

ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА
ПРИРОДНИЧИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ГЕОГРАФІЇ

**ІНСТРУКТИВНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
з освітньої компоненти
«РАДІОЕКОЛОГІЯ»
Для підготовки здобувачів
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

Галузь знань	Е Природничі науки
Спеціальність	Е2 Екологія
Предметна спеціальність	-
Спеціалізація	-
Освітня програма	Екологія
Факультет	природничий

Автор:
канд. біол. наук, доцент Ірина ОНИЩУК

Житомир – 2026

УДК 504.5:551.521:628.4.047(072)

О-58

Рекомендовано до друку Вченою радою Житомирського державного університету імені Івана Франка (протокол № 5 від «27» лютого 2026 р.)

Рецензенти:

Юрій КАРПЕНКО – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології, географії та природокористування Національного університету «Чернігівський колегіум імені Т.Г. Шевченка»

Олександр МЕДВІДЬ – доктор філософії з екології, екологічний аудитор, директор ТОВ «ЕКО-МБ» .

Іван ХОМ'ЯК – доктор біологічних наук, професор кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка.

О-58 Онищук І. П. Інструктивно-методичні матеріали до практичних занять з освітньої компоненти «Радіоекологія» Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 119 с.

Інструктивно-методичні матеріали містять рекомендації до практичних занять з освітньої компоненти «Радіоекологія», які сприятимуть більш ефективному засвоєнню здобувачами знань щодо дії іонізуючих випромінювань на живі системи різного рівня, освоєння прикладних аспектів спеціальності, пов'язаних з радіаційною безпекою та моніторингу радіаційного чинника, формування компетентності практичного застосування знань для вирішення прикладних та дослідницьких завдань. Для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, денної форми навчання, спеціальності 101 Екологія.

©І.П. Онищук, 2026
©Житомирський державний
університет імені Івана Франка 2026

ВСТУП

У контексті глобалізації екологічних викликів та постійного зростання антропогенного навантаження на природне середовище, особливої актуальності набувають питання радіоекологічної безпеки. Радіоекологія як міждисциплінарна галузь інтегрує знання з фізики, хімії, біології, екології та охорони здоров'я, спрямована на дослідження процесів взаємодії іонізуючого випромінювання з біотичними та абіотичними компонентами біосфери.

Формування професійних екологічних компетентностей у здобувачів вищої освіти бакалаврського рівня спеціальності Е2 Екологія зумовлює необхідність глибокого засвоєння прикладних аспектів радіоекології. Це, зокрема, охоплює опрацювання теоретичних основ, оволодіння методами екологічного моніторингу та оцінки ризиків, а також здатність застосовувати набуті знання для вирішення фахових та науково-дослідницьких завдань.

Актуальність вивчення освітньої компоненти «Радіоекологія» обумовлюється потребою:

- у фаховому моніторингу радіаційно забруднених територій, включаючи зони техногенних аварій (зокрема на АЕС);
- в забезпеченні екологічної та радіаційної безпеки населення, флори й фауни;
- в участі майбутніх екологів у розробці стратегій екологічної реабілітації;
- у формуванні науково обґрунтованого світогляду та критичного мислення щодо проблем радіоактивного впливу на довкілля.

Метою практичних занять з ОК «Радіоекологія» є формування у здобувачів здатності розв'язувати складні спеціалізовані завдання та практичні проблеми у галузі збалансованого природокористування, екологічного контролю та охорони довкілля з урахуванням радіаційного чинника.

До основних завдань належать:

- ідентифікація джерел та територій із підвищеним рівнем радіоактивного забруднення;
- встановлення характеристик міграції радіонуклідів у системах ґрунт–рослина–тварина–людина;
- оцінка біологічної дії іонізуючого випромінювання на живі організми та екосистеми;
- обґрунтування моделей раціонального використання забруднених територій;
- дослідження впливу супутніх антропогенних чинників на міграцію радіонуклідів у продукцію сільського господарства;
- формування принципів ведення агросистем, що обмежують накопичення радіоактивних речовин у біоті та знижують рівень забруднення.

В результаті опрацювання освітньої компоненти «Радіоекологія» здобувач повинен:

Знати:

- класифікацію та властивості радіонуклідів;
- джерела та механізми радіоактивного забруднення;
- основи біоаккумуляції, біотрансформації та міграції радіоактивних речовин;
- принципи екологічного нормування і радіаційного захисту біосфери.

Уміти:

- здійснювати радіоекологічний моніторинг компонентів довкілля;
- працювати з дозиметричним та аналітичним обладнанням;
- аналізувати дані, оцінювати екологічні ризики та моделювати вплив;
- розробляти рекомендації щодо екологічної безпеки та поводження з радіоактивними відходами.

Інструктивно-методичні матеріали спрямовані на оптимізацію аудиторного та позааудиторного навчального процесу. Вони містять: перелік теоретичних положень та

ключових понять; алгоритми проведення лабораторних занять; теми для реферативних досліджень; питання для самоконтролю та контрольні тестові завдання; рекомендовану наукову літературу; вимоги до оцінювання знань здобувачів.

Оцінювання здобувачів вищої освіти здійснюється відповідно до «Положення про критерії та порядок оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти Житомирського державного університету імені Івана Франка згідно з Європейською кредитною трансферно-накопичувальною системою» https://zu.edu.ua/offic/ocinjuvannya_zvo.pdf.

Оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти за всіма видами навчальних робіт проводиться за поточним, модульним та підсумковим контролюми.

№ заняття	Вид роботи:						Сумарна кількість балів
	ТП	ЗСПР	ЗСАР	ТЗ	ОЗ	ІНДЗ	
1	20	20	20	20	10	10	100
2	20	20	20	20	10	10	100
3	20	20	20	20	10	10	100
	20	20	20	20	10	10	100
4	20	20	20	20	10	10	100
	20	20	20	20	10	10	100
5	20	20	20	20	10	10	100
	20	20	20	20	10	10	100
6	20	20	20	20	10	10	100
7	20	20	20	20	10	10	100
	20	20	20	20	10	10	100
8	20	20	20	20	10	10	100
9	20	20	20	20	10	10	100
10	20	20	20	20	10	10	100
11	20	20	20	20	10	10	100

ТП – відповідь на теоретичні питання;

ЗСПР – виконання завдань самостійної позааудиторної роботи;

ЗСАР – виконання завдань самостійної аудиторної роботи;

ТЗ – виконання тестових завдань;

ОЗ – оформлення заняття;

ІНДЗ – індивідуальне завдання.

ЗМІСТ

Стор.

Заняття №1. (2 год) Тема: Явище радіоактивності та його фізична суть.	6
Заняття № 2. (2 год) Тема: Дозиметрія іонізуючого випромінювання.	12
Заняття № 3. (4 год) Тема: Біологічна дія іонізуючого випромінювання	18
Заняття № 4. (4 год) Тема: Радіоекологічний моніторинг компонентів довкілля	24
Заняття № 5. (4 год) Тема: Радіаційне забруднення агроєкосистем	32
Заняття № 6. (2 год) Тема: Радіаційне забруднення урбоекосистем	40
Заняття № 7 (4 год). Тема: Визначення сумарної ефективної еквівалентної дози опромінення населення.	47
Заняття № 8. (2 год) Тема: Нормування та законодавча база радіаційного захисту	52
Заняття № 9. (2 год) Тема: Радіаційна безпека в побуті та професійній діяльності	55
Заняття № 10. (2 год) Тема: Методи дезактивації та поводження з радіоактивними відходами	60
Заняття № 11. (2 год) Тема: Прогнозування та моделювання радіоекологічних ризиків	68
Тестові завдання для самоперевірки за темами	76
Перелік теоретичних запитань для модульного контролю	91
Рекомендована література	93
Додатки	95

ЗАНЯТТЯ №1

Тема: Явище радіоактивності та його фізична суть.

Мета роботи: Ознайомлення з основними поняттями і визначеннями радіаційної екології і радіаційної безпеки, як передумови освоєння розрахункової методики визначення впливу іонізуючого випромінювання на навколишнє природне середовище і людину.

Основні поняття теми: радіоактивність, випромінювання, період напіврозпаду, радіаційна безпека.

Теоретичні питання:

1. Поняття радіоактивності.
2. Види електромагнітних випромінювань
3. Види іонізуючого випромінювання:
 - α - випромінювання;
 - β - випромінювання;
 - γ - випромінювання
4. Одиниці вимірювання радіоактивності.
5. Період напіврозпаду радіоактивних атомів.

Питання для самоопрацювання:

1. Природна та штучна радіоактивність: порівняльний аналіз.
2. Основні одиниці вимірювання радіації: грей, зіверт, бекерель— фізичний зміст.
3. Радіоактивність у побуті: джерела, ризики, засоби захисту
4. Радіаційна безпека в атомній енергетиці: сучасні виклики

Тематика рефератів:

1. Історія відкриття явища радіоактивності: Анрі Беккерель, Марія та П'єр Кюрі
2. Альфа-, бета- та гамма-випромінювання: фізичні властивості та біологічний вплив
3. Радіоактивні ізотопи в медицині: діагностика та терапія
4. Радіаційний фон України: джерела, норми, моніторинг
5. Період напіврозпаду як характеристика стабільності радіонуклідів
6. Одиниці вимірювання радіації: бекерель, грей, зіверт
7. Використання радіоізотопних методів досліджень у науці та техніці.
8. Штучна радіоактивність.
9. Ядерний синтез.
10. Ядерна зима.
11. Проблеми захоронення відходів ядерного палива.
12. Космічна радіоактивність.

Контрольні питання:

1. Що таке радіоактивність?
2. Які фізичні процеси лежать в основі радіоактивності?
3. Які типи електромагнітного випромінювання існують? Чим вони відрізняються?
4. Які характеристики α -, β - та γ -випромінювання? Як вони взаємодіють з речовиною?
5. Які одиниці використовуються для вимірювання активності, дози та потужності дози?
6. Що таке період напіврозпаду? Як він пов'язаний з активністю радіонукліду?
7. Як визначити, яке ядро утвориться після α - або β -розпаду?
8. Які джерела іонізуючого випромінювання є природними, а які — штучними?

Практичні завдання

1. Ознайомитись з характеристикою понять:

Активність радіонукліда (радіоактивної речовини) – число спонтанних ядерних перетворень у речовині за одиницю часу. Визначають згідно рівняння:

$$A = N / t,$$

де A – активність нукліда в радіоактивному джерелі,

N – число актів розпаду в радіоактивному джерелі за час t .

Одиницею активності у системі СІ є бекерель (Bq, в українській транскрипції – Бк), названа на честь французького ученого Антуана Беккереля (1852 –1908). (1 Бк = 1 с⁻¹).

Один бекерель дорівнює активності нукліда в радіоактивному джерелі, в якому за 1 с відбувається один акт розпаду.

Позасистемною одиницею активності радіонукліда є кюрі (1 Кі = 3,7 × 10¹⁰ Бк).

Питома активність радіоактивної речовини визначається згідно рівняння:

$$a = A / m,$$

де a – питома активність,

A – активність радіонукліда,

m – маса радіонукліда. Її розмірність – Бк/кг. Бекерель на кілограм рівний питомій активності, при якій на масу в 1 кг радіоактивної речовини доводиться активність, яка дорівнює 1 Бк.

Об'ємна активність радіоактивної речовини визначається згідно рівняння:

$$AV = A / V,$$

де AV – об'ємна активність,

A – активність радіонукліда,

V – об'єм радіонукліда.

Її розмірність – Бк/м³. бекерель на кубічний метр дорівнює об'ємній активності, при якій на об'єм 1 м³, який зайнятий радіоактивною речовиною, доводиться активність в 1 Бк.

Молярна активність радіоактивної речовини визначається згідно рівняння:

$$Am = A / n,$$

де Am – молярна активність,

A – активність радіонукліда,

n – кількість речовини. Її розмірність – Бк/моль. Беккерель на моль дорівнює молярній активності, при якій на кількість речовини радіонукліда в 1 моль доводиться активність в 1 Бк.

Період напіврозпаду (T_{1/2}) – час, протягом якого початкове число радіоактивних атомів зменшується удвічі.

Періоди напіврозпаду радіонуклідів

Радіонуклід	Тип розпаду	Період напіврозпаду	Біологічна дія / Застосування
Йод-131	β ⁻	8,06 діб	Вплив на щитоподібну залозу, медична діагностика
Стронцій-90	β ⁻	28,8 років	Кісткова система, наслідки аварій
Цезій-137	β ⁻ + γ	≈30 років	Радіоактивне забруднення, моніторинг продукції
Радон-222	α	3,82 діб	Природне джерело, ризики в приміщеннях
Плутоній-239	α	24 380 років	Ядерна зброя, тривала екологічна небезпека
Кобальт-60	β ⁻ + γ	5,25 року	Радіотерапія, промислова стерилізація
Уран-238	α	4,47 млрд років	Природна радіоактивність, джерело в АЕС
Тритій (³ H)	β ⁻	12,34 року	Легка вода, маркери в біохімії
Вуглець-14	β ⁻	5 730 років	Радіовуглецеве датування

Уран-235	α	703,8 млн років	Природний ізотоп, ядерне паливо
Калій-40	β^- / електронне захоплення	1,25 млрд років	Природний радіоізотоп у тканинах
Торій-232	α	14,05 млрд років	Природне походження, довготривалий контроль

Поглинена доза радіації – середня енергія, яка передана випромінюванням одиниці маси речовини. Одиницею поглиненої дози у системі СІ є греї, названа на честь англійського ученого Л. Грея (1905 –1965). (1 Гр = 1 Дж/кг).

Позасистемною одиницею є рад (1 рад = 100 ерг/г; 1 рад = 0,01 Гр).

Один греї дорівнює поглиненій дозі випромінювання, при якій опроміненій речовині масою в 1 кг передається енергія іонізуючого випромінювання в 1 Дж.

Визначається згідно рівняння: $D = E / m$, де D – поглинена доза випромінювання, E – енергія іонізуючого випромінювання, m – маса опроміненої речовини.

Експозиційна доза радіації – загальний обсяг випромінювання, що викликає іонізацію речовини. Одиницею експозиційної дози у системі СІ є Кл/кг, а позасистемною – рентген (1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг). Один кулон на кілограм дорівнює експозиційній дозі випромінювання, яка утворює у повітрі іони, що несуть електричний заряд кожного знаку, рівний 1 Кл.

Визначається згідно рівняння: $X = Q / m$, де X – експозиційна доза рентгенівського і гамма-випромінювань; Q – електричний заряд іонів одного знаку, що виникають в сухому атмосферному повітрі (при повному гальмуванні усіх вторинних електронів, утворених фотонами у повітрі); m – маса повітря, в якому утворені іони рентгенівським і гамма-випромінюваннями.

При пошкодженні організму різними типами випромінювань ефект біологічних пошкоджень буде різним. Якісна характеристика випромінювання визначається показником лінійної щільності іонізуючого потоку.

Еквівалентну дозу радіації - визначають за показником лінійної щільності різних типів випромінювання. Одиницею еквівалентної дози у системі СІ є зіверт (Sv, в українській транскрипції – Зв). Позасистемною одиницею є бер (біологічний еквівалент рада); (1 бер = 0,01 Зв).

У радіоекології часто використовують 1 мЗв = 10^{-3} Зв і 1 мкЗв = 10^{-6} Зв.

Один зіверт відповідає еквівалентній дозі випромінювання, при якій поглинена доза дорівнює 1 греї й коефіцієнт якості випромінювання дорівнює одиниці.

Визначається згідно рівняння: $H = \sum D_i \times Q_i$, де H – еквівалентна доза випромінювання, яка дорівнює додатку творів поглинених доз; D_i різних видів іонізуючих випромінювань на коефіцієнти якості Q_i (безрозмірна величина, яка змінюється від 1 до 20), що характеризують несприятливі біологічні наслідки опромінення людини певним видом випромінювання.

Значення коефіцієнту якості випромінювання Q

Вид випромінювання	Діапазон енергій	Q
Гамма-випромінювання(фотони)	широкий	1
Рентгенівськевипромінювання	широкий	1
Бета-випромінювання(електрони)	широкий	1

Нейтрони	до 0,02 кеВ	1
	0,02–10 кеВ	5
	10–100 кеВ	10
	100 кеВ–2 МеВ	20
	2–20 МеВ	10
	понад 20 МеВ	5
Протони	звичайні	1
	понад 2 МеВ	5
Альфа-частинки	широкий	20
Важкі ядра атомів	широкий	20

Рекомендовані значення Q_i використовують лише для радіаційного захисту з метою порівняння фактичного рівня опромінення з гранично допустимими значеннями еквівалентної дози.

Потужність поглиненої дози випромінювання використовують з метою прогнозування інтенсивності радіоактивного впливу на навколишнє природне середовище. Її розмірність 1 Гр/с. Позасистемною одиницею вимірювання є 1 рад/с.

Один грей на секунду дорівнює потужності поглиненої дози випромінювання, при якій за час опромінення в 1с опроміненою речовиною поглинається доза випромінювання в 1 Гр.

Визначається згідно рівняння: $\Pi = D / t$, де Π – потужність поглиненої дози випромінювання, D – поглинена опроміненою речовиною доза випромінювання за час t .

2. Ознайомитись з величинами та одиницями їх вимірювання:

Величина	Одиниця СІ	Визначення	Стара одиниця		Перерахунок
Активність	Бекерель (Бк)	Число розпадів ядер за певний час	Кюрі	Ки	1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
Доза енергії	Грей (Гр)	Уся абсорбована в елементі маси енергія випромінювання на елемент маси	Рад	рад	1 рад = 10^{-2} Гр
Еквівалентна доза	Зіверт (Зв)	Добуток дози енергії на коефіцієнт відповідного типу випромінювання	Рем	рем	1 рем = 10^{-2} Зв
Доза іонізації	Кулон на кг (Кл/кг)	Електричний заряд одиниці об'єму, заповненого повітрям, що міститься в ньому	Рентген	Р	1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
Потужність дози енергії	Грей за секунду або за годину (Гр/с або Гр/год)	Доза енергії, накопичена за певний час	Рад/с або Рад/год	рад/с рад/год	1 рад/с = 10^{-2} Гр/с, 1 рад/год = 10^{-2} Гр/год
Потужність еквівалентної дози	Зіверт за секунду або за годину (Зв/с або Зв/год)	Еквівалентна доза, накопичена за певний час	Рем/с або Рем/год	рем/с рем/год	1 рем/с = 10^{-2} Зв/с, 1 рем/год = 10^{-2} Зв/год
Потужність дози іонізації	Ампер на кг (А/кг)	Доза іонізації за певний час	Рентген/с або Рентген/год	Р/с Р/год	1 Р/с = $2,58 \cdot 10^{-4}$ А/кг, 1 Р/год = $7,17 \times 10^{-8}$ А/кг

3. Виконати перерахунки

$$5 \text{ Ки} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Бк};$$

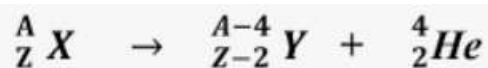
$$3,2 \text{ Рад} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Гр}$$

$$3,5 \text{ Зв} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ бер.}$$

4. Написати рівняння радіоактивного розпаду елементів:

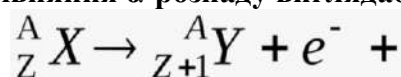
- Напишіть ядерне рівняння, яке представляє радіоактивний розпад полонію-208 викидом альфа-частинок і ідентифікуйте дочірній ізотоп.

Зважаючи що загальне рівняння α -розпаду виглядає так:



- Напишіть ядерне рівняння, яке представляє радіоактивний розпад боро-12 викидом бета-частинок і ідентифікуйте дочірній ізотоп. Гамма-промінь випромінюється одночасно з бета-частинкою.

Зважаючи що загальне рівняння α -розпаду виглядає так:



5. Ознайомитись з алгоритмами розв'язання задач:

Приклад 1. Під час радіоактивного перетворення ядра Урану-238 відбулось 8 альфа-розпадів і 6 бета-розпадів. Який нуклід утворився в результаті?

Розв'язання:

1. Спочатку визначимо, як змінюється протонне число Z . З правил Фаянса-Содді впливає, що втрата 8 альфа-частинок призводить до зменшення числа протонів Z , на 2×8 одиниць, а втрата 6 бета-частинок — до збільшення числа Z на 6×1 одиниць.

Таким чином, $Z = Z_0 - 16 + 6 = 92 - 10 = 82$

2. Визначимо, як змінюється нуклонне число A . З правил зміщення впливає, що на зміну нуклонного числа A , впливає тільки втрата альфа-частинок, кожна з яких має нуклонне число 4. Втрата 8-ми альфа-частинок призводить до зменшення нуклонного числа A , на 8×4 одиниць: $A = A_0 - 32 = 238 - 32 = 206$.

3. З таблиці Менделєєва визначаємо невідомий нуклід. Це буде нуклід ${}^{206}_{82} Pb$.

Приклад 2. Скільки атомів Радону ${}^{226}Rn$ розпадається за добу з 1 млн атомів? ($T_{1/2} ({}^{226}Rn) = 3,82$ доби)

Розв'язання:

1. Для знаходження числа атомів, що розпалися за 1 добу, скористаємося формулою закону радіоактивного розпаду: де N — число атомів, що не розпалися.

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

2. Тоді число атомів, які розпались, буде дорівнювати: атомів

$$N_0 - N = N_0 - N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = 10^6 - 10^6 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{3.82}} = 167000 \text{ атомів}$$

Приклад 3. Визначити потужність дози поглинутого випромінювання, яку одержує онкохворий масою 70 кг при повному опроміненні тіла кобальтовим джерелом Co^{60} активністю 1000 Кі, якщо на нього припадає 2 % випромінювання. Середня енергія гамма-квантів складає 1,25 МеВ.

Приблизно 50 % гамма-випромінювання взаємодіє з тканинами тіла, а решта випромінювання проходить, не спричиняючи біологічної дії.

Розв'язання:

1. Потужність дози поглинутого випромінювання визначимо за формулою: $P_D = D / t$, де D – поглинена доза випромінювання, t — час;

$D = E / m$, де E – енергія іонізуючого випромінювання, m – маса опроміненої речовини.

2. Оскільки поглинається та здійснює вплив лише частка енергії E , яку випромінює кобальтове джерело за час t .

Тому $E_{\text{погл}} = \eta_1 \eta_2 E$

3. Загальну енергію E яка випромінюється джерелом, визначимо зі співвідношення: $E = E_\gamma \cdot A t$ де A — активність Кобальту-60 (кількість розпадів за 1 с).

4. Підсумувавши вирази отримаємо:

$$P_D = \frac{\eta_1 \eta_2 E_\gamma A t}{m t}$$

5. Підставивши числові дані, врахувавши, що 1 Кі = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк, а 1,25 МеВ = $1,25 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж отримаємо: $P_D = 1,1 \cdot 10^{-13}$ (Гр/с)

Приклад 4. Скільки грей при опроміненні повільними нейтронами еквівалентні за біологічною дією 0,5 Гр при опроміненні швидкими нейтронами?

Розв'язання:

Визначимо еквівалентну дозу при опроміненні швидкими нейтронами:

$D_{\text{шв}} = D k_{\text{шв}}$, де $k_{\text{шв}}$ — КБЕ для швидких нейтронів $k = 10$.

Еквівалентна доза для повільних нейтронів:

$D_{\text{пов}} = D k_{\text{пов}}$, де $k_{\text{пов}}$ — КБЕ для повільних нейтронів $k = 3$.

Отже:

$$D_{\text{пов}} = \frac{0,5 \text{ Гр} \cdot 10}{3} = 1,7 \text{ Гр}$$

Приклад 7. Жива тканина масою $m = 5$ г поглинула 108 альфа-частинок з енергією 3 МеВ. Визначити біологічну дію поглинутого випромінювання (в Зв).

Розв'язання:

Сумарна енергія, яка надійшла в тканину:

$$E = N_{\text{част}} \cdot E_{\text{частинки}} = 108 \cdot 3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$$

Еквівалентна доза з урахуванням КБЕ альфа-частинок ($k=20$) становить:

$$D_{\text{екв}} = \frac{E k}{m} = \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 20}{5 \cdot 10^{-3}} = 0,192 \text{ Зв}$$

Висновок (дати відповіді на питання):

1. Який показник визначається як добуток поглиненої дози D_T в окремому органі або тканині людини на радіаційний зважувачий чинник W_R ?

2. Який прилад використовується для визначення рівня іонізації атмосферного повітря?
3. Для чого визначається ефективна доза?
4. В яких одиницях вимірюється поглинена доза?
5. У чому відмінність α - та β -випромінювання?
6. Які види електромагнітних випромінювань шкідливі для живих організмів?
7. Яке іонізуюче випромінювання генерується штучно у результаті гальмування заряджених частинок в електричному полі?

ЗАНЯТТЯ 2

Тема: Дозиметрія іонізуючого випромінювання

Мета роботи: Сформувати у здобувачів вищої освіти знання про фізичні основи дозиметрії, дозиметричні величини та методи вимірювання іонізуючого випромінювання. Освоїти методику роботи з дозиметрами-радіометрами «Прип'ять» і «Терра»з метою подальшого проведення польового радіометричного контролю у міському середовищі.

Основні поняття теми: дозиметрія, дозиметри, вимірювання, радіаційний контроль.

Теоретичні питання:

1. Радіаційний контроль та прилади для його реалізації.
2. Радіометричні і радіоспектроскопічні методи.
3. Радіогеохімічні і радіоізотопні методи.
4. Радіогідроекологічний аналіз водних екосистем.

Питання для самоопрацювання:

1. Історія розвитку радіаційного контролю в екології.
2. Класифікація дозиметричних приладів: принципи та сфери застосування.
3. Радіоспектроскопія: аналіз енергетичних спектрів радіонуклідів.
4. Використання радіоізотопів у дослідженні біогеохімічних циклів.

Тематика рефератів:

1. Радіометричні методи: сучасні технології та точність вимірювань.
2. Радіогеохімічний моніторинг забруднених територій: методика та приклади.
3. Радіоекологічний аналіз водних екосистем: методи та інтерпретація даних.
4. Порівняльна характеристика методів контролю радіаційного забруднення.

5. Інтеграція GIS-технологій у радіаційний моніторинг.
6. Екологічна оцінка впливу радіоактивних речовин на водні біоценози.

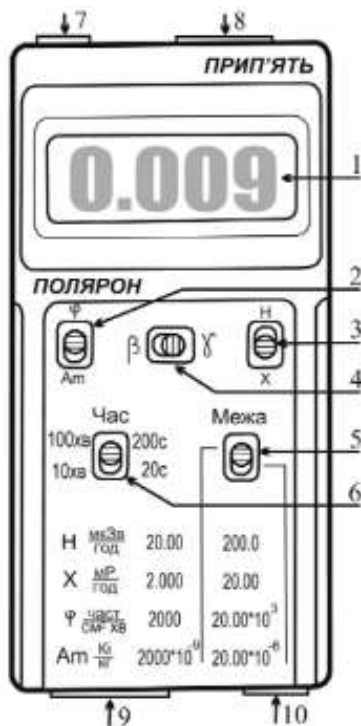
Контрольні питання:

1. Назвіть основні типи приладів для радіаційного контролю.
2. У чому полягає різниця між радіометричним і спектроскопічним методом?
3. Які фізичні принципи лежать в основі роботи сцинтиляційного спектрометра?
4. Які радіонукліди найчастіше використовуються у радіоізотопних методах?
5. Як визначається рівень забруднення води за допомогою радіогідроекологічного аналізу?
6. Які параметри враховуються при оцінці радіаційного стану ґрунтів?
7. Які переваги має радіогеохімічний метод порівняно з традиційним хімічним аналізом?
8. Як здійснюється калібрування дозиметричних приладів?
9. Які нормативні документи регламентують допустимі рівні радіації у воді?
10. Які методи використовуються для виявлення ізотопів у біологічних зразках?

Практичні завдання

1. Вивчити алгоритм та особливості роботи з радіометром «Прип'ять».

1.1. Радіометр «Прип'ять» є приладом для прямого вимірювання, величина рівня радіоактивного забруднення зчитується одразу з цифрового індикатора. Датчики, які фіксують іонізуюче випромінювання радіації та індикатор розміщені в одному корпусі (рис. 1).



Умовні позначення:

- 1 – цифровий індикатор;
- 2 – перемикач вибору одиниць вимірювання поверхневої чи питомої активності бета-випромінювання;
- 3 – перемикач вибору одиниці виміру потужності гамма-випромінювання;
- 4 – перемикач виду вимірюваного бета- чи гамма-випромінювання;
- 5 – перемикач піддіапазонів вимірювання;
- 6 – перемикач встановлення тривалості виміру показань;
- 7 – кнопка контролю напруги живлення;
- 8 – вмикач звукового сигналу;
- 9 – вмикач живлення;
- 10 – гніздо живлення від електромережі.

