

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/325314113>

# Radioecology: Laboratory Practicum for the Preparation of "Bachelor" Educational Level the Specialty 101 Ecology

Book · April 2018

CITATIONS

0

1 author:



Ihor Lapyga

National Pedagogical Dragomanov University

25 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Лапига І. В.

# РАДІОЕКОЛОГІЯ

Лабораторний практикум



Київ – 2018

Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова  
Факультет природничо-географічної освіти та екології  
Кафедра екології

Лапига І. В.

# **РАДІОЕКОЛОГІЯ**

Лабораторний практикум  
для підготовки освітнього рівня бакалавр  
за спеціальністю 101 Екологія

Київ – 2018

**УДК 574:539.16(076.5)**

Рекомендовано Вченою Радою Факультету природничо-географічної освіти та екології НПУ імені М. П. Драгоманова як навчальний посібник для студентів спеціальності 101 Екологія (протокол № 4 від 01.02.2018 р.).

**Рецензенти:** Бровдій В. М., доктор біологічних наук, професор кафедри біології НПУ імені М. П. Драгоманова.

Межжерін С. В., доктор біологічних наук, професор, завідувач Відділу еволюційно-генетичних основ систематики Інституту зоології імені І. І. Шмальгаузена НАН України.

Лапига І. В. Радіоекологія: лабораторний практикум / І. В. Лапига. – К: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2018. – 53 с.

Лабораторний практикум “Радіоекологія” розроблено для підготовки освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 101 Екологія, денної і заочної форм навчання. В посібнику розміщено навчальний матеріал для проведення 9 лабораторних занять, згідно з типовою навчальною програмою курсу. В межах кожної теми заняття практичні завдання спрямовані на закріплення у студентів засвоєного теоретичного курсу та розвиток практичних умінь і навичок опрацювання даних, що застосовуються в радіоекологічних дослідженнях.

© Лапига І. В., 2018

© Видавництво НПУ імені М. П. Драгоманова, 2018

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
Лабораторна робота № 1. Прогнозування радіоактивних перетворень ядра .....	5
Лабораторна робота № 2. Прогнозування змін активності радіонуклідів .....	9
Лабораторна робота № 3. Основні дозиметричні показники опромінення та одиниці їх вимірювання .....	13
Лабораторна робота № 4. Вимірювання фону γ-випромінювання на відкритих ділянках місцевості .....	17
Лабораторна робота № 5. Прогнозування радіаційно- екологічного стану атмосферного повітря .....	19
Лабораторна робота № 6. Прогнозування радіаційно- екологічного стану ґрунтів.....	25
Лабораторна робота № 7. Прогнозування міграції радіонуклідів у рослин .....	30
Лабораторна робота № 8. Прогнозування міграції радіонуклідів у тварин.....	35
Лабораторна робота № 9. Прогнозування ризиків радіаційного впливу на людину .....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	45
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ДОДАТКИ.....	47

## ВСТУП

На сучасному етапі реформування вищої освіти в Україні від вищих навчальних закладів вимагається підвищення якості підготовки фахівців різних спеціальностей, зокрема, бакалаврів екологів, здатних на основі глибоких теоретичних знань, практичних умінь і навичок самостійно розв'язувати складні практичні завдання екологічних досліджень.

Одним із актуальних екологічних досліджень є виявлення впливу атомної енергетики на функціонування екологічних систем та здоров'я людини. Розвиток ядерної енергетики, збільшення активності використання джерел іонізуючих випромінювань у промисловості, медицині і науці, зумовлюють підвищення концентрації радіонуклідів та сумарного радіоактивного фону у довкіллі. У випадку значного зростання радіоактивного фону можуть виникати загрози для функціонування і відновлення екологічних систем та здоров'я людини. Зважаючи на це, важливо щоб майбутні фахівці екологічних спеціальностей не тільки володіли практичними навичками та вміннями вимірювання, моніторингу показників радіоактивних забруднень, але й вміннями прогнозування ризиків впливу іонізуючих випромінювань на живі організми. Такі практичні навички і вміння формуються на лабораторних заняттях з навчальної дисципліни “Радіоекологія”, яка передбачена навчальним планом підготовки бакалавра за спеціальністю 101 Екологія в НПУ імені М. П. Драгоманова.

