоть до полной утраты ее работоспособности. Учитывая опасность воздействия проникающей радиации, необходимо осуществлять контроль радиационной обстановки для оценки степени этой опасности, определения комплекса мер по защите людей и объектов, а также режимов функционирования формирований, проводящих спасательные и аварийно-восстановительные работы.

**Радиационная обстановка** – это совокупность последствий радиационного заражения местности, оказывающих влияние на

деятельность объектов народного хозяйства, формирований гражданской обороны (ГО) и населения. Радиационная обстановка складывается на территории административного района, населенного пункта или объекта в результате радиоактивного заражения местности и всех расположенных на ней предметов и требует принятия определенных мер защиты, исключающих или способствующих уменьшению потерь среди населения. Показателями степени опасности радиационного заражения для людей являются размеры зоны и характер радиационного заражения, т.е. уровни радиации.

**Оценка радиационной обстановки** осуществляется методами прогнозирования последствий ядерного взрыва и по данным радиационной разведки.

Она включает три компонента:

- ✓ определение масштабов и степени радиационного заражения;

- ✓ анализ полученных результатов и оценку их влияния на людей и производственную деятельность объектов народного хозяйства;

- ✓ выбор наиболее целесообразных вариантов действий, снижающих опасность радиационного поражения людей.

*Задачи, решаемые при оценке радиационной обстановки заключаются в определении:*

- ✗ возможных доз облучения при действиях на радиационно зараженной местности;

- ✗ допустимого времени пребывания людей на зараженной местности;

- ✗ времени ввода формирований ГО и продолжительности работы смен в очаге ядерного поражения;

- ✗ возможных потерь персонала объектов и населения.

Поскольку процесс формирования радиоактивных следов длится несколько часов, предварительно производят оценку радиационной обстановки по результатам прогнозирования радиоактивного заражения местности. Прогностические данные позволяют заблаговременно, т.е. до подхода радиоактивного облака к объекту, провести мероприятия по защите населения, рабочих, служащих и личного состава формирований, подготовке предприятия к переводу на режим работы в условиях радиоактивного заражения, подготовке противорадиационных

укрытий и средств индивидуальной защиты. Для прогнозирования радиационной обстановки на объекте народного хозяйства, размеры территории которого незначительны по сравнению с зонами радиоактивного заражения местности, принимают наиболее неблагоприятный вариант, когда ось следа радиоактивного облака ядерного взрыва проходит через середину территории предприятия.

*Исходными данными* для прогнозирования уровней радиоактивного заражения являются: время осуществления ядерного взрыва, его координаты, вид и мощность взрыва, направление и скорость среднего (по высоте подъема радиоактивного облака) ветра.

В зависимости от степени радиационного заражения и возможных последствий внешнего облучения, в районе ядерного взрыва и на следе радиоактивного облака выделяют следующие **зоны заражения:**

-  А – умеренная;
-  Б – сильная,
-  В – опасная;
-  Г – чрезвычайно опасная.

Их внешние границы определяют по значениям уровней радиации через 1 (10) ч после взрыва: зона А – 8 (0,5), Б – 80 (5,1), В – 240 (15), Г – 800 (51) Р/ч.

Оценка радиационной обстановки предполагает следующую последовательность действий:

1. На карту наносятся (рис. 4.1):
  - центр взрыва;
  - направление среднего ветра (ось следа радиоактивного облака);
  - зоны заражения вокруг центра с радиусами, определяемыми мощностью взрыва;
  - сектор, ограниченный касательными к очагу взрыва под углом 200 относительно оси следа;
  - границы зон заражения А, Б, В, Г, ограниченные дугами от центра взрыва, положение которых зависит от мощности взрыва и скорости среднего ветра;
  - фактическая зона заражения, располагающаяся в пределах полученного сектора с вероятностью 90 % и занимающая  $\frac{1}{3}$  площади сектора.

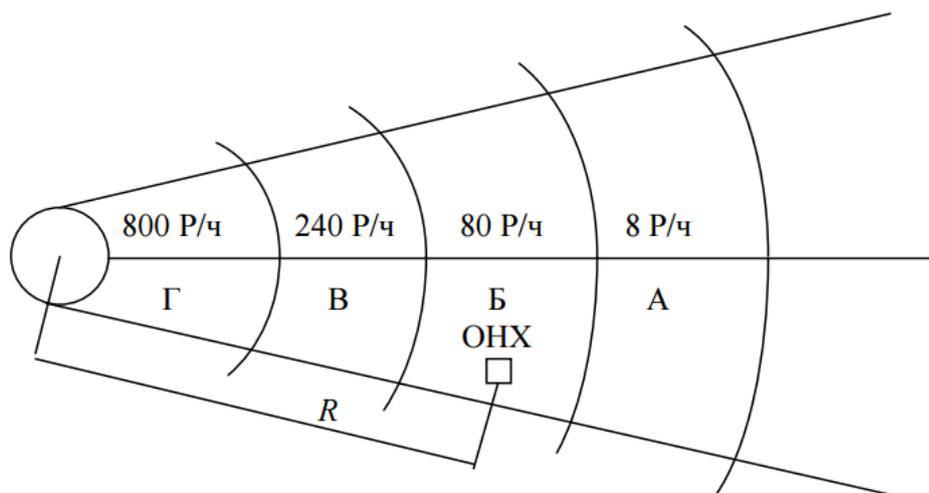


Рисунок 4.1 – Границы зон радиационного заражения в зависимости от уровня радиации через 1 ч после взрыва

