

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

Л. В. Мисун, Л. Д. Белехова, В. Т. Пустовит

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Методические указания
к практическим занятиям*

В двух частях

Часть 1

Оценка радиационной обстановки

Минск
БГАТУ
2011

УДК 614.876+502.5(07)
ББК 20.1я7
М40

*Рекомендовано научно-методическим советом факультета
«Технический сервис в АПК» БГАТУ.
Протокол № 3 от 28 апреля 2010 г.*

Рецензенты:

кафедра безопасности жизнедеятельности Белорусского государственного
экономического университета (зав. кафедрой кандидат технических наук
А. И. Антоненков);

доцент кафедры управления и научно-технического прогресса ИПК и ПК АПК
Белорусского государственного аграрного технического университета,
кандидат физико-математических наук *В. Л. Гурачевский*

Мисун, Л. В.

М40 Защита населения и объектов в чрезвычайных ситуациях. Ра-
диационная безопасность : методические указания. В 2-х ч. Ч. 1.
Оценка радиационной обстановки / Л. В. Мисун, Л. Д. Белехова,
В. Т. Пустовит. – Минск : БГАТУ, 2011. – 80 с.
ISBN 978-985-519-347-1.

Методические указания содержат учебно-методические материалы по прак-
тическим занятиям, которые предусмотрены типовой учебной программой по
дисциплине «Защита населения и объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиаци-
онная безопасность».

УДК 614.876+502.5(07)
ББК 20.1я7

ISBN 978-985-519-347-1 (ч. 1)
ISBN 978-985-519-346-4

© БГАТУ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Практическая работа № 1. ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ И ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ, РАСТЕНИЙ ПРИ АВАРИИ НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ИЛИ В ДРУГИХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	5
Практическая работа № 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПОСЛЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.....	19
Практическая работа № 3. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОЧВОЙ, ЖИВЫМИ СУЩЕСТВАМИ, РАСТЕНИЯМИ.....	38
Практическая работа № 4. РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАБОТНИКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАДИАЦИИ.....	52
ГЛОССАРИЙ.....	65

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания «Оценка радиационной обстановки» предназначено для практических занятий по дисциплине «Защита населения и объектов в ЧС. Радиационная безопасность». Оно разработано для студентов и преподавателей Белорусского государственного аграрного технического университета (БГАТУ) всех специальностей и может быть использовано в учебном процессе для слушателей института повышения квалификации.

Материалы для практических занятий с одной стороны обеспечивают подготовку инженеров агропромышленных комплексов, способных предупреждать техногенные и другие чрезвычайные ситуации на своих участках работы, а с другой – обеспечивают получение студентами знаний и навыков по правилам поведения и способам выживания в чрезвычайных ситуациях XXI века.

Цель методических указаний – закрепить теоретические знания и получить практические навыки, необходимые для выполнения профессиональных обязанностей и гражданского долга в условиях возможных чрезвычайных ситуаций.

Преподаватель, с учетом запланированной педагогической нагрузки, может использовать предлагаемый учебно-методический материал полностью или частично. Все практические расчетные задачи выполняются по индивидуальным заданиям и вариантам в учебной аудитории. При необходимости, преподаватель может изменять отдельные исходные данные, использовать не только рекомендованные технические средства обучения, но и другие, имеющиеся у него на кафедре средства, для пояснения наиболее сложных вопросов.

После выполнения задания студент представляет отчет по указанной форме. В том случае, если результаты работы студента не связаны с расчетами, в конце каждой методической разработки предлагаются контрольные вопросы, на которые студент должен дать правильные письменные ответы.

На всех занятиях студенты должны иметь конспекты лекций по предмету, рабочие тетради, рекомендованную литературу. Кроме того, студентам необходимы линейки, карандаши и микрокалькуляторы, с помощью которых можно произвести все необходимые математические расчеты (извлечь корни, возвести числа в любые степени, вычислить логарифмы).

Практическая работа № 1

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ И ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ, РАСТЕНИЙ ПРИ АВАРИИ НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ИЛИ В ДРУГИХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

1. Цель работы – углубить теоретические знания по темам: явление радиоактивности, основной закон радиоактивного распада, защита от радиоактивных излучений на территории Республики Беларусь в случае аварии на атомной электростанции; приобрести практические навыки по решению типовых задач по расчету основных характеристик радиационных излучений и выбору отдельных физических способов радиационной защиты людей, животных, растений.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Переписать форму отчета на отдельный лист (таблица 2).

2.2. Выбрать исходные данные своего варианта из таблицы 1. Номер варианта указывает преподаватель.

2.3. Иметь конспект лекций или учебное пособие, рекомендованное преподавателем.

2.4. Приступить к выполнению работы согласно ниже приведенной методике.

3. Материально-техническое обеспечение: микрокалькуляторы, проектор, пленки, рисунки, схемы.

Общие сведения

На практике требуются знания об активности радиоактивного распада, степени поглощения гамма-лучей почвой растениями, живыми существами и глубине проникновения бета частиц в эти же вещества.

Радиоактивность – способность некоторых атомных ядер (радионуклидов) самопроизвольно превращаться (распадаться) в другие ядра с испусканием ионизирующих излучений (α -распад, β -распад, испускание нейтронов, деление тяжелых ядер и т. п.). Описанные изменения приводят к изменению атомного номера или массового числа.

Основной закон радиоактивного распада, выраженный через активность и период полураспада, можно представить в виде:

$$A = \frac{A_0}{2^{t/T}}, \quad (1)$$

где A – активность на текущий момент времени t ;

A_0 – начальная активность;

t – текущее время;

T – период полураспада радионуклида.

Единицей активности в системе СИ принят **1 распад/с = 1 Бк** (назван Беккерелем в честь французского ученого (1852-1908), открывшего в 1896 году естественную радиоактивность солей урана). Используют также кратные единицы: 1 ГБк = 10^9 Бк – гигабеккерель, 1 МБк = 10^6 Бк – мегабеккерель, 1 кБк = 10^3 Бк – килобеккерель и др.

Существует и внесистемная единица Кюри.

За 1 Ки принята активность 1 г радия-226.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}; \quad 1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}. \quad (2)$$

Используют также кратные единицы: мекюри 1 МКу = $1 \cdot 10^6$ Ку и дольные – милликюри, 1 мКу = 10^{-3} Ку; микрокюри, 1 мкКу = 10^{-6} Ку.

Радиоактивные вещества могут быть сосредоточены в массе вещества, в определенном объеме или на некоторой поверхности. Поэтому в дозиметрической практике часто используют величину удельной, поверхностной или объемной активности или концентрации радиоактивных веществ в воздухе, жидкости и в почве.

Удельную, объемную и поверхностную активность можно записать соответственно в виде:

$$A_m = A/m; \quad A_v = A/v; \quad A_s = A/s, \quad (3)$$

где m – масса вещества;

v – объем вещества;

s – площадь поверхности вещества.

Для пересчета удельной активности в поверхностную и объемную запишем A_m в виде:

$$A_m = A/m = A/s\rho h = A_s/\rho h = A_v/\rho, \quad (4)$$

где ρ – плотность почвы, принимается в Республике Беларусь равной 1000 кг/м^3 ;

h – корнеобитаемый слой почвы, принимается равным $0,2 \text{ м}$;

s – площадь радиоактивного заражения, м^2 . Тогда:

$$A_m = 5 \cdot 10^{-3} A_s; \quad A_v = 10^{-3} A_v. \quad (5)$$

В этих формулах выражается: A_s в Бк/м^2 или Ки/м^2 ; A_v – в Бк/м^3 или Ки/м^3 . A_m может быть выражена в Бк/кг или Ки/кг .

На практике A_s может быть известна в Бк/м^2 , Ки/м^2 , Ки/км^2 и в дробных единицах; A_v может быть известна в Бк/м^3 или Ки/м^3 , Бк/л и др.

По формуле (1) можно определить любое неизвестное, если другие величины известны.

В ряде случаев если известна активность радионуклида A можно определить массу m и наоборот, используя формулу:

$$m = \frac{M \cdot A \cdot T}{0,693 \cdot N_A}, \quad (6)$$

где M – массовое число;

T – период полураспада;

N_A – число Авогадро.

Гамма-излучение

На практике часто необходимо оценить проникающую способность гамма-квантов. Не имея массы, они не могут замедляться в среде, а лишь поглощаются или рассеиваются. При прохождении через вещество их энергия не меняется, но уменьшается интенсивность излучения по следующему закону:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (7)$$

где $I = E_\gamma n/t$;

n/t – число гамма-квантов, падающих на единицу поверхности в единицу времени (плотность потока гамма-квантов);

μ – коэффициент поглощения;

x – толщина поглотителя (вещества), см;

I_0 – начальная интенсивность квантов до прохождения поглотителя, МэВ/с .

В формуле (7) величину μ можно найти в таблицах, но она не несет прямой информации о степени поглощения гамма лучей веществом.

Поэтому в практических расчетах удобно пользоваться и такой табличной величиной, как «толщина слоя половинного ослабления d ».

Тогда, формула (7) примет вид:

$$K_{\text{осл}} = 2^{x/d}, \quad (8)$$

где $K_{\text{осл}}$ – коэффициент ослабления гамма-излучения, проходящего через преграду толщиной x и значением слоя половинного ослабления для данного материала d .

Бета-излучение

Для грубой оценки глубины пробега бета-частиц пользуются приближенными формулами. Одна из них:

$$R_{\text{ср}}/R_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}}/\rho_{\text{ср}}, \quad (9)$$

где $R_{\text{ср}}$ – длина пробега в среде;

$R_{\text{возд}}$ – длина пробега в воздухе, $R_{\text{возд}} = 450 E_\beta$;

$\rho_{\text{возд}}$ и $\rho_{\text{ср}}$ – плотность воздуха и среды соответственно;

E_β – энергия бета-частиц.

Для оценки защиты от гамма-излучения временем и расстоянием обычно используют формулу

$$t_{\text{дв}} = \frac{X_{\text{лд}} \cdot R^2}{A \cdot \Gamma}, \quad (10)$$

где $t_{\text{дв}}$ – допустимое время работы, ч;

$X_{\text{лд}}$ – допустимая экспозиционная (эквивалентная) доза;

Γ – гамма-постоянная.

Практическая часть

Задача 1. Уяснение сущности принятых единиц активности радионуклидов.

На предприятии произошла утечка m грамм радия-226. Какая активность этого радия в Ки и Бк?

Задача 2. Оценка соответствия массы радиоактивного вещества его уровню активности.

Какая масса соответствует активности A_1 (цезия-137), A_2 (стронция-90), A_3 (плутония-239)?

Использовать формулу: $m = a_2 \cdot M \cdot A \cdot T = 2,8 \cdot 10^{-6} M \cdot A \cdot T$.

В этой формуле $a_2 = 2,8 \cdot 10^{-6}$. Период полураспада T : цезия-137 – 30 лет, стронция-90 – 29 лет, плутония-239 – 24063 года; M – массовое число (суммарное количество протонов и нейтронов в ядре).

Задача 3. Пересчет поверхностной радиоактивности почв Республики Беларусь в удельную активность.

Пересчитать A_s [Ки/км²] в Ки/кг и Бк/кг?

Формула пересчета: $A_m = 5 \cdot 10^{-3} A_s$ – для почв Республики Беларусь, где $[A_s]$ – Ки/м² или Бк/м².

Тогда $A_m = A_s \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ Ки/кг. При A_s [Ки/км²] = $A_s \cdot 10^{-6}$ Ки/м², или $A_m = A_s \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/кг, учитывая, что 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Задача 4. Пересчет удельной радиоактивности почв Республике Беларусь в поверхностную радиоактивность.

Пересчитать A_m [Ки/кг] в A_s [Ки/км²].

A_s [Ки/км²] = A_m [Ки/кг] $\cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^3$ Ки/км².

Результаты расчетов перевести в систему СИ.

Задача 5. Оценка степени опасности для здоровья продуктов растениеводства, выращенных на радиоактивной почве.

Местность загрязнена радионуклидами с активностью A_s [Ки/км²]. Оценить возможность использования овощей, выращенных на данной почве, если коэффициент перехода радионуклидов из почвы в овощи составляет K ?

Используются результаты решения задачи 3, которые умножаются на K и сравниваются с РДУ-2001 (для овощей **допустимый уровень 100 Бк/кг**). Предложить способ дезактивации.

Задача 6. Прогнозирование времени спада поверхностной радиоактивности территории до заданной величины.

Местность загрязнена аэрозолями **цезия-137** с активностью A_{0s} . Через сколько лет t она уменьшится до величины A_s ?

Использовать для расчета формулу основного закона радиоактивного распада и таблицу 3.

Из формулы $A_s = A_{0s}/2^{t/T}$ определить величину t . Период полураспада T цезия-137 – 30 лет.

Задача 7. Прогнозирование поверхностной радиоактивности почвы через заданное время.

Участок местности загрязнен плутонием-239 с активностью A_{0s} . Какая активность будет через t лет? $A_s = A_{0s}/2^{t/T}$. Период полураспада T – 24063 г.

Задача 8. Оценка возможности защиты людей от гамма-излучения экраном из стекла.

Во сколько раз ослабляет гамма-излучение стекло, которое имеет толщину x , а линейный коэффициент ослабления гамма-излучения равен μ , см⁻¹. Надежно ли защищает стекло человека от гамма-излучения?

Величины μ приведены в таблице 1 для энергий гамма-квантов в диапазоне от 1 до 6 МэВ, т. е. выбраны максимальные величины.

Использовать формулу для расчета: $K_{\text{осл}} = 2^{x/d}$, где d – толщина слоя половинного ослабления; $d = 0,693/\mu$.

Задача 9. Оценка возможности защиты людей от гамма-излучения в помещениях животноводческих ферм, построенных из кирпича.

Во сколько раз ослабляется гамма-излучение кирпичной кладкой толщиной x , если линейный коэффициент гамма-излучения μ для силикатного и огнеупорного кирпича приведен для энергий гамма-квантов в диапазоне от 1 до 6 МэВ.

Использовать формулу для расчета: $K_{\text{осл}} = 2^{x/d}$, где d – толщина слоя половинного ослабления; $d = 0,693/\mu$.

Задача 10. Оценка возможности защиты людей от бета-излучения экраном из стекла.

Определить глубину проникновения бета-частиц в стекле, если известна энергия бета-частиц E_β и плотность среды $\rho_{\text{сп}}$ (стекла ρ_c)?

Использовать соотношение:

$$R_{\text{сп}}/R_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}}/\rho_{\text{сп}}; \quad R_{\text{возд}} = 450 E_\beta.$$

В формуле $R_{\text{сп}}$ – длина пробега (в сантиметрах) бета-частиц в среде (в данной задаче – в стекле); $R_{\text{возд}}$ – длина пробега (в сантиметрах) бета-частиц в воздухе; $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха; $\rho_{\text{возд}} = 0,0013$ г/см³.

Задача 11. Оценка возможности защиты от бета-излучения в зданиях, ремонтных мастерских, построенных из кирпича.

Определить глубину проникновения бета-излучения в кирпичной кладке, если известна энергия бета-частиц E_β и плотность кирпича ρ_k ?

Использовать соотношение:

$$R_{\text{ср}}/R_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}}/\rho_{\text{ср}},$$

где $R_{\text{возд}} = 450E_{\beta}$;

E_{β} – энергия бета-частиц;

$R_{\text{ср}}$ – длина пробега (в сантиметрах) бета-частиц в кирпичной кладке;

$R_{\text{возд}}$ – длина пробега (в сантиметрах) бета-частиц в воздухе;

$\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха; $\rho_{\text{возд}} = 0,0013 \text{ г/см}^3$.