Рис. 1. Дозиметр-радіометр бета-, гамма-випромінювання «Прип'ять»

Сталева знімна кришка дозиметра, що міститься на задній панелі приладу, служить фільтром для поглинання бета-випромінювання під час проведення вимірювання потужності експозиційної дози гамма-випромінювання.

У радіометрі передбачена можливість вибору тривалості вимірювання (від 20 с до 100 хв), що дозволяє суттєво підвищувати точність результатів при малих дозах радіації та

звукова індикація для швидкої попередньої оцінки рівня радіоактивного забруднення довкілля.

1.2. Ознайомитись з призначенням кнопками управління дозиметра «Прип'ять» та заповнити таблицю.

Компоненти управління	Призначення
Перемикач “Живлення –Вкл”	для підключення до джерела живлення: батарейки або електромережі
Гніздо живлення	
кнопка “Контроль живлення”	
Табло індикатора	
Перемикач «Режим β – γ »	
правий перемикач «Н–Х»”	
лівий перемикач « ϕ –Am»	
перемикач зліва «Час»	
Перемикач «Межа»	

1.3. Ознайомитись з алгоритмом вимірювання потужності дози гамма-випромінювання. Проміри необхідно проводити при наявності знімної сталеві кришки, розміщеної з тильної сторони дозиметра. Перемикач «Режим β – γ » поставити у положення « γ », інший перемикач «Н–Х» виставити в одне з двох положень, у залежності від одиниць, в яких необхідно вимірювати потужність дози: діапазони «Н» (від 0,1 до 200 мкЗв/год) чи «Х» (від 0,01 до 20 мР/год).

Перемикач “Час” встановлюють у положення «20 с» і протягом вказаного проміжку часу знімають не менше трьох показників гамма-випромінювання, а після чого визначають середнє значення. У разі значної розбіжності знятих показань слід збільшити тривалість виміру у 10 разів, для чого перемикач «Час» переводять у положення «200 с» і повторюють проміри.

1.4. Ознайомитись з алгоритмом вимірювання густини потоку бета-випромінювання. Для оцінки густини потоку бета-випромінювання проміри проводяться без знімної сталеві кришки. При цьому разом з бета-частинками датчики реєструють й гамма-фон. Для визначення рівня бета-випромінювання необхідно від вимірюючого показника без кришки відняти значення, одержане при наявності цієї кришки, коли реєструється лише гамма-фон.

Під час вимірювання перемикач «Режим β – γ » встановити у положення « β », інший перемикач « ϕ –Am» поставити у діапазон « ϕ ». Густину потоку вимірюють в проміжку від $10 \text{ см}^{-2} \times \text{хв}^{-1}$ до $20 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2} \times \text{хв}^{-1}$.

Перемикач «Час» виставляють у положення «20 с» і проводять два окремих вимірювання.

Перший промір при наявності знімної кришки для визначення гамма-фону.

Другий промір без кришки з метою означення сумарного гамма- і бета-випромінювання. Проводиться не менше трьох серій таких вимірювань, а потім вираховують середнє значення. У разі значної розбіжності вимірюваних результатів тривалість промірів збільшують до «200 с» і повторюють вимірювання.

1.5. **Ознайомитись з алгоритмом проведення контролю радіаційної чистоти довкілля.** Ступінь радіоактивного забруднення природного середовища залежить від питомої радіоактивності його компонентів: гірських відкладів, ґрунту, зоо- і біомаси.

Дозиметр «Прип'ять» використовують лише для попередньої оцінки рівня радіаційної чистоти довкілля. До комплекту радіометра входить кювета (спеціальний короб), пристосована під його розміри і параметри. Для визначення питомої радіоактивності проби, відібраної під час польових радіоекологічних досліджень, проводять вимірювання без знімної сталеві кришки.

Окрім бета-випромінювання датчики реєструють гамма-фон.

Для отримання оцінки радіаційної чистоти досліджуваної проби необхідно від сумарного значення відняти показник, одержаний при наявності кришки, коли реєструється виключно гамма-фон. Під час вимірювання питомої радіоактивності відібраної проби гамма-фон не повинен перевищувати 0,025 мР/год (0,25 мкЗв/год), тому проміри проводять у закритих лабораторних приміщеннях. Радіометр встановлюють на заповнену пробую (подрібненими відкладами, ґрунтом, біомасою тощо) кювету. Для запобігання забруднення радіонуклідами датчиків дозиметра проба повинна знаходитись на відстані 5 мм від краю кювети.

На початку радіаційного контролю перемикач «Режим $\beta \gamma$ » виставляють у положення « β », а інший « $\phi - A m$ » у положення «Am».

1.6. **Ознайомитись з алгоритмом вимірювання питомої активності проби.** Показник вимірюють у проміжку від 1×10^{-7} до 20^{-6} Кі/кг. Перемикач «Час» виставляють у позиції «10 хв» або «100 хв» у залежності від необхідної точності контролю радіаційної чистоти довкілля. **Проміри знімають двічі:** зі знімною кришкою й без неї. При цьому проводять не менше трьох таких вимірювань, а потім розраховують середнє значення.

2. Вивчити алгоритм та особливості роботи з радіометром «Терра».

Радіометр «Терра» призначений для вимірювання еквівалентної дози та потужності еквівалентної дози гамма- та рентгенівського випромінювання, а також поверхневої щільності потоку бета-частинок. Ці значення по черзі виводяться на один цифровий індикатор.

Вмикається і вимикається дозиметр за допомогою натискання на кнопку «Режим» (рис. 2.). Під час вимикання кнопку притримувати натиснутою протягом 2–3 с. Налаштування функцій вимірювання приладу здійснюється за допомогою кнопки «Поріг» (без потреби не натискати).

Процес вимірювання технологічно нагадує вимірювання за допомогою радіометра «Прип'ять», однак має й певну специфіку.



Умовні позначення:

- 1 – перемикач налаштування функцій вимірювання приладу;
- 2 – перемикач виду гамма- чи бета-випромінювання;
- 3 – цифровий індикатор;
- 4 – світловий діод-індикатор вимірювання щільності бета-потуку;
- 5 – світловий діод-індикатор вимірювання дози гамма-випромінювання;
- 6 – світловий діод-індикатор вимірювання потужності гамма-випромінювання.

Рис. 2. Дозиметр-радіометр бета-, гамма-випромінювання МКС-05 «Терра»

3. Розрахункові задачі

1. Обчисліть поглинуту дозу, якщо речовина масою 2 кг поглинула 0,01 Дж енергії.

2. Визначте еквівалентну дозу для поглинутої дози 0,5 Гр при коефіцієнті якості 20.

3. Людина перебувала в зоні з потужністю дози 0,2 мЗв/год протягом 5 годин. Яку дозу вона отримала?

4. Обчисліть потужність дози, якщо за 10 хвилин було отримано 0,05 Гр.

5. Визначте, яку дозу отримає організм за 24 години при потужності дози 0,01 мЗв/год.

ЗАНЯТТЯ 3

Тема: Біологічна дія іонізуючого випромінювання

Мета: Сформувати у здобувачів вищої освіти системне уявлення про механізми біологічного впливу іонізуючого випромінювання на клітини, тканини та організм людини. Ознайомити з прямими та непрямими ефектами радіації, радіочутливістю біологічних структур, стохастичними та детермінованими наслідками опромінення. Розвинути здатність аналізувати біологічні реакції на різні типи випромінювання та оцінювати екологічні ризики, пов'язані з радіаційним впливом.

Основні поняття: радіочутливість, детермінований ефект, стохастичний ефект, радіотоксини.

Теоретичні питання:

1. Етапи біологічної дії випромінювання (фізичний, хімічний, біологічний).
2. Механізм прямої та непрямой дії радіації.
3. Вплив іонізуючого випромінювання на ДНК, білки, ферменти.
4. Типи ушкоджень біомолекул при опроміненні.
5. Радіочутливість та фактори які на неї впливають.
6. Радіочутливість тканин та органів.
7. Стохастичні та детерміновані ефекти опромінення.
8. Радіотоксини, мутагенність, репарація.
9. Правило Бергоньє–Трибондо.

Питання для самоопрацювання:

1. Правило Бергоньє–Трибондо та його значення.
2. Вплив α -, β -, γ -випромінювання на клітини.
3. Фактори впливу на біологічну ефективність випромінювання.
4. Механізми репарації ДНК після опромінення.
5. Вплив радіації на клітини в різних фазах мітозу.
6. Роль водної фази клітини у формуванні біологічного ефекту.
7. Вплив радіації на кровотворну систему.
8. Поняття «радіаційне похмілля» та його причини.
9. Вплив радіації на лімфоцити та імунну систему тварин і людини.
10. Особливості дії радіації на шкіру, печінку, нирки.

Теми рефератів:

1. Механізми біологічної дії іонізуючого випромінювання: сучасні уявлення.
2. Радіоліз води як ключовий процес у формуванні біологічного ефекту.
3. Радіочутливість клітин: фактори, закономірності, приклади.
4. Радіотоксини: класифікація, механізми дії, наслідки.
5. Біологічні ефекти низьких доз радіації: стохастичні моделі.
6. Вплив іонізуючого випромінювання на генетичний апарат клітини.
7. Радіаційне ушкодження органів кровотворення: механізми та стадії.
8. Прямі та непрямі механізми дії радіації: порівняльний аналіз.
9. Радіаційне блокування мітозу: біологічне значення.
10. Вплив радіації на ферментні системи клітини.

Контрольні питання:

1. Які основні типи іонізуючого випромінювання?
2. Що таке радіоліз води? Які продукти утворюються?
3. Які радикали мають найбільшу біологічну активність?
4. Які типи ушкоджень ДНК виникають при опроміненні?
5. Які клітини є найбільш радіочутливими?
6. У чому полягає правило Бергоньє–Трибондо?
7. Які ефекти вважаються стохастичними?
8. Що таке радіотоксини? Наведіть приклади.
9. Як впливає радіація на лімфоцити?

10. Які органи найбільш вразливі до дії радіації?
11. Назвати рівні радіочутливості.
12. Назвіть особливості радіочутливості вірусів
13. Назвіть особливості радіочутливості бактерій.
14. Назвіть особливості радіочутливості зелених водоростей.
15. Назвіть особливості радіочутливості грибів.
16. Назвіть особливості радіочутливості вищих рослин.
17. Назвіть особливості радіочутливості безхребетних тварин.
18. Назвіть особливості радіочутливості хребетних тварин.
19. Назвіть особливості впливу малих доз радіації на живі організми.
20. Що таке детерміністичний ефект впливу радіації?
21. Що таке стохастичний ефект впливу радіації?

Практичні завдання

Завдання 1. Розрахункові задачі

1. Обчисліть еквівалентну дозу, якщо поглинута доза становить 0,4 Гр, а коефіцієнт якості — 20.

2. Людина перебувала в зоні з потужністю дози 0,05 мЗв/год протягом 6 годин. Яку дозу вона отримала?

3. Визначте, яку частину клітин загине, якщо 1 г тканини поглине $1,2 \times 10^{-12}$ Дж енергії від 10^6 α -частинок.

Завдання 2. Доповнити порівняльну таблицю:

Вплив іонізуючого випромінювання на біомолекули

Характеристика	α -випромінювання	β -випромінювання	γ -випромінювання
Тип частинок/квантів	Ядра гелію (He^{2+})		Електромагнітні кванти
Проникна здатність		Середня	Висока
Іонізаційна щільність	Висока	Помірна	

Механізм дії на ДНК		Точкові ушкодження, мутації	Радикальні ушкодження через вільні радикали
Тип ушкоджень ДНК	Двониткові розриви, фрагментація		Окиснення, апоптоз, репарація з помилками
Вплив на білки	Денатурація, структурна деструкція	Модифікація амінокислотних залишків	
Біологічна ефективність (WR)		Помірна (≈ 1)	Низька (≈ 1)
Радіочутливі клітини	Клітини кровотворення, епітеліальні		Всі типи при тривалому впливі
Типи ефектів	Детерміновані: гостра променева хвороба	Комбіновані: мутації, порушення метаболізму	

Завдання 3. Доповнити порівняльну таблицю:

Внутрішнє та зовнішнє опромінення

Ознака	Зовнішнє опромінення	Внутрішнє опромінення
Джерело випромінювання		Потрапляє всередину організму
Шляхи надходження	Гамма-фон, рентген, космічна радіація	
Основний тип випромінювання		Часто α -, β -частинки, іноді γ
Проникна здатність	Залежить від типу випромінювання	
Тривалість дії		Тривала, поки радіонуклід знаходиться в тілі
Розподіл дози	Рівномірна по поверхні тіла	
Контроль і захист		Труднощі контролю, потрібні дезактивація або медикаментозна терапія
Приклади радіонуклідів	Cs-137, Co-60, I-131 (зовнішнє джерело)	
Наслідки для здоров'я		Пошкодження внутрішніх органів, генетичні мутації
Методи виявлення	Дозиметрія на поверхні	
Екологічні наслідки		Вразливість екосистем через біоаккумуляцію

Завдання 4. Заповнити таблицю: «Особливості радіочутливості різних живих організмів».

Група живих організмів	Рівень радіочутливості	Особливості реакції на радіонукліди	Механізми захисту від впливу радіонуклідів
Бактерії			
Зелені водорості			
Вищі спорові			
Голонасінні			
Покритонасінні			
Плоскі черви			
Кільчасті черви			
Молюски			
Ракоподібні			
Комахи			
Кісткові риби			

Земноводні			
Плазуни			
Птахи			
Ссавці			

Завдання 5. Заповнити таблицю: «Ефекти впливу радіації»

Ефект впливу	Приклади	Прояви
Детерміністичний		
Стохастичний		

Завдання 6. Заповнити таблицю: «Ступені опромінення людини»

Доза в Зівертах (Зв)	Ступінь опромінення	Наслідки
25		
10		
4,5		
1,0		
0,75		
0,25		
0,10		
0,05		
0,005		
0,002		
0,002		
0,0003		
0,00003		

***Ступені опромінення людини**

гарантована імовірність виникнення ракового захворювання; смертельна доза; важкий (ЛД 50); променева хвороба середньої тяжкості; незначні зміни в кровоносній системі; допустиме разове аварійне опромінення персоналу на АЕС; допустиме разове аварійне опромінення населення ; допустиме опромінення персоналу АЕС на рік ; допустиме опромінення населення на рік; природне фонове опромінення на рік в Україні; штучне фонове опромінення на рік в Україні; опромінення при рентгеноскопії шлунку; опромінення при рентгені зубів.

Завдання 7. Навести приклади засобів захисту від внутрішнього опромінення.

Завдання 8. Навести приклади засобів захисту від зовнішнього опромінення.

ЗАНЯТТЯ № 4

Тема: Радіоекологічний моніторинг компонентів довкілля.

Мета: Ознайомити здобувачів з особливостями забруднення компонентів екосистем різних видів (природних наземних та водних). Сформувані у здобувачів вищої освіти знання та практичні навички щодо проведення радіоекологічного моніторингу основних компонентів довкілля — атмосферного повітря, ґрунтів, водних екосистем та біоти. Ознайомити з методами відбору проб, вимірювання активності радіонуклідів, оцінки рівнів забруднення та прогнозування екологічних ризиків. Розвинути здатність аналізувати динаміку радіаційного стану середовища в умовах природного та техногенного навантаження, а також застосовувати нормативні документи для оцінки безпеки.

Основні поняття: радіоекологічний моніторинг, активність радіонуклідів; щільність забруднення території; коефіцієнти біоаккумуляції; коефіцієнти міграції.

Теоретичні питання:

1. Основні завдання радіоекологічного моніторингу.
2. Характеристика основних радіонуклідів: Cs-137, Sr-90, Pu-239, I-131.
3. Компоненти довкілля як об'єкти моніторингу:
 - Атмосфера: аерозолі, гази, метеорологічні фактори.
 - Гідросфера: поверхневі та підземні води.
 - Літосфера: ґрунт, породи, геохімічні особливості.
 - Біота: рослини, тварини, людина як біоіндикатор.
4. Методи радіоекологічного моніторингу:
 - Польові методи: відбір проб (ґрунт, вода, рослини); вимірювання гамма-фону;
 - Лабораторні методи: спектрометрія гамма-випромінювання; альфа- та бета-спектрометрія; радіохімічний аналіз;
 - Інноваційні підходи: інтегровані сенсори; дистанційне зондування (дрони, супутники)
5. Особливості міграції радіонуклідів у ґрунті, воді, атмосфері та біоті.

Питання для самоопрацювання:

1. Роль типу ґрунту у вертикальній та горизонтальній міграції радіонуклідів.
2. Механізми надходження радіонуклідів у біоту.
3. Закономірності концентрації радіонуклідів у трофічних ланцюгах.
4. Нормативні документи регламентують допустимі рівні вмісту радіонуклідів у продуктах харчування.
5. Методи прогнозування радіаційної ситуації в Україні.

Теми рефератів:

1. Радіоекологічний моніторинг як складова екологічної безпеки.
2. Міграція радіонуклідів у агроценозах: закономірності та ризики.
3. Радіоекологічний стан водних екосистем України.
4. Біоаккумуляція радіонуклідів у рослинах і тваринах.
5. Радіоекологічні аспекти забруднення атмосферного повітря.
6. Вплив типу ґрунту на розподіл Cs-137 та Sr-90.
7. Радіоекологічний моніторинг у зоні відчуження ЧАЕС.
8. Моделі міграції радіонуклідів у лісових екосистемах.
9. Радіоекологічна паспортизація територій: методи та значення.
10. Роль геоінформаційних систем у радіоекологічному моніторингу.

Контрольні питання:

1. Назвіть основні методи радіоекологічного моніторингу.
2. Які об'єкти є пріоритетними для моніторингу в умовах радіаційного забруднення?
3. Що таке коефіцієнт біоаккумуляції? Як його визначають?
4. Які особливості міграції Cs-137 та Sr-90 у різних екосистемах?
5. Як здійснюється відбір проб для радіометричного аналізу?
6. Які чинники впливають на швидкість міграції радіонуклідів?
7. Які міжнародні організації здійснюють моніторинг радіаційної ситуації?
8. Назвати особливості радіоактивного забруднення водних природних екосистем.
9. Назвати особливості радіоактивного забруднення наземних природних екосистем.
10. Назвати особливості забруднення радіонуклідами ґрунтового покриву.
11. Назвати особливості забруднення радіонуклідами рослин.
12. Назвати особливості забруднення радіонуклідами тварин.
13. Назвати особливості забруднення радіонуклідами агроекосистем.
14. Назвати заходи щодо оптимізації радіаційної обстановки в агроекосистемах.
15. Що таке радіопротектори. Назвати приклади.

Практичні завдання

Завдання 1. Визначення потужності гамма-фону на відкритій ділянці.

Мета роботи: Оцінити рівень гамма-випромінювання на відкритій території та порівняти його з нормативними рівнями згідно з НРБУ-97.

Обладнання та матеріали: дозиметр (еквівалентний, спектрометричний або цифровий тип – наприклад, МКС-01, ТЕРРА або Radex); компас або GPS (для фіксації геолокації точки вимірювання); нормативні документи (НРБУ-97).

Алгоритм виконання:

1. **Підготовка ділянки**
 - Обрати відкрите місце без впливу будівель чи металевих об'єктів.
 - Позначити точки для вимірювання (наприклад, по квадратній сітці 5×5 м).
2. **Калібрування дозиметра**
 - Увімкнути дозиметр згідно з інструкцією.
 - Переконатися в коректності показників (нульове тло або перевірка на контрольному зразку).
3. **Проведення вимірювань**
 - Встановити дозиметр на висоті 1 м над поверхнею землі.
 - Зафіксувати потужність дози гамма-випромінювання в мкЗв/год (мікрозівртах на годину).
 - Провести вимірювання в декількох точках (не менше 5).
 - За потреби — повторити вимірювання в кожній точці тричі та обрахувати середнє значення.
4. **Заповнити таблицю спостережень:**

№ точки	Координати	Потужність гамма-фону (мкЗв/год)	Середнє значення	Примітки
1	_____°N, _____°E			відкритий грунт
2	_____°N, _____°E			
3	_____°N, _____°E			

5. Порівняння з НРБУ-97

- За нормами, фоновий рівень гамма-випромінювання має бути **не більше 0.3 мкЗв/год** (для непромислових зон).
- Визначити, чи перевищують результати допустимий рівень: _____

- Провести короткий аналіз можливих джерел підвищеного фону (техногенні фактори, особливості місцевості): _____

Висновки (дати відповіді на питання):

1. Який середній рівень гамма-фону на ділянці?
2. Чи відповідає він нормативам?
3. Які рекомендації щодо подальшого моніторингу?

Завдання 2. Ознайомлення з методикою відбору проб ґрунту для радіометричного аналізу

Мета роботи: відбір репрезентативних проб ґрунту для проведення спектрометричного аналізу активності природних і техногенних радіонуклідів.

Обладнання та матеріали: лопата, бур або металевий зразкоприймач; герметичні контейнери (ПЕТ або полімерні); етикетки для маркування; GPS-навігатор або карта; фотоапарат або мобільний пристрій для фіксації місцевості.

Алгоритм виконання:

2.1. Ознайомлення з методиками відбору

- **Точковий метод** — відбір проб із однієї конкретної точки. Застосовується для локального аналізу.
- **Комбінований метод** — відбір з кількох точок одного об'єкта, об'єднаних в одну зведену (інтегральну) пробу. Покращує репрезентативність і дозволяє оцінити середній рівень забруднення.

2.2. Польова частина: маркування та опис ділянки

- Обрати ділянку з урахуванням природних умов, віддаленості від джерел забруднення.
- Зафіксувати:
 - **Геолокацію** кожної точки (координати)
 - **Тип ґрунту** (дерновий, піщаний, суглинок тощо)
 - **Вологість, рослинність, антропогенний вплив**
- Провести **фотофіксацію** ділянки.
- Позначити проби у журналі/таблиці:

Опис	Проба 1	Проба 2	Проба 3
Дата			
Координати			
Тип ґрунту			
Метод відбору			
Вологість			
Рослинність			
Антропогенний вплив			

2.3. Відбір проб

- Глибина: зазвичай до 5 см (для поверхневого шару), або декілька шарів за глибиною.
- Відібрати **0.5–1 кг** сухого ґрунту з кожної точки.
- При комбінованому методі — об'єднати усі проби в одну зведену, ретельно перемішати.
- Перемістити в герметичні ємності, прикріпити маркування.

2.4. Підготовка до спектрометрії

- Проби мають бути **висушені** до постійної маси (при 105°C або природнім методом).
- Подрібнення до однорідної маси (наприклад, через млин або розтирання).
- Просіювання через сито (зазвичай 1 мм).
- Переміщення в спеціальні кювети або зразкові контейнери, герметизація.
- Визначення **масової щільності** та об'ємної щільності проби — важливо для точного розрахунку активності.

Висновки (дати відповіді на питання):

1. Наскільки обрана ділянка є репрезентативною для оцінки радіаційного стану території?
2. Які ознаки техногенного забруднення вдалося зафіксувати?
3. Чи свідчать отримані проби про перевищення фонових або нормативних рівнів?
4. Як результати дослідження можуть бути використані для екологічного моніторингу?
5. Які наслідки для довкілля можливі при виявленому рівні забруднення?
6. Які переваги і обмеження має спектрометричний аналіз у дослідженні ґрунтів?

Завдання 3. Ознайомлення з методикою радіоекологічного обстеження водного об'єкта

Мета роботи: Оцінити радіологічний стан водного середовища шляхом визначення активності тритію (H-3) або радію-226 (Ra-226) у воді з різних глибин та проаналізувати процеси самоочищення водойми.

Обладнання та матеріали: водолабораторний набір для відбору води (воронки, шланги, пробовідбірники типу Батома або Рубена); герметичні ємності для збереження проб (скляні чи полімерні, об'єм 1–2 л); етикетки для маркування; портативний глибиномір або лінійка (для вимірювання глибини); GPS-навігатор (для точного фіксування місця); радіохімічне обладнання (рідинний сцинтиляційний спектрометр для H-3, альфа-спектрометр або радіохімічні реактиви для Ra-226).

Алгоритм виконання:

3.1. Вибір місця та опис водного об'єкта

- Вказати назву водойми, тип (річка, озеро, ставок), розташування. _____

- Зафіксувати характеристики: глибина, течія, температура, прозорість, наявність біоти. _____

- Визначити точки для відбору — **прибережна зона, середина, глибоководна ділянка.** _____

3.2. Відбір проб води з різних глибин

- Використати пробовідбірник для забору води на типових глибинах (наприклад, 0.5 м, 2 м, 5 м).
- Для кожної глибини відібрати не менше **1 л** води.
- Проби герметично закрити, промаркувати: № проби, глибина, координати, дата.
- Зберігати в темному прохолодному місці, транспортування до лабораторії — не пізніше ніж за 24 години.

3.3. Лабораторне визначення радіоактивності

- **H-3 (тритій):**
 - Попередня підготовка проби — очищення від органіки, додавання сцинтилятора.
 - Вимірювання у рідинному сцинтиляційному спектрометрі.

- Вираз активності у

Бк/л. _____

- **Ra-226 (радій-226):**
- Радіохімічне вилучення радію — осадження барію, концентрування.
- Вимірювання альфа-спектрометрією.
- Визначення активності у
Бк/л. _____

3.4. Оцінка процесу самоочищення водойми:

- Порівняння активності радіонуклідів на різних глибинах та в різних точках. _____

- **Аналіз зміни концентрації H-3 або Ra-226 у межах одного водного об'єкта:**

Зменшення активності вниз за течією (для річок) _____

Наявність біофільтраційної здатності — рослинність, осад _____

Розподіл радіонуклідів у товщі води (поверхня та дно) _____

- **Врахування чинників:**

Ступінь забруднення джерела _____

Гідрологічна динаміка водойми _____

Температура, біотичні процеси _____

Висновки (дати відповіді на питання):

1. Визначити, чи відповідає рівень радіоактивності нормативам.
2. Чи виявлено ознаки природного самоочищення?

Завдання 4. Ознайомлення з аналізом радіоактивного забруднення атмосферного повітря

Мета роботи: оцінити рівень радіоактивного забруднення атмосфери через вимірювання концентрації Cs-137 у аерозолях, а також дослідити вплив метеофакторів на його розподіл.

Обладнання та матеріали: аерозольні фільтри (із скловолокна, целюлозні або полімерні); потоковий аспіратор або пилозбірник (типу ПУА-1, Р-5); герметичні контейнери для зразків; гамма-спектрометр (для визначення Cs-137); метеостанція або джерела метеоданих (температура, вологість, вітер, опади); програмне забезпечення для графіків (Excel, Origin).

Алгоритм виконання:

4.1. Ознайомлення з методами відбору аерозолів:

- **Активний метод:** пропускання повітря через фільтр за допомогою аспіратора.
- **Пасивний метод:** осадження частинок на відкриті фільтруючі поверхні (менш точний).

4.2. Відбір проб атмосферного повітря:

- Встановити обладнання на відкритій ділянці (на висоті ~1,5–2 м).
- Пропустити повітря через фільтр протягом 24–48 годин.
- Маркувати проби: дата, час, місце, об'єм повітря, погодні умови.
- Помістити пробу в герметичний пакет та транспортувати фільтр до лабораторії.

4.3. Визначення концентрації Cs-137:

- Попередня обробка фільтра (за потреби — зола або подрібнення).
- Гамма-спектрометричне вимірювання активності Cs-137.

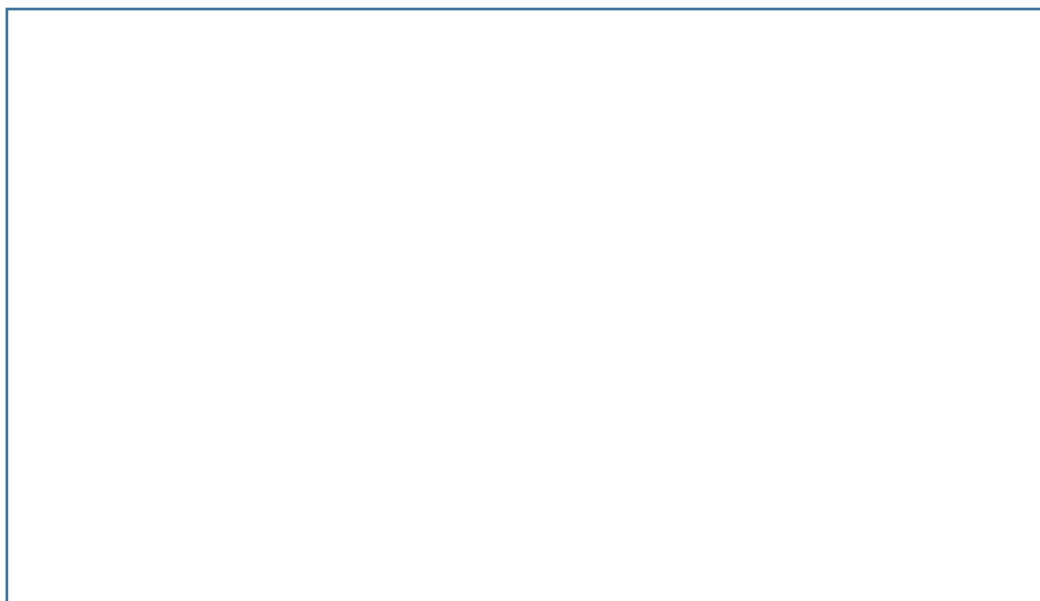
- Вираження результату як активність у Бк/м^3 повітря.
- Урахування об'єму повітря, що пройшов крізь фільтр.