2. Для объектов, попадающих в этот сектор, рассчитывают:

- время выпадения радиоактивных осадков

$$t = R/V, \quad (1)$$

где  $R$  – расстояние от центра взрыва, м;

$V$  – скорость среднего ветра, м/с;

- уровни радиации после выпадения радиоактивных веществ (РВ) (зная уровни радиации на внешних границах зон заражения через 1 час после взрыва и используя поправку на фактическое время выпадения осадков).

Характер изменения уровней радиации по оси следа радиоактивного заражения позволяет рассчитывать ожидаемое время выпадения радиоактивных веществ и максимально возможный уровень радиации на территории объекта, однако по результатам прогноза нельзя заранее, то есть до выпадения радиоактивных веществ на местности, определить с необходимой точностью уровень радиации на территории объекта.

Достоверные данные о радиоактивном заражении предоставляют группы (посты) радиационной разведки путем непосредственного замера уровней радиации с помощью дозиметрических приборов.

*Органы радиационной разведки* выявляют и определяют: время начала выпадения радиоактивных осадков; уровни радиации на местности; границы зон радиационного заражения.

## Приведение измеренных уровней радиации к заданному времени

На основании произведенных разведкой замеров осуществляется обоснование вариантов деятельности производственного объекта и действий формирований в условиях радиационного заражения, исключающих радиационное поражение людей. При выполнении расчетов, связанных с выявлением и оценкой радиационной обстановки, используют аналитические, графические и табличные зависимости. Зная уровень радиации и время, прошедшее после взрыва, можно рассчитать уровень радиации на любое заданное время с момента выброса радиоактивных веществ, используя следующую зависимость:

$$P_{\tau} = P_0 (\tau/\tau_0)^{-n}, \quad (2)$$

где  $P_{\tau}$  – уровень радиации в данный момент времени, Р/ч;

$P_0$  – уровень радиации в момент измерения, Р/ч;

$\tau$  – время от момента выброса РВ, на которое производится расчет, ч;

$\tau_0$  – время, прошедшее с момента выброса РВ до измерения уровня радиации, ч;

$n$  – показатель степени, характеризующий интенсивность спада радиации во времени.

Характер ядерного взрыва представлен на рисунке 4.2.

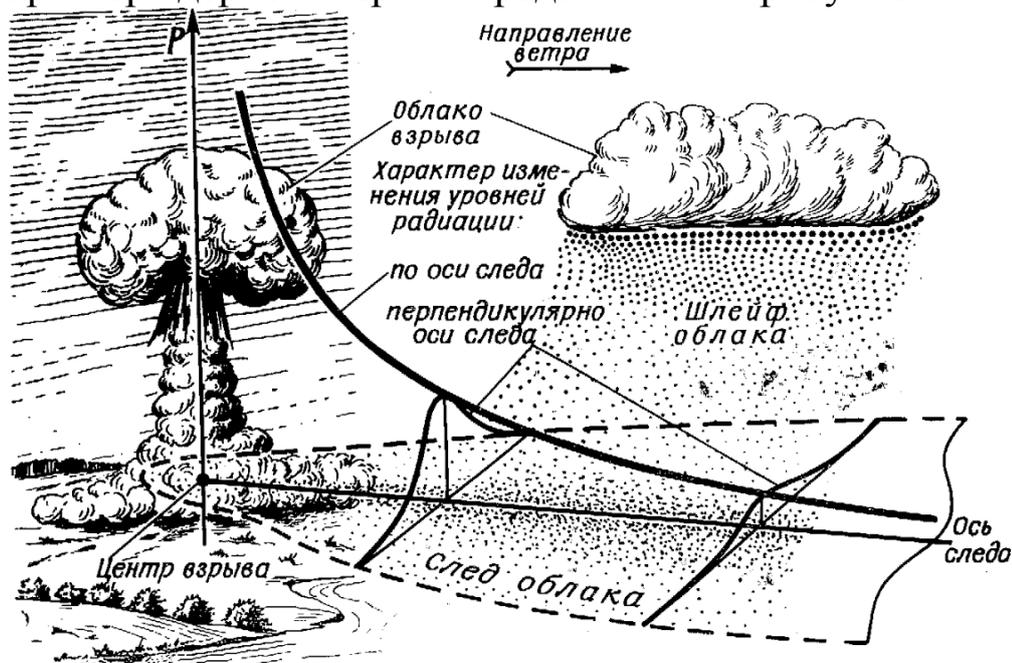


Рисунок 4.2 – Ядерный взрыв

Для наземного ядерного взрыва (НЯВ) (например, при аварии на АЭС) показатель степени ( $n$ ) составляет 0,4, а для воздушного (ВЯВ) – 1,2. Кривые, изображающие зависимость падения уровня радиации во времени, представлены на рисунке 4.3.