Задача 12. Защита людей, сельскохозяйственных животных от гамма-облучения временем облучения.

Рассчитать безопасное время работы на расстоянии R , см, от источника цезия-137 активностью A , мКи. Использовать соотношение:

$$t_{\text{дв}} = \frac{X_{\text{дд}} \cdot R^2}{A \cdot \Gamma}.$$

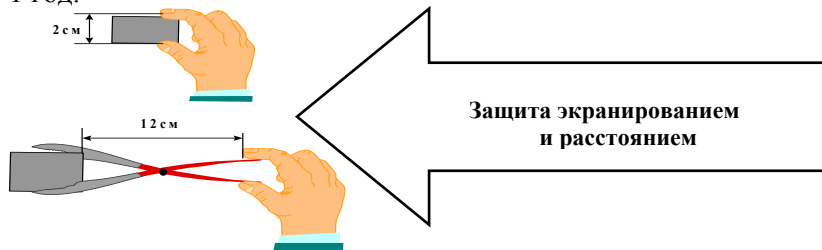
В этой формуле $t_{\text{дв}}$ – допустимое время работы, ч; $X_{\text{дд}}$ – допустимая экспозиционная (эквивалентная) доза, бэр; Γ – гамма-постоянная. Для цезия-137 $\Gamma = 3,24 \text{ (Р} \cdot \text{см}^2) / \text{(ч} \cdot \text{мКи)}$.

Задача 13. Защита людей и сельскохозяйственных животных от гамма-облучения расстоянием.

Рассчитать безопасное расстояние R , см, работы с источником кобальта-60 с активностью A , мКи.

Использовать соотношение: $R^2 = \frac{A \cdot \Gamma \cdot t}{X_{\text{дд}}}$.

Для определения R необходимо из правой части уравнения извлечь квадратный корень. В этой формуле Γ – гамма-постоянная для кобальта-60; $\Gamma = 13,85 \text{ (Р} \cdot \text{см}^2) / \text{(ч} \cdot \text{мКи)}$; t – время работы, ч за 1 год.



Задача 14. Защита применением минимальной массы радионуклида.

Рассчитать количество радиоизотопа радия-226, обеспечивающего безопасную работу с ним в течение года на расстоянии R , см.

Использовать для расчета допустимой активности соотношение:

$$A = \frac{X_{\text{дд}} \cdot R^2}{\Gamma \cdot t}.$$

В этой формуле $\Gamma = 9,03 \text{ (Р} \cdot \text{см}^2) / \text{(ч} \cdot \text{мКи)}$. Для расчета допустимой массы использовать формулу: $m = a_2 MAT = 7,56 \cdot 10^{-17} M \cdot A \cdot T$. Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Период полураспада T радия-226 – 1600 лет.

Результаты расчетов представить в системе СИ.

Исходные данные для решения задач

Номер варианта	Задача 1	Задача 2			Задача 3	Задача 4	Задача 5	Задача 6	
	m , г	A_1 , Ки	A_2 , Ки	A_3 , Ки	A_s , Ки/км ²	A_m , Ки/кг	K	A_{0s} , Ки/км ²	A_s , Ки/км ²
1	5	2	2	0,5	2	$1 \cdot 10^{-8}$	0,01	8	1
2	3	5	0,5	0,2	3	$1 \cdot 10^{-9}$	0,2	7	1
3	4	8	2,3	1,5	4	$2 \cdot 10^{-8}$	0,03	4	1
4	9	2	1	8	6	$3,2 \cdot 10^{-9}$	0,3	6	1
5	8	6	4,5	0,05	7	$5 \cdot 10^{-6}$	0,02	25	1
6	7	12	1,5	0,9	3,5	$6 \cdot 10^{-7}$	0,04	25	5
7	12	20	0,7	1,2	2,25	$3 \cdot 10^{-8}$	0,02	30	1
8	6	13	0,9	1	15	$2,7 \cdot 10^{-9}$	0,01	30	5
9	13	10	1,2	0,7	25	$4 \cdot 10^{-8}$	0,03	5	1
10	10	25	8	7	11	$3,5 \cdot 10^{-9}$	0,12	16	1
11	11	11	8,5	9	21	$2,7 \cdot 10^{-9}$	0,15	17	1
12	15	7	7,5	5	13	$5 \cdot 10^{-8}$	0,01	18	5
13	20	3	6	7,5	7,5	$6 \cdot 10^{-8}$	0,03	20	5
14	25	18	5	5,5	40	$1 \cdot 10^{-6}$	0,02	32	1
15	14	4	5,5	9,3	30	$3 \cdot 10^{-7}$	0,01	32	5

Продолжение табл. 1

Номер варианта	Задача 7		Задача 8		Задача 9	
	A_{0s} , Ки/км ²	t , лет	x , см	μ , см ⁻¹	x , см	μ , см ⁻¹
1	0,5	500	0,2	0,439	10	0,129
2	0,3	700	0,2	0,348	20	0,129
3	1,5	1000	0,2	0,257	30	0,129
4	1	5000	0,2	0,194	40	0,129
5	2	5000	0,3	0,439	10	0,0825
6	0,4	500	0,3	0,348	50	0,0825
7	0,2	3000	0,3	0,257	20	0,0825
8	0,3	300	0,3	0,194	30	0,0825
9	0,6	3000	0,4	0,348	40	0,0825
10	0,9	500	0,4	0,439	10	0,0738
11	0,7	2000	0,4	0,157	20	0,0738
12	1,2	1000	0,4	0,257	30	0,0738
13	0,1	200	0,5	0,439	40	0,0738
14	3	500	0,5	0,348	50	0,0738
15	4	800	0,5	0,257	10	0,0543

Номер варианта	Задача 10		Задача 11		Задача 12		
	E_{β} , МэВ	$\rho_{с}$, г/см ³	E_{β} , МэВ	$\rho_{с}$, г/см ³	$X_{дл}$, бэр	R , см	A , МКи
1	0,18	6,4	0,18	2,05	2	50	5
2	0,22	6,4	0,22	1,78	5	60	12
3	0,5	6,6	0,5	1,90	2	70	15
4	0,7	6,6	0,7	2,16	5	100	10
5	0,523	6,4	0,523	2,05	2	80	9
6	0,19	6,5	0,19	1,78	5	30	2
7	0,2	6,4	0,2	1,90	2	200	12
8	0,016	6,6	0,016	2,16	5	40	10
9	0,1	6,2	0,1	2,05	2	60	8
10	1,02	6,4	1,02	1,78	5	50	15
11	0,54	6,3	0,54	2,16	2	150	7
12	0,85	6,4	0,85	1,90	5	150	12
13	0,3	6,4	0,3	2,05	2	70	5
14	0,41	6,6	0,41	1,78	5	80	10
15	0,32	6,6	0,32	1,90	2	160	10

Номер варианта	Задача 13			Задача 14		
	A , МКи	t , ч	$X_{дл}$, бэр	R , см	$X_{дл}$, бэр	t , ч
1	5	250	2	300	5	8000
2	12	500	5	180	2	1700
3	15	200	2	200	5	3000
4	10	600	5	150	2	1700
5	9	400	2	130	5	4000
6	2	700	5	100	2	5500
7	12	2000	2	20	5	1000
8	10	250	5	160	2	1500
9	8	280	2	90	5	4000
10	15	260	5	30	2	550
11	7	2000	2	150	5	3500
12	2	3000	5	90	2	1250
13	5	600	2	40	5	600
14	10	1000	5	100	2	3000
15	10	1600	2	130	5	2000

Таблица 2

ОТЧЕТ

о выполнении расчетной работы по теме
"Оценка радиационной опасности и основных способов
радиационной защиты"

студента _____ учебной группы.

(Фамилия, инициалы)

Вариант N ____

Номер задачи	Определяемые параметры	Результат
1	Активность, Ки	
	Активность, Бк	
2	Масса цезия-137 при 1 Ки	
	Масса стронция-90 при 1 Ки	
	Масса плутония-239 при 1 Ки	
	Масса цезия-137 при A_1 , г	
	Масса стронция-90 при A_2 , г	
	Масса плутония-239 при A_3 , г	
3	Удельная активность, Бк/кг	
	Удельная активность, Ки/кг	
4	Поверхностная активность, Ки/км ²	
5	Удельная активность овощей, Бк/кг	
	Предложения по выбору способа дезактивации овощей	
6	Уменьшится через t лет	
7	Поверхностная активность, Ки/км ²	
8	Ослабляется $K_{осл}$, раз	
	Надежно ли защищает стекло?	
9	Ослабляется $K_{осл}$, раз	
	Надежно ли защищает кирпичная кладка?	
10	Длина пробега бета-частиц в стекле, см	
	Надежно ли защищает стекло?	
11	Длина пробега бета-частиц в кирпичной кладке, см	
	Надежно ли защищает кирпичная кладка?	
12	Безопасное время работы, ч	
13	Безопасное расстояние, см	
14	Допустимая активность, Ки	
	Допустимая масса, г	

Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ–2000). Минск, 2001.
2. *Батырев, В. А.* Методическое пособие по радиационной безопасности и радиационной экологии для студентов технических и технологических вузов Республики Беларусь / В. А. Батырев, А. В. Бусел, С. В. Дорожко. Минск, 1992.
3. *Саечников, В. А.* Основы радиационной безопасности / В.А. Саечников, В. М. Зеленкевич. Минск, 2002.
4. *Дорожко, С. В.* Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность / С. В. Дорожко, В. П. Бубнов, В.Т. Пустовит. Минск, 2003.

Практическая работа № 2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПОСЛЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

1. Цель работы – закрепить теоретические знания по теме и приобрести практические навыки прогнозирования и оценки радиационной обстановки на территории сельскохозяйственных угодий, где произошла чрезвычайная ситуация с выбросом радиоактивных загрязнений; научиться оценивать воздействие на здоровье человека только внешнего гамма-излучения.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Изучить материалы, изложенные в разделе «Общие положения». Использовать их при решении задач.

2.2. Переписать форму отчета на отдельный лист (таблица 11).

2.3. В процессе решения задач выбирать исходные данные своего варианта из таблиц 1 и 6 соответственно. Номер варианта указывает преподаватель.

2.4. Иметь конспект лекций или учебное пособие, рекомендованное преподавателем.

2.5. Приступить к выполнению работы по ниже приведенной методике.

3. Материально-техническое обеспечение: мультимедиа проектор, видеосюжеты, схемы, микрокалькуляторы.

Общие положения

Радиационная обстановка – это совокупность последствий радиоактивного заражения или загрязнения территории, оказывающее влияние на жизнедеятельность людей и требующая принятия определенных мер защиты. Радиационная обстановка характеризуется, прежде всего, мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения и размерами загрязненной территории.

Территория считается радиоактивно **загрязненной**, если мощность экспозиционной дозы гамма-излучения превышает радиационный фон 10–20 мкР/ч, но меньше 0,5 Р/ч; **зараженной**, если мощность

экспозиционной дозы, измеренной на высоте 0,7–1 м от поверхности земли, составляет более 0,5 Р/ч.

Оценка радиационной обстановки – это выявление масштабов и степени радиоактивного заражения (загрязнения) территории в результате аварии на радиационно опасном объекте, а также выбор вариантов защиты, исключающих поражение людей.

Выявление и оценка радиационной обстановки проводится двумя методами:

- оценка по результатам прогнозирования зон радиоактивного заражения (загрязнения) территории;

- оценка по результатам разведки.

Методика оценки по результатам прогнозирования зон заражения (загрязнения) рассматривается в [1]. На данном занятии рассматривается вариант оценки только по данным разведки.

Сущность разведки заключается в том, что после радиоактивного заражения (загрязнения) территории не ранее, чем через час после ядерного взрыва (аварии на АЭС с выбросом радиоактивных веществ), с помощью дозиметрического прибора дважды измеряют мощность экспозиционной дозы гамма-излучения с определенным интервалом времени (10–50 минут для ядерного взрыва и несколько часов при аварии на АЭС) и с фиксацией астрономического времени измерения. Имея эти исходные данные можно аналитически и с помощью специальных таблиц определить:

❖ мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на 1 час после взрыва (аварии на АЭС с выбросом радиоактивных веществ);

❖ эквивалентные дозы облучения людей гамма-излучениями на открытой местности, в зданиях и в других укрытиях;

❖ допустимую продолжительность пребывания людей на открытой местности при заданной дозе облучения;

❖ возможные радиационные потери людей, в том числе и с летальным исходом;

❖ режимы радиационной защиты.

Примечания.

1. Возможные радиационные потери людей определяют исходя из усредненных статистических данных, считая, что данная группа людей получила одинаковые опасные для жизни дозы, но в первую очередь умирают люди, имеющие хронические заболевания и ослабленную иммунную систему, дети и люди пожилого возраста.

2. Разработаны 13 вариантов радиационной защиты для различных групп населения, а также для гражданских формирований гражданской обороны, проживающих и выполняющих задачи в различных условиях. На занятии рассматривается только один из вариантов радиационной защиты рабочих и служащих сельскохозяйственного предприятия, имеющего убежища.

В течение первых 100–160 суток после аварии на АЭС или ядерного взрыва изменение мощности экспозиционной дозы излучения на радиоактивно зараженной местности описывается законом Вэ-Вигнера:

$$\frac{\dot{X}_1}{\dot{X}_2} = \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^n, \quad (1)$$

где \dot{X}_1, \dot{X}_2 – мощности экспозиционных доз (Р/ч ; А/кг), соответствующие моментам времени t_1, t_2 (ч) после начала радиоактивного заражения (загрязнения) территории;

n – показатель степени, характеризующий величину спада мощности экспозиционной дозы излучения во времени и зависящий от изотопного состава радионуклидов (при ядерном взрыве образуется около 300 изотопов 36 химических элементов, при аварии на АЭС – несколько десятков). Для аварии на АЭС, аналогичной на ЧАЭС, величина показателя $n = 0,4–0,86$, для ядерного взрыва $n = 1,2$. График зависимости мощности экспозиционной дозы от времени представлен на рис. 1.

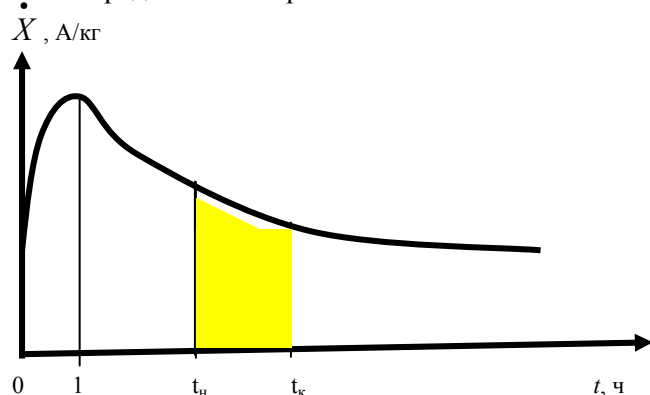


Рис. 1. Зависимость мощности экспозиционной дозы от времени, прошедшего после начала аварии на АЭС или ядерного взрыва

Величину n можно рассчитать по формуле (1):

$$n = (\text{Lg } \dot{X}_1 - \text{Lg } \dot{X}_2) / (\text{Lg } t_2 - \text{Lg } t_1). \quad (2)$$

По величине n в справочниках выбирают специальные таблицы, по которым с использованием аналитических выражений определяют мощность экспозиционной дозы на 1 час после взрыва, эквивалентные дозы облучения людей, допустимое время пребывания людей на открытой местности, возможные потери людей и режимы защиты.