4.4. **Збір метеорологічних даних.** Фіксація:

- Температури _____
- Вологості _____
- швидкості та напрямку вітру _____
- кількості опадів у період пробовідбору. _____

4.5. **Побудувати графік залежності від метеофакторів:** де:

- по осі X — метеопараметри (температура, опади тощо)
- по осі Y — концентрація Cs-137



Місце для графіка

Висновки:

1. Оцінити, чи перевищує концентрація Cs-137 нормативні показники.
2. Виявити кореляції між метеоумовами та рівнем радіоактивності.
3. Надати рекомендації щодо періодичності моніторингу в залежності від погодних змін.
4. Зростання активності при низькій вологості або сильному вітрі?
5. Вплив атмосферних фронтів на рівень забруднення?

Завдання 5. Оцінка ризику для біоти на забрудненій території

Мета роботи: оцінити дозове навантаження на організми та визначити екологічний ризик у результаті надходження радіонуклідів у трофічні ланцюги.

Алгоритм виконання:

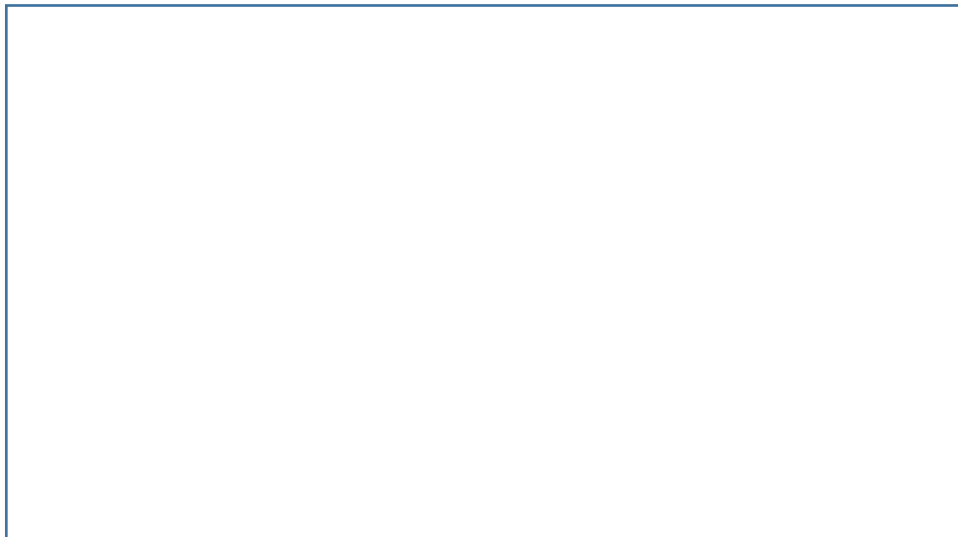
5.1. Визначення шляхів надходження радіонуклідів у біоту:

- **Для рослин:**
 - Поглинання з ґрунту через кореневу систему (наприклад, Cs-137, Sr-90).
 - Осадження з атмосфери на листову поверхню (аерозолі, газові форми).
 - Всмоктування через воду при гідрофільних умовах.
- **Для тварин:**
 - Споживання заражених рослин, води або здобичі.
 - Контакт із забрудненим середовищем (ґрунт, мул, вода).
 - Вдихання радіоактивних частинок чи газів (Rn, радіоактивні аерозолі).

5.2. Побудова трофічної схеми (екологічної моделі):

Продуценти (рослини) → консументи I порядку (трав'яні) → консументи II порядку (хижаки) → редуценти (мікроорганізми). Включити приклади модельних організмів:

- **Рослини:** типові локальні види (наприклад, сосна, кукурудза).
- **Тварини:** польова миша, птах, хижак (лисиця).
- Відзначити ймовірні радіонукліди, які накопичуються на кожному рівні (біоаккумуляція, біомагніфікація), скориставшись Додатком 1.
- Візуалізувати схему у вигляді **трофічної піраміди або сітки**, із зазначенням шляхів передачі радіоактивності.



Місце для схеми

5.3. Розрахунок дози опромінення для модельного організму

• Вибрати **модельний організм** (наприклад, польова миша (або інший організм) — як представник консументів I порядку). Скористатись Додатком 2.

• **Визначити внутрішню дозу опромінення** через споживання корму з відомою концентрацією радіонукліда, користуючись формулою: $D_{вн} = C \times IR \times CF \times T$
де: **D_{вн}** — внутрішня доза опромінення; **C** — концентрація радіонукліда в кормі (Бк/кг);
IR — інтенсивність споживання (кг/день); **CF** — коефіцієнт переходу у організм (Зв/Бк);
T — тривалість експозиції (днів).

Висновки (дати відповіді на питання):

1. Чи перевищує доза допустимі рівні для виживання чи репродукції біоти?
 2. Який трофічний рівень найбільш вразливий?
-
-
-
-
-
-
-
-

ЗАНЯТТЯ № 5

Тема: Радіаційне забруднення агроєкосистем

Мета: Ознайомити здобувачів освіти з характером радіаційного забруднення агроєкосистем, вивчити основні джерела і типи радіонуклідів, що потрапляють у сільськогосподарське середовище, та сформувати навички оцінки радіоекологічного стану ґрунтів, рослин, води і продукції рослинництва шляхом аналізу потенційної дози опромінення для біоти і людини.

Основні поняття: агроєкосистема, радіаційне забруднення, доза опромінення, біоаккумуляція, трансфер-фактор (CF), НРБУ-97.

Теоретичні питання:

1. Механізми забруднення агроєкосистем.
2. Методи оцінки забруднення агроєкосистем.
3. Потенційні наслідки для здоров'я людини через споживання продуктів із забруднених агроєкосистем.
4. Захист та рекультивация агроєкосистем, що зазнали радіоактивного забруднення.

Питання для самоопрацювання:

1. Фактори, які впливають на надходження радіонуклідів у компоненти агроєкосистем.
2. Зміни біоактивності Cs-137 залежно від типу ґрунту.
3. Шляхи потрапляння Sr-90 у рослинну продукцію.
4. Трансфер-фактор і його використання у радіоекологічних оцінках агроєкосистем.
5. Вплив погодного режиму на рівень радіоактивного забруднення агроландшафтів.
6. Особливості біомагніфікації у харчових ланцюгах агроєкосистем.
7. Нормативи регулювання допустимого рівня радіаційного фону в агроєкосистемах.

Теми рефератів:

1. Радіонукліди в агроєкосистемах: джерела, міграція та екологічні наслідки.
2. Cs-137 та Sr-90 в рослинництві: біоаккумуляція і ризики для людини.
3. Радіоекологічні наслідки Чорнобильської аварії для сільського господарства України.
4. Системи моніторингу радіаційного забруднення агроєкосистем.
5. Біологічні індикатори радіаційного навантаження в агроєкології.

6. Нормативне регулювання радіоактивності в сільськогосподарських регіонах.
7. Захисні агротехнічні заходи при веденні господарства на забруднених територіях.
8. Біомагніфікація радіонуклідів: загрози для аграрних харчових ланцюгів.
9. Радіоекологічне картування сільськогосподарських районів: методи та приклади.
10. Вплив радіаційного фону на продуктивність культурних рослин.

Контрольні питання:

1. Що є головними джерелами радіаційного забруднення агроecosystem?
2. Які організми першими реагують на радіоактивний вплив у агроecosystemах?
3. Як радіонукліди потрапляють у сільськогосподарську продукцію?
4. В чому полягає небезпека біомагніфікації радіоактивних речовин?
5. Які методи використовують для оцінки рівня радіації в агросередовищі?
6. Що таке внутрішня доза опромінення і як вона впливає на людину?
7. Які заходи знижують ризики для біоти в умовах радіоактивного забруднення?
8. Чому важливо враховувати тип ґрунту при оцінці ризику?
9. Як впливає тривалість періоду напіврозпаду радіонукліда на агроecosystemу?
10. Чим регламентується допустима концентрація радіонуклідів у харчових продуктах?
11. Чому чорноземи мають високу фіксаційну здатність щодо радіонуклідів?
12. Які агротехнічні заходи сприяють зниженню радіаційного ризику?

Практичні завдання

Завдання 1. Визначення гамма-фону на агротериторії

Мета роботи: оцінити рівень гамма-випромінювання на сільськогосподарській ділянці та визначити відповідність отриманих значень нормативам радіаційної безпеки (НРБУ-97).

Обладнання та матеріали: дозиметр (наприклад, ТЕРРА МКС-01 або аналогічний); GPS-навігатор або мобільний додаток з фіксацією координат; карта місцевості або Google Maps для візуалізації точок

Алгоритм виконання:

1.1. Підготовка до вимірювань:

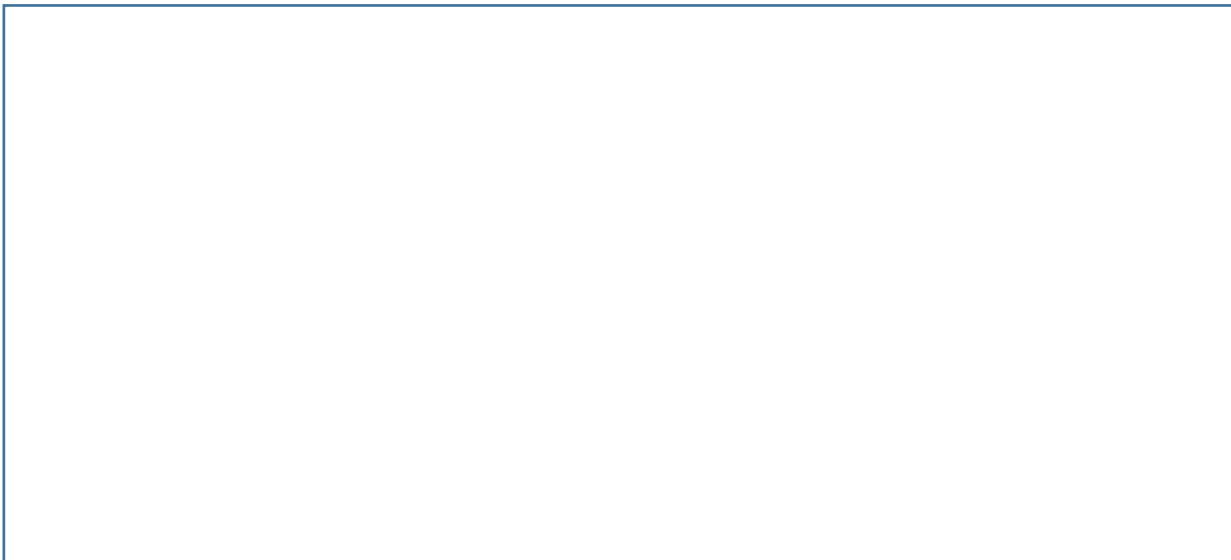
- Обрати агроecosystemи для дослідження (наприклад, поле з різними зонами: зрошення, лісосмуга, посадки).
- Визначити щонайменше 5–10 точок для вимірювання у різних частинах ділянки.
- Переконатися в правильному функціонуванні дозиметра (перевірка на еталоні або в контрольній точці).

1.2. Проведення вимірювань:

- Встановити дозиметр на висоті приблизно 1 м над поверхнею землі.
- У кожній точці провести вимірювання протягом 20–30 секунд (або до стабілізації показника).
- Зафіксувати дані в таблиці:

№ точки	Координати GPS	Потужність дози (мкЗв/год)	Тип ділянки	Примітки
1	_____ N, _____ E	0.12	відкритий ґрунт	без рослинності
2				
3				

Висновки (дати відповіді на питання):



Місце для графіка

- На осі X — типи ґрунтів (чорнозем, суглинок, піщаний, болотяний тощо)
- На осі Y — значення TF для кожного типу ґрунту.

Відзначити:

- Вищі значення TF — у легких, менш органічних ґрунтах.
- Низькі значення — в глинистих або багатих на гумус типах, де радіонукліди зв'язуються сильніше.

Висновки (дати відповіді на питання)

1. Який тип ґрунту сприяє найбільшому переносу радіонуклідів?
2. Чи перевищує TF порогові значення для харчових культур?
3. Які агротехнічні заходи доцільно застосувати для зниження радіоактивного навантаження?

Завдання 3. Ознайомитись з методикою розрахунку внутрішньої дози опромінення людини.

Мета роботи: оцінити дозове навантаження на організм людини, спричинене надходженням радіонуклідів із харчових продуктів, та порівняти результат із нормативами радіаційної безпеки.

Необхідні дані представлені у Додатку 4.

- C — концентрація радіонукліда у продукті (Бк/кг)
- IR — добова норма споживання продукту (кг/день)
- CF — коефіцієнт переходу радіонукліда в організм (Зв/Бк)
- T — період споживання (днів)

Формула розрахунку: $D_{вн} = C \times IR \times CF \times T$ де:

- $D_{вн}$ — внутрішня ефективна доза опромінення (Зв або мЗв)
- C — активність радіонукліда в продукті (Бк/кг)
- IR — обсяг споживання продукту (кг/день)
- CF — коефіцієнт поглинання у травному тракті (Зв/Бк)

4.4. Активність Cs-137 у пшениці — 100 Бк/кг. Споживання — 0.4 кг/день, тривалість — 150 днів, CF — 1.3×10^{-8} Зв/Бк. Знайдіть внутрішню дозу і проаналізуйте можливі наслідки для організму.

4.5. Концентрація Cs-137 — 30 Бк/кг, споживання — 0.25 кг/день, тривалість — 90 днів, CF — 1.3×10^{-8} Зв/Бк. Розрахуйте дозу, зробіть висновок про рівень ризику.

Завдання 5. Аналіз харчового ланцюга агроєкосистеми

Мета роботи: визначити структуру трофічних зв'язків у межах агроєкосистеми, оцінити біоаккумуляцію шкідливих речовин (зокрема радіонуклідів) та дослідити вплив антропогенних факторів на стійкість трофічної мережі.

Обладнання та матеріали: список біологічних організмів агроєкосистеми (рослини, тварини, мікроорганізми); таблиці радіонуклідного забруднення (Cs-137, Sr-90, тощо); екологічні карти та дані про структуру агроугідь.

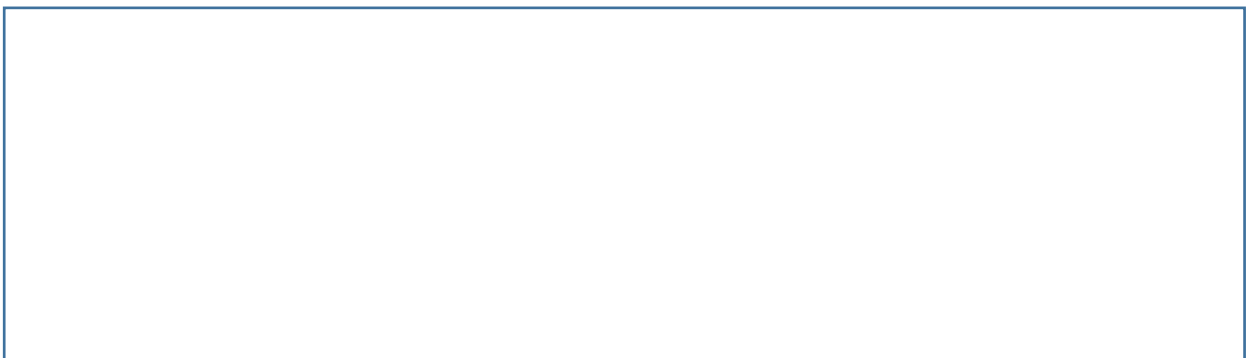
Алгоритм виконання:

5.1. **Вибір модельної агроєкосистеми.** Обрати типову агросистему: поле кукурудзи, картопляні посадки, ферма з пасовищем, тощо.

5.2. **Ідентифікація трофічних рівнів.**

- **Продуценти:** культурні рослини (кукурудза, пшениця, люцерна).
- **Консументи I порядку:** травоядні тварини (гризуни, домашні тварини).
- **Консументи II порядку:** хижі птахи, лисиці.
- **Редуценти:** мікроорганізми ґрунту, гриби.

5.3. **Побудова харчового ланцюга:**



Місце для схеми

- Схематичне зображення зв'язків: стрілки – напрям споживання.
- Позначити види, що є джерелами або акумуляторами радіонуклідів.
- Зазначити точки біоакумуляції та біомагніфікації в таблиці. Skorистатися Додатком 5.

Трофічний рівень	Потенційна точка накопичення	Рівень ризику
Рослини (кукурудза)		Низький
Травоїдні тварини		Середній
Хижаци (лисиця, сова)		Високий
Людина		Потенційно високий

5.4. Визначення точок накопичення Cs-137. Рослини: Cs-137 надходить з ґрунту через кореневу систему. **Травоїдні тварини:** накопичення Cs-137 у м'язовій тканині. **Хижаци:** збільшення концентрації внаслідок поїдання заражених жертв. **Молочна продукція:** у ВРХ Cs-137 потрапляє в молоко — окрема точка контролю. Типовими зонами накопичення Cs-137 є: м'язи ссавців; внутрішні органи (печінка, нирки); молочна залоза у жуйних тварин; зерно та надземні частини рослин. Використати дані (Додаток 4) про вміст Cs-137/Sr-90 в продуктах (рослинах, м'ясі, молоці).

Висновок (дати відповіді на питання):

1. Оцінити найбільш вразливі трофічні рівні.
2. Визначити вплив радіаційного навантаження на стабільність агроєкосистеми.
3. Визначити ризики для здоров'я людини через споживання кінцевих продуктів.

Завдання 6. Моделювання міграції Sr-90 у агроєкосистемі

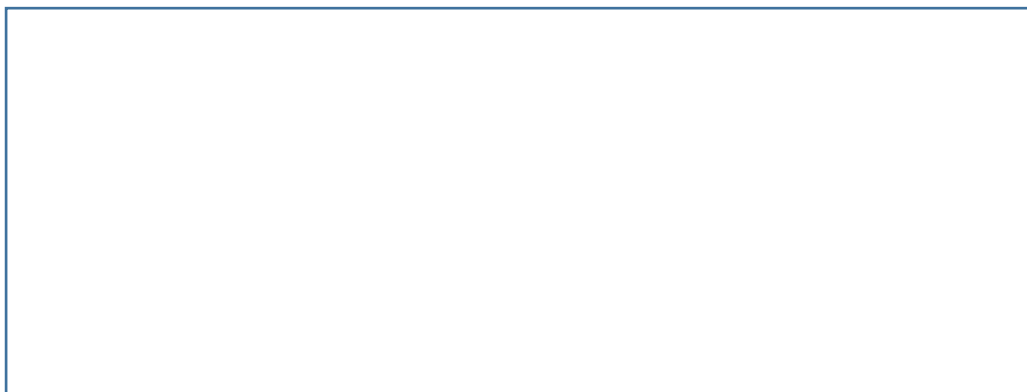
Мета роботи: дослідити шляхи надходження Sr-90 до рослинного компонента агроєкосистеми та кількісно оцінити біоакумуляційний потенціал на основі трансфер-фактора (TF).

Алгоритм виконання:

6.1. Побудова схеми надходження Sr-90 в рослини

- Врахувати основні джерела забруднення:
 - Радіоактивні опади на поверхню ґрунту.
 - Застосування фосфатних добрив із вмістом Sr-90.
 - Міграція радіонукліду з глибших шарів ґрунту.
- Визначити основні шляхи надходження в рослини:
 - **Кореневе поглинання Sr-90**, що хімічно поводить подібно до кальцію.
 - Потрапляння з водою через ґрунтову вологу.

- Осадження на листках (незначне — лише при потужних викидах).
- Сформувати схему з позначенням потоків:



Місце для схеми

6.2. Розрахунок коефіцієнта біоаккумуляції (TF). Використовується формула:

$TF = A_{(рос)} / A_{(гр)}$ де: TF — коефіцієнт біоаккумуляції (трансфер-фактор); $A_{(рос)}$ — активність радіонукліда в рослині (Бк/кг); $A_{(гр)}$ — активність радіонукліда в ґрунті (Бк/кг).

Наприклад: якщо у картоплі 300 Бк/кг, а в ґрунті 1000 Бк/кг, тоді: $TF = 300 \div 1000 = 0.3$

Приклад для картоплі на піщаному ґрунті:

Показник	Значення
Активність Sr-90 у ґрунті	1200 Бк/кг
Активність Sr-90 у картоплі	480 Бк/кг
TF	$480 \div 1200 = 0.4$

Інтерпретація: Значення $TF = 0.4$ свідчить про високу здатність картоплі поглинати Sr-90 на легких ґрунтах.

3. Зрйснити варіативне моделювання скориставшись Додатком 6 .

- Порівняйте TF для різних культур (капуста, кукурудза, морква).
- Вивчіть вплив типу ґрунту на поглинання (чорнозем — знижує TF; піщаний — збільшує).

Завдання 7. Порівняння міграції радіонуклідів у лісовій та аграрній екосистемі

Мета роботи: порівняти особливості переносу радіонуклідів у ґрунті, рослинності та біоті в умовах лісової та аграрної екосистеми, визначити роль типу рослинності в міграції забруднювачів.

Алгоритм виконання:

7.1. Вибрати модельні типи екосистем:

- **Аграрна:** кукурудзяне або картопляне поле, зораний ґрунт, контрольована рослинність.

- **Лісова:** змішаний або хвойний ліс, незораний ґрунт, багаторівнева рослинність (мохи, кущі, дерева).

7.2. Заповнити порівняльну таблицю характеристик двох екосистем враховуючи, що у лісах: мохи, лишайники, гриби мають високу сорбційну здатність → накопичують Cs-137 та Sr-90, але не передають далі по ланцюгу швидко. У агросистемах: культурні рослини (капуста, картопля) активно поглинають радіонукліди → швидший перенос у продукцію і біоту. Рослинне різноманіття гальмує міграцію радіонуклідів у лісі, натомість агромонофони сприяють їх концентрації у харчових ланцюгах.

Параметр	Аграрна екосистема	Лісова екосистема
Тип ґрунту	Зораний, агротехнічно оброблений	Незораний, кислий, органічний
Вміст органічної речовини	Низький – середній	Високий (лістя, підстилка)
Гідрологічний режим	Регульований (дренаж, полив)	Стабільний, вологий
Тип рослинності	Монокультура (1–2 види)	Різноманітна, природна
Рівень біоаккумуляції Cs-137	Помірний–високий у рослинах	Високий у мохах, грибах
Швидкість вертикальної міграції	Вища (ґрунт менш зв’язує)	Низька – гальмується гумусом
Самоочищення системи	Повільне, техногенна залежність	Активне, природні процеси
Фіксація радіонуклідів	Слабка, залежить від добрив	Сильна за рахунок органіки

Висновки (пояснити):

1. Як тип рослинності впливає на міграцію радіонуклідів?
2. Які екосистеми є менш/більш стійкими до радіаційного забруднення та можуть виступати буферами?

ЗАНЯТТЯ № 6

Тема: Радіаційне забруднення урбоекосистем

Мета роботи: Отримання студентами практичних навичок із використання польових радіометрів з метою проведення радіаційного контролю за станом різнофункціональних екосистем міста.

Основні поняття: урбоекосистема, радіаційне забруднення, радіаційний фон.

Теоретичні питання:

1. Природні джерела радіації :
 - Космічні промені

- Земна радіація
- 2. Техногенні джерела радіації:
 - Джерела радіації у медицині.
 - Випробування ядерної зброї.
 - Атомна енергетика
 - Промислові та інші джерела радіації.
- 3. Джерела іонізуючого випромінювання на урбанізованих територіях. Методи вимірювання рівня радіації в повітрі, воді, ґрунті
- 4. Особливості впливу метеорологічних та антропогенних факторів на зміну радіаційного фону в місті.
- 5. Принципи протирадіаційного захисту в умовах міського середовища?

Питання для самоопрацювання:

1. Нормативні документи, що регламентують допустимі рівні радіаційного фону в Україні (НРБУ-97, ДР-97).
2. Проаналізуйте карту радіаційного фону вашого регіону. Які зони мають підвищений рівень радіації?
3. Порівняйте методи індивідуального та стаціонарного радіаційного моніторингу.
4. Будівельні матеріали, які можуть бути джерелами природної радіації.
5. Контроль за радіаційною безпекою в місцях масового скупчення людей (школи, лікарні, ТРЦ).
6. Принципами дії дозиметричних приладів та проведіть практичне вимірювання (за наявності обладнання).

Теми рефератів:

1. Радіаційний контроль у міських умовах: виклики та перспективи.
2. Вплив радону на здоров'я населення: джерела, шляхи проникнення, методи контролю.
3. Чорнобильська катастрофа: уроки для сучасного радіаційного моніторингу.
4. ГІС-технології у прогнозуванні радіаційного стану міських територій.
5. Нормативно-правове регулювання радіаційної безпеки в Україні.
6. Методи дезактивації міських територій після радіаційного забруднення.
7. Побутові дозиметри: огляд, точність, застосування в умовах міста.

Контрольні питання:

1. Що таке радіаційний контроль і які його основні завдання у міському середовищі?
2. Назвіть основні джерела радіаційного забруднення у міському середовищі.
3. Які одиниці вимірювання використовуються для оцінки радіаційного фону?
4. Що таке еквівалентна та ефективна доза опромінення?
5. Які прилади використовуються для вимірювання гамма-фону?
6. Які нормативні документи регламентують допустимі рівні радіації?
7. Які заходи слід вжити при виявленні перевищення радіаційного фону?
8. Як здійснюється протирадіаційний захист населення у разі аварії?
9. Які методи реєстрації іонізуючого випромінювання вам відомі?
10. Які особливості має відкритий та закритий тип джерел ІВ?
11. Які чинники впливають на формування радіаційного навантаження людини?
12. Назвати особливості забруднення радіонуклідами урбоєкосистем.
13. Назвати заходи щодо оптимізації радіаційної обстановки великих міст.
14. Назвати особливості радіоактивного забруднення техноєкосистем.

Практичні завдання

Завдання 1. Описати радіаційну ситуацію у м. Житомир за останні 10 років.

Завдання 2. Ознайомлення з методикою радіаційного контролю в урбоекосистемі. Система радіаційного контролю у міському середовищі передбачає вимірювання рівня гамма-фону, ступеня радіаційної чистоти та рівня індивідуальних доз зовнішнього опромінення за допомогою дозиметричних приладів: дозиметрів чи радіометрів. Вони призначені як для наукових радіоекологічних досліджень, так і для широкого використання населенням.

Мета: Ознайомити студентів з методами польового радіаційного моніторингу в умовах міста.

Обладнання: дозиметри, GPS, Google Maps або QGIS.

Алгоритм виконання:

2.1. За допомогою радіометра «Терра» провести вимірювання потужності гамма-випромінювання і щільності потоку бета-частинок ґрунту чи техногенної поверхні у досліджуваних точках.

2.2. Визначити об'єкти дослідження, та побудувати маршрут центром міста Житомир

2.3. У кожній досліджуваній точці слід провести вимірювання середньої та максимальної потужності гамма-випромінювання.

2.4. Вимірювання проводити протягом 3–5 хвилин із зазначенням даних в таблиці

2.5. Виміряти щільність бета-частинок.

2.6. Результати вимірювання оформити у вигляді таблиці.

Номер точки	Потужність γ -випромінювання, мЗв/год.		Щільність β -частинок, част./($\text{см}^2 \times \text{хв.}$)		Тип покриття	Географічна прив'язка точки
	на висоті		на висоті			
	0 м	1,5 м	на висоті	на висоті		
1						
2						
3						
4						
5						

2.7. Географічна прив'язка точки _____

2.8. Вказати тип покриття (ґрунт, бруківка, тротуарна плитка чи інші будівельні матеріали) _____

2.9. Вказати відстань від потенційно можливих джерел радіоактивного забруднення _____

2.10. Погодні умови (температура повітря, атмосферний тиск, опади) _____

Радіометричні вимірювання проводити на двох висотах: на рівні ґрунтового або техногенного покриття та на висоті 1,2–1,5 м від площадки, що зроблено з метою вивчення впливу відстані від земної поверхні, як основного джерела техногенної радіації в урбоекосистемах, на рівень забруднення радіонуклідами.