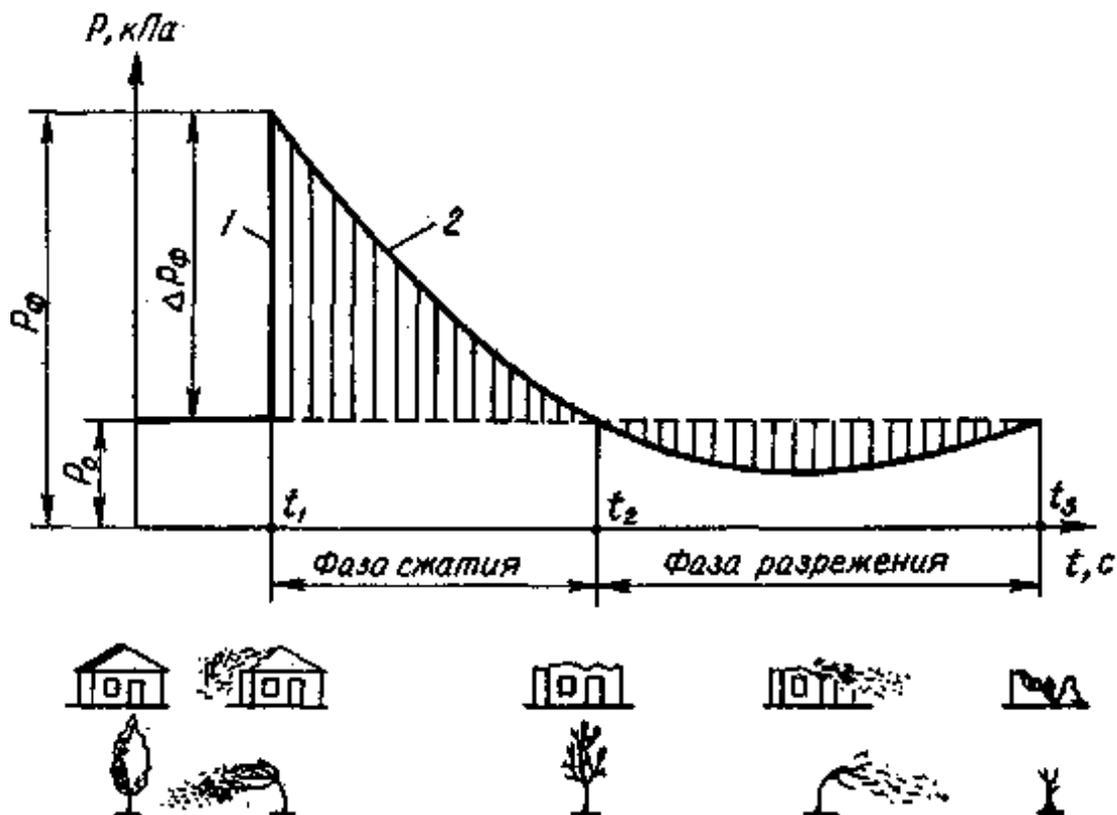


Рисунок 4.3 – Зависимость уровня радиации от времени:  
 1 – наземный; 2 – воздушный ядерный взрыв

Для облегчения расчетов величину  $(\tau/\tau_0)^{-n}$  обозначают как коэффициент пересчета ( $k$ ), при этом выражение для расчета уровня радиации преобразуется к виду

$$P_\tau = k \times P_0 \quad (3)$$

Значения коэффициентов пересчета для НЯВ приведены в табл. П.1, а для ВЯВ – в табл.П.2.

### Задача 1.

В результате аварии на АЭС в \_\_\_ ч \_\_\_ мин произошел выброс РВ. Уровень радиации на территории объекта, измеренный в \_\_\_ ч \_\_\_ мин, составлял \_\_\_ Р/ч. Определите уровень радиации через \_\_\_ ч после взрыва и зону радиационного заражения, в которой находится данный объект, используя исходные данные из таблицы 4.1.