В качестве примера ниже решаются пять задач для случая взрыва ядерного боеприпаса, но методика эта применима и для случая заражения (загрязнения) территории при аварии на АЭС.

Примечания.

1. Недостающие исходные данные для решения последующих задач надо брать из полученных результатов предыдущих задач.

2. Если в таблицах нет искомого значения, то его необходимо найти интерполяцией или экстраполяцией.

3. При расчетах полученные значения определять до десятых. Результаты расчетов записать в системе СИ.

Практическая часть работы

Задача 1. Привести мощность экспозиционной дозы к одному часу после взрыва (исходные данные в таблице 1).

1. Определяем интервал времени между вторым и первым измерениями (см. таблицу 1):

$$t_2 - t_1. \quad (3)$$

2. Рассчитываем отношение уровней радиации при втором и первом измерениях:

$$\dot{X}_2 : \dot{X}_1. \quad (4)$$

3. По отношению $(\dot{X}_2 : \dot{X}_1)$ и промежутку времени между вторым и первым измерениями $(t_2 - t_1)$ в табл. 2 находим время, прошедшее с момента взрыва до второго измерения ($t_{\text{изм}}$).

4. Находим время взрыва:

$$t_{\text{взр}} = t_2 - t_{\text{изм}}. \quad (5)$$

5. По табл. 3 определяем коэффициент пересчета K на время $t_{\text{изм}}$.

6. Определяем уровень радиации на один час после взрыва:

$$\dot{X} = \dot{X}_2 \cdot K. \quad (6)$$

Результаты расчетов записать в системе СИ.

Задача 2. Определить возможные эквивалентные дозы облучения гамма-лучами при действиях людей на местности, зараженной радиоактивными веществами (исходные данные в таблице 1).

Определение возможных доз облучения рабочих и служащих, находящихся на зараженной местности, гамма-лучами необходимо для того, чтобы принять меры по их защите от опасного облучения. Для решения этой задачи надо иметь следующие данные: мощность экспозиционной дозы через 1 час после взрыва (аварии), время пребывания людей на радиоактивно-загрязненной (зараженной местности), степень их защищенности.

1. По исходным данным таблицы 1 для задачи 2 своего варианта по таблице 4 находят экспозиционную дозу излучения X_{100} при величине мощности экспозиционной дозы 100 Р/ч.

2. Экспозиционную дозу излучения в воздухе на открытой местности находят по формуле:

$$X_{\text{в}} = X_{100} \cdot \dot{X} / 100, \quad (7)$$

где \dot{X} – мощность экспозиционной дозы по результатам решения задачи 1.

3. Производим пересчет экспозиционной дозы в эквивалентную дозу (для биологической ткани):

$$H = 0,96 X_{\text{в}}. \quad (8)$$

4. Эквивалентная доза облучения в производственных помещениях, полученная людьми, рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{п}} = H / K_{\text{осл}} \quad (9)$$

Значение коэффициента ослабления дозы радиации ($K_{\text{осл}}$), являющегося одной из характеристик степени защищенности, даны в табл. 5.

Результаты расчетов записать в системе СИ.

Задача 3. Определение допустимой продолжительности работы на объектах сельскохозяйственного производства на радиоактивно зараженной (загрязненной) территории (исходные данные в таблице 6).

Для решения задачи необходимо иметь следующие данные: время, прошедшее с момента взрыва до начала облучения (из условия задачи 2 в таблице 1); мощность экспозиционной дозы радиации в момент входа на зараженный участок (в момент начала облучения) $\dot{X}_{\text{вх}}$; заданную (установленную) экспозиционную дозу излучения $X_{\text{зад}}$; коэффициент ослабления радиации зданиями, сооружениями, транспортными средствами и др. $K_{\text{осл}}$.

1. Определяем мощность экспозиционной дозы на момент начала облучения людей (входа на зараженный радионуклидами участок территории):

$$\dot{X}_{\text{вх}} = \frac{\dot{X}}{K}, \quad (10)$$

где \dot{X} – мощность экспозиционной дозы на 1 час после взрыва (по результатам решения задачи 1);

K – поправочный коэффициент, определяемый по таблице 3, при этом время, прошедшее после взрыва до начала облучения, берется из исходных данных задачи 2 из таблицы 1.

2. Используя в исходных данных задачи 3, таблицы 6, $H_{\text{зад}} = 0,96X_{\text{зад}}$ и коэффициент $K_{\text{осл}}$ из таблицы 5 рассчитывают соотношение R :

$$R = \frac{X_{\text{зад}}}{\dot{X}_{\text{вх}}} \cdot K_{\text{осл}}. \quad (11)$$

3. По значениям этого отношения и времени, прошедшего с момента взрыва по таблице 7 определяют допустимое время пребывания людей на объектах сельскохозяйственного производства.

Результаты расчетов записать в системе СИ.

Задача 4. Определение возможных радиационных потерь рабочих и служащих на открытой местности и в сельскохозяйственных постройках (исходные данные в таблице 6).

Исходные данные для решения задачи:

- количество рабочих и служащих ($N_{\text{чел}}$ – из таблицы 6);

- эквивалентная доза H , полученная людьми на открытой местности (по результатам решения задачи 2);
- условия защищенности ($K_{\text{осл}} = 1$ – для открытой местности);
- ранее полученная эквивалентная доза $H_{\text{рп}}$ (из таблицы 6);
- время, прошедшее после предыдущего облучения, в неделях (из таблицы 6);
- остаточная эквивалентная доза $H_{\text{ост}}$, которая осталась в организме человека после предыдущего облучения, которую необходимо определить.

Например, если в полях будет работать $N_{\text{чел}}$, которые четыре недели тому назад уже получили дозу ($H_{\text{рп}}$), то какие радиационные потери могут быть при выполнении ими работ на открытой местности ($K_{\text{осл}} = 1$)?

1. По таблице 8 определяем % остаточной эквивалентной дозы от ранее полученной $H_{\text{ост}}$ (%) в зависимости от времени, прошедшего после первого облучения (недели). Значения $H_{\text{рп}}$ и времени, прошедшего после облучения, указаны в исходных данных (таблица 6).

$$H_{\text{ост}} = \frac{H_{\text{рп}}}{100} \cdot H_{\text{ост}} (\%). \quad (12)$$

2. Определяем суммарную эквивалентную дозу H_{Σ} :

$$H_{\Sigma} = H + H_{\text{ост}}, \quad (13)$$

где значение H берем по результатам решения задачи 2.

3. По таблице 9 по значению H_{Σ} в столбце "всего пораженных" находим % ВП людей от всех облученных. Конкретное количество пораженных (потерявших трудоспособность) людей $N_{\text{пт}}$ находят по формуле:

$$N_{\text{пт}} = \frac{N_{\text{чел}}}{100} \cdot \% \text{ ВП}, \quad (14)$$

где $N_{\text{чел}}$ берут из условия задачи 4, таблицы 6.

Примечание. В таблице 9 для справки представлены также % пораженных людей от всех облученных в течение двух суток, второй и третьей недель, третьей и четвертой недель.

4. Аналогичным способом определяем количество людей со смертельным исходом (от всех пораженных). При необходимости определить радиационные потери при работе рабочих и служащих в цехах надо H_{Σ} разделить на $K_{\text{осл}}$ помещения фермы или мастерской и затем произвести расчет по приведенной выше методике.

Задача 5. Определение режимов защиты рабочих, служащих и производственной деятельности сельскохозяйственного предприятия (исходные данные в таблице 6).

Основным способом защиты рабочих и служащих в условиях сильного радиоактивного заражения является их укрытие в защитных сооружениях и строгое ограничение времени пребывания на открытой местности.

Режим защиты – это порядок применения средств и способов защиты людей, который предусматривает максимальное уменьшение доз облучения и наиболее целесообразные действия в зоне заражения. Типовые режимы защиты изложены в **таблице 10**. Они разработаны с учетом доз облучения за время пребывания рабочих и служащих в защитных сооружениях, производственных, административных и жилых зданиях, а также при передвижении из мест отдыха на объекты АПК для работы. Продолжительность смены 10–12 ч в сутки. Соблюдение режима защиты не допускает облучения людей сверх установленных доз, исключает радиационные потери и обеспечивает производственную деятельность предприятия с минимальным временем прекращения его работы при различных уровнях радиации.

Таблица 10 содержит варианты режимов производственной деятельности объектов, которые имеют защитные сооружения с коэффициентом ослабления радиации $K_1 = 25...50$, $K_2 = 51...100$, $K_3 = 101...200$, $K_4 = 1000$ и более.

1. Определяем условное наименование режима в таблице 10 по мощности экспозиционной дозы на 1 ч после взрыва, вычисленной по результатам решения задачи 1.

2. В исходных данных таблицы 6 находим коэффициент ослабления защитного сооружения. В таблице 10 необходимо определить в какой диапазон коэффициентов $K_1 - K_4$ входит коэффициент ослабления защитного сооружения вашего варианта.

3. После этого в таблице 10 находим:

а) на какое время объект прекращает работу, а люди укрываются в защитных сооружениях;

б) при возобновлении работы объекта в течение какого времени рабочие и служащие должны использовать для отдыха защитные сооружения;

в) продолжительность режима с ограниченным пребыванием людей на открытой местности;

г) общую продолжительность соблюдения режима.

Таблица 1

Исходные данные для решения задач 1 и 2

Номер варианта	Задача 1				Задача 2	
	Время измерения мощности экспозиционной дозы на объекте, ч. мин		Мощности экспозиционной дозы, Р/ч		Время, прошедшее с момента взрыва до начала облучения, ч	Время пребывания на радиоактивно зараженной местности, ч
	Первое измерение t_1	Второе измерение t_2	При первом измерении \dot{X}_1	При втором измерении \dot{X}_2		
1	10-30	11-00	60,1	48,1	3	5
2	6-45	7-00	107,3	85,9	2	6
3	8-00	8-15	40,9	34,8	1	4
4	9-35	10-20	153,9	100,0	5	7
5	6-15	6-30	76,6	61,4	1	6
6	8-00	8-10	67,7	60,9	3	7
7	11-50	12-20	133,6	106,9	4	5
8	17-15	18-00	92,3	60,0	2	4
9	8-50	9-05	51,1	43,5	2	8
10	15-45	16-30	102,7	82,2	6	7
11	7-00	7-10	115,8	104,3	3	5
12	13-45	14-00	107,3	85,9	3	8
13	13-00	13-15	89,1	80,2	6	7
14	11-25	11-35	79,6	75,7	4	5
15	8-25	8-40	76,7	61,4	1	5

Таблица 2

Определение времени, прошедшего с момента взрыва

Отношение мощностей экспозиционных доз при втором и первом измерениях $\frac{\dot{X}_1}{\dot{X}_2}$	Время между двумя измерениями, ч. мин			
	10 мин	15 мин	30 мин	45 мин
0,95	4 ч	6 ч	12 ч	18 ч
0,90	2 ч	3 ч	6 ч	9 ч
0,85	1 ч 20 мин	2 ч	4 ч	6 ч
0,80	1 ч	1 ч 30 мин	3 ч	4 ч 30 мин
0,75	50 мин	1 ч 15 мин	2 ч 30 мин	3 ч 30 мин
0,70	40 мин	1 ч	2 ч	3 ч
0,65	35 мин	50 мин	1 ч 40 мин	2 ч 30 мин
0,60	30 мин	45 мин	1 ч 30 мин	2 ч 10 мин
0,55	—	40 мин	1 ч 20 мин	1 ч 50 мин
0,50	—	35 мин	1 ч 10 мин	1 ч 45 мин

Таблица 3

Коэффициент пересчета K мощности экспозиционной дозы на один час после аварии на АЭС

Время, прошедшее после взрыва, ч	Поправочный коэффициент K	Время, прошедшее после взрыва, ч	Поправочный коэффициент K	Время, прошедшее после взрыва, ч	Поправочный коэффициент K
0,5	0,44	6	8,59	16	27,86
1	1	7	10,33	17	29,95
1,5	1,63	8	12,13	18	32,08
	2,30	9	13,96	19	34,24
2,5	3,00	10	15,85	20	36,41
3	3,74	11	17,77	24	45,31
3,5	4,50	12	19,72	30	59,23
4	5,28	13	21,71	36	73,72
4,5	6,08	14	23,73	48	104,1
5	6,90	15	25,73	72	169,3

Таблица 4

Экспозиционные дозы излучения (X_{100}) на открытой местности для заданного времени пребывания людей при мощности экспозиционной дозы 100 Р/ч на 1 ч после аварии на АЭС Р

Время, прошед. с момента взрыва до начала облучения, ч	Время пребывания на радиоактивно зараженной территории, ч																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
1	64,8	98,8	121	138	151	161	170	178	184	190	201	209	216	222	228	233	237
2	34,0	56,4	72,8	85,8	96,4	105	113	119	125	131	140	148	155	161	166	170	174
3	22,4	38,8	52,8	62,4	71,2	77,8	84,6	91,9	95,8	100	110	117	124	130	134	138	142
4	16,4	29,4	40,2	49,2	56,6	63,4	69,4	74,7	79,4	83,8	91,6	93,3	104	109	114	118	122
5	13,0	23,6	32,4	40,0	46,8	52,8	58,0	62,8	67,2	71,2	78,5	84,7	90,2	95,3	99,8	104	108
6	10,6	19,4	27,0	33,8	39,8	45,0	49,8	54,2	58,2	62,0	68,7	77,5	79,8	84,6	88,9	92,9	96,6
7	9,0	16,5	23,3	29,3	34,6	39,4	43,9	47,8	51,6	55,1	61,6	66,7	71,6	76,1	80,2	88,8	87,2
8	7,5	14,4	20,4	25,6	30,4	34,8	38,8	42,6	46,1	49,3	55,1	60,4	65,2	69,5	73,5	77,2	80,5
9	6,8	12,8	18,1	22,9	27,4	31,3	35,1	38,6	41,8	45,3	50,4	55,2	59,6	63,7	67,3	70,5	73,4
10	6,0	11,2	16,0	20,4	24,5	28,2	31,7	34,9	37,9	40,7	46,0	50,8	55,1	59,7	62,8	66,2	69,4

Таблица 5

Среднее значение коэффициента ослабления радиации $K_{осл}$

Наименование укрытий и транспортных средств	Коэффициент ослабления $K_{осл}$
Открытое расположение на местности	1
Защитные сооружения	
Убежища	300 и более
Противорадиационные укрытия	50 и более
Промышленные и административные здания	
Производственные одноэтажные здания фермы	7
Производственные и административные трехэтажные здания	6
Жилые дома	
Каменные одноэтажные	10
подвал	40
Двухэтажные	15
подвал	65
Деревянные одноэтажные	2
Транспортные средства	
Автомобили и автобусы	2
Грузовые вагоны	2
Пассажирские вагоны	3

Таблица 6.