Для опанування навчальної дисципліни “Радіоекологія” студенти повинні володіти знаннями з екології, гістології, фізики, хімії та інших природничих дисциплін. В умовах збільшення кількості лекцій та лабораторних робіт з “Радіоекології”, які за навчальним планом винесені на самостійне опрацювання для студентів, загострились проблеми формування практичних професійно значущих умінь і навичок студентів на лабораторних заняттях. Виникнення труднощів у розв'язанні практичних завдань у студентів пов'язане також з недостатньою кількістю україномовної навчально-методичної літератури, призначеної для проведення лабораторних занять з навчальної дисципліни “Радіоекологія”.

Зважаючи на вище зазначене, розроблений лабораторний практикум з навчальної дисципліни “Радіоекологія” сприятиме вирішенню згаданих навчальних проблем.

У практикумі розміщені відповідно до навчального плану 9 тем лабораторних занять з теоретичним матеріалом, практичними завданнями, обчислювальними формулами, контрольними запитаннями. Вони забезпечують системність формування та розвитку у студентів умінь і практичних навичок, які застосовуються в радіоекологічних дослідженнях.

## Лабораторна робота № 1

### Тема: Прогнозування радіоактивних перетворень ядра

**Мета:** оволодіти способами і методами обчислення елементів в ланцюгу радіоактивних перетворень та визначення радіоактивних частинок в рівняннях ядерних перетворень.

**Завдання:** сформулювати і закріпити практичні уміння та навички обчислення елементів в ланцюгу радіоактивних перетворень, а також визначення радіоактивних частинок в рівняннях ядерних перетворень, що використовуються в екологічних дослідженнях.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо вивчити теоретичні основи радіоактивних перетворень ядра та його складових, які розкриті в конспекті лекцій та інших рекомендованих наукових джерелах. Крім цього, повторити періодичну систему хімічних елементів Менделєєва. З метою запобігання появі помилок в обчисленнях, рекомендується використовувати на заняттях комп'ютерний прикладний програмний засіб Excel.

#### Основні теоретичні положення

Атом складається з ядра, навколо якого рухаються електрони по стаціонарним орбіталям (оболонкам). Оскільки у ядра заряд плюс, а у електронів – мінус, атом має нейтральний заряд. У ядрі кількість протонів дорівнює кількості електронів в орбіталях. Кількісне значення протонів у ядрі визначає приналежність атома до певного хімічного елементу. Ядра атомів одного і того ж елементу завжди мають однакове число протонів, але кількість нейтронів може бути різною. Наприклад, Уран-238 має 92 протони і 146 нейтронів, а Уран-235 при такій же кількості протонів, має 143 нейтрони. Ядра всіх ізотопів хімічного елементу утворюють нуклід. Нуклідами називають різновиди атомів з даним масовим числом та атомним номером. На відміну від нуклідів, ізотопи є атомами одного і того ж елементу, з різними масовими числами [1].

Альфа-випромінювання полягає у викиданні ядром двох протонів ( $p$ ) і двох нейтронів ( $n$ ):



Для зручності обчислень,  $\alpha$ -розпад відображають рівнянням:



де:

$A$  – масове число радіонукліду;

$Z$  – атомний номер елементу (заряд ядра);

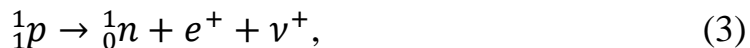
$X$  – літера скороченої назви вихідного ядра;

$Y$  – літера скороченої назви ядра продукту розпаду;

$\text{He}$  – ядро Гелію;

$Q$  – надлишок енергії (випромінюється у вигляді  $\gamma$ -кванту) [2].