Таблица 4.1

## Исходные данные для задачи 1

| Номер варианта | Время выброса | Время замера выброса | Уровень радиации во время замера, Р/ч | Расчётное время, ч |
|----------------|---------------|----------------------|---------------------------------------|--------------------|
| 1              | 9 ч. 10 мин.  | 11 ч. 20 мин.        | 70                                    | 7                  |
| 2              | 10 ч. 15 мин. | 12 ч. 00 мин.        | 72                                    | 6                  |
| 3              | 13 ч. 05 мин. | 16 ч. 10 мин.        | 71                                    | 8                  |
| 4              | 8 ч. 30 мин.  | 12 ч. 25 мин.        | 76                                    | 9                  |
| 5              | 9 ч. 00 мин.  | 13 ч. 00 мин.        | 75                                    | 10                 |
| 6              | 11 ч. 30 мин. | 14 ч. 50 мин.        | 81                                    | 2                  |
| 7              | 16 ч. 35 мин. | 19 ч. 05 мин.        | 80                                    | 3                  |
| 8              | 14 ч. 40 мин. | 15 ч. 20 мин.        | 79                                    | 4                  |
| 9              | 10 ч. 00 мин. | 12 ч. 40 мин.        | 75                                    | 5                  |
| 10             | 11 ч. 50 мин. | 14 ч. 00 мин.        | 76                                    | 7                  |
| 11             | 15 ч. 10 мин. | 17 ч. 20 мин.        | 74                                    | 8                  |
| 12             | 16 ч. 40 мин. | 18 ч. 20 мин.        | 77                                    | 9                  |
| 13             | 14 ч. 50 мин. | 17 ч. 00 мин.        | 78                                    | 1                  |
| 14             | 16 ч. 50 мин. | 19 ч. 00 мин.        | 79                                    | 2                  |
| 15             | 18 ч. 20 мин. | 20 ч. 10 мин.        | 70                                    | 5                  |
| 16             | 19 ч. 40 мин. | 22 ч. 15 мин.        | 71                                    | 7                  |
| 17             | 20 ч. 30 мин. | 21. 55 мин.          | 72                                    | 8                  |
| 18             | 16 ч. 10 мин. | 19 ч. 15 мин.        | 73                                    | 11                 |
| 19             | 15 ч. 45 мин. | 17 ч. 45 мин.        | 74                                    | 4                  |
| 20             | 16 ч. 40 мин. | 18 ч. 05 мин.        | 75                                    | 7                  |

*Пример расчёта*

В результате аварии на АЭС в 14 ч 40 мин произошел выброс РВ. Уровень радиации на территории объекта, измеренный в 16 ч 10 мин, составлял 75 Р/ч. Определите уровень радиации через 8 ч после взрыва и зону радиационного заражения, в которой находится данный объект.

*Решение*

Определяем разность между временем замера уровня радиации и временем ядерного взрыва:

$$\tau = 16.10 - 14.40 = 1.30 \text{ или } 1,5 \text{ ч.}$$

По табл. П.1 находим коэффициент пересчета уровней радиации с 1,5 ч на 8 ч после взрыва:

$$k = 0,51.$$

Определяем уровень радиации через 8 ч после ядерного взрыва по формуле (3):

$$P_{8ч} = 75 \times 0,51 = 38,25 \text{ Р/ч.}$$

Для определения зоны радиационного заражения необходимо оценить уровень радиации, который был через 1 час после выброса РВ. Коэффициент пересчета уровней радиации с 1,5 ч на 1 ч после взрыва равен 1,18 (табл. П.1).

Следовательно, уровень радиации на этот момент составлял  $P_{1ч} = 75 \times 1,18 = 88,5 \text{ Р/ч}$ , что соответствует зоне сильного радиационного заражения – Б.

### Задача 2

В результате воздушного ядерного взрыва, произошедшего в \_\_\_ ч \_\_\_ мин, в районе железнодорожной станции в \_\_\_ ч \_\_\_ мин зафиксирован уровень радиации \_\_\_ Р/ч. Определите, через какое время после взрыва уровень радиации снизится до \_\_\_ Р/ч, используя исходные данные из таблицы 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные для задачи 2