Исходные данные для решения задач 3, 4 и 5

Номер варианта	Задача 3	Задача 4			Задача 5
	Заданная доза облучения $H_{зад}$, бэр	Количество рабочих и служащих на объекте $N_{цел}$	Ранее полученная доза, $H_{пр}$, бэр	Время, прошедшее после первого облучения, неделя	$K_{осл}$ радиации защитными сооружениями
1	2	3	4	5	6
1.	25	360	25	3	160
2.	15	280	30	5	90
3.	23	400	30	4	70
4.	30	420	40	5	80
5.	35	340	18	4	200
6.	15	260	28	8	200
7.	30	370	23	3	1100

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6
8.	25	430	8	2	1000
9.	20	300	30	9	90
10.	21	440	22	4	1600
11.	18	500	20	9	150
12.	20	460	33	6	1400
13.	30	390	36	7	180
14.	25	460	28	4	190
15.	14	375	36	8	1800

Таблица 7

Допустимое время пребывания людей на радиоактивно зараженной территории

Значение соотношения R	Время, прошедшее после взрыва до начала облучения, ч															
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24			
	Допустимое время пребывания на местности, зараженной радиоактивными веществами, ч, мин															
0,2	0-15	0-14	0-13	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12			
0,3	0-22	0-22	0-20	0-19	0-19	0-19	0-19	0-18	0-18	0-18	0-18	0-18	0-18			
0,4	0-42	0-31	0-26	0-26	0-25	0-25	0-25	0-25	0-25	0-25	0-25	0-24	0-24			
0,5	1-02	0-42	0-35	0-34	0-32	0-32	0-32	0-31	0-31	0-31	0-31	0-31	0-30			
0,6	1-26	0-54	0-44	0-41	0-39	0-39	0-38	0-38	0-37	0-37	0-37	0-37	0-37			
0,7	2-05	1-08	0-52	0-49	0-47	0-46	0-45	0-45	0-44	0-44	0-44	0-44	0-43			
0,8	2-56	1-23	1-02	0-57	0-54	0-53	0-52	0-51	0-51	0-51	0-50	0-50	0-49			
0,9	4-09	1-42	1-12	1-05	1-02	1-00	0-59	0-58	0-57	0-57	0-57	0-57	0-55			
1,0	5-56	2-03	1-23	1-14	1-10	1-08	1-06	1-05	1-05	1-04	1-04	1-03	1-02			
2,0	Без ограничений	11	4-06	3-13	2-46	2-35	2-29	2-24	2-20	2-18	2-16	2-13	2-06			
2,5		Без ограничений	31	6-26	4-28	3-48	3-28	3-16	3-08	3-03	2-59	2-55	2-51	2-40		
3,0			Без ограничений	9-54	6-09	5-01	4-28	4-10	3-58	3-49	3-43	3-38	3-30	3-14		
4,0				Без ограничений	23	11-05	8-12	6-57	6-10	5-50	5-33	5-19	5-10	4-58	4-26	
6,0					Без ограничений	193	35-35	19-48	14-4	12	11	10	9-24	8-57	8-19	7-01
10,0						Без ограничений	без огран.	124	59	38	30	25	22	21	18	13

Примечание.

$X_{зад}$ – заданная (установленная) экспозиционная доза излучения;

$K_{осл}$ – коэффициент ослабления дозы радиации зданиями, сооружениями;

$X_{вх}$ – мощность экспозиционной дозы в момент входа в зону заражения (начало облучения).

Таблица 8

Значение остаточных эквивалентных доз облучения в зависимости от времени

	Время, прошедшее после облучения, недели													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Остаточная доза ($H_{ост}$) радиации (доля от ранее полученной), %	90	75	60	50	42	35	30	25	20	17	15	13	11	10

Остаточная доза ($D_{ост}$) – это доза в процентах от полученной дозы в результате облучения, не восстановленная организмом к данному сроку.

Примечания.

1. В первые четверо суток после облучения восстановление организма не происходит.
2. Все возможное восстановление организма происходит примерно за три месяца. Около 10 % радиационного поражения не восстанавливается (необратимая часть).
3. При повторном облучении остаточная доза суммируется с вновь полученной дозой.

Таблица 9

Возможные радиационные потери при однократном (до 4-х суток) облучении

Суммарная доза H_{Σ} , бэр	Выход из строя, % ко всем облученным в течение времени, отсчитываемого от конца облучения				Смертельный исход лучевой болезни от всего количества пораженных, %	Заболевание человека и их последствия
	двух суток	второй и третьей недель	третьей и четвертой недель	всего пораженных		
10 и более	Гибель плода или грубые дефекты					
25 и более	Подавление иммунитета					
30 и более	Мутации в генах возрастают в 2 раза					
40 и более	Рост инфекционных осложнений					

Окончание табл. 9

Суммарная доза H_{Σ} , бэр	Выход из строя, % ко всем облученным в течении времени, отсчитываемого от конца облучения				Смертельный исход лучевой болезни от всего количества пораженных, %	Заболевания человека и их последствия
	двух суток	второй и третьей недель	третьей и четвертой недель	всего пораженных		
100	Ед. случаи	0	Ед. случаи	Ед. случаи	0	Лучевая болезнь первой степени (легкая)
125	То же	0	5	5	0	
130	То же	0	7	7	0	
140	То же	0	10	10	0	
145	То же	0	12	12	0	
150	То же	0	15	15	0	
155	1	0	16	17	0	
160	2	0	18	20	0	
165	2	0	20	22	0	
170	3	0	22	25	0	
175	5	0	25	30	0	
180	7	0	27	34	0	
190	10	0	30	40	0	
200	15	0	35	50	Ед. случаи	Лучевая болезнь второй степени (средней тяжести)
210	20	0	40	60	2	
225	30	40	0	70	5	
240	40	40	0	80	8	
250	50	35	0	85	10	
260	60	30	0	90	12	
280	75	25	0	100	15	
300	85	15	0	100	20	
350	90	10	0	100	35	Лучевая болезнь третьей степени (тяжелая)
400	100	0	0	100	43	
450	100	0	0	100	50	
500	100	0	0	100	75	
550	100	0	0	100	85	
600	100	0	0	100	90	Лучевая болезнь 4-й степени (крайне тяжелая)
Более 600	100	0	0	100	100	

Режимы защиты рабочих и служащих и производственной деятельности объекта в условиях радиоактивного заражения местности

Наименование зон	Уровни радиации на 1 ч после взрыва, Р/ч	Условное наименование режима защиты	Коэффициент ослабления	Характеристика режима												Общая продолжительность соблюдения режима, сутки
				Время прекращения работы объекта (люди непрерывно находятся в защитных сооружениях), ч				Продолжительность работы объекта с использованием для отдыха защитных сооружений, ч				Продолжительность режима с ограниченным пребыванием на открытой местности, ч				
				K_1 25... 50	K_2 51... 100	K_3 101... 200	K_4 1000 и более	K_1 25... 50	K_2 51... 100	K_3 101... 200	K_4 1000 и более	K_1 25.. 50	K_2 51... 100	K_3 101... 200	K_4 1000 и более	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
			K_1	4				10				22				
А	80	А-3	K_2		3				9				24			1,5
			K_3			3				8				25		
			K_4				3				7				26	
			K_1	6				16				26				
Б	100	Б-1	K_2		4				14				30			2
			K_3			3				12				33		
			K_4				3				9				36	
			K_1	8				24				28				

Окончание табл. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Б	140	Б-2	K_2		6				18				36			2,5
			K_3			5				16				39		
			K_4				4				12				44	
			K_1	12				36				46				
Б	180	Б-3	K_2		8				24				64			4
			K_3			6				20				70		
			K_4				5				14				77	
			K_1	24				48				72				
Б	240	Б-4	K_2		12				28				104			6
			K_3			8				24				112		
			K_4				6				18				120	
			K_1	48				72				120				
В	300	В-1	K_2		16				32				192			10
			K_3			12				28				200		
			K_4				8				24				208	
			K_1	96				120				144				
В	400	В-2	K_2		24				48				288			15
			K_3			18				36				306		
			K_4				12				32				316	
			K_1	144				168				168				
В	500	В-3	K_2		36				60				394			20
			K_3			32				48				400		
			K_4				24				40				416	

Примечания. 1. Рабочие и служащие работают в производственных зданиях ($K_{\text{осл}} = 7$) и проживают в каменных домах ($K_{\text{осл}} = 10$). 2. Режим (графы 13–16) предусматривает пребывание рабочих и служащих в течение суток на открытой местности до 2 ч, остальное время – в производственных зданиях и жилых домах.

ОТЧЕТ**Литература**

о выполнении расчетной работы по теме
"Прогнозирование и оценка радиационной обстановки
при спаде радиации по закону Вэя-Вигнера"

студента _____ учебной группы.

(Фамилия, инициалы)

Вариант N ____

Номер задачи	Определяемые параметры	Результат	Оценка
1	Интервал времени между вторым и первым измерениями мощности экспозиционной дозы $t_2 - t_1$		
	Отношение P_2/P_1		
	Поглощенная доза в воздухе, рад		
	Время, прошедшее от момента взрыва до второго измерения		
	Время взрыва		
2	Мощность экспозиционной дозы на 1 ч после взрыва		
	Экспозиционная доза X_{100}		
	Экспозиционная доза излучения в воздухе на открытой местности		
	Эквивалентная доза облучения человека на открытой местности		
3	Эквивалентная доза облучения человека в производственном помещении		
	Отношение $X_{зад} K_{Осл}/X_{ВХ}$		
	Допустимая продолжительность в цехах завода		
	Остаточная доза		
4	Суммарная эквивалентная доза		
	Всего пораженных:		
	Процент		
	Количество		
5	Из них со смертельным исходом		
	Наименование режима		
	Время прекращения работы завода		
	Работа объекта с отдыхом в защитных сооружениях		
	Работа объекта с ограниченным пребыванием людей на открытой местности		
	Общая продолжительность режима		

1. Защита объектов народного хозяйства от ОМП : справочник / Г. П. Демиденко [и др.]. Киев, 1989.

2. Гаврукович, Л. В. Задание на индивидуальную работу по оценке обстановки чрезвычайных ситуаций / Л. В. Гаврукович. Минск, 1991.

3. Пустовит, В. Т. Оценка радиационной, химической и экологической обстановки / В. Т. Пустовит. Минск, 1996.

Практическая работа № 3

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОЧВОЙ, ЖИВЫМИ СУЩЕСТВАМИ, РАСТЕНИЯМИ

1. Цель работы – закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки определения дозы внешнего и внутреннего облучения работников сельскохозяйственного производства и научиться выбирать способы защиты при постоянном или временном проживании на радиоактивно загрязненной местности.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Переписать форму отчета на отдельный лист (таблица 2).

2.2. Изучить учебно-методические материалы.

2.2. Выбрать исходные данные своего варианта из таблицы 1. Номер варианта указывает преподаватель.

2.3. Иметь конспект лекций или учебное пособие, рекомендованное преподавателем.

3. Материально-техническое обеспечение: микрокалькуляторы.

Общие положения

Ионизирующие излучения, распространяясь в воздухе, в различных веществах, в биологической ткани живых организмов вызывают возбуждение атомов и молекул, часто их ионизацию, а иногда и разрушение.

Для установления закономерностей распространения и поглощения ионизирующих излучений в среде, в том числе и в биологической ткани, введены характеристики – это дозы и мощности доз.

Дозой облучения называется часть энергии радиационного излучения, которая расходуется на ионизацию и возбуждение атомов и молекул любого облученного объекта.

В зависимости от места нахождения источника облучения различают внешнее и внутреннее облучение.

Внешнее облучение имеет место, если источник излучения находится вне облучаемого объекта.

Внутреннее облучение имеет место, если источник излучения находится внутри облучаемого объекта.

Источники излучения могут быть как точечными, так и распределенными на поверхности, в объеме или в массе вещества. Связь понятий источника излучения, поля, дозы и биологического эффекта демонстрируется на рисунке 1.

Исторически получилось так, что сначала было открыто фотонное излучение. Было замечено, что оно имеет свойство ионизировать воздух. Поэтому для характеристики поля было введено понятие экспозиционная доза.

Экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения характеризует их способность создавать в веществе заряженные частицы. Выражается отношением суммарного электрического заряда ионов одного знака Q , образованного излучением в некотором объеме воздуха к массе dm в этом объеме:

$$X = \frac{dQ}{dm}. \quad (1)$$

Единица измерения в системе СИ – Кулон/кг, внесистемная единица – Рентген. На практике используются и дробные единицы – мкР, мР.

Доза в 1 Р накапливается за 1 час на расстоянии 1 м от источника радия массой в 1 г, т. е. активностью в 1 Ки.

Учитывая, что экспозиционная доза накапливается во времени, на практике используется и понятие мощность экспозиционной дозы, которая характеризует интенсивность излучения.

Мощность экспозиционной дозы – отношение приращения экспозиционной дозы dX за интервал времени dt к этому интервалу:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}. \quad (2)$$

Единицы измерения: в системе СИ – А/кг (ампер на кг); внесистемная единица – Р/с, Р/ч, мР/ч, мкР/ч и т. д. Мощность дозы, измеренная на высоте 70–100 см от поверхности земли, часто называют **уровнем радиации**.

После того, как были открыты бета-излучение и альфа-излучение, стал вопрос оценки этих излучений при взаимодействии с окружающей средой. Экспозиционная доза для оценки этих излучений оказалась непригодной, так как степень ионизации от них

оказалась различной в воздухе, в различных облучаемых веществах и в биологической ткани. Поэтому была предложена, казалось бы, универсальная характеристика – поглощенная доза.

Поглощенная доза – количество энергии E , переданное веществу ионизирующим излучением **любого вида** в пересчете на единицу массы m любого вещества. Другими словами поглощенная доза (D) – это отношение энергии dE , которая передана веществу ионизирующим излучением в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме, Дж/кг:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (3)$$

1 Дж/кг = 1 Грей. Внесистемная единица – рад (радиационная адсорбционная доза). 1 Грей = 100 рад. Можно использовать и дробные значения единиц, например: мГр, мкГр, мрад, мкрад и др.

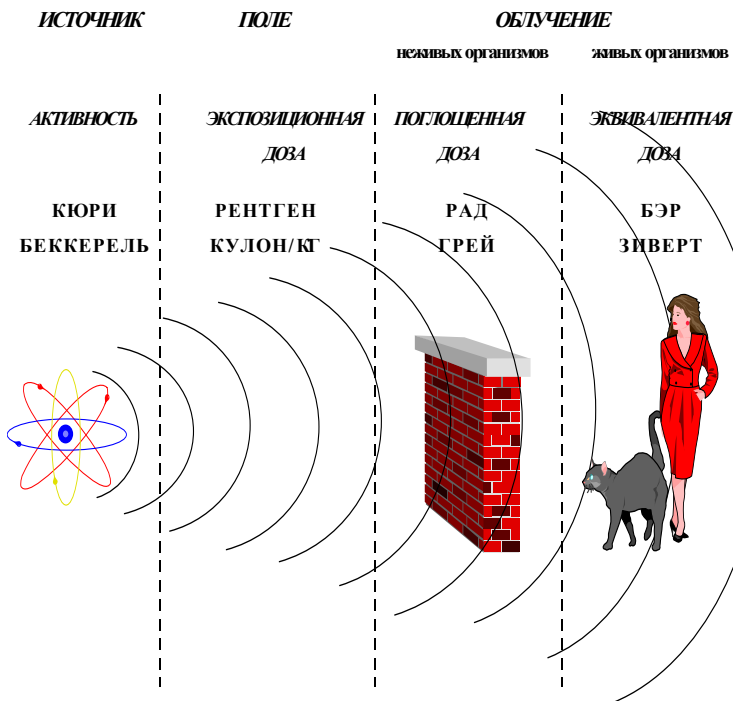


Рис. 1. Характеристики излучений

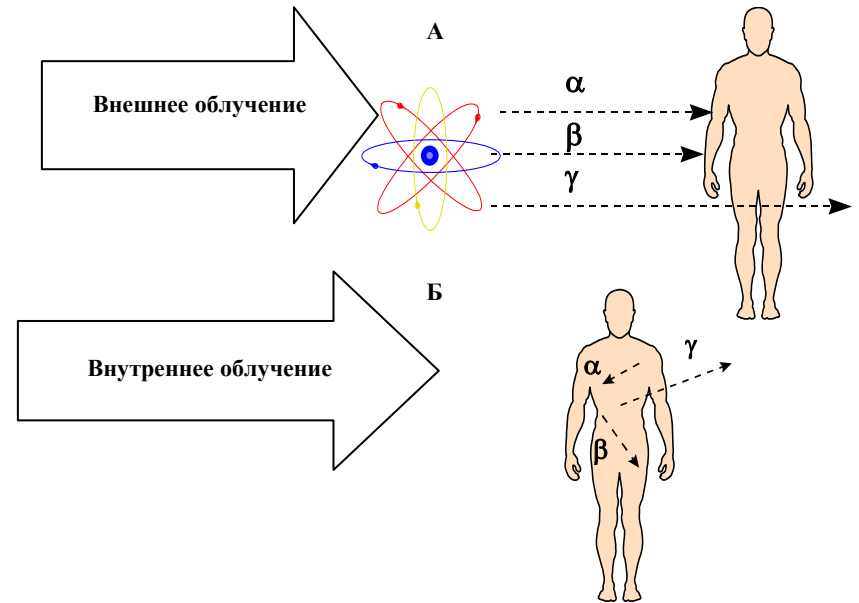


Рис. 2. Внутреннее и внешнее облучение

Мощность поглощенной дозы ионизирующего излучения – отношение приращения поглощенной дозы излучения dD за интервал времени dt к этому интервалу:

$$\dot{D} = P = \frac{dD}{dt} \quad (4)$$

Единицы измерения мощности дозы: рад/с, Гр/с, рад/ч, Гр/ч и т. д.