Бета-випромінювання є потоком електронів або позитронів (подібних до електронів частинок, але з плюсовим зарядом). При  $\beta$ -випромінюванні разом з позитроном може випромінюватись нейтрино ( $\nu^+$ ):



або разом з електроном – антинейтрино ( $\nu^-$ ):



де:

$p$  – протон;

$n$  – нейтрон;

$e^+$  – позитрон;

$\nu^+$  – нейтрино;

$e^-$  – електрон;

$\nu^-$  – антинейтрино [2].

*Електронний бета-мінус розпад* характеризується тим, що атомний номер елементу (заряд ядра) збільшується на одиницю, а масове число залишається без змін, тобто дочірній елемент переходить на позицію праворуч від вихідного в періодичній таблиці хімічних елементів (додаток 1). При прогнозуванні даного радіоактивного розпаду, перетворення відображаються рівнянням [2]:



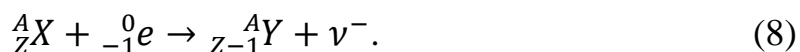
*Позитронний бета-плюс розпад* характеризується тим, що атомний номер елементу (заряд ядра) зменшується на одиницю, а масове число залишається без змін, тому дочірній елемент переходить на позицію ліворуч від вихідного в періодичній таблиці хімічних елементів (див. додаток 1). При прогнозуванні даного радіоактивного розпаду, перетворення відображаються рівнянням:



Електронне захоплення ( $k$ -захоплення) полягає в перетворенні ядра, коли один із протонів ядра захоплює електрон з одної із найближчих до нього оболонок (переважно з  $k$ -оболонки) та перетворюється на нейтрон [2]:



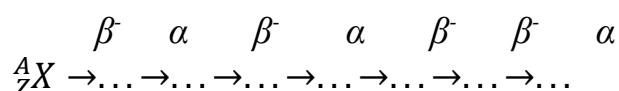
Порядковий номер дочірнього ядра стає на одиницю менше порядкового номеру вихідного ядра, а масове число не змінюється [2]:



Вивільнене електроном в  $k$ -оболонці місце займає інший електрон з віддалених від ядра оболонок. В результаті такого переходу, атом випромінює енергію у вигляді характеристичних рентгенівських променів. При цьому, заряд атома зберігається нейтральним, оскільки кількість протонів в ядрі при захопленні електрону також зменшується на одиницю [2].

**Порядок виконання роботи:** насамперед ознайомтесь з основними теоретичними положеннями і формулами обчислення елементів в ланцюгу радіоактивних перетворень та визначення радіоактивних частинок в рівняннях ядерних перетворень. Після цього самостійно розв'яжіть нижче зазначені завдання. Порядок виконання кожного лабораторного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт.

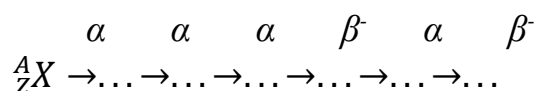
**Завдання 1.** Визначте елементи в ланцюгу радіоактивних перетворень, використовуючи вище зазначені формули, дані таблиці 1 та періодичну таблицю хімічних елементів (див. додаток 1):



Таблиця 1

	Варіанти							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>X</i>	U	Po	Th	Fm	Er	Pr	Gd	Sm
<i>A</i>	233	220	232	262	178	148	164	152
<i>Z</i>	92	84	90	100	68	59	64	62

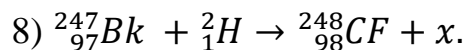
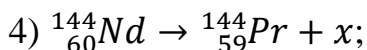
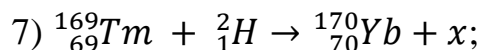
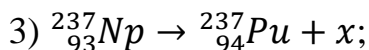
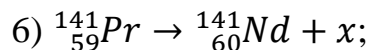
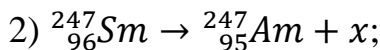
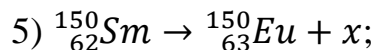
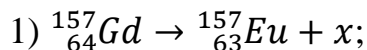
**Завдання 2.** Визначте елементи в ланцюгу радіоактивних перетворень за даними таблиці 2, використовуючи вище зазначені формули та періодичну таблицю хімічних елементів (див. додаток 1):