| Номер варианта | Время взрыва  | Время замера радиации | Уровень радиации во время замера, Р/ч | Снижение уровня радиации до заданного значения, Р/ч |
|----------------|---------------|-----------------------|---------------------------------------|---|
| 1              | 9 ч. 10 мин.  | 11 ч. 20 мин.         | 70                                    | 20  |
| 2              | 10 ч. 15 мин. | 12 ч. 00 мин.         | 100                                   | 40  |
| 3              | 13 ч. 05 мин. | 16 ч. 10 мин.         | 91                                    | 40  |
| 4              | 8 ч. 30 мин.  | 12 ч. 25 мин.         | 76                                    | 20  |
| 5              | 9 ч. 00 мин.  | 13 ч. 00 мин.         | 120                                   | 60  |
| 6              | 11 ч. 30 мин. | 14 ч. 50 мин.         | 100                                   | 70  |
| 7              | 16 ч. 35 мин. | 19 ч. 05 мин.         | 80                                    | 30  |
| 8              | 14 ч. 40 мин. | 15 ч. 20 мин.         | 79                                    | 40  |
| 9              | 10 ч. 00 мин. | 12 ч. 40 мин.         | 99                                    | 55  |
| 10             | 11 ч. 50 мин. | 14 ч. 00 мин.         | 110                                   | 50  |
| 11             | 15 ч. 10 мин. | 17 ч. 20 мин.         | 74                                    | 37  |
| 12             | 16 ч. 40 мин. | 18 ч. 20 мин.         | 90                                    | 39  |
| 13             | 14 ч. 50 мин. | 17 ч. 00 мин.         | 99                                    | 42  |
| 14             | 16 ч. 50 мин. | 19 ч. 00 мин.         | 79                                    | 40  |
| 15             | 18 ч. 20 мин. | 20 ч. 10 мин.         | 100                                   | 50  |
| 16             | 19 ч. 40 мин. | 22 ч. 15 мин.         | 101                                   | 45  |
| 17             | 20 ч. 30 мин. | 21. 55 мин.           | 92                                    | 54  |
| 18             | 16 ч. 10 мин. | 19 ч. 15 мин.         | 93                                    | 50  |

|    |               |               |     |    |
|----|---------------|---------------|-----|----|
| 19 | 15 ч. 45 мин. | 17 ч. 45 мин. | 84  | 40 |
| 20 | 16 ч. 40 мин. | 18 ч. 05 мин. | 115 | 30 |

### Пример расчёта

В результате воздушного ядерного взрыва, произошедшего в 7 ч 15 мин, в районе железнодорожной станции в 9 ч 15 мин зафиксирован уровень радиации 105 Р/ч. Определите, через какое время после взрыва уровень радиации снизится до 40 Р/ч.

#### Решение

Определяем разность между временем замера уровня радиации и временем ядерного взрыва:

$$\tau = 9.15 - 7.15 = 2.00 \text{ ч.}$$

Рассчитываем коэффициент пересчета с 2 ч до искомого времени, исходя из формулы (3):

$$k = p_{\tau} / p_0;$$

$$k = 40/105 = 0,38.$$

По табл. П.2 находим, что такой коэффициент пересчета со времени измерения (2 ч) соответствует времени после взрыва 4,5 ч (4.30).

Следовательно, радиация на объекте достигнет уровня 40 Р/ч к моменту времени, которое составит:

$$7.15 + 4.30 = 11 \text{ ч } 45 \text{ мин.}$$

### Задача 3

По данным радиационной разведки на территории производственного объекта через \_\_\_ ч \_\_\_ после наземного ядерного взрыва уровень радиации составил \_\_\_ Р/ч. Определите, к какой зоне радиационного заражения относится территория объекта и ожидаемый уровень радиации через \_\_\_ ч \_\_\_ мин после первого замера уровня радиации.

Таблица 4.3

Исходные данные для задачи 3

| Номер варианта | Время первого замера радиации | Время повторного замера радиации | Уровень радиации во время замера, Р/ч |
|----------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1              | 9 ч. 10 мин.                  | 9 ч. 40 мин.                     | 80                                    |
| 2              | 10 ч. 15 мин.                 | 10 ч. 45 мин.                    | 90                                    |
| 3              | 13 ч. 05 мин.                 | 13 ч. 35 мин.                    | 70                                    |
| 4              | 8 ч. 30 мин.                  | 9 ч. 00 мин.                     | 75                                    |

|    |               |               |     |
|----|---------------|---------------|-----|
| 5  | 9 ч. 00 мин.  | 9 ч. 30 мин.  | 80  |
| 6  | 11 ч. 30 мин. | 11 ч. 55 мин. | 90  |
| 7  | 16 ч. 35 мин. | 17 ч. 00 мин. | 70  |
| 8  | 14 ч. 40 мин. | 15 ч. 10 мин. | 89  |
| 9  | 10 ч. 00 мин. | 10 ч. 30 мин. | 100 |
| 10 | 11 ч. 50 мин. | 12 ч. 20 мин. | 105 |
| 11 | 15 ч. 10 мин. | 15 ч. 40 мин. | 84  |
| 12 | 16 ч. 40 мин. | 17 ч. 10 мин. | 69  |
| 13 | 14 ч. 50 мин. | 15 ч. 20 мин. | 75  |
| 14 | 16 ч. 50 мин. | 17 ч. 15 мин. | 110 |
| 15 | 18 ч. 20 мин. | 18 ч. 50 мин. | 95  |
| 16 | 19 ч. 40 мин. | 20 ч. 10 мин. | 70  |
| 17 | 20 ч. 30 мин. | 21 ч. 00 мин. | 80  |
| 18 | 16 ч. 10 мин. | 16 ч. 50 мин. | 69  |
| 19 | 15 ч. 45 мин. | 16 ч. 15 мин. | 80  |
| 20 | 16 ч. 40 мин. | 17 ч. 20 мин. | 75  |

### *Пример расчёта*

По данным радиационной разведки на территории производственного объекта через 2 ч 15 мин после наземного ядерного взрыва уровень радиации составил 60 Р/ч. Определите, к какой зоне радиационного заражения относится территория объекта и ожидаемый уровень радиации через 2 ч 45 мин после первого замера уровня радиации.