Эквивалентная доза ($H_{T,R}$) – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий коэффициент качества излучения W_R данного вида излучения R . Введена для оценки последствий облучения биологической ткани малыми дозами (дозами, не превышающими 5 предельно-допустимых доз при облучении всего тела человека), т. е. 250 мЗв/год. Ее нельзя использовать для оценки последствий облучения большими дозами. Доза эквивалентная равна:

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot W_R, \quad (5)$$

где $D_{T,R}$ – поглощенная доза биологической тканью излучением R ;

W_R – весовой множитель (коэффициент качества) излучения R (альфа-частиц, бета-частиц, гамма-квантов и др.), учитывающий относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

Единица измерения эквивалентной дозы в системе СИ: **Зиверт** (Зв).

Зиверт – единица эквивалентной дозы излучения любой природы в биологической ткани, которая создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр образцового рентгеновского излучения с энергией фотонов 200 кэВ. Используются также дробные единицы – мкЗв, мЗв.

Существует и внесистемная единица – **бэр** (биологический эквивалент рада), которая постепенно изымается из пользования. **1 Зв = 100 бэр**. Используются также дробные единицы – мрад, мкрад.

В Республике Беларусь около 100 тысяч человек работают с источниками гамма и рентгеновского излучения. Согласно НРБ-2000 каждый из них может получить до **20 мЗв** в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более **50 мЗв/год**. Ниже приводится методика расчета и оценки доз внешнего облучения при работе с точечным источником.

Практическая часть

Задача 1. Расчет доз внешнего фотонного излучения от точечного источника.

1.1. Мощность дозы фотонного излучения, Р/ч, рассчитывается по формуле:

$$\dot{X} = A \cdot \Gamma / R^2, \quad (1)$$

где: A – активность радионуклида в источнике, [мКи];

Γ – гамма-постоянная радионуклида [(Р · см²)/(ч · мКи)];

R – расстояние "источник – объект", см.

Результаты расчетов записать в системе СИ.

1.2. Экспозиционная доза (Кулон / килограмм) определяется по формуле:

$$X_B = \dot{X} \cdot t.$$

$$X_B = t \cdot A \cdot \Gamma / R^2. \quad (2)$$

В формуле (2) t – время облучения, ч в течение одного года.

1.3. Поглощенная доза (в Грех) в воздухе:

$$D_B = 0,88 X_B. \quad (3)$$

1.4. Поглощенная доза (в Грех) в биологической ткани:

$$D_T = 0,96 X_B. \quad (4)$$

1.5 Эквивалентная доза для фотонного излучения, Зиверт:

$$H = 0,96 X_B. \quad (5)$$

Сравниваем значение H с максимально допустимым $H_{\text{доп}} = 50$ мЗв в данном году. Если доза не превышает 50 мЗв, то считается, что НРБ-2000 соблюдаются, дополнительные меры защиты не принимаются. Если эквивалентная доза превышает допустимый предел 50 мЗв, то необходимо принять технические или организационные меры по снижению уровня облучения работающего персонала (в отчете указать основные меры защиты).

Примечание. При расчете доз и мощностей доз по вышеприведенным формулам необходимо помнить, что эти расчеты приближенные. Результаты расчетов представить в системе СИ.

Задача 2. Расчет эквивалентных доз внешнего гамма-облучения людей по измеренной начальной активности.

Местность загрязнена цезием-137 с активностью A_{0s} . Какую дозу внешнего гамма-излучения H_γ получит население, постоянно проживающее на этой территории в течение t лет? Считать, что люди постоянно находятся на открытой местности. Период полураспада цезия-137 – 30 лет.

Использовать формулы:

$$X = \left(\frac{\dot{X}_H}{2} + \frac{\dot{X}_K}{2} \right) \cdot t, \quad (6)$$

где X – экспозиционная доза, мкР; \dot{X}_H – мощность экспозиционной дозы в начале облучения, мкР/ч; \dot{X}_K – мощность экспозиционной дозы в конце облучения, мкР/ч; $\dot{X}_H = 15 A_{0s}$; $\dot{X}_K = 15 \cdot A_{0s} / 2^{t/T}$; [A_{0s}] – Ки/км².

При расчете величины X величина t преобразуется из лет в часы, а результат в мкР преобразуют в Р.

Так как $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$, а $1 \text{ Р} = 1 \text{ бэр}$, то эквивалентная доза внешнего гамма-облучения H_γ , бэр, вычисляется по формуле:

$$H_\gamma = 0,96 X. \quad (7)$$

Полученную дозу сравнивают с дозами, при которых возможны хронические степени лучевой болезни и делают вывод о последствиях такого облучения. Результаты расчетов представить в системе СИ.

Задача 3. Расчет эквивалентных доз внутреннего облучения с помощью дозовых коэффициентов.

Известно, что 90 % составляет внутреннее облучение и только 10 % – внешнее облучение, при этом 90 % радиоактивных веществ попадает в организм человека с пищей и водой и только около 10 % – с воздухом.

Выражения для оценки годовой мощности эквивалентной дозы \dot{H}_{ig}^1 при поступлении радиоактивных веществ с водой, пищей и воздухом можно определить по формулам:

$$\dot{H}_{ig} = B_{ig} \cdot A_v \cdot v = B_{ig} \cdot A_m \cdot M, \quad (8)$$

где A_v – объемная активность воздуха, воды или молока, Бк/м³;

A_m – удельная активность потребляемой пищи, Бк/кг;

v – объем вдыхаемого воздуха, потребляемых воды или молока в единицу времени, м³/год;

M – масса потребляемых продуктов питания, кг/год;

B_{ig} – дозовые коэффициенты, мЗв/Бк.

Эквивалентная доза внутреннего облучения, Зв, рассчитывается по формуле:

$$H_{внут} = \dot{H}_{ig} \cdot t. \quad (9)$$

В формуле (9) $t = 365$ суток, если величины v и M рассчитаны на сутки.

Полученное значение дозы H сравнивается с предельно допустимой дозой для населения из НРБ-2000. Если доза не превышает 5 мЗв/год, то считается, что НРБ-2000 соблюдаются. Если эквива-

лентная доза превышает максимально допустимый предел 5 мЗв/год, то необходимо принять меры радиационной защиты (в отчете указать основные меры защиты, считая, что население на данной территории проживает постоянно).

Результаты расчетов записать в системе СИ.

Задача 4. Расчет поглощенных доз внешнего и внутреннего облучения человека при длительном проживании на радиоактивно загрязненной территории.

При длительном проживании на радиоактивно-загрязненной территории, загрязненной аэрозолями цезия-137 и стронция-90, и учитывая, что их период полураспада примерно одинаков (принимая равной 30 лет), условно можно считать, что мощность дозы в течение года остается неизменной. Тогда мощность поглощенной дозы определяется по формуле:

$$P_0 = 0,2 \cdot \mu \cdot E \cdot A_{s0}, \quad (10)$$

где μ – линейный коэффициент ослабления излучения воздухом, определяемый по ниже приведенной таблице, 1/см;

E – энергия излучения, МэВ;

A_{s0} – уровень первоначального загрязнения после аварии на ЧАЭС, Ки/км².

Зависимость линейного коэффициента ослабления гамма- и бета-излучения воздухом от энергии излучения

Характеристики излучений	Виды излучения				
	Бета-излучение				Гамма-излучение
Энергия E , МэВ	0,51	0,52	0,55	2,27	0,66
μ , 1/см · 10 ⁻⁴	1,102	1,098	1,082	0,540	1,013

Поглощенная доза внешнего облучения рассчитывается по формуле:

$$D_{вн} = \frac{T \cdot P_0}{K_{сз} \cdot 0,693} [2^{-t_n/T} - 2^{-t_k/T}], \quad (11)$$

где t_n – время начала проживания на загрязненной территории с момента аварии на ЧАЭС, год;

t_k – время окончания проживания, год;

P_0 – мощность поглощенной дозы, рад/год;

T – период полураспада; $K_{сз}$ – коэффициент средней защищенности, который рассчитывается по формуле:

$$K_{сз} = \frac{T_{реж}}{t_c / K_{зс} + t_з / K_{пз} + t_d / K_{жд} + t_t / K_{тр} + t_m}, \quad (12)$$

где $T_{реж}$ – длительность соблюдения режима, ч;

$t_c, t_з, t_d, t_t, t_m$ – продолжительности пребывания людей, соответственно, в защитных сооружениях, производственных зданиях, жилых домах, транспорте и на открытой местности, ч.;

$K_{зс}, K_{пз}, K_{жд}, K_{тр}$ – коэффициенты ослабления, соответственно, защитных сооружений, производственных зданий, жилых домов, транспортных средств, показывающие во сколько раз уровень радиации и доза излучения в них ниже, чем на открытой местности.

Поглощенную дозу внутреннего облучения $D_{внут}$, рад, можно определить по формуле (13). При начальном уровне загрязнения почвы цезием-137 равным 5 Ки/км^2 и при проведении агротехнических мероприятий поглощенная доза внутреннего облучения в среднем составляет $0,15 \text{ рад/год}$. При других начальных уровнях загрязнения доза пропорциональна $A_{s0}/5$.

$$D_{внут} = 0,15 \cdot \frac{A_{s0}}{5} \cdot (t_k - t_n). \quad (13)$$

Суммарную дозу облучения определяют по формуле:

$$D_{\Sigma} = D_{вн} + D_{внут}. \quad (14)$$

Суммарное значение дозы сравнивают максимальной дозой, которая допускается НРБ-2000 для населения или других категорий населения.

Если D_{Σ} превысит допустимую, то вносят коррективы в режим проживания людей на загрязненной территории, в частности, можно, например, до минимума сократить время пребывания на открытой местности. Результаты расчетов представить в системе СИ.

Таблица 1

Исходные данные для решения задач

Номер варианта	Задача 1			
	Γ , [(P · см ²) / (ч · мКи)];	A, мКи	t, ч	R, см
1	3,24 (цезий-137)	5	250	300
2	9,03 (радий-226)	12	500	180
3	13,85 (кобальт-60)	15	200	200
4	9,03 (радий-226)	10	600	150
5	3,24 (цезий-137)	9	400	130
6	13,85 (кобальт-60)	2	700	100
7	9,03 (радий-226)	12	2000	20
8	13,85 (кобальт-60)	10	250	160
9	9,03 (радий-226)	8	280	90
10	13,85 (кобальт-60)	15	260	30
11	3,24 (цезий-137)	7	2000	150
12	13,85 (кобальт-60)	2	3000	90
13	9,03 (радий-226)	5	600	40
14	13,85 (кобальт-60)	10	1000	100
15	3,24 (цезий-137)	10	1600	130

47

Продолжение табл. 1

Номер варианта	Задача 2		Задача 3					Продукты питания
	A _{0s} , Ки/км ²	t, лет	V, литр мо- лока в сутки	M, кг/сутки	A _v , Бк/л	A _m , Бк/кг	B _{ig} , мЗв/Бк	
1	40	60	2	0,2	400	600	1,4 · 10 ⁻⁵	говядина
2	30	70	0,5	0,5	300	800	1,4 · 10 ⁻⁵	баранина
3	35	60	1	2,2	150	130	1,4 · 10 ⁻⁵	овоци
4	25	65	—	1,5	—	185	1,4 · 10 ⁻⁵	птица
5	20	70	0,2	0,2	550	1500	1,4 · 10 ⁻⁵	грибы
6	20	75	0,3	—	12	—	3,5 · 10 ⁻⁵	молоко
7	15	60	0,1	0,1	120	800	1,4 · 10 ⁻⁵	грибы
8	19	70	0,25	1,5	135	180	1,4 · 10 ⁻⁵	овоци
9	22	60	1,5	1,7	170	185	1,4 · 10 ⁻⁵	овоци
10	33	65	1,3	0,5	160	550	1,4 · 10 ⁻⁵	говядина
11	34	75	1,2	0,8	185	150	1,4 · 10 ⁻⁵	свинина
12	24	60	1,9	0,3	127	580	1,4 · 10 ⁻⁵	баранина
13	23	67	1,2	0,7	111	650	1,4 · 10 ⁻⁵	говядина
14	40	68	0,5	1,0	172	80	1,4 · 10 ⁻⁵	фрукты
15	39	70	0,65	—	8	—	3,5 · 10 ⁻⁵	молоко

48

Примечание. B_{ig} = 1,4 · 10⁻⁵ мЗв/Бк – для цезия-137; B_{ig} = 3,5 · 10⁻⁵ мЗв/Бк – для стронция-90.

Задача 4									
Номер варианта	$A_{\text{зоб}}$ Ки/км ²	$t_{\text{н}}$ лет	$t_{\text{к}}$ лет	$t_{\text{д}}$ ч	$K_{\text{жд}}$	$t_{\text{п}}$ ч	$K_{\text{пз}}$	$t_{\text{м}}$ ч	Принятые допущения
1	1	10	60	8	10	8	5	8	1. $T_{\text{реж}} = 24$ ч. В задаче не учитывается время пребывания в защитных сооружениях и коэффициент защищенности защитного сооружения 2. В задаче не учитывается время пребывания и коэффициент защищенности при поездке в транспорте
2	2	1	70	8	13	6	7	10	
3	3	0	60	8	15	10	5	6	
4	4	0	60	8	8	6	6	10	
5	5	1	70	8	6	8	7	8	
6	6	5	50	10	7,5	6	7	8	
7	7	1	65	8	8	8	5	8	
8	8	0	72	8	8	6	9	10	
9	9	0	68	8	10	8	8	8	
10	10	1	56	10	26	6	7	8	
11	11	0,5	30	8	44	10	7	6	
12	12	0	75	10	30	6	6	8	
13	13	10	65	8	2	8	7	8	
14	14	2	70	10	6	6	8	8	
15	15	10	60	8	2	4	8	12	

ОТЧЕТ

о выполнении расчетной работы по теме
"Расчет доз внешнего и внутреннего облучения"

студента _____ учебной группы.