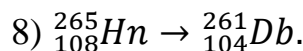
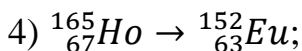
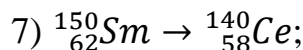
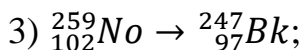
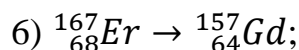
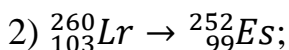
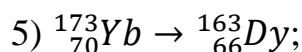
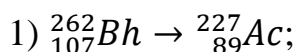
Таблиця 2

	Варіанти							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>X</i>	Cm	Tb	Lr	Dy	Ho	Yb	Nd	Eu
<i>A</i>	253	165	261	167	161	175	147	153
<i>Z</i>	96	65	103	66	67	70	60	63

Завдання 3. Визначте частинку (x) (елемент) і тип розпаду в запропонованих рівняннях ядерних перетворень, використовуючи вище зазначені формули та періодичну таблицю хімічних елементів (див. додаток 1):



Завдання 4. Визначте кількість  $\alpha$ - та  $\beta$ -частинок, які утворюються при наступних ядерних перетвореннях, використовуючи вище зазначені формули та періодичну таблицю хімічних елементів (див. додаток 1):



**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** проаналізуйте характерні відмінності методів обчислення елементів в ланцюгу радіоактивних перетворень, а також визначення радіоактивних частинок в рівняннях ядерних перетворень. До кожного завдання висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт. Захист роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в зошиті всіх розв'язаних завдань і висновків.

**Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:**

1. Основні структурні складові атома, їх розташування та заряд.
2. Що називають нуклідами та чим вони відрізняються від ізотопів?
3. Охарактеризуйте фізичні властивості ізотопів.
4. Вкажіть складові  $\alpha$ -частинки та охарактеризуйте їх властивості.
5. Вкажіть складові  $\beta$ -частинки та охарактеризуйте їх властивості.
6. В чому полягає електронне  $k$ -захоплення при перетворенні ядра?
7. Як виникає  $\gamma$ -випромінювання та його фізичні властивості?
8. Який тип радіоактивного розпаду зумовлює випромінювання  $\gamma$ -квантів?
9. Назвіть умови, за яких атом може випромінювати видиме світло та наслідки цього процесу.
10. Розкрийте фізичні властивості фотонів при  $\gamma$ -випромінюванні.

## Лабораторна робота № 2

### Тема: Прогнозування змін активності радіонуклідів

**Мета:** оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування змін активності та кількості радіонуклідів за певний проміжок часу.

**Завдання:** сформулювати і закріпити практичні уміння та навички обчислення змін активності, кількості радіонуклідів за певний проміжок часу, що використовуються в екологічних дослідженнях.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо вивчити теоретичні основи процесів спонтанного перетворення атомних ядер, змін кількості радіонуклідів за певний проміжок часу, які розкриті в конспекті лекцій та інших рекомендованих наукових джерелах. З метою запобігання появи помилок в обчисленнях, рекомендується використовувати на лабораторному занятті комп'ютерний прикладний програмний засіб Excel.

#### **Основні теоретичні положення**

Речовину, в складі якої є радіоактивні нукліди, називають радіоактивною. В результаті атомних радіоактивних перетворень можуть виникати заряджені і незаряджені частинки. Ядра радіонуклідів можуть випромінювати частинки з різною енергією. Наприклад, фотони ядерного походження називають  $\gamma$ -квантами, а сформоване ними випромінювання  $\gamma$ -випромінюванням [1].