#### *Решение*

Для отнесения территории объекта к той или иной зоне радиационного заражения необходимо по формуле (2) или (3) вычислить уровень радиации через 1 ч после взрыва. При аналитическом решении задачи пользуемся формулой (2):

$$P_{1\text{ ч}} = P_{2,25\text{ ч}} \times (1/2,25)^{-0,4} = 60 \times 2,25^{0,4} = 83,0 \text{ Р/ч.}$$

Полученное значение уровня радиации через 1 ч после взрыва соответствует зоне сильного радиационного заражения – Б.

Аналогично вычисляем уровень радиации через 2,5 ч после замера, то есть для времени после взрыва, равном

$$\tau = 2,25 + 2,75 = 5 \text{ ч;}$$

$$P_{5\text{ ч}} = 60 \times (5/2,25)^{-0,4} = 43,6 \text{ Р/ч.}$$

При решении данной задачи с помощью табл. П.1 для нахождения коэффициента пересчета для формулы (3) необходимо произвести интерполяцию значений коэффициентов, поскольку в табл. П.1 приведены временные промежутки, кратные 0,5 ч.

По условиям задачи время замера равно 2,25 ч и находится в промежутке от 2,0 до 2,5 ч.

Значения  $k$  для пересчета со времени 2,0 и 2,5 ч на 1 ч составляют соответственно 1,32 и 1,44, а на 5 ч – соответственно 0,69 и 0,76.

Принимая, что изменение  $k$  в этом промежутке носит линейный характер, рассчитаем значения  $k_{2,25ч/1ч}$  и  $k_{2,25ч/5ч}$  следующим образом:

$$k_{2,25ч/1ч} = 1,32 + (1,44 - 1,32)/(2,5 - 2,0) \times (2,25 - 2,00) = 1,38;$$

$$k_{2,25ч/5ч} = 0,69 + (0,76 - 0,69)/(2,5 - 2,0) \times (2,25 - 2,00) = 0,725.$$

Тогда уровень радиации через 1 и 5 ч после взрыва составит соответственно

$$P_{1ч} = 60 \times 1,38 = 82,8 \text{ Р/ч};$$

$$P_{5ч} = 60 \times 0,725 = 43,5 \text{ Р/ч}.$$

Из представленных данных можно заключить, что результаты, полученные при интерполяции значений  $k$  из табл. П.1, практически совпадают с результатами расчета по формуле (2).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Общая характеристика проникающей радиации ядерного взрыва.
2. Понятие лучевой болезни, ее степени.
3. Обратимые и необратимые изменения в окружающей среде и организме человека, вызываемые проникающей радиацией.
4. Понятие и характеристика радиационной обстановки.
5. Оценка радиационной обстановки, её компоненты.
6. Задачи оценки радиационной обстановки.
7. Порядок действий при оценке радиационной обстановки.
8. Зоны радиационного заражения.
9. Характеристика ядерного взрыва.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Значения коэффициентов пересчета уровней радиации с момента измерения на заданное время после выброса радиоактивных веществ в результате наземного ядерного взрыва (аварии на АЭС)**