(Фамилия, инициалы)

Вариант N ____

Номер задачи	Определяемые параметры	Результат	Оценка
1	Мощность дозы, Р/ч		
	Экспозиционная доза, Р		
	Поглощенная доза в воздухе, рад		
	Поглощенная (эквивалентная) доза в биологической ткани, рад (бэр)		
	Результаты сравнения с $H_{\text{доп}}$ для профессионалов		
	Предложения по радиационной защите		
2	Мощность экспозиционной дозы в начале облучения, мкР/ч		
	Мощность экспозиционной дозы через t , мкР/ч		
	Экспозиционная доза за t лет, Р		
	Эквивалентная доза за t лет, мЗв		
	Степень лучевой болезни		
3	Годовая мощность эквивалентной дозы внутреннего облучения		
	Годовая эквивалентная доза внутреннего облучения		
	Суммарная эквивалентная доза внешнего и внутреннего облучения		
	Результаты сравнения с $H_{\text{доп}}$ для населения.		
	Предложения по радиационной защите		
4	Мощность поглощенной дозы		
	Поглощенная доза внешнего облучения		
	Поглощенная доза внутреннего облучения		
	Суммарная поглощенная доза внутреннего и внешнего облучения		
	Предложения по радиационной защите		

Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ–2000). Минск, 2001.
2. *Батырев, В. А.* Методическое пособие по радиационной безопасности и радиационной экологии для студентов технических и технологических вузов Республики Беларусь / В. А. Батырев, А. В. Бусел, С. В. Дорожко. Минск, 1992.
3. *Саечников, В. А.* Основы радиационной безопасности / В.А. Саечников, В. М. Зеленкевич. Минск, 2002.
4. *Дорожко, С. В.* Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность / С. В. Дорожко, В. П. Бубнов, В.Т. Пустовит. Минск, 2003.

Практическая работа №4

РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАБОТНИКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАДИАЦИИ

1. Цель работы – закрепить теоретические знания о влиянии ионизирующих излучений на организм человека и получить практические навыки рассчитывать дозы облучения, получаемые работниками сельскохозяйственных предприятий, и оценивать риск заболеваемости при действии радиации.

2. Порядок выполнения работы

- 2.1. Переписать форму отчета на отдельный лист (таблица 5).
- 2.2. Изучить методические указания, ознакомиться с представленным учебным материалом.
- 2.3. Выбрать исходные данные своего варианта. Номер варианта указывает преподаватель.
- 2.4. Иметь конспект лекций или учебное пособие, рекомендованное преподавателем.
- 2.5. Приступить к выполнению работы согласно приведенной ниже методике.

3. Материально-техническое обеспечение: микрокалькулятор, схемы, плакаты.

Общие положения

Жизнь и любая деятельность работника сельскохозяйственного производства происходит в радиоактивном и рискованном мире. Это особенности нашего мира и избавиться от них невозможно.

Определение слова «риск» в словаре – возможность человеческих жертв и материальных потерь или травм и повреждений.

Риск – вероятность случайного или закономерного (в рамках определенных условий) события, приносящего желательные

(обычно субъективные выигрышные) или негативные результаты; расчетная величина вероятности негативного события, например, смертельного исхода при катастрофе, аварии, несчастном случае, вероятности заболевания при загрязненном воздухе и т. п.

Риск – отношение числа совершившихся событий к числу возможных событий при одновременном воздействии факторов разной природы (физической, химической, биологической, экологической, экономической, социальной).

В технических терминах:

$$\frac{50 \text{ т. смерт. исходов в год}}{200 \text{ млн человек}} = 2,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{смерт. исходов}}{\text{в год на человека}}$$

Общее число аварий ориентировочно 50 млн в год, число катастроф (смертельных исходов на аварию) = $\frac{50 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^6} = \frac{5 \cdot 10^4}{5 \cdot 10^7} = 10^{-3}$,

материальные потери:

$$\frac{\text{мат. потери}}{\text{время}} = \text{частота} \left(\frac{\text{аварий}}{\text{время}} \right) \cdot \text{величина} \left(\frac{\text{потери}}{\text{авария}} \right).$$

Риск считается приемлемым (максимально допустимым, разумным), если число жертв в результате немедленной или отдаленной смерти, хронического заболевания и т. п. от гипотетической катастрофы или аварии не превышает 1 случай на 1 млн (10^{-6}) жителей в год.

Риск считается недопустимым (исключительно высокий уровень риска смерти), если в результате деятельности человека он равен или более 10^{-2} (один случай из ста).

Риск 10^{-8} (1 шанс из 100 млн человек в год) считается пренебрежимо малым. Дальнейшие усилия по снижению риска влекут экономические и социально бессмысленные траты (в какой-то мере опасно и просто жить: каждый следующий момент приближает каждого из нас к смертельному финалу).

Риск радиационный – вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

Однократное острое, пролонгированное, дробное, хроническое облучение в дозе, отличной от нуля, по современным представлениям, может увеличить риск отдаленных стохастических эффектов – рака и генетических нарушений.

Различают три степени острой лучевой болезни – легкую (1–2,5 Гр), среднюю (2,5–4 Гр) и тяжелую (4–10 Гр). При более высоких дозах развивается крайне тяжелая форма болезни с очень быстрым развитием и гибелью в зависимости от дозы – «кишечной» или «костномозговой».

Хроническая лучевая болезнь развивается при общем облучении относительно малыми дозами радиации за счет ежедневного внешнего или внутреннего облучения (тритий и цезий-137) 0,1–0,5 бэр по достижению суммарной дозы 70–100 бэр. После прекращения облучения очень медленно идет процесс восстановления системы крови и кроветворения.

Имеющихся данных недостаточно, чтобы окончательно отвергнуть концепцию о беспороговости действия ионизирующей радиации на организм человека, но вся сумма имеющихся фактов единодушно подтверждает: существует реальный биологический порог действия ионизирующей радиации на уровне 0,1–0,25–0,3 Гр.

Риск равен

$$R = R_0 \cdot r \cdot H, \quad (1)$$

где R – риск, полученный при эквивалентной дозе H и r и равен 1 Зв (вероятность серьезного нарушения здоровья на единицу эквивалентной дозы);

$$R_0 = 10^{-2}.$$

Предел индивидуального **пожизненного риска** в условиях нормальной эксплуатации для техногенного облучения в течении года персонала принимается округленно $1,0 \cdot 10^{-3}$, а для населения – $5,0 \cdot 10^{-5}$.

Уровень **пренебрежимого риска** разделяет область оптимизации риска и область безусловно приемлемого риска и составляет 10^{-6} .

Предложения по снижению риска заболеваемости при действии радиации

Снижение риска до возможно низкого уровня (оптимизацию) следует осуществлять с учетом двух обстоятельств:

- предел риска регламентирует потенциальное облучение от всех возможных источников излучения, поэтому для каждого источника излучения устанавливается граница риска;

- при снижении риска потенциального облучения существует минимальный уровень риска, ниже которого риск считается пренебреженным и дальнейшее снижение риска нецелесообразно.

Дозы внешнего и внутреннего облучения человека

Мощность дозы (поглощенная P , Гр/с; эквивалентная \dot{H} , Зв/с; экспозиционная \dot{X} , Р/ч) определяется по формуле

$$P = P_0 \cdot e^{-\lambda_{эф} t}, \quad (2)$$

где величина начальной мощности P_0 при значении $t = 0$ определяется видом источника радиации (точечный, плоский, объемный) и условиями задачи.

Доза для любого момента времени равна

$$D = \int_{t_n - t_0}^{t_k - t_0} P_0 e^{-\lambda_{эф} t} dt = \frac{P_1}{\lambda_{эф}} (1 - e^{-\lambda_{эф} t}) = P_1 \cdot 1,44 \cdot t_{эф} \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{эф}}} \right), \quad (3)$$

где $P_1 = P_0 e^{-\lambda_{эф}(t_n - t_0)} = P_1 \cdot 2^{-\frac{t_n - t_0}{T_{эф}}}$.

Величины $t_1 = t_k - t_n$; t_n , t_k – год начала проживания и окончания проживания на загрязненной местности соответственно; $t_0 = 1986$ – год Чернобыльской катастрофы. Для других условий задачи величина t_0 принимается равной нулю.

При различных соотношениях интервалов времени проживания и

$$T_{эф} = \ln 2 / \lambda_{эф}.$$

$$1. t_1 \ll T_{эф} (\lambda_{эф} \cdot t_1 \ll 1) - D = P_1 \cdot t_1. \quad (3.1)$$

$$2. t_1 \sim T_{эф} (\lambda_{эф} \cdot t_1 \sim 1) - \text{интервалы времени соизмеримы с } T_{эф}. \quad (3.2)$$

$$3. t_1 \gg T_{эф} (\lambda_{эф} \cdot t_1 \gg 1) - D = P_1 / \lambda_{эф} = 1,44 \cdot T_{эф} \cdot P_1. \quad (3.3)$$

Следует еще раз подчеркнуть, что полученные формулы применимы для любого типа дозы.

Практическая часть работы

Рассчитать величину риска заболеваемости органов и тканей человека за 10, 30, 50, 70 лет и построить график зависимости риска от времени.

Сравнить риски при внешнем и внутреннем облучении и найти их сумму.

Сделать вывод о влиянии видов облучения на возможность возникновения неблагоприятных эффектов.

Оформить отчет по заданному варианту.

Задание 1. Внешнее облучение человека

Мощность эквивалентной дозы H , Зв/с, вычисляется по формуле:

$$P = \dot{H}_s = B_{sy} \cdot A_s^0, \quad (4)$$

где A_s^0 – поверхностная активность, Бк/м²; передовой коэффициент B_{sy} определен в таблице, приведенной ниже.

Расчет мощности эквивалентной дозы H , Зв/с, на открытой местности

$$\dot{H} = B_{\alpha\gamma} \cdot A_v^0, \quad (5)$$

где A_v^0 – объемная активность, Бк/м³; дозовый коэффициент $B_{\alpha\gamma}$ приведен в таблице ниже.

Формула для определения полной ожидаемой эквивалентной дозы от загрязнений почвы может быть получена аналогично.

Ожидаемая доза H_s^c , Зв, за время облучения t равна:

$$H_s^c = B_{sy} \cdot A_s^0 \cdot [1 - \exp(-\lambda_{\text{эф}} \cdot t)] / \lambda_{\text{эф}}, \quad (6)$$

где $\lambda_{\text{эф}} = \lambda + \lambda_{\text{в}}$; $\lambda_{\text{в}}$ – постоянная биологического выведения из верхнего слоя почвы, которая в данном случае принята равной $\lambda_{\text{в}} = 0,04 \text{ год}^{-1}$ (т. е. 4 % в год).

При интервалах времени $t \ll T_{1/2}$ (долгоживущие радионуклиды)

$$H_s = B_{sy} \cdot A_s^0 \cdot t, \quad (6.1)$$

при $t \rightarrow \infty$ ($t = 70$ лет) пожизненная доза

$$H_s = B_{sy} \cdot A_s^0 / \lambda_{\text{эф}}. \quad (6.2)$$

Задание 1.1. Проживание в жилых помещениях. Мощность дозы γ -излучения, н Гр/ч, определяется по формуле:

$$P = 1,04 \cdot A_{\text{эф}}. \quad (6.3)$$

$$A_{\text{эф}} = A_{Ra} + 1,34 A_{Th} + 0,09 A_k, \quad (7)$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_k – активность в строительных материалах (Бк/кг) радия-226, тория-232 и калия-40 соответственно.

Таблица 1

Удельная активность природных радионуклидов в строительных материалах

Номер вар.	Строительный материал	Средняя концентрация, Бк/кг		
		K-40	Ra-226	Th-232
Природного происхождения				
1	Гранит	1200	100	80
2	Гранитные кирпичи	1000	90	85
3	Гранит	1500	110	170
4	Вулканический туф	1500	130	120
5	Продукты вулканических извержений	1100	130	130
6	Бетон, содержащий глинистые сланцы	850	150	70
Промышленного происхождения				
7	Фосфогипс из фосфоритов	110	600	5
8	Фосфогипс (тип 1)	70	800	20
9	Фосфогипс (тип 2)	-	1500	7
10	Шлак силикат кальция (тип 1)	-	2150	-
11	Шлак силикат кальция (тип 2)	-	1300	-
12	Шлак силикат кальция (тип 3)	-	1500	-
13	Кирпич	330	280	230
14	Летучая зола (тип 1)	770	710	210
15	Летучая зола (тип 2)	50	7	40
16	Летучая зола (тип 3)	550	140	30
17	Летучая зола (тип 4)	220	50	45
18	Доменный шлак	240	70	20
19	Шлаковый заполнитель	190	100	70

Задание 1.2. Проживание на территориях вблизи работающих или работавших ТЭС на угле, загрязненных долгоживущими радионуклидами (радий, полоний, свинец и др.).

Таблица 2

Радионуклиды, содержащиеся в угле, с золой ТЭС мощностью 1000 МВт

Номер варианта	Радионуклид	$T_{1/2}$	A_s^0 , мКи/м ²	A_v^0 , 10 ⁻⁸ Ки/л	$B_{сy}$, $\frac{Зв \cdot м^2}{с \cdot Бк}$	$B_{aт}$, $\frac{Зв \cdot м^3}{с \cdot Бк}$
1	Ra-226	1600 лет	10,5	1,7		
2	Ra-228	5,75 года	2,35	1,1		
3	Pb-210	22,3 года	31	4,0		
4	Po-210	138,4 сут	19	3,9	4,94-21	5,74-19
5	Th-232	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет	–	1,7		
6	K-40	$1,28 \cdot 10^9$ лет	105	–	0,774-18	–

Задание 1.3. Проживание на территориях, загрязненных радионуклидами, после катастрофы на ЧАЭС.

При выполнении вариантов – $A_s^0 = 1$ Ки/км² или величины загрязнений определяются по карте загрязнений территории Республики Беларусь.

Таблица 3

Дозовые коэффициенты для фотонного излучения радионуклидов

Радионуклид	$B_{сy}$, Зв·м ²	$B_{aт}$, Зв·м ³
	с·Бк	с·Бк
Цезий-134	7,83-16	1,05-13
Цезий-137	7,91-16	3,81-14
Плутоний-238	1,87-19	1,24-16
Плутоний-239	3,73-20	5,37-17
Плутоний-240	1,96-20	1,17-16
Плутоний-241	1,54-20	1,72-19
Америций-241	1,26-17	2,19-11

Задание 2. Внутреннее облучение органов и тканей человека

Основным видом облучения жителей Республики Беларусь в настоящее время и в будущем является внутреннее при поступлении радионуклидов с пищей, водой.

Для расчета дозы излучения при поступлении радиоактивных веществ в отдельный орган в целом необходимо знать содержание радионуклида в ткани или органе и энергию излучения, испускаемого при радиоактивном распаде. Мощность поглощенной дозы D , Гр/ч, создаваемой в органе или ткани, равна:

$$\dot{D} = 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot E \cdot A_T, \quad (8)$$

где E – эффективная энергия излучения α - или β -частиц, МэВ;

A_T – удельная активность радионуклида в ткани в данный момент времени, кБк/г.

Вследствие радиоактивного и минерального обмена происходит уменьшение концентрации радионуклида в организме при однократном и накопление – при хроническом поступлении. В этом случае для расчета поглощенной дозы создаваемой в организме или критическом органе следует учитывать дополнительный параметр – эффективный период полувыведения $T_{эф}$ радионуклида из организма:

$$\lambda_{эф} = \lambda + \lambda_6, \quad T_{эф} = T_{1/2} \cdot T_6 / (T_{1/2} + T_6), \quad (9)$$

где T_6 – период биологического полувыведения радионуклида из организма в процессе минерального обмена.