Висновок (дати відповіді на питання):

1. Які основні параметри радіаційного контролю у міському середовищі були виміряні?

2. Чим відрізняється вимірювання гамма-фону від визначення індивідуальних доз опромінення?

3. Які прилади використовувалися для дослідження, і які їхні переваги та обмеження?

4. Як GPS та картографічні сервіси (Google Maps, QGIS) допомагають у польовому моніторингу?

5. Які ділянки міського середовища виявилися найбільш «радіаційно чистими» або навпаки — з підвищеним рівнем?

Завдання 3. Картографування урбоекосистеми при радіологічному дослідженні території.

Мета дослідження: Визначити просторовий розподіл радіоактивного забруднення в межах урбоекосистеми. Оцінити екологічний стан території та потенційні ризики для населення. Створити тематичні карти для візуалізації результатів радіологічного моніторингу.

Обладнання: дозиметри, GPS, Google Maps або QGIS.

Алгоритм виконання:

3.1. На основі отриманих результатів вимірювання потужності гамма-випромінювання й щільності бета-частинок проаналізувати радіоекологічну ситуацію в межах досліджуваної території.

3.2. На карті нанести пункти вимірювання потужності гамма-випромінювання на рівні ґрунтового чи техногенного покриття.

3.3. За результатами інтерполяції даних радіометричного вимірювання скласти карту радіаційної ситуації в межах досліджуваної території.

3.4. Інтерполяцію провести через 0,1 мкЗв/год та оформити різними кольорами за принципом «світлофора».

- Найзабрудненіші ділянки відобразити червоним кольором,
- Середній рівень забруднення – жовтим кольором,
- «Найчистіші» (умовно нижче фонового значення) – зеленим кольором.

3.5. До карти оформити умовні позначення.

На основі аналізу таблиці результатів вимірювання потужності гамма-випромінювання й щільності бета-частинок та карти радіаційної ситуації зробити висновки щодо радіоекологічного стану досліджуваного міського середовища.

довкіллі, що впливають на біоту. Індикаторні види — організми, чутливі до радіації (наприклад, лишайники, мохи, сосна звичайна, хвойні рослини, мікроорганізми).

Алгоритм виконання:

4.1. Підготовчий етап:

- Ознайомитись з індикаторними видами, які використовуються для оцінки радіаційного забруднення.
- Обрати ділянки для дослідження (контрольна та потенційно забруднена зона).

4.2. Польові дослідження:

- Вимірювання рівня радіаційного фону на обраних ділянках.
- Збір біоіндикаторів (наприклад, лишайників з дерев, мохів з ґрунту).
- Фіксація зовнішнього вигляду, кольору, розміру, поширення біоіндикаторів.
- Фотофіксація зразків та середовища.

4.3. Лабораторна обробка:

- Аналіз морфологічних змін (наприклад, деформації, некроз, зміна пігментації).
- Порівняння з контрольними зразками.
- За можливості — спектрометричний аналіз накопичення радіонуклідів.

4.4. Оцінка результатів:

- Визначення індексу біоіндикації (наприклад, за шкалою пошкоджень або чисельності).

Приклад оцінки лишайників, як біоіндикаторів радіаційного забруднення:

Вид лишайника	Поширення (%)	Зовнішній стан	Індекс забруднення
<i>Xanthoria parietina</i>	80%	Знебарвлення	Високий
<i>Hypogymnia physodes</i>	30%	Некроз	Середній
<i>Evernia prunastri</i>	5%	Відсутній	Низький

Висновки (дати відповіді на питання):

1. Яке значення біоіндикації у виявленні прихованих наслідків радіаційного забруднення урбоєкосистеми?
2. Вказати переваги та недоліки методу біоіндикації?

Завдання 5 . Описати радіаційну ситуацію АТ «Коростенський кар'єр» (можна обрати об'єкт самостійно)

Мета : оцінити поточний радіаційний стан на території АТ «Коростенський кар'єр» або іншого об'єкту, з метою виявлення потенційних джерел і рівнів іонізуючого випромінювання, а також визначення екологічних ризиків для населення та довкілля.

Обладнання: дозиметри (наприклад, ДКГ-21, РКС-01).

Алгоритм виконання:

5.1. Підготовчий етап

- **Аналіз географічного розташування кар'єру:** координати, площа, тип видобутку (граніт, щебінь тощо).

- **Огляд історії діяльності підприємства:** тривалість експлуатації, обсяги видобутку, наявність попередніх досліджень.

- **Визначення потенційних джерел радіації:** природні радіонукліди в породах (наприклад, уран, торій, радон).

5.2. Польові дослідження:

- Вибір точок вимірювання:
 - В межах кар'єру (дно, борти, склади породи).
 - На прилеглий території (до 1 км).
 - У місцях проживання населення поблизу.
- Типи вимірювань:
 - Потужність експозиційної дози гамма-випромінювання (мкР/год).
 - Вміст природних радіонуклідів у зразках ґрунту, води, порід (Бк/кг).

5.3. Оформлення результатів польового дослідження:

Точка вимірювання	Дно кар'єру	Північний борт	Склад щебеню	Прилеглий ліс	Житлова зона (1 км)
GPS-координати					
Тип поверхні / об'єкта					
Потужність експозиційної дози (мкР/год)					
Концентрація радону (Бк/м ³)					
Зразок ґрунту / породи					
Активність радіонуклідів (Бк/кг)					
Примітки					

--	--	--	--	--	--

Висновки (дати відповіді на питання) :

1. Який рівень гамма-фону зафіксовано на території об'єкта?
2. Чи перевищують отримані показники природний фон та санітарні норми?
3. Які потенційні джерела іонізуючого випромінювання можна виділити на території кар'єру?
4. Як результати вимірювань співвідносяться з даними інших ділянок міського середовища?
5. Чи існують екологічні ризики для населення та довкілля?
6. Які рекомендації можна запропонувати для зниження можливих ризиків (наприклад, моніторинг, рекультивация, інформаційна робота з населенням)?
7. Наскільки ефективними виявилися використані прилади (дозиметри ДКГ-21, РКС-01) для польових вимірювань?

ЗАНЯТТЯ 7

Тема: Визначення сумарної ефективної еквівалентної дози опромінення населення.

Мета: Ознайомити здобувачів з поняттям **ефективної еквівалентної дози** та її роллю в оцінці радіаційного впливу на населення. Навчити розраховувати **сумарну дозу опромінення** з різних джерел (природних і техногенних). Сформувати навички аналізу дозових навантажень та їх екологічних наслідків. Розвивати критичне мислення щодо оцінки ризиків радіаційного впливу на здоров'я людини.

Основні поняття: іонізуюче випромінювання, еквівалентна доза (мЗв), ефективна доза, сумарна доза опромінення, природні джерела радіації, техногенні джерела радіації, радіаційний ризик.

Теоретичні питання:

1. Методика розрахунку ефективної дози радіації.
2. Методика розрахунку еквівалентної дози радіації.
3. Методи оцінки дозових навантажень на біоту.
4. Фактори, що впливають на дозу опромінення людини.
5. Заходи зменшення доз опромінення.

Питання для самоопрацювання:

1. Структуру природного радіаційного фону в Україні.
2. Вплив медичних процедур на сумарну дозу опромінення.
3. Джерела техногенного опромінення, що є найбільш значущими для населення.

Тематика рефератів:

1. Оцінка дозового навантаження населення України: сучасний стан і тенденції
2. Природні джерела радіації та їх внесок у сумарну дозу опромінення
3. Медичне опромінення: користь і ризику для населення
4. Техногенні джерела радіації: вплив на довкілля та здоров'я
5. Методи моніторингу та нормування доз опромінення в радіоекології
6. Радіаційний ризик: підходи до оцінки і управління
7. Міжнародні стандарти щодо допустимих доз опромінення (ICRP, WHO, UNSCEAR)
8. Роль еколога в оцінці та регулюванні радіаційного навантаження на населення

Контрольні питання:

1. Чим відрізняється ефективна доза від еквівалентної?
2. Назвіть основні компоненти, що враховуються при розрахунку ефективної дози.
3. Як визначається сумарна ефективна еквівалентна доза для населення?
4. Які фактори впливають на дозу опромінення людини?
5. Які методи використовуються для оцінки дозових навантажень?
6. Які наслідки для здоров'я можливі при перевищенні допустимих доз?
7. Які джерела іонізуючого випромінювання впливають на населення?
8. Які нормативні документи регулюють допустимі рівні опромінення?
9. Як змінюється дозове навантаження в умовах надзвичайної ситуації?
10. Які заходи зменшення доз опромінення застосовуються в радіоекології?

Практичні завдання

Завдання 1. Розв'язати розрахункові задачі. Використовуючи теоретичні відомості та дані представлені у Додатку 7:

Іонізуюче випромінювання — випромінювання, здатне іонізувати атоми речовини (альфа-, бета-, гамма-випромінювання, нейтрони).

Еквівалентна доза (H) — враховує тип випромінювання і його біологічний вплив. Одиниця: зіверт (Зв) або мілізіверт (мЗв).

Ефективна доза (E) — враховує чутливість різних органів до опромінення. Визначає ризик для здоров'я при опроміненні всього тіла.

Сумарна ефективна еквівалентна доза — загальна доза, яку отримує людина з усіх джерел за певний період (зазвичай за рік).

Еквівалентна доза (H) враховує біологічний ефект різних видів випромінювання і розраховується як добуток поглинутої дози (D) на коефіцієнт якості випромінювання (Q):

$H = D * Q$ де, H— еквівалентна доза, мЗв, D — поглинута доза, Гр, Q — коефіцієнт якості випромінювання (інша назва коефіцієнта радіаційної ваги).

Приклади використання:

Для гамма-випромінювання: $Q = 1 \rightarrow H = D \times 1 = D$

Для альфа-випромінювання: $Q = 20 \rightarrow H = D \times 20$. Дана формула використовується: у спрощених розрахунках для студентів та у прикладних задачах, де не деталізується тип тканини

Ефективна доза (E) враховує нерівномірний розподіл дози в організмі і використовується для оцінки загального ризику шкідливих ефектів.

Ефективна доза: $E = H \times W_t$ де: E — ефективна доза (мЗв); H — еквівалентна доза для органу або тканини (мЗв); W_t — коефіцієнт чутливості (ваговий коефіцієнт) для конкретної тканини.

У задачах загального характеру часто використовуються сумарні або табличні значення ефективної дози без деталізації за органами. У таких випадках формулу можна використовувати як додаткову або пояснювальну.

Сумарна ефективна доза — це загальна кількість радіації, яку отримує людина від усіх джерел за певний період (зазвичай за рік). Формула: $E = (E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_i)$.

Сумарна ефективна доза опромінення (E) розраховується шляхом підсумовування ефективних доз від різних джерел випромінювання, з урахуванням коефіцієнтів випромінювання та часу опромінення.

Основна формула для розрахунку сумарної ефективної дози: $E = \sum (D_i * W_i * t_i)$, де D_i - поглинута доза від i -го джерела, W_i - коефіцієнт випромінювання для i -го джерела, t_i - час впливу i -го джерела.

Елементи формули та їх пояснення:

- **E (Ефективна доза):** це величина, яка характеризує біологічний вплив іонізуючого випромінювання на організм, враховуючи чутливість різних тканин та органів.

- **D_i (Поглинута доза):** це кількість енергії випромінювання, поглинута одиницею маси опроміненої речовини. В системі SI вимірюється в греях (Гр).

- **W_i (Коефіцієнт випромінювання):** безрозмірна величина, що враховує тип іонізуючого випромінювання (альфа, бета, гамма, нейтрони) та його здатність викликати біологічні ефекти. Наприклад, для альфа-частинок W_i буде значно більшим, ніж для гамма-променів.

- **t_i (Час опромінення):** час, протягом якого відбувається вплив випромінювання на організм, вимірюється в годинах або секундах.

Приклад: Припустимо, що людина зазнала впливу гамма-випромінювання (коефіцієнт випромінювання 1) з потужністю дози 0.1 мГр/год протягом 5 годин, а також отримала опромінення від бета-джерела (коефіцієнт випромінювання 5) з потужністю дози 0.05 мГр/год протягом 2 годин.

Тоді, сумарна ефективна доза буде розраховуватися так:

- E (гамма) = 0.1 мГр/год * 1 * 5 год = 0.5 мЗв
- E (бета) = 0.05 мГр/год * 5 * 2 год = 0.5 мЗв
- E (сумарна) = 0.5 мЗв + 0.5 мЗв = 1 мЗв

Важливо пам'ятати:

- Ефективна доза - це величина, що використовується для оцінки ризику для здоров'я, пов'язаного з опроміненням.

- Розрахунок сумарної ефективної дози дозволяє враховувати різні джерела випромінювання та їхній вплив на організм.

- Одиницею вимірювання ефективної дози є зіверт (Зв).

Таким чином, сумарна ефективна доза це сума **всіх окремих доз**, які людина отримує:

- E_1 — доза від радону
- E_2 — доза від космічного випромінювання
- E_3 — доза від медичних процедур
- E_4 — доза від техногенних джерел

Приклад: якщо людина отримала за рік: від радону — 1,5 мЗв; від космічного випромінювання — 0,3 мЗв; від медичних процедур — 2,0 мЗв; від техногенних джерел — 0,4 мЗв то $E = 1,5 + 0,3 + 2,0 + 0,4 = 4,2$ мЗв

Задача 1: Природне опромінення. Житель регіону щорічно отримує дозу опромінення від таких джерел:

- Радон у приміщеннях — 1,2 мЗв
- Космічне випромінювання — 0,3 мЗв
- Радіонукліди в ґрунті — 0,4 мЗв
- Радіонукліди в продуктах харчування — 0,2 мЗв

Обчисліть сумарну ефективну еквівалентну дозу природного опромінення за рік.

Розв'язання:

Задача 2: Медичне опромінення. Пацієнт протягом року проходив такі процедури:

- Рентген грудної клітки — 0,1 мЗв
- Комп'ютерна томографія голови — 2,0 мЗв
- Стоматологічний рентген — 0,02 мЗв

Визначте загальну дозу медичного опромінення.

Розв'язання:

Задача 3: Техногенне опромінення. Унаслідок аварії на підприємстві в атмосферу потрапили радіонукліди, що спричинили додаткове опромінення населення:

- Вдихання радіоактивного пилу — 0,5 мЗв
- Зовнішнє опромінення — 0,8 мЗв
- Потрапляння радіонуклідів з водою — 0,3 мЗв

Обчисліть сумарну ефективну дозу техногенного опромінення.

Розв'язання:

Задача 4: Загальна річна доза. Житель міста отримав за рік:

- Природне опромінення — 2,4 мЗв
- Медичне — 1,8 мЗв
- Техногенне — 0,6 мЗв

Визначте загальну річну ефективну еквівалентну дозу.

Розв'язання:

Задача 5: Порівняння з нормативами. Допустима межа ефективної дози для населення згідно з НРБУ — 1 мЗв/рік (без урахування медичних процедур). У регіоні середня природна доза — 2,2 мЗв, техногенна — 0,5 мЗв. Чи перевищено норматив? Які джерела спричинили перевищення?

Розв'язання:

Висновок: перевищення нормативу на _____ мЗв; основний внесок в опромінення — _____.

Задача 6: Розрахуйте дозу для населення, яке проживає поблизу уранового родовища.

Завдання 2: Порівняйте дозу опромінення в різних кліматичних зонах України (порівняти сумарні ефективні дози та визначити, які зони мають найвищий та найнижчий ризик радіаційного впливу. Обґрунтувати вибір з екологічної точки зору. Використовувати дані Додатку 8.

Завдання 3. Оцініть внесок медичних процедур у загальну дозу для пацієнтів різного віку. Використовувати дані Додатку 9.

Завдання 4. Робота з джерелом даних ICRP або НРБУ-97. Використовуючи дані Додатку 8, таблицю коефіцієнтів чутливості (W_t) для органів згідно з міжнародними стандартами. Розрахувати ефективну дозу на основі заданої еквівалентної дози для органів (наприклад, легені — 2 мЗв, щитовидна — 1 мЗв). Вказати, які органи є найбільш вразливими.

Алгоритм виконання:

4.1. Потрібно визначити загальну ефективну дозу:

4.2. Підбрати коефіцієнтів чутливості (W_t) для органів:

Легені: _____

Щитовидна залоза _____

4.3. Обчислення внеску кожного органу

$E = H_t \times W_t + H_l \times W_l + \dots + H_n \times W_n$ де: E — ефективна доза (мЗв); H_t, H_l, H_n — еквівалентна доза для органу або тканини T, L, N; W_t, W_l, W_n — коефіцієнт чутливості відповідного органу

Для легень: _____

Для щитоподібної залози: _____

4.4. Підсумування ефективної дози

4.5. Визначення найбільш вразливого органу. Вплив кожного органу на загальну ефективну дозу залежить від:

ЗАНЯТТЯ 8

Тема: Нормування та законодавча база радіаційного захисту

Мета: Ознайомити здобувачів з принципами нормування доз опромінення в контексті радіаційного захисту. Розкрити роль міжнародних та національних нормативних документів у регулюванні радіаційної безпеки. Сформувати вміння аналізувати нормативні обмеження дозового навантаження для різних категорій населення та персоналу. Розвивати компетентності щодо застосування вимог законодавства у екологічній практиці.

Основні поняття: радіаційний захист, нормування доз опромінення; документи Міжнародної комісії з радіаційного захисту (ICRP), МАГАТЕ, критично вразливі групи осіб, гранична доза,

Теоретичні питання:

1. Поняття «радіаційний захист»: визначення та завдання.
2. Міжнародні принципи радіаційного захисту (ICRP): обґрунтування, оптимізація, обмеження.
3. Класифікація категорій осіб за ступенем опромінення (А, Б, критично вразливі).
4. Сутність принципу ALARA.
5. Характеристика граничних доз для персоналу та населення.
6. Групи критичних органів та їх радіочутливість.
7. Законодавчі документи України з питань радіаційної безпеки (НРБУ-97, Закон України «Про захист людини...»).
8. Врахування радіаційного чинника при екологічному плануванні.

Питання для самоопрацювання:

1. Роль ICRP у формуванні глобальної системи радіаційного захисту.
2. Дозиметричний контроль персоналу категорії А.
3. Відповідальність держави щодо захисту критично вразливих груп.
4. Відмінності у нормуванні доз у міжнародних та національних документах.

Тематика рефератів:

1. Нормування доз опромінення: принципи, нормативи, реальні виклики
2. Законодавче регулювання радіаційного захисту в Україні та за кордоном
3. Система радіаційного захисту МАГАТЕ та ICRP: порівняльний аналіз
4. Категорії осіб у НРБУ-97: особливості нормування та захисту
5. Радіочутливість органів: медико-біологічне обґрунтування та екологічні наслідки
6. Принцип ALARA: застосування в промисловості та охороні довкілля
7. Радон у житлових приміщеннях: норми, ризику та захисні заходи
8. Оцінка радіаційного ризику для критично вразливих груп населення
9. Історія становлення нормативної бази радіаційного захисту
10. Екологічний моніторинг у контексті нормування іонізуючого випромінювання

Контрольні питання:

1. Назвіть допустиму межу ефективної дози для населення.
2. Яка основна мета нормування доз опромінення?

3. Розшифруйте абрєвіатуру НРБУ.
4. Як часто проводиться дозиметричний контроль для персоналу?
5. Назвіть орган, що має найвищу радіочутливість.
6. Що означає термін «гранична доза»?
7. Яка роль принципу оптимізації у системі радіаційного захисту?
8. Перелічіть основні групи критичних органів згідно з НРБУ-97.
9. Хто належить до категорії Б?
10. Назвіть одиницю вимірювання еквівалентної дози.
11. Що таке ефективна та еквівалентна доза опромінення?
12. Встановити різницю між зовнішнім та внутрішнім опроміненням.
13. В яких випадках медичне опромінення вважається допустимим?

Практичні завдання:

Завдання 1. Навести приклади категорій опромінюваних осіб, користуючись даними Додатку 10:

Категорія А:

Категорія Б:

Категорія В:

Завдання 2. Класифікація опромінених осіб.

Мета завдання: навчитися класифікувати опромінених осіб відповідно до умов їхньої діяльності та обґрунтовувати допустимі межі ефективних доз згідно з НРБУ-97.

Заповнити таблицю, класифікуючи такі три ситуації:

1. Працівник рентген-лабораторії
2. Мешканець будинку поблизу атомної станції
3. Вагітна жінка, яка проходить КТ-діагностику

Таблиця для заповнення:

№	Ситуація	Категорія особи	Гранична ефективна доза (мЗв/рік)	Обґрунтування (посилання на НРБУ-97)

1	Працівник рентген-лабораторії			
2	Мешканець поблизу атомної станції			
3	Вагітна жінка, яка проходить КТ			

Висновок (дати відповіді на питання):

1. Яка категорія має найвищу дозову межу і чому?
2. Чому критично вразливим особам встановлюються окремі нормативи?
3. Які документи регламентують ці межі?

Завдання 3. Порівняння нормативів ICRP і НРБУ (Додаток 11). Скласти таблицю порівняння нормативів. Визначити спільні та відмінні характеристики. Надати обґрунтування впливу нормативів на екологічне планування?

Порівняльна таблиця: Нормативи ефективної дози опромінення

Категорія	ICRP-103	НРБУ-97	Спільне	Відмінне
Персонал				
Населення				

Спільні характеристики:

Відмінні характеристики:

Висновок щодо впливу на екологічне планування:

Завдання 4. Моделювання ситуації перевищення доз опромінення. Мешканець проходить медичні процедури: КТ — 6 мЗв, флюорографія — 0,5 мЗв, рентген — 0,1 мЗв. Природне опромінення — 2 мЗв, техногенне — 1 мЗв.

Алгоритм виконання:

4.1. Розрахувати загальну річну дозу _____

4.2. Визначити, наявність/відсутність перевищення допустимого навантаження:

4.3. Запропонувати рекомендовані заходи при наявності перевищення:

ЗАНЯТТЯ 9

Тема: Радіаційна безпека в побуті та професійній діяльності

Мета: Ознайомити студентів з джерелами іонізуючого випромінювання у побутовому та професійному середовищі. Розкрити поняття, принципи та нормативне регулювання радіаційної безпеки. Сформувати навички оцінки радіаційних ризиків і прийняття екологічно обґрунтованих рішень.

Основні поняття: іонізуюче випромінювання, радіаційна безпека, гранична ефективна доза, радіаційний моніторинг, нормативне регулювання (ICRP, НРБУ-97), побутові джерела радіації, професійне опромінення, санітарні зони, радіоекологічна оцінка.

Теоретичні питання:

1. Джерела іонізуючого випромінювання в побуті: класифікація та приклади
2. Радіаційна безпека в професійних сферах: медицина, енергетика, промисловість
3. Вплив низьких доз на організм людини: сучасні підходи

4. Оцінка ризиків при перевищенні нормативів (на основі НРБУ-97, ICRP-103)
5. Побутовий радон: джерела, вплив, заходи захисту.
6. Моніторинг побутового опромінення: прилади, методи.
7. Роль інформування населення у системі безпеки
8. Санітарно-захисні зони: їх визначення та призначення

Питання для самоопрацювання:

1. Будівельні матеріали, що можуть становити радіаційну небезпеку.
2. Екологічні наслідки накопичення радіонуклідів.
3. Розрахунок річного дозового навантаження в побутових умовах.
4. Оцінка ризику при проектуванні об'єктів з потенційним опроміненням.

Тематика рефератів:

1. Побутова радіація: приховані джерела у звичайному житті
2. Професійна експозиція: аналіз захисту медичного персоналу
3. Радіаційна безпека в Україні: нормативна база та її реалізація
4. Радіоактивність у продуктах харчування та воді
5. Екологічне планування з урахуванням радіаційного фактора
6. Радіаційні катастрофи та їх уроки: Чорнобиль, Фукусіма

Контрольні питання:

1. Які нормативи ефективної дози встановлені для населення?
2. Які принципи радіаційного захисту ви пам'ятаєте?
3. Які джерела іонізуючого випромінювання можуть траплятись у побуті?
4. Що таке критична група населення? Наведіть приклад.
5. Як професійна діяльність впливає на дозове навантаження?
6. Яка роль радону у внутрішньому опроміненні людини?
7. Які методи контролю опромінення використовують у побуті?
8. Як перевищення граничної дози впливає на здоров'я?
9. У яких випадках можливе перевищення доз для персоналу?
10. Як санітарно-захисна зона впливає на екологічне планування?
11. Що потрібно враховувати при складанні ОВД для об'єктів з радіаційним впливом?
12. Чому нормативи не включають медичне та природне опромінення?

Практичні завдання

Завдання 1. Оцінка побутового радіаційного фону

Мета: Визначити рівень радіаційного фону в побутовому приміщенні та порівняти його з нормативними показниками.

Обладнання: дозиметр (Тerra-P, Radex тощо)

Алгоритм виконання:

1.1. Підготовка до вимірювання

- Переверити заряд дозиметра та його готовність до роботи.
- Встановити одиниці вимірювання: мкЗв/год (мікросіверти на годину) або мР/год (мілірентгени на годину).

1.2. Здійснити вимірювання у таких зонах:

- Стіни (на висоті ~1 м)
- Підвіконня (особливо якщо з каменю або бетону)
- Побутова техніка (телевізор, мікрохвильова піч, комп'ютер)
- Місце для сну або тривалого перебування
- Вхідна зона (для порівняння з зовнішнім фоном)

1.3. Проведення вимірювань. У кожній точці:

- Увімкнути дозиметр.
- Дочекатися стабілізації показників (зазвичай 30–60 секунд).
- Зафіксувати значення.

- Повторити вимірювання 2–3 рази для точності.

1.4. Аналіз отриманих даних

- Обчислити середнє значення для кожної точки.
- Порівняти з нормативним фоновим рівнем:
- Нормальний рівень: до 0.3 мкЗв/год або до 30 мкР/год
- Допустимий рівень: до 0.5 мкЗв/год
- Підвищений рівень: понад 0.5 мкЗв/год — потребує додаткового аналізу

1.5. Оформлення результатів. Внести дані до таблиці

Таблиця результатів:

Точка вимірювання	Показник 1	Показник 2	Показник 3	Середнє значення	Висновок
Стіна					
Підвіконня					
Мікрохвильова піч/або інший прилад					
Робоче місце					
Зона для сну					
Вхідна зона					

Висновок (дати відповіді на питання):

1. Чи перевищено фоновий рівень?
2. Які зони мають найвищі показники?
3. Чи є потреба в додаткових заходах?

Завдання 2. Ідентифікація потенційно небезпечних побутових матеріалів.

2.1. Користуючись доступними джерелами інформації (офіційні сайти екологічних агентств (ІАЕА, WHO, ЕРА); Державні санітарні норми України), дослідити інформацію про радіоактивність будівельних матеріалів, які широко використовуються при будівництві граніту, цегли, кераміки тощо.

2.2. Використовуючи зібрану інформацію та Додаток 12, заповнити таблицю щодо характеристики небезпечних побутових матеріалів:

№	Матеріал / Об'єкт	Можливі радіонукліди (за джерелами)	Джерело інформації (посилання / назва)	Механізм опромінення (зовнішній / внутрішній)	Оцінка рівня ризику (низький / середній / високий)	Коментар / Пропозиції щодо безпеки
1						
2						
3						
4						
5						

6						
7						
8						
9						

Завдання 3. Аналіз професійних ризиків у сфері екології. Розглянути наступну ситуацію: «Олена — еколог-лаборант, працює в аналітичній лабораторії, що проводить дослідження проб ґрунту та води з територій поблизу колишніх уранових шахт. Вона щодня контактує з пробами, які можуть містити радіонукліди, а також використовує спектрометр, що має джерело іонізуючого випромінювання для аналізу складу речовин.» (для виконання завдань скористатися Додатком 13)

3.1. Професійна діяльність еколога в лабораторії включає:

3.2. Ідентифікуйте потенційні джерела радіаційного опромінення у роботі

3.3. Оцінити ризики для еколога (за методикою ALARA — As Low As Reasonably Achievable). Заповнити таблицю-ризиків:

Джерело ризику	Механізм опромінення	Імовірність контакту	Рівень ризику	Засіб захисту / дія
Проби з радіонуклідами				
Спектрометр з джерелом				
Контаміновані поверхні				

3.4. Розробити коротку інструкцію з безпеки для працівників лабораторії. (5–7 пунктів)

3.5. Запропонувати засоби індивідуального захисту, які має використовувати еколог в лабораторії та під час польових досліджень:

Завдання 4. Розробити інструкції з радіаційної безпеки для населення. Використовуючи шаблон «Радіаційна безпека в домашніх умовах»

Радон — природний радіоактивний газ, який:

Для зменшення впливу радону:

Можливі джерела радіації в побуті:

Рекомендації:

У разі підозри щодо підвищеного рівня радіації потрібно звернутися до:

ЗАНЯТТЯ 10

Тема: Методи дезактивації та поводження з радіоактивними відходами

Мета: Ознайомити студентів з класифікацією радіоактивних відходів та принципами поводження з ними. Сформувані уявлення про сучасні методи дезактивації та технології зменшення радіаційної загрози. Розвинути навички екологічного оцінювання ризиків при поводженні з РАВ.