| Время после выброса РВ, на которое рассчитывается уровень радиации, ч | Время, прошедшее с момента выброса РВ до времени измерения, ч |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 0,5   | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 4,5  | 5,0  | 6,0  | 7,0  | 8,0  | 9,0  | 10,0 | 12,0 | 24,0 |
| 0,5   | 1,00  | 1,32 | 1,55 | 1,74 | 1,90 | 2,05 | 2,18 | 2,30 | 2,41 | 2,51 | 2,70 | 2,87 | 3,03 | 3,18 | 3,31 | 3,57 | 4,70 |
| 1,0   | 0,76  | 1,00 | 1,18 | 1,32 | 1,44 | 1,55 | 1,65 | 1,74 | 1,83 | 1,90 | 2,05 | 2,18 | 2,30 | 2,41 | 2,51 | 2,70 | 3,57 |
| 1,5   | 0,64  | 0,85 | 1,00 | 1,12 | 1,23 | 1,32 | 1,40 | 1,48 | 1,55 | 1,62 | 1,74 | 1,85 | 1,95 | 2,05 | 2,14 | 2,30 | 3,03 |
| 2,0   | 0,57  | 0,76 | 0,89 | 1,00 | 1,09 | 1,18 | 1,25 | 1,32 | 1,38 | 1,44 | 1,55 | 1,65 | 1,74 | 1,83 | 1,90 | 2,05 | 2,70 |
| 2,5   | 0,53  | 0,69 | 0,82 | 0,91 | 1,00 | 1,08 | 1,14 | 1,21 | 1,27 | 1,32 | 1,42 | 1,51 | 1,59 | 1,67 | 1,74 | 1,87 | 2,47 |
| 3,0   | 0,49  | 0,64 | 0,76 | 0,85 | 0,93 | 1,00 | 1,06 | 1,12 | 1,18 | 1,23 | 1,32 | 1,40 | 1,48 | 1,55 | 1,62 | 1,74 | 2,30 |
| 3,5   | 0,46  | 0,61 | 0,71 | 0,80 | 0,87 | 0,94 | 1,00 | 1,05 | 1,11 | 1,15 | 1,24 | 1,32 | 1,39 | 1,46 | 1,52 | 1,64 | 2,16 |
| 4,0   | 0,44  | 0,57 | 0,68 | 0,76 | 0,83 | 0,89 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,09 | 1,18 | 1,25 | 1,32 | 1,38 | 1,44 | 1,55 | 2,05 |
| 4,5   | 0,42  | 0,55 | 0,64 | 0,72 | 0,79 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,04 | 1,12 | 1,19 | 1,26 | 1,32 | 1,38 | 1,48 | 1,95 |
| 5,0   | 0,40  | 0,53 | 0,62 | 0,69 | 0,76 | 0,82 | 0,87 | 0,91 | 0,96 | 1,00 | 1,08 | 1,14 | 1,21 | 1,27 | 1,32 | 1,42 | 1,87 |
| 6,0   | 0,37  | 0,49 | 0,57 | 0,64 | 0,70 | 0,76 | 0,81 | 0,85 | 0,89 | 0,93 | 1,00 | 1,06 | 1,12 | 1,18 | 1,23 | 1,32 | 1,74 |
| 7,0   | 0,35  | 0,46 | 0,54 | 0,61 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,80 | 0,84 | 0,87 | 0,94 | 1,00 | 1,05 | 1,11 | 1,15 | 1,24 | 1,64 |
| 8,0   | 0,33  | 0,44 | 0,51 | 0,57 | 0,63 | 0,68 | 0,72 | 0,76 | 0,79 | 0,83 | 0,89 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,09 | 1,18 | 1,55 |
| 9,0   | 0,31  | 0,42 | 0,49 | 0,55 | 0,60 | 0,64 | 0,69 | 0,72 | 0,76 | 0,79 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,04 | 1,12 | 1,48 |
| 10,0  | 0,30  | 0,40 | 0,47 | 0,53 | 0,57 | 0,62 | 0,66 | 0,69 | 0,73 | 0,76 | 0,82 | 0,87 | 0,91 | 0,96 | 1,00 | 1,08 | 1,42 |
| 12,0  | 0,28  | 0,37 | 0,44 | 0,49 | 0,53 | 0,57 | 0,61 | 0,64 | 0,68 | 0,70 | 0,76 | 0,81 | 0,85 | 0,89 | 0,93 | 1,00 | 1,32 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Значения коэффициентов пересчета уровней радиации с момента измерения на заданное время после выброса радиоактивных веществ в результате воздушного ядерного взрыва