2.1. Однократное поступление радионуклидов

Для экспоненциальной модели выведения радионуклида из организма поглощенная доза излучения D_t , Гр, создаваемая в органе или ткани за время t , сут, после однократного поступления равна

$$D = \frac{1,4 \cdot E \cdot A_0}{m \cdot \lambda_{эф}} [1 - \exp(-\lambda_{эф} \cdot t)], \quad (10)$$

где A_0 – начальная активность радионуклида в ткани, после однократного поступления,

m – масса органа или ткани, г.

Поглощенная доза D , Гр, в критическом органе до полного выведения радионуклида, т. е. при $t \rightarrow \infty$, будет равна:

$$D = \frac{1,4 \cdot E \cdot A_0}{m \cdot \lambda_{эф}}, \quad (10.1)$$

а при $t \ll T_{эф}$

$$D = 1,4 \cdot E \cdot A_0 \cdot t / m. \quad (10.2)$$

2.2. Хроническое поступление радионуклидов

При хроническом поступлении

$$D = \frac{140 \cdot E \cdot A_0}{m \cdot \lambda_{эф}} \left[t - \frac{1 - \exp(-\lambda_{эф} \cdot t)}{\lambda_{эф}} \right], \quad (11)$$

где A_m^c – активность ежесуточного поступления радионуклида в расчете на 1 г органа или ткани, Бк;

t – время, сут, от начала поступления за которое определяется поглощенная доза.

Приведенные формулы применимы для случая равномерного распределения радионуклида по критическому органу. При неравномерном распределении радионуклида расчет дозы усложняется.

Приведенные дозовые коэффициенты фотонного излучения применяются для решения и других задач.

Радиобиологические константы наиболее распространенных радионуклидов

Номер варианта	Нуклид	Критический орган (масса органа, г)	$E_{эф}$, МэВ	Период Полураспада $T_{1/2}$, сут	Период полу-выведения T_0 , сут
1	H-3 (НТO)	Все тело (70000)	0,018	$4,5 \cdot 10^3$	12
2	C-14	Все тело	0,27	$2,0 \cdot 10^6$	10
3	P-32	Кости (15000)	3,5	14,3	257
4	S-35	Все тело	0,056	87,1	90
5	Ca-45	Кости	0,43	164	$1,8 \cdot 10^4$
6	Fe-59	Селезенка (180)	0,34	45,1	600
7	Co-60	Все тело	1,5	$1,9 \cdot 10^3$	9,5
8	Sr-89	Кости	2,8	50,5	$1,8 \cdot 10^4$
9	Sr-90	Кости	5,5	$1,0 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$
10	I-131	Щитовидная железа (20)	0,23	8	138
11	Cs-137	Все тело	0,59	$1,1 \cdot 10^4$	70
12	Ba-140	Кости	4,2	12,8	65
13	Ce-144	Кости	6,3	290	1500
14	Au-198	Почки (310)	0,41	2,7	280
15	Po-210	Селезенка	5,3	138,4	60

Приложение 1

Коэффициенты риска для органов и тканей

Критический орган	Заболевание	Риск r , 10^{-2}Зв^{-1}
Все тело, красный костный мозг	Лейкемия	0,2
Щитовидная железа	Рак щитовидной железы	0,05
Молочная железа	Рак молочной железы	0,25
Скелет	Опухоли костной ткани	0,05
Легкие	Опухоли легких	0,2
Все остальные органы и ткани	Опухоли других тканей	0,5
Все органы и ткани	Все злокачественные опухоли	1,25
Гонады	Наследственные дефекты	0,4
Всего		1,65

Приложение 2

Сводка формул вычисления мощности дозы и величины дозы

Мощность дозы – поглощенной, эквивалентной, экспозиционной:

$$\dot{D} = P = dD / dt;$$

$$\dot{H} = dH / dt;$$

$$\dot{X} = dX / dt$$

(выражения для других видов доз записываются аналогично).

Для любого вида и типа источников ионизирующего излучения, содержащих радионуклиды:

$$P(t) = P_0 \cdot e^{-\lambda_{\text{эф}} \cdot t} = P_0 2^{-t/T_{\text{эф}}},$$

где начальная мощность дозы P_0 определяется типом источника (точечный, плоский) и типом облучения (внешнее, внутреннее).

$$\lambda_{\text{эф}} = \lambda + \lambda_{\text{н}} - \text{внешнее облучение};$$

$$\lambda_{\text{эф}} = \lambda + \lambda_{\text{в}} - \text{внутреннее облучение};$$

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda;$$

$$T_{\text{эф}} = \ln 2 / \lambda_{\text{эф}} = 0,693 / \lambda_{\text{эф}}.$$

Поглощенная доза:

$$D = \int_0^t P(t) dt = \frac{P_0}{\lambda_{\text{эф}}} (1 - e^{-\lambda_{\text{эф}} \cdot t}) = \frac{P_0}{\lambda_{\text{эф}}} \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{\text{эф}}}} \right) \quad (\text{П1})$$

(для остальных видов доз вычисления аналогичны). Формула (П1) применима при любом соотношении величины времени t и $T_{\text{эф}}$.

Предельные частные случаи:

1. $t \ll T_{\text{эф}}$ (практически $t \ll 0,1 T_{\text{эф}}$),

$$D = P_0 t; \quad (\text{П2})$$

2. $t \sim T_{\text{эф}}$ – формула (П1);

3. $t \gg T_{\text{эф}}$ (практически $t \gg 0,1 T_{\text{эф}}$),

$$D = P_0 / \lambda_{\text{эф}} = 1,44 \cdot T_{\text{эф}} \cdot P_0; \quad (\text{П3})$$

4. $P(t) = P_0 = \text{const}$ (естественный радиационный фон, долгоживущие радионуклиды).

$$D = P_0 \cdot t. \quad (\text{П4})$$

Подробные определения в тексте методических указаний [2, 4].

Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ–2000). Минск, 2001.
2. Принципы радиационной защиты при удалении твердых радиоактивных отходов. Публикация 46 МКРЗ. Москва: Энергоатомиздат, 1988.
3. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: справочник / под ред. В.А. Филова. Ленинград, 1990.
4. Батырев, В. А. Методическое пособие по радиационной безопасности и радиационной экологии для студентов технических и технологических вузов Республики Беларусь / В. А. Батырев, А. В. Бусел, С. В. Дорожко. Минск, 1992.

Отчет
о выполнении работы

" _____ "

студента _____ учебной группы _____.

Задача № _____ Вариант № _____.

Радионуклид _____ $T_{1/2} =$ _____,

$T_{эф} =$ _____.

Но- мер п/п	Расчетная операция					Формула расчета
	t	$H_{вн}$	$H_{внутр}$	Σ	R	
1	0					
2	1					
3	5					
4	10					
5	20					
6	30					
7	40					
8	50					
9	60					
10	70					

По данным таблицы построить график зависимости величин H от времени.

Сделать вывод о вероятности возникновения различного вида заболеваний у человека в разные периоды времени жизни.

ГЛОССАРИЙ

Авария – нарушение эксплуатации ядерной установки (например, атомной станции), при котором происходит выход радиоактивных материалов и/или ионизирующих излучений в количествах, приводящих к значительному облучению персонала, населения и окружающей среды.

Активность – мера радиоактивности. Определяет количество атомных ядер, распадающихся за одну секунду, или число актов распада в секунду (скорость радиоактивного распада). Измеряется в Беккерелях (Бк) – система СИ, либо Кюри (Ки) – внесистемная единица.

Активность радиоактивного вещества объемная – отношение активности радиоактивного вещества к объему этого вещества. Единицей объемной активности радиоактивного вещества является Бк/куб.м.

Активность радиоактивного вещества удельная – отношение активности радиоактивного вещества к массе этого вещества. Единицей удельной активности радиоактивного вещества является Бк/кг.

Альфа-распад (α -распад) – самопроизвольный распад атомных ядер некоторых элементов, сопровождающихся испусканием α -частиц (${}^2_4\text{He}$).

Альфа-частицы (α -частицы) – частицы, выделяемые из ядра атома. Они состоят из 2 протонов и 2 нейтронов и идентичны ядру атома гелия. Положительно заряжены, относительно тяжелые, плохо проникают в ткани. Мало вредоносны при наружном воздействии, но очень опасны при поступлении внутрь организма.

Ампер на килограмм – единица мощности экспозиционной дозы излучения; мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, при которой за время 1 с сухому атмосферному воздуху передается экспозиционная доза излучения 1 Кл/кг.

Аннигиляция – взаимодействие элементарной частицы и античастицы, в результате которого они исчезают, а их энергия превращается в электромагнитное излучение.

Античастица – элементарная частица, идентичная по массе, времени жизни и другим внутренним характеристикам ее частице –

"двойнику" (нормальной частице), но отличающаяся от нее знаком электрического заряда, магнитного момента и некоторыми другими характеристиками. Все элементарные частицы имеют свои античастицы. Например, электрон–позитрон, протон–антипротон и т. д. При столкновении частицы и античастицы происходит их аннигиляция.

Атом – наименьшая частица химического элемента, сохраняющая его свойств. Состоит из атомного ядра и электронной оболочки, в которой на определенных энергетических уровнях располагаются электроны. Общее число электронов равно порядковому номеру в периодической системе Д. И. Менделеева.

Атомная масса – масса атома химического элемента, выраженная в атомных единицах массы (а.е.м.). За 1 а.е.м. принята 1/12 часть массы изотопа углерода с атомной массой 12. 1 а.е.м. = $1,6605655 \cdot 10^{-27}$ кг. Атомная масса складывается из масс всех протонов и нейтронов в данном атоме.

Атомная единица энергии – энергия, соответствующая одной атомной единице массы. 1 а.е.м. = 931,5016 МэВ.

Атомное ядро – положительно заряженная центральная часть атома, вокруг которой вращаются электроны и в которой сосредоточена практически вся масса атома. Состоит из протонов и нейтронов. Заряд ядра определяется суммарным зарядом протонов в ядре и соответствует атомному номеру химического элемента в периодической системе элементов.

АЭС – атомная электростанция, предназначенная для производства электрической энергии.

Беккерель (Бк) – 1 распад в секунду. 1 Бк = 1 распад в секунду.

Бета-распад (β-распад) – самопроизвольные превращения атомных ядер некоторых элементов, сопровождающиеся испусканием электрона и антинейтрона (или позитрона и нейтрона).

Бета-частицы (β-частицы) – частицы с высокой скоростью распространения, идентичные электрону и позитрону, испускаемые ядром атома.

Биологический эквивалент рада (бэр) – внесистемная единица эквивалентной дозы излучения. 1 бэр = доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и поглощенная доза в 1 рад. 1 бэр = 0,01 Зиверт.

Биологическое действие излучения – биологические, физиологические, генетические и другие изменения в живых клетках и организмах в результате действия ионизирующего излучения. В основе биологического действия излучения лежат:

- процессы ионизации и возбуждения молекул;
- радиационно-химические реакции;
- изменение функции ДНК.

При значительных дозах облучения возникают неблагоприятные последствия, вплоть до гибели клеток и организмов.

Взаимодействия элементарных частиц – взаимные влияния элементарных частиц, определяющие:

- силу связи между ними;
- изменения их состояний;
- взаимопревращения.

В физике известны четыре типа фундаментальных взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное.

Взвешивающий коэффициент – 1) множитель поглощенной дозы, учитывающий относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов (фотоны, электроны и мюоны – 1; нейтроны – 5–20; протоны – 5; β-частицы – 20); 2) множитель эквивалентной дозы в органах и тканях, используемый для учета различной чувствительности органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации (колеблется от 0,20 – для гонад до 0,01 – для кожи и костных клеток).

Внешнее облучение – воздействие на организм ионизирующего излучения от внешних по отношению к нему источников излучения.

Внутреннее облучение – воздействие на организм ионизирующего излучения радиоактивных веществ, находящихся внутри (попавших внутрь) организма.

Гамма-лучи – форма ионизирующей радиации, которая не имеет массы. Как и видимый свет, гамма-лучи состоят из фотонов. Гамма-лучи имеют высокую проникающую способность и оказывают наиболее серьезный повреждающий эффект после радиационного воздействия.

Гамма-распад – электромагнитное излучение, испускаемое возбужденным ядром с очень малой длиной волны и очень высокой частотой (γ-излучение), при этом энергия ядра уменьшается, массовое число и заряд ядра остаются неизменными.

Генетические последствия излучения – нежелательные радиационные последствия воздействия ионизирующих излучений на живой организм, связанные с изменением его наследственных свойств и проявляющиеся у потомства облученного организма.

Группы критических органов – критические органы, отнесенные к I, II или III группам в порядке убывания радиочувствительности, и для которых устанавливаются разные значения основного дозового предела. В группу I критических органов включены все тело, гонады, красный костный мозг, во группу II – мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаз и другие органы, не относящиеся к группам I и III, в III группу – кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, голени и стопы.

Грей (Гр) – единица поглощения дозы излучения. 1 Гр = поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$.

Грей в секунду (Гр/с) – единица мощности поглощенной дозы излучения. *1 грей в секунду = мощность поглощенной дозы излучения, при которой за время 1 с облученным веществом поглощается доза излучения 1 Гр.*

Джоуль – единица работы, энергии, количества теплоты. Равен работе силы H , перемещающей тело на расстоянии l м в направлении действия силы. Обозначение – Дж.

Дезактивация – действия по удалению радиоактивных материалов, выполняемые для того чтобы сделать какой-либо объект или территорию безопасными для пребывания там незащищенных от воздействия радиации людей.

Дейтрон – ядро атома дейтерия, состоит из одного протона и одного нейтрона.

Детектор ионизирующего излучения – чувствительный элемент средства измерений, предназначенный для регистрации ионизирующего излучения. Его действие основано на явлениях, возникающих при прохождении излучения через вещество.

Детерминистские эффекты – вредные радиационные эффекты (лучевая болезнь, локальные повреждения, катаракта, склеротические процессы и др.), у которых существует порог, ниже которого эффект отсутствует, а выше – тяжесть эффекта зависит от дозы облучения.

Доза радиации (облучения) в широком смысле – мера действия ионизирующего излучения; средняя энергия, переданная излучением единице массы вещества. Различают экспозиционную, поглощенную, эквивалентную и эффективную эквивалентную дозы.

Дозиметр – прибор для измерения и регистрации дозы ионизирующего излучения (экспозиционной, поглощенной, эквивалентной) и мощности дозы.

Естественный радиационный фон – фактор внешней среды; уровень радиации, создаваемый космическим излучением и ионизирующим излучением естественно распределенных природных радионуклидов (и изотопами земной коры на поверхности Земли, в воздухе, продуктах питания, воде, организме человека и др.).

Загрязнитель – природный и антропогенный физический агент, химическое вещество и биологический вид, попадающий в среду жизни или возникающий в ней в количествах, выходящих за рамки обычного своего наличия – предельных естественных колебаний или среднего фона в рассматриваемый период.

Закон обратных квадратов – название зависимости одной величины от другой, когда одна из них изменяется обратно пропорционально квадрату другой. В применении к радиации означает, что интенсивность излучения изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника.

Закон радиоактивного распада – экспоненциальная зависимость, выражающая долю распавшихся радиоактивных изотопов с течением времени.

Для каждого радиоактивного вещества, заданного периодом полураспада, закон радиоактивного распада связывает:

- период наблюдения;
- число радиоактивных атомов в начальный момент наблюдения;
- число радиоактивных атомов в конечный момент наблюдения.