Основні питання: радіоактивні відходи (РАВ), дезактивація, захоронення радіоактивних матеріалів, тимчасове/довготривале зберігання, клас небезпеки РАВ, бар'єрні системи, радіаційний моніторинг при поводженні з РАВ, законодавче регулювання поводження з РАВ (в т.ч. Закон України «Про поводження з РАВ»).

Теоретичні питання:

1. Класифікація радіоактивних відходів: джерела утворення, рівні активності.
2. Принципи поводження з РАВ: зберігання, транспортування, захоронення.
3. Методи дезактивації поверхонь, обладнання, об'єктів інфраструктури.
4. Фізико-хімічні та біологічні методи зниження радіоактивності, бар'єрні матеріали.
5. Сучасні технології іммобілізації та кондиціонування РАВ.
6. Вибір місць захоронення: критерії екологічної безпеки.
7. Правові аспекти та нормативне забезпечення поводження з РАВ.
8. Роль еколога у системі управління радіоактивними відходами.
9. Міжнародний досвід поводження з РАВ: практика країн ЄС.
10. Аварійні ситуації при поводженні з РАВ та план реагування.

Питання для самоопрацювання:

1. Відмінності дезактивації та деконтамінації.
2. Методи дезактивації, що застосовуються для біологічних матеріалів.
3. Ризики захоронення РАВ у геологічних формаціях.
4. Регламентування меж активності відходів для різних типів захоронення.
5. Системи захисту довкілля при поводженні з РАВ є найефективнішими.
6. Оцінка екологічних наслідків при порушенні ізоляції сховища.

Тематика рефератів:

1. Методи дезактивації навколишнього середовища після радіаційних аварій.
2. Радіоактивні відходи в медицині: проблеми та шляхи утилізації.
3. Екологічна оцінка геологічного захоронення радіоактивних матеріалів.
4. Стандарти поводження з РАВ у ЄС: порівняння з українським законодавством.
5. Роль біологічних методів у зменшенні радіаційного забруднення.
6. Плутоній і трансуранові елементи у відходах: особливості утилізації.
7. РАВ як фактор екологічного планування та стратегії мінімізації.
8. Зони контролю та моніторингу при зберіганні РАВ.
9. Моделювання поширення забруднення при порушенні цілісності сховища.
10. Психологічні та соціальні аспекти розміщення сховищ РАВ.
11. Приклади екологічних катастроф, пов'язаних із сховищами радіаційних відходів.

Контрольні питання

1. Що таке радіоактивні відходи (РАВ) та які їх типи?
2. Які основні джерела утворення РАВ у побуті та промисловості?
3. У чому полягає різниця між тимчасовим та довготривалим зберіганням РАВ?
4. Назвіть основні методи дезактивації поверхонь, заражених радіонуклідами.
5. Що означає кондиціонування радіоактивних відходів?
6. Які етапи включає система поводження з РАВ?
7. Як класифікуються РАВ за рівнем активності?
8. Які існують екологічні ризики при недотриманні умов зберігання РАВ?
9. Що таке геологічне захоронення радіоактивних матеріалів?
10. Які нормативні документи регулюють поводження з РАВ в Україні?

11. Яку роль відіграє еколог при виборі місця захоронення РАВ?
 12. Які засоби моніторингу застосовують для контролю безпеки сховищ РАВ?

Практичні завдання

Завдання 1. Класифікувати РАВ.

1.1. Ознайомитись з теоретичними відомостями: розподіл РАВ за класифікаційними ознаками.

За рівнем активності:

- **Низькоактивні (НАРАВ)** —
- **Середньоактивні (САРАВ)** — 10^4 – 10^6 Бк/кг
- **Високоактивні (ВАРАВ)** — $>10^6$ Бк/кг

За агрегатним станом:

- **Тверді** — металеві конструкції, фільтри, будівельні матеріали
- **Рідкі** — промивні води, органічні розчинники
- **Газоподібні** — вентиляційні викиди, радіоактивні гази

За джерелом утворення:

- **Медичні установи** — використання ізотопів у діагностиці та терапії
- **Промисловість** — техногенні процеси, збагачення урану
- **АЕС та дослідницькі реактори** — експлуатація, технічне обслуговування
- **Наукові лабораторії** — експерименти з радіоактивними речовинами

1.2. Заповнити таблицю Характеристика категорій РАВ:

Категорія РАВ	Рівень активності	Агрегатний стан	Джерело утворення	Допустимі способи поводження
Тверді відходи з АЕС				
Рідкі промивні води				
Газоподібні ізотопи				
Медичні джерела				

1.3. Дозаповнити таблицю: Класифікація РАВ за рівнем активності та тривалістю життя

Категорія	Опис	Приклади	Тип захоронення
-----------	------	----------	-----------------

Низькоактивні (НАРАВ)	Містять невеликі кількості радіонуклідів, не потребують екранів	Одяг, інструменти, фільтри	Поверхнєве або приповерхнєве
Середньоактивні (САРАВ)			
Високоактивні (ВАРАВ)			
Короткоживучі			
Довгоживучі			

Завдання 2. Порівняння методів дезактивації.

2.1. Заповнити порівняльну таблицю:

Метод	Приклади	Механізм дії	Переваги	Недоліки
Фізичні				
Хімічні				
Біологічні				

2.2. Порівняння ефективності методів дезактивації для різних об'єктів. Заповнити таблицю:

Метод	Метал	Бетон	Ґрунт
Фізичні			
Хімічні			

Біологічні			

Висновок щодо ефективності методів дезактивації:

- Для металу: _____
- Для бетону: _____
- Для ґрунту: _____

Завдання 3. Аналіз законодавчих вимог щодо поводження з РАВ

3.1. Проаналізувати бази даних:

Українські документи:

- Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами»
- НПАУ (нормативно-правові акти України): ДБН, ОСПУ, НРБУ
- Документи Державної інспекції ядерного регулювання України (ДІЯРУ)

Міжнародні документи:

- ICRP Publication 103 (основи радіологічного захисту)
- IAEA Safety Standards Series (наприклад, GSR Part 5 – «Pre-disposal Management of Radioactive Waste»)
- Конвенція про безпеку поводження з РАВ (Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management)

3.2. Порівняти такі аспекти:

- Класифікація РАВ
- Принципи безпеки (оптимізація, обґрунтування, обмеження доз)
- Вимоги до зберігання, транспортування, переробки, захоронення
- Вимоги до документації та контролю
- Роль державного регулювання та нагляду
- Залучення громадськості та прозорість

3.3. Заповнити порівняльну таблицю

Аспект	UA Українські вимоги	Міжнародні стандарти (ICRP/IAEA)	Відповідність / Розбіжність
Класифікація РАВ			
Принципи радіологічного захисту			
Управління РАВ			
Захоронення			
Державний контроль			

Прозорість та участь громадськості			
------------------------------------	--	--	--

Висновки (дати відповіді на питання):

1. Які аспекти українського законодавства потребують гармонізації з міжнародними нормами.
2. Які можливі шляхи вдосконалення нормативної ?

Завдання 4. Моделювання умовної ситуації поводження з РАВ. На території лабораторії виявлено джерело радіоактивних відходів (РАВ). Розробити алгоритм дій у відповідь на виявлення РАВ, з урахуванням вимог радіаційної безпеки, нормативних документів та процедур поводження з РАВ.

Алгоритм виконання:

4.1. Оцінка ситуації:

- Визначити тип і стан джерела РАВ (твердий, рідкий, газоподібний) _____
- Встановити рівень радіаційного фону в зоні виявлення.

- Зробити первинну оцінку потенційної небезпеки для персоналу та навколишнього середовища. _____

4.2. Ізоляція зони враження (запропонувати необхідні дії та заходи) :

4.3. Маркування джерела забруднення: застосувати відповідне маркування згідно з вимогами ДСП (державних санітарних правил).

- Вказати:
- Тип РАВ _____
- Дата виявлення _____
- Відповідальна особа _____
- Потенційний рівень небезпеки _____

4.4. Тимчасове зберігання (запропонувати необхідні дії та заходи):

4.5. Транспортування (запропонувати необхідні дії та заходи):

- _____
- _____

Біологічні РАВ				

Завдання 6. Обґрунтування вибору бар'єрних матеріалів.

6.1. Ознайомитись з теоретичними відомостями:

Первинний бар'єр (упаковка). Призначення: Забезпечення герметичності та захисту від контакту з навколишнім середовищем. Матеріали:

- Нержавіюча сталь — висока корозійна стійкість, довговічність.
- Мідь — відмінна герметичність, стійкість до корозії в анаеробних умовах.
- Полімери — легкість, хімічна інертність, можливість формування складних форм.

Критерії вибору:

- Корозійна стійкість — здатність протистояти агресивному середовищу.
- Герметичність — запобігання витоку радіонуклідів.
- Механічна міцність — витримування тиску, ударів, навантажень.

Інженерні бар'єри.

Призначення: Допоміжні конструкції для додаткової ізоляції, стабілізації та контролю міграції речовин.

Матеріали та функції:

- Бентоніт: висока набухаюча здатність; створює водонепроникний шар; затримує міграцію води та розчинених речовин.
- Цементні суміші: стабілізація структури сховища; зменшення проникності; хімічна нейтралізація деяких компонентів.
- Геотекстиль: фільтрація та розділення шарів; захист від ерозії; контроль потоків води.

Природний бар'єр. Призначення: Довготривала ізоляція завдяки геологічним умовам.

Типи порід:

- Глинисті породи: низька проникність; висока здатність до сорбції радіонуклідів.
- Граніт: механічна стабільність; Низька тріщинуватість у глибоких умовах.
- Сіль (галогеніт): пластичність, здатність до самозатягування тріщин; відсутність води — ключовий фактор для ізоляції.

6.2. Обґрунтувати вибір бар'єрних матеріалів у контексті безпечного поводження з радіоактивними або небезпечними відходами. Заповнити таблицю

Тип відходів	Бар'єрний матеріал	Фізико-хімічні властивості	Функція бар'єру	Довговічність	Екологічна безпека	Обґрунтування вибору
Високоактивні радіоактивні						Знижує проникнення води, стабілізує ізотопи, легко застосовується у герметизації

ЗАНЯТТЯ 11

Тема: Прогнозування та моделювання радіоекологічних ризиків

Мета: Ознайомити здобувачів із методами прогнозування радіоекологічних наслідків та принципами моделювання ризиків. Розвивати навички аналізу поширення радіоактивного забруднення в екосистемах. Формувати вміння оцінювати радіаційну небезпеку для населення, довкілля та планувати заходи з мінімізації ризиків.

Основні поняття: радіоекологічний ризик, прогнозування та екологічне моделювання, зони критичного впливу, маршрут міграції радіонуклідів, сценарії аварійного викиду, індекс радіаційного ризику, гранична концентрація / допустиме навантаження, структура прогнозованої моделі, інтерпретація результатів моделювання.

Теоретичні питання:

1. Радіоекологічний ризик і його оцінка.
2. Основні підходи до прогнозування поширення радіонуклідів у природному середовищі.
3. Моделі для опису міграції радіонуклідів (водні, ґрунтові, атмосферні).
4. Показники для кількісної оцінки ризику (доза, коефіцієнт переносу, концентрація).
5. Врахування біоти та харчових ланцюгів у прогнозних схемах.
6. Програмні засоби для моделювання (наприклад, Ecolego, RESRAD)?
7. Верифікація моделі та аналіз чутливості.
8. Сценарне моделювання у плануванні екологічної безпеки.
9. Прогноз щодо впливу дезактивації чи захоронення РАВ.

Питання для самоопрацювання:

- Чинники, що впливають на швидкість та напрямок поширення радіонуклідів.
- Вибір критичних об'єктів/груп для моделювання.
- Прогноз короткострокових і довготривалих наслідків захоронення радіоактивних відходів.
- Приклади екологічних катастроф, пов'язаних з неякісним прогнозуванням.

Тематика рефератів:

- Моделювання переносу радіонуклідів у водних об'єктах: методи та приклади
- Радіоекологічне прогнозування при аварії на ЧАЕС: історичний аналіз
- Порівняння моделей оцінки дози для населення
- Роль GIS-технологій у прогнозуванні екологічних ризиків
- Аналіз сценарію аварійного викиду та план реагування (на прикладі об'єкта)
- Моделювання довготривалого впливу РАВ на лісову екосистему
- Статистичні методи оцінки невизначеності у прогнозних моделях
- Інтерпретація моделювання для прийняття управлінських рішень
- Моделі екологічної безпеки в ядерній енергетиці: міждисциплінарний підхід
- Сценарний аналіз впливу захоронення РАВ на підземні води

Контрольні питання для самоперевірки

1. Що таке радіоекологічний ризик і які чинники його формують?
2. Які джерела радіоактивного забруднення слід враховувати при моделюванні?
3. У чому полягає різниця між прямим та непрямим шляхом надходження радіонуклідів до людини?
4. Які основні компоненти входять до прогнозованої моделі міграції радіонуклідів?
5. Що означає поняття "критична група населення" у прогнозних розрахунках?
6. Які види моделей застосовуються для прогнозування поширення забруднення у воді, ґрунті, атмосфері?
7. Як обирається сценарій для моделювання радіоекологічного ризику?
8. Що таке «коефіцієнт переносу» і як він впливає на результати моделі?
9. Які результати моделювання впливають на рішення щодо дезактивації територій?
10. Як визначити зону потенційного радіоекологічного ризику на основі моделі?

11. Чому важливо враховувати біоту при моделюванні наслідків забруднення?
12. Які обмеження або похибки можуть виникнути при побудові моделі ризику?
13. Які ризики недостовірного прогнозу та як їх мінімізують?
14. Як результати моделювання інтегруються у звіти ОВД?

Практичні завдання

Завдання 1. Змоделювати аварійний викид радіонуклідів.

Мета: Ознайомити здобувачів із особливостями розповсюдження радіонуклідів в атмосфері. Сформувати практичні навички побудови та реалізації простих моделей аварійного викиду з урахуванням метеорологічних умов. Проаналізувати результати моделювання для оцінки рівнів концентрації у різних точках навколо джерела викиду.

Обладнання: гаджет, програми на вибір Ventusky, QGIS, HYSPLIT

Алгоритм виконання:

1.1. Ознайомитись із загальною інформацією для створення моделі.

Параметр	Значення
Назва	Аварійний викид на умовній АЕС
Місце події	Житомирська область, Україна
Дата події	15 липня 20265 року
Тип джерела	Ядерний енергоблок
Тривалість викиду	36 годин
Висота джерела	80 м

Умовні дані про викид

Радіонуклід	Активність (Бк)	Форма	Період напіврозпаду	Коментар
I-131	1.2×10^{15}	Газ	~8 днів	Висока біологічна активність
Cs-137	3.5×10^{14}	Аерозоль	~30 років	Довготривалий ризик
Sr-90	1.1×10^{14}	Аерозоль	~28.8 років	Накопичується в кістках

Метеоумови

Параметр	Значення
Температура	+22°C
Вітер	3.5 м/с, напрямок — схід
Інверсія	Слабка, висота ~300 м
Опади	Відсутні

1.2. Спрогнозувати поширення радіації:

- Побудувати карту поширення забруднення на основі напрямку вітру. Координати джерела забруднення обрати самостійно.
- Визначити зони впливу:
 - **Зона 1:** _____ км — висока концентрація
 - **Зона 2:** _____ км — середня концентрація
 - **Зона 3:** _____ км — низька концентрація
- Визначити населені пункти в межах кожної зони.

1.3. Визначити критичну групу населення

Параметр	Значення
Група	
Місце проживання	
Спосіб життя	

Завдання 3. Розрахунок індексу ризику для населення

Мета: визначити потенційний ризик для здоров'я населення через радіонуклідне забруднення.

3.1. Обрати вихідні дані користуючись Додатком 17.

Концентрація ізотопу (C), Бк/м³ або Бк/кг _____

Шлях надходження:

- інгаляційний
- пероральний
- зовнішнє опромінення

Тривалість дії (ET), год/день, дні/рік, роки _____

Додаткові параметри:

маса тіла (BW), кг _____

швидкість вдихання (IR), м³/год _____

споживання продуктів (CR), кг/день _____

частота експозиції (EF), днів/рік _____

період експозиції (ED), роки _____

3.2. Розрахувати експозиційні дози.

1. Інгаляційна доза. Визначається за формулою: $D_{inh} = (C \times IR \times ET \times EF \times ED \times DC_{inh}) / BW$ де - C – концентрація в повітрі (Бк/м³); IR – швидкість вдихання (м³/год); ET – час вдихання за добу (год/день); EF – частота експозиції (днів/рік); ED – тривалість експозиції (роки); DC_{inh} – коефіцієнт конверсії інгаляційної дози (мЗв/Бк); BW – маса тіла (кг).

$D_{inh} =$ _____

2. Пероральна доза. Визначається за формулою: $D_{ing} = (C \times CR \times ET \times EF \times ED \times DC_{ing}) / BW$, де - C – концентрація в їжі або воді (Бк/кг); CR – споживання продуктів/води (кг/день); решта параметрів – як для інгаляції; DC_{ing} – коефіцієнт конверсії пероральної дози (мЗв/Бк)

$D_{ing} =$ _____

3. Зовнішнє опромінення. Визначається за формулою: $D_{зов} = C \times ET \times EF \times ED \times DC_{зов}$, де - C – поверхнева активність (Бк/м²); ET – час вдихання за добу (год/день); EF – частота експозиції (днів/рік); ED – тривалість експозиції (роки); DC_{зов} – коефіцієнт конверсії зовнішньої дози (мЗв·м²/(Бк·год))

$D_{зов} =$ _____

3.3. Обчислення індексу ризику. Hazard Quotient для кожного шляху $HQ_i = D_i / RfD_i$, де - HQ_i - коефіцієнт небезпеки (Hazard Quotient) для компонента i, безрозмірна величина; D_i оцінена або виміряна добова доза (або доза за обраний період) для компонента i (зазвичай виражається в мг/кг·день для хімічних речовин або мЗв/рік для радіонуклідів); RfD_i - референсна (допустима) доза для компонента i – така величина, за якої мало ймовірний розвиток шкідливих ефектів (виражається в тих самих одиницях, що й D_i)

$HQ_{\text{загальний}} = HQ_{inh} + HQ_{ing} + HQ_{ext}$

$HQ_i =$ _____

Критерії оцінки:

- якщо $HQ_{\text{total}} \leq 1$, ризик прийнятний.
- якщо $HQ_{\text{total}} > 1$, потрібні заходи.

Завдання 4. Аналіз впливу біоти на накопичення радіонуклідів

4.1. Визначити, які види флори й фауни є індикаторами накопичення.

Провести огляд літератури щодо накопичення Cs-137, Sr-90, I-131 тощо в різних таксонах.

Вибрати представників трьох трофічних рівнів, враховуючи критерії відбору:

- широко розповсюджені в досліджуваній акваторії
- достатня маса для аналізу проб
- відомі коефіцієнти вище-мештурного переносу

Трофічний рівень	Група	Назва	Особливість
Продуценти	Фітопланктон		Високий темп росту
	Макрофіти		
Консументи I рівня	Молюски		
	Донні комахи		
Консументи II рівня	Рибоїдні риби		
	Птахи-шурки (рибоїдні)		

4.2. Скласти таблицю концентрацій радіонуклідів у харчових ланцюгах.

Алгоритм виконання:

4.2.1. Вибрати радіонуклід для аналізу: Унаслідок умовної аварії на АЕС відбулося забруднення ґрунту:

- ^{137}Cs — 1500 Бк/кг
- ^{90}Sr — 800 Бк/кг
- ^{131}I — 300 Бк/кг

1.2.2. Скласти схему харчового ланцюга.

Наприклад: Ґрунт → Конюшина → Корови (молоко) → Людина. Потрібно скласти свою схему.

4.2.3. Знайти дані про коефіцієнти переходу (Transfer Factors, TF) між ланками.

Додаток 18.

4.2.4. Визначити концентрацію в кожній ланці (Бк/кг або Бк/л). Застосовуючи формулу: $C_{i+1} = C_i \cdot TF$ де - C_i — концентрація в попередній ланці, (TF) — коефіцієнт переходу.

1. Концентрація в конюшині:

- ^{137}Cs : $1500 \times 0.05 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/кг
- ^{90}Sr : $800 \times 0.15 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/кг
- ^{131}I : $300 \times 0.25 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/кг

2. Концентрація в молоці:

- ^{137}Cs : $75 \times 0.05 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/л
- ^{90}Sr : $120 \times 0.1 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/л
- ^{131}I : $75 \times 0.3 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/л

3. Надходження в організм людини (1 л молока/день):

- ^{137}Cs : $3.75 \times 0.1 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/день
- ^{90}Sr : $12 \times 0.2 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/день
- ^{131}I : $22.5 \times 0.3 = \underline{\hspace{2cm}}$ Бк/день

4.2.5. Зповнити таблицю результатів.

Концентрації радіонуклідів на етапах харчового ланцюга

Етап харчового ланцюга	Радіонуклід	Концентрація (Бк/кг або Бк/л)	Одиниця	Формула розрахунку	Примітка
Ґрунт	^{137}Cs		Бк/кг	—	Початкове забруднення
	^{90}Sr		Бк/кг	—	

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА ТЕМАМИ

Тема: Явище радіоактивності та його фізична суть

1. Хто відкрив явище природної радіоактивності?
а) Ернест Резерфорд б) Марія Кюрі
в) Анрі Беккерель г) Джеймс Чедвік
2. Що таке радіоактивність?
а) Процес поглинання енергії ядром
б) Спонтанний розпад нестабільних ядер з виділенням випромінювання
в) Випромінювання світла атомами
г) Перетворення електронів у нейтрони
3. Який тип випромінювання має найменшу проникну здатність?
а) γ -випромінювання б) β -випромінювання
в) α -випромінювання г) рентгенівське
4. Яке випромінювання є потоком електронів?
а) α б) β в) γ г) нейтронне
5. Яке випромінювання є електромагнітним?
а) α б) β в) γ г) нейтронне
6. Яка одиниця вимірювання активності радіоактивного джерела в СІ?
а) Зв б) Гр в) Бк г) Кл/кг
7. Що таке період напіврозпаду?
а) Час повного розпаду речовини
б) Час, за який розпадається половина ядер речовини
в) Час утворення нових ядер
г) Час стабілізації ізотопу
8. Який тип розпаду зменшує масове число на 4 і зарядове — на 2?
а) β^- б) β^+ в) α г) γ
9. Який тип розпаду збільшує заряд ядра на 1?
а) α б) β^- в) β^+ г) γ
10. Який тип розпаду не змінює масове число ядра?
а) α б) β в) γ г) всі перелічені
11. Який із наведених елементів є природним джерелом радіації?
а) Кальцій б) Уран
в) Залізо г) Водень
12. Який із типів випромінювання має найбільшу проникну здатність?
а) α б) β в) γ г) нейтронне
13. Яка фізична величина позначається літерою A?
а) Кількість нейтронів б) Масове число
в) Заряд ядра г) Активність
14. Який елемент утворюється після α -розпаду урану-238?
а) Уран-234 б) Торій-234
в) Радон-222 г) Плутоній-239
15. Який процес не супроводжується зміною складу ядра?
а) α -розпад б) β -розпад
в) γ -випромінювання г) електронне захоплення
16. Яка формула визначає активність радіоактивного джерела?
а) $A = N / \lambda$ б) $A = \lambda N$ в) $A = T / \lambda$ г) $A = \lambda / N$
17. Який тип розпаду супроводжується викидом позитрона?
а) α б) β^- в) β^+ г) γ
18. Який із наведених процесів є випадковим за природою?
а) Хімічна реакція б) Радіоактивний розпад
в) Фотосинтез г) Кристалізація

19. Який із типів випромінювання можна зупинити аркушем паперу?
 а) γ б) β в) α г) нейтронне
20. Яка величина характеризує швидкість розпаду радіонукліда?
 а) Період напіврозпаду б) Стала радіоактивного розпаду (λ)
 в) Активність г) Масове число

Тема: Дозиметрія іонізуючого випромінювання

1. Яка одиниця вимірювання активності радіонукліда в системі СІ?
 а) Зіверт б) Грей в) Бекерель г) Кюрі
2. Що характеризує поглинуту дозу?
 а) Кількість розпадів
 б) Енергія, поглинута одиницею маси речовини
 в) Радіочутливість тканини
 г) Потужність випромінювання
3. Яка одиниця вимірювання поглинутої дози?
 а) Зіверт б) Грей в) Бекерель г) Кулон/кг
4. Що таке еквівалентна доза?
 а) Поглинута доза без поправок
 б) Поглинута доза з урахуванням типу випромінювання
 в) Доза, отримана групою людей
 г) Доза, що накопичується за рік
5. Яка одиниця вимірювання еквівалентної дози?
 а) Грей б) Зіверт в) Бекерель г) Кюрі
6. Що таке експозиційна доза?
 а) Доза, отримана за рік
 б) Ступінь іонізації повітря під дією γ -випромінювання
 в) Доза, що поглинається організмом
 г) Потужність випромінювання
7. Яка одиниця вимірювання експозиційної дози?
 а) Грей б) Зіверт в) Кулон/кг г) Бекерель
8. Який тип випромінювання має найбільшу іонізуючу здатність?
 а) β б) γ в) α г) рентгенівське
9. Який тип випромінювання має найбільшу проникну здатність?
 а) α б) β в) γ г) нейтронне
10. Який прилад використовується для вимірювання потужності дози?
 а) Спектрофотометр б) Дозиметр
 в) Барометр г) Радіометр
11. Що таке потужність дози?
 а) Кількість розпадів б) Доза, отримана за одиницю часу
 в) Радіочутливість тканини г) Відстань до джерела
12. Який коефіцієнт зважування має α -випромінювання?
 а) 1 б) 5 в) 20 г) 100
13. Який коефіцієнт зважування має γ -випромінювання?
 а) 10 б) 1 в) 5 г) 20
14. Що таке ефективна доза?
 а) Середня доза за рік
 б) Сума еквівалентних доз з урахуванням чутливості органів
 в) Доза, отримана при аварії
 г) Доза, що поглинається шкірою
15. Який тип дозиметрів використовує сцинтиляційний ефект?
 а) Іонізаційний б) Сцинтиляційний
 в) Термолюмінесцентний г) Газорозрядний

16. Що вимірює радіометр?
 - а) Температуру
 - б) Активність радіонуклідів
 - в) Потужність дози
 - г) Радіочутливість
17. Який прилад дозволяє визначити енергетичний спектр випромінювання?
 - а) Дозиметр
 - б) Радіометр
 - в) Спектрометр
 - г) Барометр
18. Що таке керма?
 - а) Потужність дози
 - б) Енергія, передана зарядженими частинками речовині
 - в) Активність джерела
 - г) Радіочутливість тканини
19. Яка величина враховує біологічну ефективність випромінювання?
 - а) Поглинута доза
 - б) Еквівалентна доза
 - в) Активність
 - г) Потужність дози
20. Який тип випромінювання можна зупинити аркушем паперу?
 - а) γ
 - б) β
 - в) α
 - г) нейтронне

Тема: Біологічна дія іонізуючого випромінювання

1. Що є первинним механізмом біологічної дії іонізуючого випромінювання?
 - а) Утворення продуктів метаболізму
 - б) Радіоліз води з утворенням вільних радикалів
 - в) Зміна температури клітини
 - г) Порушення осмотичного тиску
2. Який тип клітин є найбільш радіочутливим?
 - а) М'язові
 - б) Лімфоцити та клітини кісткового мозку
 - в) Нейрони
 - г) Епітеліальні клітини шкіри
3. Який тип випромінювання має найвищу біологічну ефективність?
 - а) β -випромінювання
 - б) α -випромінювання
 - в) γ -випромінювання
 - г) Рентгенівське
4. Який тип ушкодження ДНК є найбільш небезпечним?
 - а) Заміна азотистої основи
 - б) Двонитковий розрив
 - в) Дезамінування
 - г) Метилування
5. Що таке радіотоксини?
 - а) Радіоактивні ізотопи
 - б) Біологічно активні речовини, що утворюються після опромінення
 - в) Продукти розпаду радіонуклідів
 - г) Захисні білки клітини
6. Який ефект вважається стохастичним?
 - а) Променева хвороба
 - б) Онкогенні мутації
 - в) Радіаційний опік
 - г) Нудота після опромінення
7. Який ефект виникає лише при перевищенні порогової дози?
 - а) Мутації
 - б) Детермінований ефект (наприклад, променева хвороба)
 - в) Онкогенез
 - г) Радіоактивне зараження
8. Який орган першим реагує на опромінення?
 - а) Печінка
 - б) Кістковий мозок
 - в) Нирки
 - г) Шлунок
9. Який тип випромінювання має найменшу проникну здатність?
 - а) γ
 - б) β
 - в) α
 - г) Нейтронне