| Время после выброса РВ, на которое рассчитывается уровень радиации, ч | Время, прошедшее с момента выброса РВ до времени измерения, ч |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|---|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 0,5   | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 3,5   | 4,0   | 4,5   | 5,0   | 6,0   | 7,0   | 8,0   | 9,0   | 10,0  | 12,0  | 24,0  |
| 0,5   | 1,00  | 2,30 | 3,74 | 5,28 | 6,90 | 8,59 | 10,33 | 12,13 | 13,97 | 15,85 | 19,73 | 23,73 | 27,86 | 32,09 | 36,41 | 45,32 | 104,1 |
| 1,0   | 0,44  | 1,00 | 1,63 | 2,30 | 3,00 | 3,74 | 4,50  | 5,28  | 6,08  | 6,90  | 8,59  | 10,33 | 12,13 | 13,97 | 15,85 | 19,73 | 45,32 |
| 1,5   | 0,27  | 0,61 | 1,00 | 1,41 | 1,85 | 2,30 | 2,76  | 3,24  | 3,74  | 4,24  | 5,28  | 6,35  | 7,45  | 8,59  | 9,74  | 12,13 | 27,86 |
| 2,0   | 0,19  | 0,44 | 0,71 | 1,00 | 1,31 | 1,63 | 1,96  | 2,30  | 2,65  | 3,00  | 3,74  | 4,50  | 5,28  | 6,08  | 6,90  | 8,59  | 19,73 |
| 2,5   | 0,14  | 0,33 | 0,54 | 0,77 | 1,00 | 1,24 | 1,50  | 1,76  | 2,02  | 2,30  | 2,86  | 3,44  | 4,04  | 4,65  | 5,28  | 6,57  | 15,09 |
| 3,0   | 0,12  | 0,27 | 0,44 | 0,61 | 0,80 | 1,00 | 1,20  | 1,41  | 1,63  | 1,85  | 2,30  | 2,76  | 3,24  | 3,74  | 4,24  | 5,28  | 12,13 |
| 3,5   | 0,10  | 0,22 | 0,36 | 0,51 | 0,67 | 0,83 | 1,00  | 1,17  | 1,35  | 1,53  | 1,91  | 2,30  | 2,70  | 3,11  | 3,52  | 4,39  | 10,08 |
| 4,0   | 0,08  | 0,19 | 0,31 | 0,44 | 0,57 | 0,71 | 0,85  | 1,00  | 1,15  | 1,31  | 1,63  | 1,96  | 2,30  | 2,65  | 3,00  | 3,74  | 8,59  |
| 4,5   | 0,07  | 0,16 | 0,27 | 0,38 | 0,49 | 0,61 | 0,74  | 0,87  | 1,00  | 1,13  | 1,41  | 1,70  | 1,99  | 2,30  | 2,61  | 3,24  | 7,45  |
| 5,0   | 0,06  | 0,14 | 0,24 | 0,33 | 0,44 | 0,54 | 0,65  | 0,77  | 0,88  | 1,00  | 1,24  | 1,50  | 1,76  | 2,02  | 2,30  | 2,86  | 6,57  |
| 6,0   | 0,05  | 0,12 | 0,19 | 0,27 | 0,35 | 0,44 | 0,52  | 0,61  | 0,71  | 0,80  | 1,00  | 1,20  | 1,41  | 1,63  | 1,85  | 2,30  | 5,28  |
| 7,0   | 0,04  | 0,10 | 0,16 | 0,22 | 0,29 | 0,36 | 0,44  | 0,51  | 0,59  | 0,67  | 0,83  | 1,00  | 1,17  | 1,35  | 1,53  | 1,91  | 4,39  |
| 8,0   | 0,04  | 0,08 | 0,13 | 0,19 | 0,25 | 0,31 | 0,37  | 0,44  | 0,50  | 0,57  | 0,71  | 0,85  | 1,00  | 1,15  | 1,31  | 1,63  | 3,74  |
| 9,0   | 0,03  | 0,07 | 0,12 | 0,16 | 0,21 | 0,27 | 0,32  | 0,38  | 0,44  | 0,49  | 0,61  | 0,74  | 0,87  | 1,00  | 1,13  | 1,41  | 3,24  |
| 10,0  | 0,03  | 0,06 | 0,10 | 0,14 | 0,19 | 0,24 | 0,28  | 0,33  | 0,38  | 0,44  | 0,54  | 0,65  | 0,77  | 0,88  | 1,00  | 1,24  | 2,86  |
| 12,0  | 0,02  | 0,05 | 0,08 | 0,12 | 0,15 | 0,19 | 0,23  | 0,27  | 0,31  | 0,35  | 0,44  | 0,52  | 0,61  | 0,71  | 0,80  | 1,00  | 2,30  |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А., Дрожко Е.Г., Ильин Л.А., Крышев И.И., Линге Л.А., Романов Г.Н., Савкин М.Н., Сауров М.М., Тихомиров Ф.А., Холина Ю.Б. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.
2. Линник В.Г. Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов. М.: ГЕОХИ РАН, 2018. – 372 с.
3. Графкина М.В. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Форум, 2013. – 416 с.
4. Чумаков, Николай Александрович Безопасность жизнедеятельности. Медицина катастроф: учебник. – М.: Академия, 2012. – 256 с.
5. Экология Курского края: учебное пособие [для студентов техникумов и вузов, аспирантов, преподавателей и специалистов в области экологии и техносферной безопасности] / О.И. Белякова, Е.А. Преликова, Г.П. Тимофеев, В.В. Юшин. – Курск: Университетская книга, 2018. – 179 с.
6. Воробьева, В.В. Введение в радиоэкологию: учебное пособие. – М.: Логос, 2009. – 358 с. - Режим доступа: [biblioclub.ru](http://biblioclub.ru).
7. Коротеев, А. А. Безопасность эксплуатации ядерных реакторных установок. - М. : Изд-во МАИ, 2001. - 196 с.
8. Барсуков, О. А. Радиационная экология: монография. - М.: Научный мир, 2003. – 253 с.
9. Мастрюков, Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебник. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Академия, 2006. – 336 с.
10. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: учебное пособие. - М.: Высшая школа, 2006. – 592 с.