Зиверт (Зв) – единица эквивалентной дозы излучения. 1 Зв = эквивалентная доза излучения, при которой поглощенная доза излучения равна 1 грею. Коэффициент качества излучений равен 1. $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Зиверт в секунду (Зв/с) – единица мощности эквивалентной дозы излучения. *1 Зв/с = мощность эквивалентной дозы излучения, при которой за время 1 с облучаемым веществом поглощается эквивалентная доза излучения 1 Зв.*

Изотопы – разновидности одного химического элемента, различающиеся по массе ядер. У них одинаковый заряд ядер (атомный номер), но они различаются числом нейтронов. Имеют одинаковое строение электронных оболочек, т. е. имеют одинако-

вые химические свойства и занимают одно и то же место в периодической системе химических элементов.

Излучение (радиация) – испускание и распространение энергии в виде волн и частиц.

Ион – заряженная частица, образующаяся при потере или присоединении электронов атомами, молекулами и т. д. Ионы соответственно могут быть положительными (при потере электронов) и отрицательными (при присоединении электронов), заряд иона кратен заряду электрона.

Ионизация – образование положительных и отрицательных ионов из электрически нейтральных атомов и молекул.

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул. Ионизирующим излучением является γ -излучение, рентгеновское излучение, пучки электронов и позитронов, протонов, нейтронов, β -частиц. Энергию частиц ионизирующего излучения измеряют во внесистемных единицах – электрон-вольтах (эВ).

Ионизирующая радиация (радиационный фон) – естественные излучения, которые приводят к ионизации электрически нейтральных атомов и молекул. Ионизирующая радиация действует разрушительным образом на живое вещество и является источником широкого спектра изменений живых организмов.

Канцероген – вещество или физический агент (ионизирующее излучение), способные вызвать развитие злокачественных новообразований или способствующий их возникновению. Большинство канцерогенов имеют антропогенное происхождение.

Коллективная эффективная эквивалентная доза (Зв) – эффективная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации.

Космические лучи – потоки частиц высокой энергии, приходящие на Землю из мирового пространства. Различают первичные космические лучи (протоны, нейтроны, альфа-частицы, ядра легких атомов) и вторичные космические лучи, порожденные первичными лучами при взаимодействии с атомными ядрами атмосферы.

Критическая масса – наименьшая масса ядерного горючего, при которой происходит ядерная цепная реакция.

Кулон на килограмм (Кл/кг) – единица экспозиционной дозы излучения. Кулон на килограмм = экспозиционная доза излучения, при которой в результате полного использования ионизирующей способ-

ности в 1 кг воздуха при нормальных условиях образуются ионы общим зарядом 1 Кл каждого знака. $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$.

Кумулятивная доза – сумма поглощенных доз излучения, полученных рассматриваемым объектом, независимо от того, было ли облучение однократным или многократным.

Кюри (Ки) – мера радиоактивности. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду (Бк); $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Мезон – нестабильная элементарная частица, масса которой имеет промежуточное значение между массами протона и электрона. Мезоны имеют очень малое время жизни.

Мощность поглощенной дозы излучения – отношение поглощенной веществом дозы излучения к времени, за которое эта доза излучения поглощена. Мощность поглощенной дозы излучения измеряется в Гр/с.

Мощность эквивалентной дозы излучения – отношение эквивалентной дозы излучения к времени, за которое эта доза поглощена веществом. Мощность эквивалентной дозы излучения измеряется в Зв/с.

Мощность экспозиционной дозы излучения – отношение экспозиционной дозы излучения к времени, за которое эта доза излучения передана сухому атмосферному воздуху. Мощность экспозиционной дозы излучения измеряется в А/кг.

Нейтрон – элементарная частица, одна из двух частиц, из которых построено атомное ядро. Входящая в состав ядерных ядер электрически нейтральная элементарная частица:

– с массой покоя, равной 1838 массам электрона;

– распадающаяся в свободном состоянии на протон, электрон и антинейтрино;

– с периодом полураспада 750 с;

– имеющая античастицу (антинейтрон).

Не обладает электрическим зарядом. Мощный, но редкий тип излучения, испускаемый после ядерного взрыва. Нейтроны высоко деструктивны, продуцируют в 10 раз более мощное повреждение тканей, чем γ -лучи.

Нуклид – общее название атомных ядер, отличающихся числом нейтронов и протонов (нуклонов). Нуклиды с одинаковыми атомами номерами и разными массовыми числами называются изотопами.

Нуклон – протон или нейтрон. Протоны и нейтроны могут рассматриваться как два различных зарядовых состояния нуклона.

Облучение – воздействие радиоактивного излучения или процесса, в котором что-либо подвергается такому воздействию.

Опухоль – избыточное патологическое разрастание тканей, образуемое качественно изменившимися, недифференцированными клетками. Различают доброкачественные и злокачественные опухоли.

Острая лучевая болезнь – лучевая болезнь, развивающаяся после острого облучения.

Острое облучение – однократное кратковременное облучение биологического объекта, сопровождающееся получением им дозы излучения, вызывающей неблагоприятные изменения его состояния.

Период полураспада изотопа – время, за которое распадается в среднем половина всех радионуклидов данного типа в любом радиоактивном источнике.

Периодическая система элементов – классификация химических элементов, графическое выражение периодического закона Д. И. Менделеева, устанавливающего периодическое изменение свойств химических элементов при увеличении зарядов ядер их атомов.

Поглощенная доза излучения (Гр) – характеристика радиационной опасности; отношение поглощенной энергии ионизирующего излучения к массе облученного вещества, т. е. энергия, депонированная любым типом радиации в любом типе ткани или материала. Единицами измерения поглощенной дозы излучения являются грей и рад. 1 рад = 0,01 Грея.

Позитрон – элементарная частица, несущая положительный элементарный заряд, античастица электрона; античастица электрона с массой, равной массе электрона, но положительным электрическим зарядом.

Полная коллективная эффективная эквивалентная доза – коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получают поколения людей от какого-либо источника за все время его существования (человеко-зиверт, чел.-Зв).

Протон – одна из частиц, составляющих ядро атома. Протон несет единичный положительный электрический заряд; стабильная положительно заряженная элементарная частица с зарядом $1,61 \cdot 10^{-19}$ Кл и массой $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг. Протон образует ядро "легкого" изотопа атома

водорода (протия). Число протонов в ядре любого элемента определяет заряд ядра и атомный номер этого элемента.

Рад (от англ. Radiation Absorbed Dose – доза поглощенного излучения) – внесистемная единица дозы излучения, поглощенной веществом. 1 рад = доза радиации на 1 кг массы тела, эквивалентная энергии в 0,01 джоуля. 1 рад = 0,01 Гр.

Радиационная активность образца – число распадов в секунду в данном радиоактивном образце; единица измерения – беккерель (Бк).

Радиационная защита – способы и средства снижения вредного воздействия ионизирующих излучений на организм. Физической радиационной защитой служит материал, поглощающий излучение: свинец, бетон и др. Химическая радиационная защита достигается введением в организм перед облучением специальных химических соединений (радиопротекторов).

Радиационный фон – радиоактивное излучение низкого уровня, источником которого являются космические лучи и радиоактивные вещества, которые в естественных условиях содержатся в атмосфере в незначительных количествах.

Радиация – эмиссия (испускание) и распространение энергии в пространстве или в среде в виде ионизирующих частиц или электромагнитных волн. По общепринятой классификации в зависимости от длины электромагнитных волн различают радиоволны, инфракрасные лучи, видимый свет, рентгеновское и γ -излучение.

Радикал – одноядерная или многоядерная электронейтральная частица, имеющая неспаренные электроны. Радикалы обладают высокой реакционной способностью и имеют короткое время жизни в свободном состоянии.

Радиоактивное загрязнение – превышение природного (естественного) радиоактивного фона на определенной территории, основной причиной которого могут быть: авария на атомной электростанции или др. объекте атомной энергетики, ненадежное захоронение радиоактивных отходов, проведение испытаний ядерного оружия и др.

Радиоактивное излучение – ионизирующее излучение, испускаемое при распаде радионуклидов. Воздействие радиоактивного излучения на человеческий организм может иметь смертельные последствия.

Радиоактивность – способность некоторых атомных ядер (радионуклидов) самопроизвольно превращаться (распадаться) в другие ядра с испусканием ионизирующих излучений (β -распад,

α -распад, испускание нейтронов, деление тяжелых ядер и т. п.). Описанные изменения приводят к изменению атомного номера или массового числа.

Радиоактивные вещества – не относящиеся к ядерным материалам вещества, испускающие ионизирующее излучение.

Радиоактивные осадки – твердые или жидкие частицы, осаждающиеся на поверхность земли из атмосферы, содержащей радионуклиды. Как правило, они выпадают в результате аварий, сопровождающихся взрывами, на предприятиях и устройствах, использующих ядерное топливо, а также при испытании ядерного оружия. Локальные радиоактивные осадки могут быть результатом переноса изотопов, например, ^{226}Ra , содержащегося в продуктах сжигания каменного угля, ^{137}Cs и ^{90}Sr – выпавших с радиоактивными осадками после аварии на ЧАЭС.

Радиоактивный распад – процесс самопроизвольного распада нестабильного нуклида.

Радиометр – прибор или установка для измерений:

- активности радионуклидов в источнике или образце;
- плотности потока, потока и флюенса ионизирующих частиц.

Радионуклид – нестабильный нуклид, обладающий радиоактивностью и способный к самопроизвольному распаду.

Радиопротекторы – вещества, снижающие генетические и физиологические эффекты радиации.

Радон – радиоактивный газ, выделяющийся при радиоактивном распаде урана и тория, содержащихся в земной коре в естественном состоянии. Радон вносит наибольший вклад (примерно половину) в естественный радиационный фон на Земле.

Рак – любая злокачественная опухоль эпителиального происхождения. Иногда в обиходе неправильно используется для обозначения различных форм злокачественных новообразований.

Рентген – внесистемная единица экспозиционной дозы излучения (Р). $1 \text{ Р} =$ доза экспозиционная доза излучения, при которой в результате полного ионизационного поглощения в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях образуются ионы с общим зарядом $0,000'000'000'3$ Кл каждого знака. $1 \text{ Р в СИ} = 0,000'258 \text{ Кл/кг}$.

Рентгеновское излучение (рентгеновские лучи) – коротковолновое электромагнитное излучение. Образуется при торможении в веществе быстрых электронов (например, при бомбардировке металлического электрода в рентгеновской трубке пучком ускоренных электронов). Обладает большой проникающей способностью, действует на фотографическую эмульсию.

Репарация – восстановление тканей тела и состава популяций организмов, поврежденных или изреженных ионизирующим излучением или ультрафиолетовыми лучами. Репарация происходит посредством размножения клеток и организмов, уцелевших после облучения.

Риск – вероятность того, что событие или определенный исход наступит, обычно измеряемая в процентах. Риск применяется по отношению к развитию стохастических эффектов.

Стохастический эффект излучения – радиационный эффект, обычно проявляющийся без определенного порогового значения дозы облучения, вероятность его (риск) пропорциональна дозе, а тяжесть его проявления не зависит от дозы облучения. Примеры стохастических эффектов: солидные опухоли, лейкемия, генетические нарушения.

Счетчик Гейгера – устройство, используемое для обнаружения и изменения радиоактивности; названо в честь немецкого физика Г. Гейгера (1882–1945).

Тератогены – химические вещества или физические факторы (ионизирующая радиация), вызывающие при воздействии на организм (развивающийся эмбрион) возникновение уродств, умственной отсталости и других аномалий развития.

Удельная активность – отношение активности радионуклида в веществе к его массе.

Эквивалентная доза излучения – произведение поглощенной дозы излучения на коэффициент качества излучения, отражающий способность данного вида излучения в малых дозах повреждать ткани организма. Единицей эквивалентной дозы излучения является Зиверт.

Экспозиционная доза излучения – отношение суммарного заряда одного знака, созданного в воздухе при полном использовании ионизирующей способности излучения, к массе ионизированного воздуха. Экспозиционная доза излучения представляет собой энергетическую характеристику излучения, оцениваемую по эффекту ионизации сухого атмосферного воздуха.

Электрон – стабильная элементарная частица, несущая отрицательный заряд и движущаяся в электрическом поле ядра по электронным орбитам. Электроны входят в состав всех атомов и могут также существовать в свободном состоянии. При переходе электрона на орбиту более близкую к ядру, электрон выделяет энергию.

Элементарные частицы – простейшие структурные элементы материи, которые на современном уровне развития физики нельзя считать соединением других частиц. Различаются:

по массам покоя – на лептоны, мезоны и барионы;

по наличию электрического заряда – на положительные, отрицательные и нейтральные;

по времени жизни – на стабильные и нестабильные.

Между элементарными частицами осуществляются сильные, электромагнитные и слабые взаимодействия.

Эпицентр – точка на поверхности земли или воды, в которой происходит ядерный взрыв или которая находится непосредственно под или над центром ядерного взрыва.

Эффективная эквивалентная доза – эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению.

Список общепринятых сокращений

км – километр	км ² – квадратный километр	Дж – джоуль
м – метр	м ² – квадратный метр	$T_{1/2}$ – период полураспада
дм – дециметр	мм ² – квадратный миллиметр	эВ – электрон-вольт
см – сантиметр	кал – калория	МэВ – миллион электрон-вольт
мм – миллиметр	ккал – килокалория	СИ – система интернациональная
мкм – микрометр	% – процент	ЛПЭ – линейная передача энергии
кг – килограмм	°С – градус Цельсия	lg – логорифм
г – грамм	мм. рт. ст. – миллиметр ртутного столба	см. смотри
мг – миллиграмм	Бк – Беккерель	млн – миллион
мкг – микрограмм	Гр – Грей	тыс. – тысяча
л – литр	Зв – Зиверт	с. – страница
мл – миллилитр	Ки – Кюри	
г. – год	Р – рентген	
ч – час	А – ампер	
мин – минута	Кл – кулон	
с – секунда	Вт – ватт	

Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Название приставки	Обозначение приставки		Коэффициент умножения, соответствующий приставке	Примеры	
	русское	международное			
Кратные	пета-	П	P	10^{15}	пентакюри
	тера-	Т	T	10^{12}	терабеккерель
	гига-	Г	G	10^9	гигакури
	мега-	М	M	10^6	мегагрей
	кило-	к	k	10^3	килобеккерель
	гекто-	г	h	10^2	гектоватт
	дека-	да	da	10^1	декакюри
Дольные	деци-	д	d	10^{-1}	дециметр
	санти-	с	c	10^{-2}	сантиметр
	милли-	м	m	10^{-3}	миллиметр
	микро-	мк	μ	10^{-6}	микроампер
	нано-	н	n	10^{-9}	нанокюри
	пико-	п	p	10^{-12}	пикогрей

Пример образования кратных и дольных от единиц с составным наименованием:
 $1 \text{ кДж (килоджоуль)/кг} = 10^3 \text{ Дж/кг}$, $1 \text{ мЗв (миллизиверт)} = 10^{-3} \text{ Зв}$, $1 \text{ мкЗв (микрозиверт)} = 10^{-6} \text{ Зв}$ и т. д.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

**Мисун Леонид Владимирович, Белехова Лидия Денисовна,
Пустовит Василий Трофимович**

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Методические указания
к практическим занятиям*

В двух частях

Часть 1

Оценка радиационной обстановки

Ответственный за выпуск Л. В. Мисун
Редактор Н. А. Антипович
Компьютерная верстка А. И. Стебуля

Подписано в печать 17.02.2011 г. Формат 60×84^{1/16}.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 3,63. Тираж 70 экз. Заказ 180.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.