6. Тип моніторингу з регулярними вимірюваннями:
 - а) Локальний
 - б) Фоновий
 - в) Стаціонарний
 - г) Мобільний
7. Метод визначення активності у воді:
 - а) Газова хроматографія
 - б) Гамма-спектрометрія
 - в) УФ-спектроскопія
 - г) Титрування
8. Шар ґрунту з найбільшим вмістом Cs-137:
 - а) 20–30 см
 - б) 0–5 см
 - в) 5–10 см
 - г) 10–20 см
9. Природні радіонукліди:
 - а) Синтезуються в лабораторії
 - б) Мають короткий період напіврозпаду
 - в) Є частиною природного радіаційного фону
 - г) Залишаються у повітрі декілька хвилин
10. Біоіндикатор радіоактивного забруднення:
 - а) Бетонні конструкції
 - б) Ссавці
 - в) Металеві труби
 - г) Повітряні маси
11. Потужність експозиційної дози — це:
 - а) Обсяг забруднення води
 - б) Швидкість розпаду
 - в) Інтенсивність гамма-випромінювання у мкЗв/год
 - г) Маса радіонукліда
12. Моніторинг для техногенних зон:
 - а) Ретроспективний
 - б) Прогностичний
 - в) Спостережний
 - г) Активний
13. Перевага комбінованого відбору:
 - а) Теплова рівновага
 - б) Точність вимірювання температури
 - в) Репрезентативність всієї ділянки
 - г) Вивчення окремих точок
14. Головна функція картування:
 - а) Визначення напрямку вітру
 - б) Візуалізація радіаційного розподілу
 - в) Підрахунок чисельності рослин
 - г) Контроль вологості ґрунту
15. Норматив рівня радіації:
 - а) НРБУ-97
 - б) ДСТУ ISO 9001
 - в) САНПІН-20
 - г) ГОСТ 12179
16. Забруднення з довготривалим ризиком:
 - а) Біологічне
 - б) Радіоактивне
 - в) Хімічне
 - г) Механічне
17. Одиниця активності:
 - а) Метр
 - б) Кельвін
 - в) Бекерель (Бк)
 - г) Кандела
18. Тип дослідження на відкритих територіях:
 - а) Лабораторний
 - б) Інфрачервоний
 - в) Польовий
 - г) Дистанційний
19. Вплив типу ґрунту на міграцію Cs-137:
 - а) Не має значення
 - б) Чорнозем сприяє глибшій міграції
 - в) Суглинки затримують радіонукліди
 - г) Піски забезпечують розпад
20. Призначення гамма-спектрометра:
 - а) Визначення рН
 - б) Оцінка біорізноманіття
 - в) Виявлення радіонуклідів
 - г) Вимірювання температури

Тема: Радіаційне забруднення агроєкосистем

1. Який радіонуклід найчастіше використовується для оцінки забруднення агроєкосистем?
а) Sr-90 б) Cs-137 в) Ra-226 г) Pu-239
2. Основним шляхом надходження радіонуклідів у рослини є:
а) Осадження на листках б) Кореневе поглинання з ґрунту
в) Проникнення через пори стебла г) Вбирання з атмосфери
3. Що таке трансфер-фактор (TF)?
а) Коефіцієнт періоду напіврозпаду
4. б) Відношення активності у рослині до ґрунту
в) Кількість біоти на гектар г) Ефективність агротехніки
5. Який тип ґрунту має найвищий TF для Cs-137?
а) Чорнозем б) Піщаний
в) Глинистий г) Суглинок важкий
6. Який орган тварини найбільше накопичує Cs-137?
а) Шкіра б) М'язова тканина
в) Кістки г) Шлунок
7. Який нормативний документ регулює радіаційний захист в Україні?
а) ISO-9001 б) Закон про сільське господарство
в) НРБУ-97 г) Конвенція ООН про зміну клімату
8. Біомагніфікація — це:
а) Самоочищення екосистеми
б) Зростання концентрації на кожному трофічному рівні
в) Нейтралізація радіонуклідів
г) Розпад ізотопів
9. Який метод застосовується для визначення Cs-137 у ґрунті?
а) Гамма-спектрометрія б) Колориметрія
в) Хроматографія г) Термогравіметрія
10. Який компонент агроєкосистеми фіксує Sr-90 аналогічно до кальцію?
а) Повітря б) Рослинний пилок
в) Кісткова тканина г) Вода
11. Безпечна річна доза опромінення для населення, згідно з НРБУ-97:
а) 10 мЗв б) 1 мЗв в) 0.01 мЗв г) 5 мЗв
12. Найвища біоаккумуляція Sr-90 спостерігається у:
а) Пшениці б) Капусті
в) Моркві г) Кукурудзі
13. Який механізм забезпечує фіксацію Cs-137 у чорноземах?
а) Високий вміст піску б) Низька вологість
в) Гумус та органічна речовина г) Велика щільність
14. Який радіонуклід характеризується найбільшим періодом напіврозпаду?
а) Sr-90 б) Pu-239 в) Cs-137 г) Ra-226
15. Який продукт найбільш чутливий до забруднення Cs-137?
а) Сіль б) Молоко в) Яйця г) Зерно
16. Що є ознакою хронічного радіаційного навантаження?
а) Миттєва загибель біоти
б) Генетичні мутації та порушення розмноження
в) Підвищення врожайності
г) Повне очищення середовища
17. Чому біоіндикація використовується у радіоекології?
а) Для дезактивації територій
б) Для оцінки забруднення за станом живих організмів

- в) Для прогнозування погоди
- г) Для розрахунку добрив
- 18. Який показник використовується при оцінці гамма-фону?
 - а) моль/л
 - б) ppm
 - в) мкЗв/год
 - г) кВт/м²
- 19. Який процес забезпечує самоочищення агроєкосистем?
 - а) Перекачка води
 - б) Біологічне розкладання та трансформація речовин
 - в) Механічне рихлення ґрунту
 - г) Додавання фосфатів
- 20. Який трофічний рівень найбільше схильний до біомагніфікації?
 - а) Продуценти
 - б) Консументи I порядку
 - в) Хижаки / Людина
 - г) Мікроорганізми
- 21. Радіаційний ризик для людини зростає при:
 - а) Обмеженні споживання продуктів
 - б) Споживанні м'яса і молока з забруднених територій
 - в) Тепловій обробці їжі
 - г) Високій вологості повітря
- 22. Що означає термін «урбоекосистема»?
 - а) Сільськогосподарська екосистема
 - б) Лісова природна система
 - в) Міське середовище з природними та антропогенними компонентами
 - г) Заповідна територія

Тема: Радіаційне забруднення урбоекосистем

1. Яке джерело природної радіації домінує в урбоекосистемах?
 - а) Cs-137
 - б) Радон
 - в) Ra-226
 - г) Sr-90
2. Основний шлях потрапляння радону в житлові приміщення:
 - а) Випромінювання електроприладів
 - б) Викиди з автотранспорту
 - в) Дифузія з ґрунту через фундамент
 - г) Забруднення питної води
3. Яке випромінювання створює найбільший внесок у фонову радіацію міста?
 - а) Альфа
 - б) Бета
 - в) Космічне
 - г) Гамма
4. Який будівельний матеріал найчастіше асоціюється з підвищеним радіаційним фоном?
 - а) Метал
 - б) Скло
 - в) Граніт
 - г) Кераміка
5. Який радіонуклід найчастіше накопичується у мохах і лишайниках у місті?
 - а) Pu-239
 - б) Cs-137
 - в) Ra-226
 - г) Sr-90
6. Який показник використовується для оцінки забруднення радоном у приміщеннях?
 - а) мкЗв/год
 - б) Бк/м³
 - в) мкг/м³
 - г) Гр/рік
7. Який із наведених об'єктів є техногенним джерелом радіації в місті?
 - а) Парки
 - б) Медичні заклади
 - в) Спортивні майданчики
 - г) Водні джерела
8. Основною екологічною загрозою радону є:
 - а) Ультрафіолетове ураження
 - б) Негативний вплив на флору
 - в) Ризик виникнення раку легенів
 - г) Виснаження озонового шару
9. Який норматив регулює допустимий рівень радону в Україні?
 - а) ДСТУ-ISO-9001
 - б) НРБУ-97
 - в) ГОСТ-Захист-23
 - г) СанПіН «Вода»

10. Який тип рослин найчутливіший до радіаційного забруднення у місті?
 - а) Тропічні дерева
 - б) Злакові культури
 - в) Мохи та лишайники
 - г) Хвойні кущі
11. Що таке біоіндикація?
 - а) Очищення води
 - б) Спостереження за погодою
 - в) Оцінка забруднення за станом живих організмів
 - г) Вимірювання рівня шуму
12. Який метод застосовують для вимірювання зовнішнього гамма-фону у місті?
 - а) Радіохроматографія
 - б) Радонометрія
 - в) Дозиметрія
 - г) Колориметрія
13. Який із наведених радіонуклідів має найбільший період напіврозпаду?
 - а) Cs-137
 - б) Sr-90
 - в) Pu-239
 - г) K-40
14. Який захід сприяє зниженню радонового ризику у житлі?
 - а) Утеплення вікон
 - б) Вентиляція та гідроізоляція підвалу
 - в) Використання алюмінієвих матеріалів
 - г) Додавання добрив
15. Основна небезпека Cs-137 полягає у:
 - а) Миттєвому спалахуванні
 - б) Хімічній корозії
 - в) Іонізуючому впливі на тканини людини
 - г) Впливі на кислотність ґрунту
16. Урбоекосистема відрізняється від природної тим, що:
 - а) Має більше видів рослин
 - б) Включає антропогенні об'єкти та функції
 - в) Має високий рівень біорізноманіття
 - г) Повністю контролюється природними процесами
17. Яка група населення найбільш чутлива до впливу радіації?
 - а) Туристи
 - б) Діти та вагітні жінки
 - в) Працівники офісу
 - г) Спортсмени
18. Самоочищення урбоекосистем можливе через:
 - а) Механічне згрібання сміття
 - б) Біологічну трансформацію та фіксацію забруднювачів рослинністю
 - в) Хімічне опромінення
 - г) Застосування хлорки
19. Міська радіаційна карта включає:
 - а) Віковий склад населення
 - б) Статистику ДТП
 - в) Рівні гамма-фону, активність радону, техногенні джерела
 - г) Економічні показники підприємств

Тема: Визначення сумарної ефективної еквівалентної дози опромінення населення

1. Що таке ефективна еквівалентна доза?
 - а) Кількість радону в повітрі
 - б) Потужність гамма-фону
 - в) Сума доз з урахуванням біологічної чутливості тканин
 - г) Величина забруднення ґрунту
2. Основною одиницею вимірювання ефективної дози є:
 - а) Бекерель (Бк)
 - б) Зіверт (Зв)
 - в) Кюрі
 - г) Грей (Гр)
3. Який фактор враховується при розрахунку ефективної дози?
 - а) Висота приміщення
 - б) Вік населення
 - в) Радіаційне зважування та тканинний коефіцієнт
 - г) Тип клімату

4. Яка категорія населення є найчутливішою до радіації?
 - а) Дорослі чоловіки
 - б) Люди з високим тиском
 - в) Діти та вагітні жінки
 - г) Туристи
5. До зовнішніх джерел опромінення належать:
 - а) Молочна продукція
 - б) Гамма-фон будівельних матеріалів
 - в) Радіонукліди у воді
 - г) Продукти харчування
6. До внутрішнього опромінення належить:
 - а) Сонячне світло
 - б) Радіація медичних апаратів
 - в) Потрапляння Cs-137 із продуктів харчування в організм
 - г) Вплив магнітного поля
7. Норматив безпечного річного опромінення для населення становить:
 - а) 5 Зв
 - б) 1 мЗв
 - в) 100 мЗв
 - г) 20 мЗв
8. Який метод дозволяє оцінити сумарну дозу для населення?
 - а) Спостереження за тваринами
 - б) Геохімічний аналіз
 - в) Радіаційний моніторинг та дозиметрія
 - г) Визначення вологості повітря
9. Який з показників використовується при оцінці впливу на людину?
 - а) Площа забруднення
 - б) Ефективна еквівалентна доза
 - в) Швидкість вітру
 - г) Температура повітря
10. Який нормативний документ регламентує дозове навантаження в Україні?
 - а) ГОСТ–1975
 - б) НРБУ–97
 - в) ISO–14001
 - г) Наказ МОЗ №60
11. Основна складова сумарної дози для мешканців міст — це:
 - а) Радіація з річкової води
 - б) Харчова біоаккумуляція
 - в) Гамма-фон будівель і радон
 - г) Космічне випромінювання
12. Коефіцієнт переходу радіонукліда в організм (CF) враховується при:
 - а) Прогнозуванні клімату
 - б) Розрахунку внутрішньої дози
 - в) Аналізі шумового забруднення
 - г) Спостереженні за метаболізмом
13. Що означає "еквівалентна" доза?
 - а) Повна маса радіонуклідів
 - б) Доза з урахуванням типу випромінювання
 - в) Відсоток опромінених людей
 - г) Час перебування в зоні
14. Яке випромінювання має найбільшу біологічну ефективність?
 - а) Бета
 - б) Альфа
 - в) Гамма
 - г) Інфрачервоне
15. Ефективна доза від природного фону на рік приблизно становить:
 - а) 0.1 мЗв
 - б) 10 мЗв
 - в) 2.4 мЗв
 - г) 5 мЗв
16. Основним джерелом внутрішнього опромінення населення є:
 - а) Сонячне світло
 - б) Транспорт
 - в) Радон у приміщеннях
 - г) Магнітні поля побутової техніки
17. Який показник використовують для оцінки впливу на окремі органи?
 - а) CF
 - б) Тканинний коефіцієнт
 - в) Kq
 - г) Гамма-фактор
18. Який спосіб зниження дозового навантаження найбільш ефективний?
 - а) Вентиляція приміщень
 - б) Накопичення важких металів
 - в) Обмеження контакту з джерелом + час + екранування
 - г) Зволоження поверхонь
19. При аналізі дози населення враховується:
 - а) Висота над рівнем моря
 - б) Освітлення місцевості

- в) Тривалість впливу та шлях надходження радіонуклідів
 - г) Теплопровідність матеріалів
20. Ефективна доза дозволяє:
- а) Оцінити температуру шкіри
 - б) Кількісно визначити ризик радіаційного впливу на здоров'я
 - в) Визначити розмір міста
 - г) Спрогнозувати економічний стан регіону

Тема: Нормування та законодавча база радіаційного захисту

1. Яка гранична ефективна доза опромінення для населення згідно з НРБУ-97?
 - а) 5 мЗв/рік
 - б) 20 мЗв/рік
 - в) 1 мЗв/рік
 - г) 50 мЗв/рік
2. Яка організація розробляє міжнародні стандарти радіаційного захисту?
 - а) WHO
 - б) IAEA
 - в) ICRP
 - г) UNESCO
3. Що означає принцип ALARA?
 - а) Дозу слід зберігати незмінною
 - б) Доза має бути якомога нижчою
 - в) Усереднення доз за 10 років
 - г) Радіація без обмежень
4. Яка допустима ефективна доза для персоналу категорії А за рік?
 - а) 1 мЗв
 - б) 10 мЗв
 - в) 20 мЗв
 - г) 5 мЗв
5. До якого типу нормативу належить НРБУ-97?
 - а) Санітарний регламент
 - б) Методичні рекомендації
 - в) Норматив радіаційної безпеки
 - г) Наказ МОЗ
6. Яка одиниця вимірювання ефективної дози?
 - а) Грей (Гр)
 - б) Бекерель (Бк)
 - в) Зіверт (Зв)
 - г) Кюрі (Кі)
7. До якої групи належать вагітні жінки та діти?
 - а) Персонал категорії А
 - б) Населення загальної групи
 - в) Критично вразлива група
 - г) Особи з медичними показанням
8. Що регламентує використання радіонуклідів у медичних цілях?
 - а) Закон «Про екологічну освіту»
 - б) Стандарти WHO
 - в) Професійні гігієнічні норми
 - г) НРБУ-97
9. Який термін означає максимальну допустиму дозу?
 - а) Активність
 - б) Потужність дози
 - в) Гранична доза
 - г) Поглинута доза
10. Що є джерелом зовнішнього опромінення?
 - а) Радіонукліди в харчах
 - б) Радон у приміщеннях
 - в) Космічне випромінювання
 - г) Йод-131 у щитовидній залозі
11. Яка доза не враховується при нормуванні для населення?
 - а) Природне опромінення
 - б) Медичне опромінення
 - в) Техногенне опромінення
 - г) Радон у повітрі
12. Який документ в Україні має юридичну силу щодо дозового навантаження?
 - а) Наказ МОЗ про щитоподібну залозу
 - б) НРБУ-97
 - в) Рекомендації Академії наук
 - г) Протоколи МАГАТЕ
13. Яке випромінювання має найбільший коефіцієнт якості?
 - а) Гамма
 - б) Бета
 - в) Альфа
 - г) Рентгенівське
14. Яка доза ефективна для опромінення всього тіла?
 - а) Поглинута
 - б) Еквівалентна
 - в) Ефективна
 - г) Розрахункова

15. Яка група органів є найбільш радіочутливою?
 - а) Шкіра
 - б) Легені
 - в) Червоний кістковий мозок
 - г) Нирки
16. Скільки років враховується для середньої допустимої дози персоналу?
 - а) 1
 - б) 3
 - в) 5
 - г) 10
17. Яке з положень НЕ стосується принципів радіаційного захисту?
 - а) Обґрунтування
 - б) Оптимізація
 - в) Обмеження
 - г) Акумуляція
18. Яка межа доз для категорії населення групи I органів?
 - а) 5 бер/рік
 - б) 0,5 бер/рік
 - в) 15 бер/рік
 - г) 3 бер/рік
19. Який коефіцієнт чутливості має червоний кістковий мозок?
 - а) 0,04
 - б) 0,12
 - в) 0,01
 - г) 0,30
20. Яке з джерел належить до природного опромінення?
 - а) Медичні процедури
 - б) Радон у приміщеннях
 - в) Аварії на АЕС
 - г) Промислові установки

Тема: Радіаційна безпека в побуті та професійній діяльності

1. Одиницею ефективної дози є:
 - а) Грей
 - б) Рентген
 - в) Зіверт
 - г) Кюрі
2. Принцип "оптимізації" в радіаційному захисті означає:
 - а) Мінімізацію витрат
 - б) Досягнення найнижчої обґрунтованої дози
 - в) Збільшення потужності джерела
 - г) Ігнорування фонові радіації
3. Гранична ефективна доза для населення за рік згідно ICRP становить:
 - а) 10 мЗв
 - б) 5 мЗв
 - в) 2 мЗв
 - г) 1 мЗв
4. Основним джерелом природного фону є:
 - а) Уранове паливо
 - б) Космічне випромінювання
 - в) Медичне обладнання
 - г) Будівельні матеріали
5. До побутових джерел радіації належить:
 - а) Мобільний телефон
 - б) Мікрохвильова піч
 - в) Будівельна цегла
 - г) Телевізор
6. Ефективна доза враховує:
 - а) Лише енергію опромінення
 - б) Тип випромінювання
 - в) Радіоактивність речовини
 - г) Вразливість органів
7. Документ, що регулює радіаційну безпеку в Україні:
 - а) ІАЕА-75
 - б) ГКПБ
 - в) НРБУ-97
 - г) ISO-14001
8. Для медичного персоналу гранична доза становить:
 - а) 10 мЗв/рік
 - б) 20 мЗв/рік
 - в) 1 мЗв/рік
 - г) 50 мЗв/рік
9. Діагностична рентгенографія належить до опромінення:
 - а) Побутового
 - б) Професійного
 - в) Медичного
 - г) Аварійного
10. Радіоекологія вивчає:
 - а) Будову атома
 - б) Електромагнітні хвилі
 - в) Вплив радіації на довкілля
 - г) Механізми фотосинтезу
11. Найвразливішою до опромінення є група:
 - а) Молодь
 - б) Чоловіки
 - в) Критичні групи
 - г) Спортсмени
12. Норматив 100 мЗв/рік для персоналу допускається:
 - а) Постійно
 - б) Без обмежень
 - в) У виняткових умовах
 - г) Для студентів

13. Основна мета екологічного планування — це:
 - а) Побудова АЕС
 - б) Встановлення радіонуклідів
 - в) Захист довкілля та здоров'я
 - г) Мінімізація витрат
14. Радіаційна безпека забезпечується через:
 - а) Ізоляцію людини
 - б) Контроль дози
 - в) Вентиляцію приміщень
 - г) Заборону електроприладів
15. Джерело внутрішнього опромінення у побуті:
 - а) Радон
 - б) Сvineць
 - в) Кобальт
 - г) Оксид азоту
16. Санітарно-захисна зона — це:
 - а) Місце евакуації
 - б) Зона для досліджень
 - в) Межа допустимого впливу
 - г) Технічна територія підприємства
17. Захист від іонізуючого випромінювання базується на:
 - а) Хімічному нейтралізуванні
 - б) Екрануванні, дистанції, часі
 - в) Охолодженні джерела
 - г) Вакцинації
18. ICRP означає:
 - а) Міжнародна комісія з радіологічних технологій
 - б) Інститут контролю радіації
 - в) Міжнародна комісія з радіологічного захисту
 - г) Комітет з енергетичної безпеки

Тема: Методи дезактивації та поводження з радіоактивними відходами

1. Що таке дезактивація?
 - а) Видалення хімічних забруднень
 - б) Знищення інфекційних агентів
 - в) Усунення радіоактивного забруднення
 - г) Усунення механічних дефектів
2. РАВ — це скорочення для:
 - а) Радіоактивних вибухових речовин
 - б) Рідких активних випромінювачів
 - в) Радіоактивних відходів
 - г) Реактивних атомних викидів
3. Основним методом дезактивації металевих поверхонь є:
 - а) Хімічне очищення
 - б) Заморожування
 - в) Вакуумування
 - г) Озонування
4. Який процес застосовується для зменшення об'єму РАВ?
 - а) Сепарація
 - б) Пресування
 - в) Кондиціонування
 - г) Кальцинація
5. До категорії високорівневих РАВ належать:
 - а) Відходи харчового походження
 - б) Радіоактивні джерела медичного призначення
 - в) Відпрацьоване ядерне паливо
 - г) Лабораторний посуд
6. Геологічне захоронення РАВ — це:
 - а) Знищення шляхом спалення
 - б) Захоронення у глибоких формаціях
 - в) Поверхнєве зберігання
 - г) Розпорошення у повітрі
7. Яка мета кондиціонування РАВ?
 - а) Виведення з ладу
 - б) Підготовка до переробки
 - в) Підвищення активності
 - г) Безпечне зберігання
8. Найбільш поширений метод дезактивації бетонних поверхонь:
 - а) Ультразвукове очищення
 - б) Механічне шліфування
 - в) Йонізація
 - г) Хлорування
9. Яке законодавство регулює поводження з РАВ в Україні?
 - а) Закон «Про охорону праці»
 - б) Закон «Про поводження з радіоактивними відходами»

- в) Закон «Про захист рослин»
- г) Водний кодекс України
- 10. Захоронення РАВ дозволяється лише:
 - а) На території військових баз
 - б) Після узгодження з МВС
 - в) На спеціально облаштованих майданчиках
- 11. г) На будь-якому промисловому об'єкті
- 12. Що таке іммобілізація РАВ?
 - а) Транспортування
 - б) Герметичне ізолювання
 - в) Радіаційне опромінення
 - г) Зберігання при підвищених температурах
- 13. Хто несе відповідальність за поводження з РАВ?
 - а) МОН
 - б) Заклад охорони здоров'я
 - в) Оператор об'єкта
 - г) Приватні особи
- 14. Одним із методів знешкодження органічних РАВ є:
 - а) Спалення
 - б) Захоронення у воді
 - в) Озонування
 - г) Заморожування
- 15. Для моніторингу РАВ використовують:
 - а) Радіометри
 - б) Флюорометри
 - в) Спектрофотометри
 - г) Газоаналізатори
- 16. Метою дезактивації ґрунту є:
 - а) Підвищення родючості
 - б) Усунення токсичних металів
 - в) Зниження рівня радіоактивного забруднення
 - г) Видалення пестицидів
- 17. Після кондиціювання РАВ можуть бути:
 - а) Перетворені на джерела енергії
 - б) Спрямовані на повторне використання
 - в) Передані на захоронення
 - г) Вилучені з реєстру
- 18. Дезактивацію проводять у разі:
 - а) Ремонту будівлі
 - б) Виявлення радіаційного забруднення
 - в) Підвищення вологості
 - г) Зниження температури
- 19. Який метод дезактивації непридатний для живої тканини?
 - а) Хімічне витравлювання
 - б) М'яке промивання
 - в) Знешкодження ізотонічними розчинами
 - г) Застосування сорбентів
- 20. Низькоактивні РАВ можуть зберігатися:
 - а) Без упаковки
 - б) У поліетиленових мішках
 - в) У контейнерах з екрануванням
 - г) У відкритому доступі
- 21. Під час поводження з РАВ важливо дотримуватись принципу:
 - а) «Більше — краще»
 - б) «Використовуй усе до кінця»
 - в) «Захист — відстань — час»
 - г) «Змішай — розбав — заховай»

Тема: Прогнозування та моделювання радіоекологічних ризиків

1. Що таке радіоекологічний ризик?
 - а) Рівень опромінення під час медичних процедур
 - б) Ймовірність негативного впливу радіації на екосистеми
 - в) Кількість радіонуклідів у пробі
 - г) Тривалість розпаду ізотопів

2. Основою моделювання радіоекологічного ризику є:
 - а) Закон Ома
 - б) Хімічне рівняння
 - в) Радіаційна доза та маршрут міграції
 - г) Колір середовища
3. Критична група населення — це:
 - а) Люди, що працюють з комп'ютерами
 - б) Найвразливіші до дії радіації
 - в) Екологи з освітою
 - г) Працівники АЕС
4. Який параметр не входить до моделі міграції радіонуклідів?
 - а) Швидкість вітру
 - б) Вологість
 - в) Вік населення
 - г) Тип ґрунту
5. Що враховується при прогнозі радіоекологічних наслідків?
 - а) Лише концентрація радіонуклідів
 - б) Характер джерела, середовище, біота, людина
 - в) Рівень освітлення
 - г) Час доби
6. Моделювання поширення забруднення в атмосфері здійснюється за допомогою:
 - а) Гідрологічних моделей
 - б) Аерозольних моделей
 - в) Геотермальних карт
 - г) Біологічного моніторингу
7. GIS-системи у моделюванні дозволяють:
 - а) Визначати колір води
 - б) Прогнозувати поширення радіонуклідів територіально
 - в) Вимірювати радіацію напряду
 - г) Створювати карти рельєфу
8. RESRAD — це програма для:
 - а) Моделювання хімічного забруднення
 - б) Прогнозу дозового навантаження від РАВ
 - в) Створення презентацій
 - г) Вимірювання вологості
9. Під час сценарного моделювання оцінюють:
 - а) Кількість людей на підприємстві
 - б) Можливі варіанти аварійного викиду
 - в) Вартість проекту
 - г) Температуру повітря
10. Індекс радіаційного ризику залежить від:
 - а) Масштабу карти
 - б) Рівня опромінення та тривалості впливу
 - в) Висоти рослин
 - г) Фази місяця
11. Чутливість моделі — це:
 - а) Здатність моделі реагувати на зміни параметрів
 - б) Потужність комп'ютера
 - в) Точність результату
 - г) Кількість введених даних
12. Прогнозування наслідків аварій дає змогу:
 - а) Визначити винного
 - б) Планувати заходи захисту
 - в) Запобігти всім викидам
 - г) Виміряти електропровідність
13. До складових моделі міграції належить:
 - а) Погода, джерело, середовище
 - б) Музика, колір, шум
 - в) Тиск, тінь, звук
 - г) Вологість, добовий цикл, вік
14. Біота у моделюванні впливає на:
 - а) Визначення кольору води
 - б) Формування опромінення через харчові ланцюги

- в) Рівень шуму в місті
- г) Сила струму
- 15. Метою моделювання є:
 - а) Визначення активності джерела
 - б) Прогнозування впливу на довкілля та людину
 - в) Опис хімічної формули
 - г) Підрахунок кількості працівників
- 16. Етап верифікації моделі передбачає:
 - а) Видалення помилок
 - б) Перевірку на відповідність реальним даним
- 17. в) Заміну параметрів
- г) Роздрукування результатів
- 18. При моделюванні поширення у водному середовищі враховується:
 - а) Густина та потік
 - б) Рівень шуму
 - в) Колір води
 - г) Моральне напруження
- 19. Недоліком спрощених моделей є:
 - а) Надлишкова деталізація
 - б) Завищена точність
 - в) Обмежене врахування змін
 - г) Неможливість візуалізації
- 20. Вибір сценарію моделювання залежить від:
 - а) Особистої думки
 - б) Типу джерела та масштабу впливу
 - в) Кольору фону
 - г) Терміну навчання
- 21. Інтерпретація результатів моделювання важлива для:
 - а) Художньої презентації
 - б) Прийняття управлінських рішень
 - в) Вивчення музики
 - г) Розваг у команді

ПЕРЕЛІК ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАПИТАНЬ ДЛЯ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Основи радіоактивності та випромінювання

1. Поняття радіоактивності.
2. Природна та штучна радіоактивність: порівняльний аналіз.
3. Види електромагнітних випромінювань.
4. Види іонізуючого випромінювання: α -, β -, γ -випромінювання.
5. Одиниці вимірювання радіоактивності.
6. Період напіврозпаду радіоактивних атомів.
7. Основні одиниці вимірювання радіації: грей, зіверт, бекерель — фізичний зміст.

Радіаційний контроль і методи дослідження

8. Радіаційний контроль та прилади для його реалізації.
9. Класифікація дозиметричних приладів: принципи та сфери застосування.
10. Радіометричні та радіоспектроскопічні методи.
11. Радіогеохімічні та радіоізотопні методи.
12. Радіогідроекологічний аналіз водних екосистем.
13. Історія розвитку радіаційного контролю в екології.
14. Використання радіоізотопів у дослідженні біогеохімічних циклів.

Біологічна дія іонізуючого випромінювання

15. Етапи біологічної дії випромінювання (фізичний, хімічний, біологічний).
16. Механізм прямої та непрямої дії радіації.
17. Вплив іонізуючого випромінювання на ДНК, білки, ферменти.
18. Типи ушкоджень біомолекул при опроміненні.
19. Радіочутливість тканин та органів, фактори впливу.
20. Стохастичні та детерміновані ефекти опромінення.
21. Радіотоксини, мутагенність, репарація.
22. Правило Бергоньє–Трибондо та його значення.
23. Вплив α -, β -, γ -випромінювання на клітини.
24. Механізми репарації ДНК після опромінення.
25. Вплив радіації на клітини в різних фазах мітозу.
26. Роль водної фази клітини у формуванні біологічного ефекту.
27. Вплив радіації на кровотворну систему, лімфоцити та імунітет.
28. Особливості дії радіації на шкіру, печінку, нирки.
29. Поняття «радіаційне похмілля» та його причини.

Радіоекологічний моніторинг

30. Основні завдання радіоекологічного моніторингу.
31. Характеристика основних радіонуклідів: Cs-137, Sr-90, Pu-239, I-131.
32. Атмосфера як об'єкт радіаційного моніторингу: аерозолі, гази, метеофактори.
33. Гідросфера як об'єкт моніторингу: поверхневі та підземні води.
34. Літосфера як об'єкт моніторингу: ґрунт, породи, геохімічні особливості.
35. Біота як об'єкт моніторингу: рослини, тварини, людина як біоіндикатор.
36. Польові методи моніторингу: відбір проб, вимірювання гамма-фону.
37. Лабораторні методи: спектрометрія, радіохімічний аналіз.
38. Інноваційні підходи: інтегровані сенсори, дистанційне зондування.
39. Особливості міграції радіонуклідів у ґрунті, воді, атмосфері та біоті.
40. Закономірності концентрації радіонуклідів у трофічних ланцюгах.

Радіоекологія агроекосистем

41. Механізми забруднення агроекосистем.
42. Методи оцінки забруднення агроекосистем.
43. Наслідки для здоров'я людини через споживання забруднених продуктів.
44. Захист та рекультивация агроекосистем.
45. Фактори, що впливають на надходження радіонуклідів у агроекосистеми.

46. Зміни біоактивності Cs-137 залежно від типу ґрунту.
47. Шляхи потрапляння Sr-90 у рослинну продукцію.
48. Трансфер-фактор і його використання.
49. Біомагніфікація у харчових ланцюгах агроєкосистем.
50. Нормативи допустимого рівня радіаційного фону в агроєкосистемах.

Джерела радіації та безпека

51. Природні джерела радіації: космічні промені, земна радіація, техногенні джерела.
52. Джерела радіації у медицині, енергетиці, промисловості.
53. Випробування ядерної зброї та їх наслідки.
54. Джерела іонізуючого випромінювання в урбанізованих територіях.
55. Вплив метеорологічних та антропогенних факторів на радіаційний фон міста.
56. Принципи протирадіаційного захисту в умовах міського середовища.
57. Нормативні документи України (НРБУ-97, ДР-97).
58. Карта радіаційного фону регіону: аналіз зон підвищеної радіації.
59. Методи індивідуального та стаціонарного моніторингу.
60. Будівельні матеріали як джерела природної радіації.
61. Контроль за безпекою у місцях масового перебування людей.

Дозиметрія та захист

62. Методика розрахунку ефективної та еквівалентної дози.
63. Методи оцінки дозових навантажень на біоту.
64. Фактори, що впливають на дозу опромінення людини.
65. Заходи зменшення доз опромінення.
66. Вплив медичних процедур на сумарну дозу.
67. Джерела техногенного опромінення для населення.
68. Поняття «радіаційний захист»: визначення та завдання.
69. Міжнародні принципи ICRP: обґрунтування, оптимізація, обмеження.
70. Принцип ALARA та його значення.
71. Граничні дози для персоналу та населення.
72. Радіочутливість критичних органів.
73. Законодавчі документи України з питань радіаційної безпеки.
74. Дозиметричний контроль персоналу категорії А.
75. Відмінності у нормуванні доз у міжнародних та національних документах.

Радіоекологічний ризик і прогнозування

76. Радіоекологічний ризик і його оцінка.
77. Методи прогнозування радіаційної ситуації в Україні.
78. Моделі міграції радіонуклідів (водні, ґрунтові, атмосферні).
79. Показники для кількісної оцінки ризику (доза, коефіцієнт переносу, концентрація).
80. Програмні засоби для моделювання (Ecolago, RESRAD).
81. Верифікація моделей та аналіз чутливості.
82. Сценарне моделювання

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Гайченко В.А., Гудков І.М., Кашпаров В.О., Кіцно В.О., Лазарев М.М. Практикум з радіобіології та радіоекології. – Херсон: Олді Плюс, 2014. 278 с.
2. Грисюк С. М. Основи дозиметрії: навчальний посібник. – Київ: Комприн, 2018. 150 с.
3. Гудков І. М. Радіобіологія: підручник / І.М. Гудков. Херсон: ОлдіПлюс, 2016. 504 с.
4. Гудков І.М. Радіобіологія: Підручник для вищ. навчальних закладів. К.: НУБіП України, 2016. 485 с.
5. Гудков І.М., Гайченко В.А., Кашпаров В.О. Сільськогосподарська радіоекологія: Підручник / За редакцією І.М. Гудкова. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. 268 с.
6. Гудков І.М., Гайченко В.А., Кашпаров В.О., Кутлахмедов Ю.А., Гудков Д.І., Лазарев М.М. Радіоекологія. Херсон: Олді Плюс, 2013. 467 с.
7. Клименко М.О., Клименко О.М., Клименко Л.В. Радіоекологія: підручник. Рівне: НУВГП, 2020. 304 с.
8. Музиченко О. С. Радіоекологія: конспект лекцій для студентів спеціальності 101 «Екологія». Луцьк: Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2023. 109 с.
9. Павличенко А. В., Риженко С. А., Рудченко А. Г., Юрченко А. А. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Радіоекологія» для студентів спеціальностей 091 «Біологія», 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Дніпровська політехніка, 2019. 64 с.
10. Перепелятников Г. П. Основи загальної радіоекології : монографія. 2-ге вид.; укр. мовою; виправл. і доп. К. : Атіка, 2012. 440 с.
11. Практикум з радіобіології та радіоекології / В.А. Гайченко, І.М. Гудков, В.О. Кашпаров та ін. К.: Кондор, 2010. 286 с.
12. Радіоекологія: підручник / В.П. Шапорев, Ю.Г. Масікевич, В.Ф. Моїсеєв та ін. Чернівці: «Місто» АНТ, 2018. 440 с

Додаткова:

1. Атлас. Україна. Радіоактивне забруднення. К.: МНС України, 2002. 46 с.
2. Гродзинський Д.М. Радіобіологія. Київ: Либідь, 2001. 448 с.
3. Гудков І.М., Гродзинський Д.М. Особливості формування поглинених доз та віддалені радіобіологічні ефекти у сільськогосподарських рослин на забруднених радіонуклідами територіях // Вісник ДААУ. 2001. - № 1. С. 8-11.
4. Гудков І.М., Гродзинський Д.М. Радіаційне ураження рослин в зоні впливу аварії на Чорнобильській АЕС // Вісник аграрної науки. 2001. Спецвипуск. Квітень. С. 43-47.
5. Гудков, І.М., Вінничук М.М. Сільськогосподарська радіоекологія. – Житомир: ДАУ, 2003. – 472 с.
6. Давиденко В.М. Радіобіологія / В.М. Давиденко. – Миколаїв: Видав. МДАУ, 2011. 265 с.
7. Давиденко В.М. Радіобіологія. – Миколаїв: Вид-во МДАУ, 2011. 248 с.
8. Дудок К.П., Старикович Л. С., Дацюк Л. О. Радіобіологія: Навчально-методичний посібник / К.П. Дудок, Л.С. Старикович, Л.О. Дацюк. – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 118 с.
9. Іванов Є.А. Радіоекологічні дослідження. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. 149 с.
10. Кіцно В.О. Основи радіобіології та радіоекології / Кіцно В.О., Поліщук С.В., Гудков І.М. К.: Хай-Тек Прес, 2008; 2009; 2010. 320 с.
11. Клименко М.О. Прищепа А.М. Практикум з радіоекології: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2010. 220 с.

12. Клименко М.О. Радіоекологія: навч. посіб. – Рівне: НУВГП, 2008. 224 с.
13. Константинов М.П., Журбенко О.А. Радіаційна безпека. Навчальний посібник Суми: Університетська книга, 2003. 152 с.
14. Крисенко А. Д., Овсянкіна В. О., Фоменко А. О. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Радіоекологія». Київ: НТУУ «КПІ», 2010. 44 с.
15. Кутлахмедов Ю.О., Корогодін В.І., Кольтовер В.К. Основи радіоекології. К.: Вища школа, 2003. – 316 с.
16. Мерленко І.М. Радіоекологія та можливі наслідки використання енергії атома: навчальний посібник. Луцьк: ПП Іванюк В.П., 2009. 220 с.
17. ДСП 6.177-2005-09. *Правила поводження з радіоактивними відходами. Основні положення.* – Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 2005. 45 с.
18. НП 306.2.141-2008. *Нормативний документ. Вимоги до безпеки при поводженні з радіоактивними відходами.* – Київ: Державний комітет ядерного регулювання України, 2008. 60 с.
19. ДСТУ 6.1.001–6.1.012 (серія стандартів). *Національні стандарти України щодо транспортування небезпечних вантажів.* – Київ: Держспоживстандарт України, 2001–2010. [кількість сторінок залежить від конкретного стандарту].

Інтернет-ресурси

1. Бібліотека Житомирського державного університету імені Івана Франка [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://irbis.zu.edu.ua/cgi-bin/irbis64r_11/cgiirbis_64.exe
2. Бібліотека українських підручників [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pidru4niki.com/>
3. Державна науково-педагогічна бібліотека України ім. В. О. Сухомлинського. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: www.dnpb.gov.ua.
4. Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://nbuv.gov.ua>
5. http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/2vze/zb_m/0135_zb_m_2VZE.pdf
6. <http://ekosvit.nepopsa.com/radioekologija/>
7. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3806.html><http://www.maik.ru/cgi-perl/journal.pl?name=radbio&lang=rus>
8. <http://eco.com.ua/content/aktualni-zavdannya-i-problemi-suchasnoi-radioekologii>
<http://www.franko.lviv.ua/faculty/geography/Strukt/Biblio/alphavit/Ukr/Ukr%20Ivanov/radioecology.pdf>

Приклад 1: Наземна екосистема (суглинковий ліс)

Трофічний рівень	Організми	Ймовірні радіонукліди	Характер накопичення
1. Продуценти	Листяні дерева, трава	Cs-137, Sr-90	Поглинання з ґрунту, осадження
2. Консументи I порядку	Польова миша, заєць	Cs-137, Pu-239	Біоаккумуляція через рослинний корм
3. Консументи II порядку	Лисиця, сова	Cs-137, Sr-90, Pu-239	Біомагніфікація внаслідок поїдання
4. Редуценти	Ґрунтові бактерії, гриби	U-238, Ra-226	Контактне накопичення, сорбція

Приклад 2: Водна екосистема (ставок поблизу ЧАЕС)

Трофічний рівень	Організми	Ймовірні радіонукліди	Характер накопичення
1. Продуценти	Водорості, ряска	H-3, Sr-90, Cs-137	Поглинання з води
2. Консументи I порядку	Дафнії, молюски	Sr-90, Cs-137	Біоаккумуляція з води та водоростей
3. Консументи II порядку	Карась, щука	Cs-137, Pu-239	Біомагніфікація через харчовий ланцюг
4. Консументи III порядку	Чапля, ондатра	Cs-137, Am-241	Поглиблена біомагніфікація

Пояснення:

- Cs-137 (цезій-137): активно включається в метаболізм калію, легко накопичується в м'язах, зростає в концентрації на вищих трофічних рівнях.
- Sr-90 (стронцій-90): імітує кальцій, накопичується в кістках — особливо небезпечний для тварин та людей.
- Pu-239, Am-241: мають тривалий період напіврозпаду, здатні накопичуватися в органах травлення та печінці.
- Ra-226, U-238: частіше фіксуються у ґрунті та осадах, впливають на мікробіоту.

Приклад 1. Типові дані для розрахунку (Cs-137, польова миша)

Параметр	Значення	Опис або джерело
C (концентрація Cs-137)	5 000 Бк/кг	Забруднений корм (листя, трава)
IR (споживання)	0.005 кг/день	Для дрібного гризуна
CF (коефіцієнт переходу)	1.3×10^{-8} Зв/Бк	За ERICA Tool або ІАЕА даними
T (тривалість)	30 днів	Умовний період експозиції

Розрахунок внутрішньої дози:

$$D_{вн} = C \times IR \times CF \times T$$

$$D_{вн} = 5000 \times 0.005 \times 1.3 \times 10^{-8} \times 30 \approx 0.0000975 \text{ Зв}$$

$$\text{або} \approx 0.0975 \text{ мЗв}$$

Інтерпретація: така доза нижча за поріг, рекомендований для більшості дрібних ссавців (1 мЗв/рік), проте може бути критичною при кумулятивному впливі або для вразливих видів.

Приклад 2. Водний організм (карась)

Параметр	Значення	Коментар
C	200 Бк/кг	Концентрація Cs-137 у планктоні чи водоростях
IR	0.05 кг/день	Середнє споживання органічної маси
CF	8×10^{-9} Зв/Бк	За ERICA Tool для рибоподібних
T	30 днів	Період експозиції (1 місяць)

Розрахунок:

$$D_{вн} = 200 \times 0.05 \times 8 \times 10^{-9} \times 30 = 2.4 \times 10^{-6} \text{ Зв} (\approx 0.0024 \text{ мЗв})$$

Приклад 3. Людина (дитина віком 10 років, сільська місцевість)

Параметр	Значення	Коментар
C	50 Бк/кг	Cs-137 у харчових продуктах (овочі, молоко)
IR	1.0 кг/день	Добове споживання
CF	1.3×10^{-8} Зв/Бк	За ICRP для дітей
T	365 днів	Річний вплив

Розрахунок: $D_{вн} = 50 \times 1.0 \times 1.3 \times 10^{-8} \times 365 \approx 0.00024 \text{ Зв} (\approx 0.24 \text{ мЗв})$

Приклад 4. Рослина (кукурудза)

Параметр	Значення	Коментар
C	1 000 Бк/кг	Cs-137 у ґрунті
IR	0.02 кг/день	Добове надходження поживних речовин (умовне)
CF	5×10^{-9} Зв/Бк	За ERICA Tool для рослинних організмів
T	60 днів	Період активного росту

Розрахунок: $D_{вн} = 1000 \times 0.02 \times 5 \times 10^{-9} \times 60 \approx 6 \times 10^{-5} \text{ Зв} (\approx 0.06 \text{ мЗв})$

Зауваження:

- Значення CF суттєво варіюється залежно від виду, радіонукліда та умов довкілля.
- У реальних дослідженнях використовуються еталонні організми, дані про біологічне поглинання, метаболізм і період напіввиведення.

Узагальнені орієнтовні значення **трансфер-фактора (TF)** для радіонукліду **Cs-137** з ґрунту в рослинну продукцію залежно від типу ґрунту. Дані підходять для навчальних цілей і можуть варіюватися в залежності від кліматичних умов, виду рослин та фізико-хімічних характеристик ґрунтів:

Трансфер-фактор Cs-137 для різних типів ґрунту

Тип ґрунту	Орієнтовне значення TF (Cs-137)	Характеристика переносності
Піщаний	0.30–0.50	Висока міграція, слабка сорбція
Суглинок легкий	0.20–0.35	Помірна фіксація, середня доступність
Суглинок важкий	0.10–0.25	Добра фіксація, уповільнений перенос
Глинистий	0.05–0.15	Сильна сорбція, низька доступність радіонуклідів
Чорнозем	0.02–0.10	Високий вміст гумусу, сильне зв'язування радіонуклідів
Болотяний/торф'яний	0.15–0.40	Активне накопичення органікою, нестабільна міграція
Засолений	0.25–0.50	Хімічна нестабільність, прискорене пересування радіонуклідів

Примітка: TF визначається як відношення активності радіонукліда в рослинному матеріалі до його активності в ґрунті (Бк/кг). Значення можуть змінюватися в залежності від виду рослини, періоду росту та метеоумов.

Типові значення для розрахунку внутрішньої дози опромінення людини при споживанні найпоширеніших харчових продуктів, забруднених Cs-137.

Типові параметри для продуктів харчування (Cs-137)

Продукт	C – Концентрація Cs-137 (Бк/кг)	IR – Споживання (кг/день)	CF – Коеф. переходу (Зв/Бк)	T – Період споживання (днів)
Молоко	40–60	0.5	1.3×10^{-8}	365
Картопля	60–100	0.3	1.3×10^{-8}	180
Пшениця (зерно)	80–120	0.4	1.3×10^{-8}	150
Яблука	20–50	0.25	1.3×10^{-8}	90
Яйця	15–30	0.2	1.3×10^{-8}	365
М'ясо	25–70	0.15	1.3×10^{-8}	120
Овочі (капуста, морква)	30–90	0.4	1.3×10^{-8}	200
Риба (прісноводна)	50–150	0.1	1.3×10^{-8}	100

Примітки:

- Дані адаптовані для навчальних цілей і можуть бути змінені залежно від регіону, типу продукту та екологічних умов
- Значення C можуть бути взяті з польових досліджень, моніторингових звітів або моделювань.
- Коефіцієнт CF взятий з рекомендацій ICRP, може дещо змінюватися для різних вікових груп.
- Період T — гнучкий параметр, його можна адаптувати під індивідуальні сценарії.

Типові значення для розрахунку внутрішньої дози опромінення людини при споживанні найпоширеніших харчових продуктів, забруднених Sr-90

Продукт	C — Концентрація (Бк/кг)	IR — Споживання (кг/день)	CF — Коеф. переходу (Зв/Бк)	T — Період (днів)
Молоко	100–300	0.5	2.8×10^{-8}	365
Картопля	60–150	0.3	2.0×10^{-8}	180
Овочі (капуста)	80–200	0.4	2.5×10^{-8}	200
Яблука	40–100	0.25	2.0×10^{-8}	90
Пшениця	120–250	0.4	2.3×10^{-8}	150

***Особливість Sr-90:** має високу біологічну доступність, накопичується переважно в кістковій тканині, що збільшує ризик для дітей.

Типові значення для розрахунку внутрішньої дози опромінення людини при споживанні найпоширеніших харчових продуктів, забруднених Pu-239

Продукт	C — Концентрація (Бк/кг)	IR — Споживання (кг/день)	CF — Коэф. переходу (Зв/Бк)	T — Період (днів)
Зерно (пшениця)	20–50	0.4	2.0×10^{-7}	150
М'ясо	10–30	0.15	1.8×10^{-7}	120
Риба (прісноводна)	15–40	0.1	2.2×10^{-7}	100
Овочі (морква)	10–25	0.3	2.5×10^{-7}	200
Яйця	5–15	0.2	1.5×10^{-7}	365

***Особливість Pu-239:** має дуже низький коефіцієнт переходу, але високу токсичність, довгий період напіврозпаду і схильність до накопичення у печінці та кістках.

ДОДАТОК 5

Дані для оцінки біоаккумуляції (трансфер-фактор — TF) та біомагніфікації (магніфікаційний фактор — MF) у компонентах агроecosистеми.

*Всі значення є **орієнтовними**, базуються на джерелах ICRP, ERICA Tool та наукових дослідженнях — і підходять для навчального моделювання.

Трансфер-фактор (TF) — накопичення з ґрунту в рослини

Тип ґрунту	Культура	Радіонуклід	TF (Бк/кг рослини ÷ Бк/кг ґрунту)
Піщаний	Картопля	Cs-137	0.3–0.5
Суглинок легкий	Кукурудза	Cs-137	0.2–0.35
Чорнозем	Морква	Cs-137	0.05–0.1
Болотяний	Капуста	Cs-137	0.2–0.4
Піщаний	Картопля	Sr-90	0.4–0.6
Суглинок важкий	Пшениця	Sr-90	0.2–0.3

Магніфікаційний фактор (MF) — накопичення між трофічними рівнями

Жертва → Хижак	Радіонуклід	MF (Бк/кг хижак ÷ Бк/кг жертва)	Тип передачі
Картопля → польова миша	Cs-137	2–4	через рослинний корм
Миша → лисиця	Cs-137	1.5–2	через м'ясо
Водорості → риба	Cs-137	3–6	у водній системі
Риба → чапля	Cs-137	2–5	харчова ланка

$$MF = A(\text{хижак}) \div A(\text{жертва})$$

Наприклад: якщо Cs-137 у миші — 200 Бк/кг, а у лисиці — 400 Бк/кг, то $MF = 400 \div 200 = 2.0$

Для людини (через харчові продукти)

Продукт	Радіонуклід	CF (Зв/Бк) — коеф. поглинання	Примітка
Молоко	Cs-137	1.3×10^{-8}	Висока біодоступність
Картопля	Sr-90	2.0×10^{-8}	Накопичення в кістковій тканині
М'ясо	Pu-239	2.0×10^{-7}	Низька доступність, висока токсичність

Оцінка ризику для біоти

Трофічний рівень	Потенційна точка накопичення	Рівень ризику
Рослини (кукурудза)	Надземна частина	Низький
Трав'ядні тварини	М'язова тканина, молоко	Середній
Хижак (лисиця, сова)	Печінка, нирки, м'язи	Високий
Людина	Харчові продукти	Потенційно високий

Висновки

- Найвищі рівні біомагніфікації зазвичай спостерігаються у хижаків і людей.
- Контроль ключових точок — рослини, молочна продукція, м'ясо — є критичним.
- Дані можна використовувати для оцінки екологічного ризику та обґрунтування санітарних заходів.

Таблиця трансфер-факторів (TF) для рослин

$$TF = \text{активність у рослині} \div \text{активність у ґрунті (Бк/кг)}$$

Тип ґрунту	Культура	Радіонуклід	TF (Бк/кг рослини ÷ Бк/кг ґрунту)	Коментар
Піщаний	Картопля	Sr-90	0.40–0.60	Висока доступність Sr-90 (імітує Ca)
Суглинок легкий	Кукурудза	Sr-90	0.20–0.35	Середній рівень переносу
Чорнозем	Морква	Sr-90	0.05–0.15	Високий вміст гумусу сприяє фіксації
Болотяний	Капуста	Sr-90	0.20–0.40	Органічна речовина сприяє накопиченню
Піщаний	Пшениця	Cs-137	0.30–0.50	Cs-137 поводить як К — активно поглинається
Суглинок важкий	Картопля	Cs-137	0.15–0.30	Помірна сорбція, зниження TF
Чорнозем	Овочі (буряк)	Cs-137	0.05–0.10	Надійна фіксація радіонукліда
Болотяний	Салат, зелень	Cs-137	0.25–0.45	Висока біодоступність при вологих умовах

Пояснення:

- TF > 0.3 — вважається високим і вимагає контролю продукції.
- Значення можуть змінюватися залежно від сорту, агротехніки, рН і вологості.
- Sr-90 активно включається в кальцієвий обмін, тому овочі з високою кальцієвою потребою мають більший TF.
- Cs-137 конкурує з калієм і легко поглинається при дефіциті К у ґрунті.

Порівняння TF за культурою та радіонуклідом

Культура	Радіонуклід	TF на піщаному ґрунті	TF на суглинку легкому	TF на чорноземі	Коментар
Капуста	Sr-90	0.45–0.60	0.30–0.45	0.15–0.30	Sr-90 активно переноситься, особливо на вологих ґрунтах
Капуста	Cs-137	0.30–0.45	0.20–0.35	0.10–0.25	Добре поглинає Cs-137 при дефіциті калію
Кукурудза	Sr-90	0.35–0.50	0.20–0.35	0.10–0.20	Стеблова біомаса накопичує більше, ніж зерно
Кукурудза	Cs-137	0.25–0.40	0.15–0.30	0.05–0.15	Менш активне поглинання порівняно з овочами
Морква	Sr-90	0.50–0.70	0.35–0.50	0.15–0.25	Коренеплоди мають високу біоаккумуляцію Sr-90

Культура	Радіонуклід	ТФ на піщаному ґрунті	ТФ на суглинку легкому	ТФ на чорноземі	Коментар
Морква	Cs-137	0.20–0.35	0.10–0.25	0.05–0.10	Добре зв'язується у чорноземі, менше накопичується

Пояснення:

- **Sr-90** має вищі коефіцієнти біоаккумуляції через подібність до кальцію.
- **Морква** найактивніше накопичує Sr-90 серед трьох культур, особливо на легких ґрунтах.
- **Cs-137** активно поглинається у капусті, особливо при низькому вмісті калію.

ДОДАТОК 7

Вихідні дані, для розрахунку еквівалентних та ефективних доз при опроміненні населення.

Таблиця 1. Радіаційні вагові коефіцієнти (Q або w_r)

Вид випромінювання	Позначення	Коефіцієнт якості (Q) / Радіаційної ваги (w_r)
Гамма-випромінювання	γ	1
Бета-випромінювання	β^- / β^+	1
Альфа-випромінювання	α	20
Нейтрони (повільні)	n	5
Нейтрони (швидкі)	n	10

Використовується у формулі: $H = D \times Q$

Таблиця 2. Тканинні вагові коефіцієнти (W_t)

Орган / тканина	Позначення	Коефіцієнт чутливості (W_t)
Червоний кістковий мозок	RBM	0,12
Легені	L	0,12
Шлунково-кишковий тракт	GI	0,12
Щитовидна залоза	TH	0,04
Сечовий міхур	BL	0,04
Гонади	TE	0,08
Шкіра	SK	0,01
Інші тканини (сукупно)	Other	0,30

Використовується у формулі: $E = H_t \times W_t$, або $E = \Sigma (H_t \times W_t)$

Таблиця 3. Середні щорічні дози від джерел (довідкові значення)

Джерело опромінення	Середня ефективна доза (мЗв/рік)
Радон у приміщеннях	1,2

Джерело опромінення	Середня ефективна доза (мЗв/рік)
Космічне випромінювання	0,3
Радіонукліди в ґрунті та продуктах	0,5
Медичні процедури (рентген, КТ)	0,7–2,5
Техногенні джерела (промисловість)	0,1–1,0

Таблиця 3. Орієнтовні значення поглинутих доз

Джерело або процедура	Тип випромінювання	Орієнтовна поглинута доза D (Гр)	Примітка
Рентген грудної клітки	γ (гамма)	0,0001	$\approx 0,1$ мЗв при $Q = 1$
Комп'ютерна томографія (голова)	γ	0,002	≈ 2 мЗв
Сканування щитоподібної залози (радіонукліди)	γ / β^-	0,0025	Використовуються ізотопи, наприклад, ^{131}I
Альфа-опромінення (наприклад, вдихання радону)	α	0,00005	Високий $Q = 20 \rightarrow$ еквівалентна доза ≈ 1 мЗв
Зовнішнє опромінення при промисловій аварії	γ	0,0008	Залежить від часу експозиції
Потрапляння радіонуклідів з водою (внутрішньо)	β^- / γ	0,0003	Залежить від типу ізотопу
Фонова поглинута доза за рік (середнє значення)	різні типи	0,002	Включає природні джерела (≈ 2 мЗв ефективної)

Пояснення: зв'язок з еквівалентною дозою: для розрахунку $H = D * Q$ необхідно враховувати коефіцієнт якості (Q), який залежить від типу випромінювання.

ДОДАТОК 8

Оцінка ефективної дози опромінення населення в різних кліматичних зонах України

Кліматична зона	Регіони України (приклади)	Рівень радону в приміщеннях (мЗв/рік)	Космічне випромінювання (мЗв/рік)	Земне випромінювання (мЗв/рік)	Сумарна природна ефективна доза (мЗв/рік)
Поліська	Житомирська, Волинська, Рівненська	1,3	0,3	0,4	2,0
Лісостепова	Київська, Черкаська, Вінницька	1,0	0,3	0,3	1,6
Степова	Херсонська, Запорізька, Дніпропетровська	0,8	0,3	0,3	1,4
Гірська	Закарпатська, Івано-Франківська	0,6	0,4	0,2	1,2
Узбережжя Чорного моря	Одеська, Миколаївська	0,7	0,3	0,2	1,2

Пояснення:

- **Рівень радону** вищий у північних областях через геологічні особливості (гранітні породи).
- **Космічне випромінювання** трохи підвищене в гірських районах через більшу висоту над рівнем моря.
- **Земне випромінювання** залежить від складу ґрунтів і наявності природних радіонуклідів.

ДОДАТОК 9

Медичне опромінення за віковими групами

Медична процедура	Ефективна доза (мЗв) Діти (0–14 р.)	Ефективна доза (мЗв) Дорослі (15–64 р.)	Ефективна доза (мЗв) Літні (65+ р.)
Рентген грудної клітки	0,03	0,1	0,1
Комп'ютерна томографія (голова)	1,5	2,0	2,2
Рентген зубів	0,01	0,02	0,02
Мамографія	—	0,4	0,5
КТ грудної клітки	3,0	6,0	6,5
Флюорографія	0,2	0,4	0,5

Медична процедура	Ефективна доза (мЗв) Діти (0–14 р.)	Ефективна доза (мЗв) Дорослі (15–64 р.)	Ефективна доза (мЗв) Літні (65+ р.)
Радіонуклідне дослідження (щитоподібна)	2,0	3,0	3,5
Сумарна орієнтовна доза/рік	≈6–8 мЗв	≈12–15 мЗв	≈13–18 мЗв

Пояснення:

- Діти мають нижчі дози через обмежене використання процедур і підвищену чутливість організму.
- Дорослі мають вищу середню дозу, пов'язану з діагностикою та профілактикою.
- Літні пацієнти часто проходять більше процедур (КТ, сканування) через хронічні захворювання — відповідно, підвищується внесок у загальну дозу.

ДОДАТОК 10

Таблиця 1. Категорії осіб і граничні дози опромінення за рік

Категорія осіб	Опис	Гранична ефективна доза (мЗв/рік)	Джерело нормативу
Персонал	Працівники, що мають контакт із джерелами іонізуючого випромінювання	20	НРБУ-97 / ICRP-103
Населення (загальна група)	Особи, які не мають професійного контакту з джерелами випромінювання	1	НРБУ-97 / ICRP-103
Критично вразливі групи населення	Діти, вагітні жінки, хронічно хворі, літні особи	≤1 (рекомендовано нижче)	Вказівки МОЗ / ICRP
Діти до 1 року (внутрішнє опромінення)	Підвищена біологічна чутливість	0,3–0,5	WHO / UNICEF / ICRP-60
Професійно особи, що пройшли аварію	Підлягають індивідуальній оцінці	До 100 у надзвичайних ситуаціях	МАГАТЕ / рекомендації ICRP

Пояснення:

- **20 мЗв/рік** для персоналу — середнє значення за 5 років, але не більше 50 мЗв за один рік.
- **1 мЗв/рік** для населення — стосується всіх джерел, окрім медичних процедур.
- Для **критично вразливих** груп рекомендується додаткове зниження рівня опромінення (принцип ALARA).
- Медичне опромінення не нормується жорстко, але має бути виправданим та оптимізованим.

Таблиця 2. Категорії опромінованих осіб

Категорія	Тип	Характеристика
А	Персонал	Працівники, які постійно або тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючого випромінювання (ДІВ), включаючи обслуговування, діагностику, контроль
Б	Обмежене населення	Особи, які не працюють з ДІВ, але за умовами проживання або розташування можуть зазнавати впливу радіоактивних речовин (наприклад, сусідство з радіаційними об'єктами)
В	Загальне населення	Населення регіону, країни, що проживає на території, де діють загальні фонові джерела іонізуючого випромінювання; опромінення від природного фону та медичних процедур

Пояснення: ця класифікація відповідає структурі НРБУ-97 і може бути використана як основа для нормування доз, розробки заходів захисту, оцінки ризиків та планування моніторингу.

Таблиця 3. Групи критичних органів людини

Тип групи	Характеристика та приклади органів
I група	<i>Органи з високою радіочутливістю та вирішальним впливом на загальну ефективну дозу:</i> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Все тіло ◆ Гонади (статеві органи) ◆ Червоний кістковий мозок
II група	<i>Органи з середньою чутливістю, що мають значний, але не вирішальний вплив:</i> <ul style="list-style-type: none"> ◆ М'язи ◆ Щитовидна залоза ◆ Жирова тканина ◆ Нирки, селезінка, легені ◆ Шлунково-кишковий тракт ◆ Кришталик ока ◆ Інші органи, крім тих, що входять до I та III груп
III група	<i>Органи з низькою радіочутливістю, що менш впливають на ефективну дозу:</i> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Шкіра ◆ Кісткова тканина ◆ Кисті рук, передпліччя ◆ Стопи, кісточки ніг

Пояснення: Поділ на групи використовується для обґрунтування заходів дозиметричного контролю, розрахунку вагових коефіцієнтів чутливості (W_t) та планування заходів радіаційного захисту відповідно до нормативів (НРБУ-97, ICRP).

Таблиця 4. Основні дозові межі опромінення (бер/рік)

Категорія опромінованих осіб	Група критичних органів	Гранично допустима доза / межа дози (бер/рік)
Категорія А (персонал)	I група	5
	II група	15
	III група	30
Категорія Б (населення)	I група	0,5
	II група	1,5
	III група	3

Пояснення:

- **Категорія А** — працівники, що професійно контактують із джерелами іонізуючого випромінювання (доза нормується за принципом середньої протягом 5 років).
- **Категорія Б** — загальне населення, не пов'язане з професійною діяльністю; граничні дози значно нижчі.

Групи органів поділяються відповідно до біологічної чутливості:

- I група — найвразливіші (червоний кістковий мозок, гонади тощо)
- II група — помірна чутливість
- III група — низька радіочутливість.

Гранично допустима доза (ГДД) – найбільше значення індивідуальної еквівалентної дози за рік, яке при рівномірній дії протягом 50 років не викличе у стані здоров'я персоналу (категорії А) несприятливих змін, що виявляються сучасними методами. ГДД є основною дозовою границею для осіб категорії А.

ДОДАТОК 11

ICRP Publication 103 (2007)

Міжнародна комісія з радіологічного захисту (ICRP) встановлює такі **ліміти ефективної дози** в умовах **планованого опромінення**:

Категорія	Гранична ефективна доза	Примітка
Персонал (працівники категорії А)	20 мЗв/рік (у середньому за 5 років), не більше 50 мЗв за окремий рік	Для всіх регульованих джерел
Населення	1 мЗв/рік	Не включає медичне опромінення та природний фон

Пояснення: Ці ліміти не застосовуються до медичних пацієнтів або в умовах аварійного опромінення. Документ також підкреслює принципи **обґрунтування, оптимізації та обмеження доз**.

НРБУ-97 (Норми радіаційної безпеки України)

Українські норми узгоджуються з міжнародними рекомендаціями та встановлюють такі **ліміти ефективної дози**:

Категорія	Гранична ефективна доза	Примітка
Персонал (категорія А)	20 мЗв/рік (у середньому за 5 років), не більше 50 мЗв за окремий рік	Можливе плановане підвищене опромінення до 100 мЗв/рік у виняткових випадках

Категорія	Гранична ефективна доза	Примітка
Населення (категорія В)	1 мЗв/рік	Для критичних груп населення, не включає медичне опромінення та природний фон

Пояснення: НРБУ-97 також регламентує **еквівалентні дози** для окремих органів (наприклад, кришталік ока — 15 мЗв/рік для населення, 150 мЗв/рік для персоналу) та містить положення щодо **контролю, компенсації та винятків**.

ДОДАТОК 12

Характеристика будівельних матеріалів

Матеріал / Джерело	Потенційні радіонукліди	Механізм опромінення	Рівень ризику	Коментар / Примітка
Граніт	Уран, торій, радон	Випаровування радону в повітря	Середній	Особливо актуально для кухонних стільниць
Цегла (глиняна)	Калій-40, уран	Зовнішнє гамма-випромінювання	Низький	Залежить від походження глини
Кераміка (глазурована)	Уран, торій (в пігментах)	Зовнішнє гамма-випромінювання	Низький–середній	Старовинна або імпортна кераміка
Будівельні матеріали (бетон)	Радон (з домішок)	Випаровування радону	Середній	Вентиляція знижує ризик
Побутові прилади (годинники, старі телевізори)	Радій-226, тритій	Зовнішнє випромінювання	Низький–середній	Застарілі моделі, не використовуються сьогодні
Вода з колодязів	Радон	Внутрішнє опромінення	Низький	Може потребувати фільтрації

Таблиця 1. Ідентифікація потенційних джерел опромінення

Джерело	Характеристика	Потенційна небезпека
Радіоактивні ізотопи (Cs-137, Co-60)	Використовуються для калібрування приладів	Іонізуюче випромінювання
Зразки, забруднені радіонуклідами	Проби з зон техногенного забруднення	Внутрішнє опромінення при контакті
Лабораторне обладнання (рентген-флуоресцентні аналізатори)	Може генерувати рентгенівське випромінювання	Зовнішнє опромінення
Відходи лабораторних досліджень	Можуть містити залишкову радіоактивність	Контамінація робочого середовища

Таблиця 2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Тип ЗІЗ	Призначення	Приклади
Захисний одяг	Бар'єр для зовнішнього забруднення	Лабораторний халат, комбінезон з антирадіаційного матеріалу
Респіратори / маски	Захист органів дихання від аерозолів	FFP3-респіратори, протигази
Захисні окуляри / щитки	Захист очей від бризок та випромінювання	Окуляри з полікарбонату, свинцеві окуляри
Свинцеві фартухи / екрани	Захист від рентгенівського та гамма-випромінювання	Свинцевий фартух, переносні екрани
Рукавички	Захист шкіри рук	Нітрилові, латексні, свинцеві рукавички
Дозиметри	Контроль рівня опромінення	Індивідуальні електронні дозиметри

Фізико-хімічні властивості РАВ

Тип РАВ	Агрегатний стан	Радіонуклідний склад	Період напіврозпаду
Тверді НАРАВ	Твердий	^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr	Від кількох років до десятків років
Рідкі САРАВ	Рідкий	^{90}Sr , ^{137}Cs , ^3H	Короткий (кілька років)
Тверді САРАВ	Твердий	^{241}Am , ^{239}Pu , ^{99}Tc	Середній (десятки–сотні років)
Високоактивні ВАРАВ	Твердий / рідкий	^{239}Pu , ^{238}U , ^{129}I , ^{99}Tc	Довгий (сотні–мільйони років)

Тип РАВ	Агрегатний стан	Радіонуклідний склад	Період напіврозпаду
Відпрацьоване паливо	Твердий	^{235}U , ^{239}Pu , ^{137}Cs , ^{90}Sr	Від десятків до мільйонів років
Біологічні РАВ	Твердий / рідкий	^3H , ^{14}C , ^{32}P	Короткий (дні–роки)

Пояснення:

- **Агрегатний стан** впливає на методи стабілізації та упаковки.
- **Радіонуклідний склад** визначає токсичність, мобільність у середовищі та необхідні бар'єри.
- **Період напіврозпаду** критично важливий для вибору типу сховища та тривалості моніторингу.

ДОДАТОК 15

Умовні дані про викид радіонуклідів у повітря

Контекст:

- **Тип джерела:** Аварія на ядерному енергоблоці
- **Місце:** Умовна зона в Україні
- **Дата події:** 15 червня 2025 року
- **Тривалість викиду:** 36 годин

Основні радіонукліди

Радіонуклід	Період напіврозпаду	Активність викиду (Бк)	Форма	Коментар
I-131	~8 днів	1.2×10^{15}	Газ	Висока мобільність, впливає на щитоподібну залозу
Cs-137	~30 років	3.5×10^{14}	Аерозоль	Осідає на ґрунт, довготривалий ризик
Sr-90	~28.8 років	1.1×10^{14}	Аерозоль	Біологічно активний, накопичується в кістках
Xe-133	~5 днів	2.8×10^{15}	Газ	Інертний, використовується для виявлення викидів

Метеоумови

- **Температура:** 22°C
- **Вітер:** 3.5 м/с, напрямок — схід
- **Інверсія:** слабка, висота ~300 м
- **Опади:** відсутні

Оцінка розсіювання

- **Модель:** Гаусівська модель розсіювання
- **Максимальна концентрація I-131 на відстані 5 км:** $\sim 2.5 \times 10^6$ Бк/м³
- **Зона підвищеного ризику:** радіус до 20 км
- **Рекомендовані заходи:** евакуація, йодна профілактика, моніторинг ґрунту

Таблиця 1. Гідрологічні параметри й початкова концентрація

Сегмент річки	Довжина, км	Притока, м ³ /с	Швидкість, м/с	Ширина, м	Глибина, м	Початкова концентрація Cs-137, Бк/м ³
1	5	20	0.5	30	2	1 000
2	7	25	0.6	35	2.5	800
3	10	22	0.55	32	2.2	600
4	8	18	0.45	28	1.8	400

Пояснення: Умовні дані для чисельного моделювання міграції Cs-137 уздовж річки.

Таблиця 2. Параметри транспорту та осадження

Сегмент річки	Коефіцієнт дифузії м ² /с	Швидкість депонування 1/добу	Початковий вміст у осаді, Бк/кг
1	0.01	0.05	50
2	0.015	0.04	45
3	0.012	0.03	40
4	0.008	0.02	35

Таблиця 3. Біоаккумуляційні коефіцієнти та нормативні рівні

Група організмів	Біоаккумуляційний коефіцієнт (BAF), л/кг	Нормативна концентрація Cs-137, Бк/кг
Гідрофільні рослини	50	100
Молюски	200	200
Дрібні риби	300	300
Хижі риби	400	400

Таблиця 1. Характеристика ізотопів

Ізотоп	Тип випромінювання	Період напіврозпаду	Основні шляхи надходження	Примітки
Cs-137	β^- , γ	30,17 років	інгаляційний, пероральний, зовнішній	основний γ -еміттер після ядерних аварій
Sr-90	β^-	28,8 років	пероральний	кумуляується в кістках
I-131	β^- , γ	8 днів	пероральний, інгаляційний	накопичується в щитовидній залозі
Pu-239	α	24 100 років	пероральний, інгаляційний	висока трансуранова токсичність
Ra-226	α , γ	1 600 років	пероральний, інгаляційний	біохімічний аналог кальцію
Rn-222	α	3,82 доби	інгаляційний	газ, головний фактор радіаційного ризику в приміщеннях

Таблиця 2. Радіонукліди та їхні параметри

Ізотоп	Шлях надходження	Концентрація С	Одиниця	Коефіцієнт перетворення DC	Одиниця
Cs-137	інгаляційний	100	Бк/м ³	$1,3 \times 10^{-5}$	мЗв/Бк
Cs-137	пероральний	50	Бк/кг	$1,2 \times 10^{-5}$	мЗв/Бк
Cs-137	зовнішній	1×10^6	Бк/м ²	$2,0 \times 10^{-7}$	мЗв·м ² /(Бк·год)
Sr-90	інгаляційний	10	Бк/м ³	$4,4 \times 10^{-6}$	мЗв/Бк
Sr-90	пероральний	30	Бк/кг	$2,8 \times 10^{-6}$	мЗв/Бк
I-131	інгаляційний	80	Бк/м ³	$9,0 \times 10^{-6}$	мЗв/Бк
I-131	пероральний	100	Бк/кг	$2,2 \times 10^{-5}$	мЗв/Бк
Rn-222	інгаляційний	50	Бк/м ³	$9,0 \times 10^{-6}$	мЗв/Бк

Таблиця 3. Параметри експозиції

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Швидкість вдихання	IR	0,8	м ³ /год
Споживання продуктів/води	CR	2,0	кг/день
Час експозиції (інгаляція)	ET inh	8	год/день
Час експозиції (інші шляхи)	ET other	24	год/день
Частота експозиції	EF	350	днів/рік
Період експозиції	ED	30	роки
Маса тіла	BW	70	кг

Таблиця 4. Типові значення коефіцієнта конверсії інгаляційної дози DC_{inh} для різних радіонуклідів (для дорослих, середній аеродинамічний діаметр фракції 5 мкм, тип абсорбції F/S):

Ізотоп	DC _{inh} (мЗв/Бк)	Тип абсорбції	Джерело даних
Cs-137	$1,3 \times 10^{-5}$	F	ICRP Publication 119
Sr-90	$4,4 \times 10^{-6}$	F	ICRP Publication 119
I-131	$2,0 \times 10^{-5}$	F	ICRP Publication 119
Pu-239	$2,1 \times 10^{-4}$	S	ICRP Publication 119
Ra-226	$2,8 \times 10^{-4}$	F	ICRP Publication 119

Таблиця 5. Типові значення коефіцієнтів конверсії пероральної дози (мЗв/Бк)

Радіонуклід	DC _{ing} (мЗв/Бк)	Основна мішень	Джерело
H-3	$1,9 \times 10^{-8}$	вода (НТО)	ICRP 119, табл. А.2
C-14	$5,8 \times 10^{-7}$	органічні молекули	ICRP 119, табл. А.2
I-131	$2,2 \times 10^{-5}$	щитоподібна залоза	ICRP 119, табл. А.2
Cs-137	$1,3 \times 10^{-5}$	м'які тканини	ICRP 119, табл. А.2
Sr-90	$2,8 \times 10^{-5}$	кістки	ICRP 119, табл. А.2
Pu-239	$2,5 \times 10^{-4}$	кістковий мозок, печінка	ICRP 119, табл. А.2

Пояснення: дані значення застосовуються для дорослих людей за стандартних умов (звичайна дієта, середня абсорбція). Для інших вікових груп (діти, підлітки) та специфічних станів (вагітність) коефіцієнти можуть відрізнятися й рекомендовано звертатися до розділів ICRP 114–128.

Таблиця 6. Типові значення коефіцієнта конверсії зовнішньої дози для γ -джерел

Радіонуклід	ДСзов, мЗв·м ² /(Бк·год)	Ефективна енергія γ (МеВ)	Геометрія опромінення
Cs-137	$8,7 \times 10^{-8}$	0,662	ізотропна
Co-60	$6,3 \times 10^{-8}$	1,17 + 1,33	ізотропна
I-131	$2,8 \times 10^{-7}$	0,364	ізотропна
Ir-192	$1,2 \times 10^{-7}$	0,38 – 0,61	ізотропна
Am-241	$3,5 \times 10^{-9}$	0,059	ізотропна

Пояснення: Джерело даних для всіх наведених значень — ICRP Publication 116.

ДСзов — це коефіцієнт, який дозволяє обчислити ефективну зовнішню дозу за формулою

Приклад розрахунку:

Припустимо, що джерело Cs-137 з активністю 5×10^8 Бк відстань до якого 2 м:

1. $ДСзов(Cs-137) = 8,7 \times 10^{-8}$ мЗв·м²/(Бк·год)
2. Effective dose rate = $(8,7 \times 5 / 4) \times 10^{-8+8} = 10,9 \times 10^0$ мЗв/год ≈ 11 мЗв/год.

Таблиця 7. Основні параметри експозиції

Параметр	Позначення	Одиниця	Значення	Призначення
Концентрація в повітрі	C_inh	мг/м ³	0,05	для шляху вдихання
Концентрація у воді	C_ing	мг/л	0,01	для перорального шляху
Концентрація на поверхні/грунті	C_ext	мг/кг	2,0	для зовнішньої експозиції
Інгаляційна швидкість	IR	м ³ /доба	20	об'єм вдихуваного повітря за добу
Споживання води	CR	л/доба	2	об'єм води, що проковтується за добу
Маса тіла	BW	кг	70	середня маса дорослої людини
Тривалість щоденної експозиції	ET	год/доба	24	години контакту за добу
Частота експозиції	EF	днів/рік	350	днів на рік, коли відбувається експозиція
Загальна тривалість експозиції	ED	років	30	років безперервної дії речовини

Таблиця 8. Параметри канцерогенного ризику

Параметр	Одиниця	Значення	Опис
SFinh	(кг·доба)/мг	0,01	коефіцієнт канцерогенності для вдихання
SFing	(кг·доба)/мг	0,005	коефіцієнт канцерогенності для перорального шляху
SFext	(кг·доба)/мг	0,002	коефіцієнт канцерогенності для зовнішнього впливу

Розрахунок проміжних коефіцієнтів

- $f_{inh} = IR / BW = 20 \text{ м}^3/\text{доба} \div 70 \text{ кг} \approx 0,286 \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{доба})$
- $f_{ing} = CR / BW = 2 \text{ л}/\text{доба} \div 70 \text{ кг} \approx 0,0286 \text{ л}/(\text{кг} \cdot \text{доба})$
- $f_{ext} = 1$ (припускаємо, що вся речовина доступна для зовнішньої дії)
- $E = ET \cdot EF \cdot ED = 24 \text{ год}/\text{доба} \cdot 350 \text{ днів}/\text{рік} \cdot 30 \text{ років} = 252\,000 \text{ год} \cdot \text{днів} \cdot \text{років}$

Оскільки:

- $D_{inh} = C_{inh} \cdot f_{inh} \cdot E$
- $D_{ing} = C_{ing} \cdot f_{ing} \cdot E$
- $D_{ext} = C_{ext} \cdot f_{ext} \cdot E$

Стандартні умови для дорослої людини:

- тривалість життя та період усереднення (AT) = 70 років · 365 днів = 25 550 діб
- маса тіла (BW) = 70 кг
- частота експозиції (EF) = 350 днів/рік
- тривалість експозиції (ED) = 30 років

Таблиця 9. Приклади розрахованих доз

Шлях експозиції	Формула розрахунку	Значення D_i (mg/kg·доба)
Інгаляційний	$D_{inh} = (C_{inh} \cdot IR \cdot EF \cdot ED) / (BW \cdot AT)$ $= (0,05 \text{ mg}/\text{м}^3 \cdot 20 \text{ м}^3/\text{доба} \cdot 350 \text{ д}/\text{рік} \cdot 30 \text{ р}) / (70 \text{ кг} \cdot 25\,550 \text{ д})$	0,0059
Пероральний	$D_{ing} = (C_{ing} \cdot CR \cdot EF \cdot ED) / (BW \cdot AT)$ $= (0,01 \text{ mg}/\text{л} \cdot 2 \text{ л}/\text{доба} \cdot 350 \cdot 30) / (70 \cdot 25\,550)$	0,00012
Зовнішній	$D_{ext} =$ (припущений середній вплив)	0,0010

Пояснення: для D_{ext} можна використовувати різні підходи (через шкіру, контакт із ґрунтом тощо). Тут наведено орієнтовне значення.

Таблиця 1. Дані щодо деяких індикаторних видів

Трофічний рівень	Група	Загальна назва	Латинська назва	Стація	C _{biota} , Бк/кг	CR (кг·L ⁻¹)	Примітка
Продуценти	Фітопланктон	Зелений фітопланктон	Scenedesmus sp.	1	160	13.3	Високий темп росту
	Макрофіти	Канадський елодей	Elodea canadensis	1	210	17.5	Накопичує вегетативні тканини
Консументи I рівня	Молюски	Прісноводна дрейсена	Dreissena polymorpha	1	820	68.3	Фільтратор із високим CR
	Донні комахи	Комаха-личинка трубочника	Hydropsyche sp.	1	450	37.5	Живиться детритом із дна
Консументи II рівня	Рибоїдні риби	Короп звичайний	Cyprinus carpio	1	420	35.0	Поширений, високий радіобіоакум.
	Птахи-щурки (рибоїдні)	Корморана велика	Phalacrocorax carbo	1	310	25.8	Хижак із вищою біомагістрацією

Таблиця 2. Концентрації Cs-137 у харчових ланцюгах

Трофічний рівень	Вид (латинська назва)	Стація	C _{water} , Bq/L	C _{biota} , Bq/kg dry	CR (кг·L ⁻¹)
Фітопланктон	Scenedesmus sp.	1	12	150	12.5
Макрофіти	Elodea canadensis	1	12	200	16.7
Безхребетні (молюск)	Dreissena polymorpha	1	12	800	66.7
Риба трав'яїдна	Cyprinus carpio	1	12	400	33.3
Риба хижа	Perca fluviatilis	1	12	350	29.2
Птах (водяна чапля)	Ardea alba	1	12	300	25.0

Таблиця 3. Концентрації у харчових ланцюгах (стація 1)

Трофічний рівень	Вид (латинська назва)	Радіонуклід	C _{water} , Bq/L	C _{biota} , Bq/kg dry	CR, kg·L ⁻¹
Продуценти	<i>Scenedesmus</i> sp.	Cs-137	12	150	12.5
		Sr-90	8	80	10.0
Продуценти	<i>Elodea canadensis</i>	Cs-137	12	200	16.7
		Sr-90	8	120	15.0
Консументи I рівня	<i>Dreissena polymorpha</i>	Cs-137	12	800	66.7
		Sr-90	8	600	75.0
Консументи I рівня	<i>Hydropsyche</i> sp.	Cs-137	12	450	37.5
		Sr-90	8	300	37.5
Консументи II рівня	<i>Cyprinus carpio</i>	Cs-137	12	400	33.3
		Sr-90	8	250	31.3
Консументи II рівня	<i>Phalacrocorax carbo</i>	Cs-137	12	300	25.0
		Sr-90	8	220	27.5

Примітка. Для повного аналізу аналогічну таблицю слід скласти для стацій 2 та 3, а також за іншим радіонуклідами (наприклад I-131). Також рекомендується додати стовпці з середніми значеннями та стандартними відхиленнями для кожної комбінації «вид–стація».

Таблиця 1. Коефіцієнти переходу (TF) радіонуклідів ґрунт → рослина

Радіонуклід	Культура / Рослина	TF (Ґрунт → Рослина)	Джерело
¹³⁷ Cs	Пшениця	0.01 – 0.43	Springer, 2015
¹³⁷ Cs	Верес (<i>Calluna vulgaris</i>)	до 33.38	Science Publishing Group, 2021
⁹⁰ Sr	Пшениця	0.57 – 11.2	Springer, 2015
⁹⁰ Sr	Брусниця (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	до 9.27	Science Publishing Group, 2021
¹³¹ I	Капуста, салат, шпинат	~0.1 – 0.5 (оцінка)	IAEA TECDOC-1497

Пояснення: Значення TF сильно залежать від типу ґрунту, вологості, кислотності, виду рослини та агротехнічних умов.

- Для ¹³⁷Cs TF зростає на ґрунтах з високим вмістом глини та низьким рівнем калію.
- Для ⁹⁰Sr важливим фактором є наявність кальцію та кислотність ґрунту.
- ¹³¹I має короткий період напіврозпаду (8 днів), тому його TF оцінюється переважно в умовах аварійного викиду.

Таблиця 2. Вхідні коефіцієнти переходу (TF)

Радіонуклід	TF ґрунт → конюшина	TF конюшина → молоко	TF молоко → людина
¹³⁷ Cs	0.05	0.05	0.1
⁹⁰ Sr	0.15	0.1	0.2
¹³¹ I	0.25	0.3	0.3

Пояснення: значення TF узагальнені на основі літературних даних (IAEA, Springer, SPG).