Радіоактивністю називають спонтанне перетворення атомних ядер, яке зумовлює зміну їх атомного номеру і масового числа. Кількість будь-якого радіоактивного ізотопу з часом зменшується внаслідок радіоактивного розпаду (перетворення) ядер. Для кожного радіоактивного ізотопу середня швидкість розпаду його атомів є постійною. Постійна радіоактивного розпаду ( $\lambda$ ) для певного ізотопу, показує ймовірність розпаду атому за одну секунду. Обсяг часу, протягом якого активність (кількість радіоактивних ядер) зменшується вдвічі *називається періодом напіврозпаду*. По завершенні періоду напіврозпаду залишається половина первинного числа радіоактивних ядер, а після подвійного періоду – їх кількість зменшується до  $1/4$ . Період напіврозпаду радіонуклідів варіює в межах від  $10^{-7}$  до  $10^{11}$ . Між постійною радіоактивного розпаду і періодом напіврозпаду ядра існує зворотний зв'язок, який відображається рівнянням:

$$\lambda = 0,693 / T_{1/2} , \quad (9)$$

де:

$\lambda$  – постійна радіоактивного розпаду ( $\text{с}^{-1}$ );

$T_{1/2}$  – період напіврозпаду (діб),  $T_{1/2} = 0,693 / \lambda$  [3].

Активність нукліду характеризується кількістю радіоактивних атомних розпадів за одиницю часу. Її значення прямо пропорційне кількості атомів радіоактивної речовини:

$$A = \lambda \cdot N, \quad (10)$$

де:

$A$  – активність нукліду (Бк);

$\lambda$  – постійна радіоактивного розпаду ( $\text{с}^{-1}$ );

$N$  – кількість атомів [1].

Концентрація радіоактивної речовини характеризується її активністю, яка відображається в одиницях активності на одиницю маси (питома активність), на одиницю об'єму (об'ємна активність) або на одиницю площі (площинна активність). Зниження концентрації радіонукліду з часом є наслідком процесу ядерного розпаду, який характеризується потенціальною залежністю. Цю залежність називають *основним законом радіоактивного розпаду*. Системною одиницею виміру активності нукліду є Беккерель (Бк), а позасистемною одиницею Кюрі (Кі). Один радіоактивний розпад за секунду = 1 Бк =  $2,7 \cdot 10^{-11}$  Кі. Один Кі =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк [2].

Активність нукліду через  $t$ -час обчислюється за формулою:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}}, \quad (11)$$

де:

$A_t$  – активність нукліду через  $t$ -час (Бк);

$A_0$  – активність радіонукліду в початковий момент спостереження ( $t=0$ );

$e$  – число Ейлера  $\approx 2,72$ ;

$t$  – обсяг часу, необхідний для зміни активності радіонукліду (с);

$T_{1/2}$  – період напіврозпаду (с) [4].

Кількість атомів нукліду через  $t$ -час ( $N_t$ ) обчислюється за формулою:

$$N_t = \frac{A_t}{\lambda}, \quad (12)$$

де:

$N_t$  – кількість атомів нукліду через  $t$ -час (Бк);

$A_t$  – активність нукліду через  $t$ -час, (Бк);

$\lambda$  – постійна радіоактивного розпаду ( $\text{с}^{-1}$ ) [4].

Для відображення постійної радіоактивного розпаду ( $\lambda$ ) в одиницях ( $\text{с}^{-1}$ ) системи СИ, при обчисленні кількості атомів ( $N$ ), використовується формула:

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}, \quad (13)$$

де:

$\lambda$  – постійна радіоактивного розпаду ( $\text{с}^{-1}$ );

$\ln(2) = 0,693$ ;

$T_{1/2}$  – період напіврозпаду (діб) [4].

**Порядок виконання роботи:** насамперед ознайомтесь з основними теоретичними положеннями і формулами обчислення змін активності та кількості радіонуклідів з часом. Після цього самостійно розв'яжіть нижче зазначені завдання. Порядок виконання кожного лабораторного завдання, результати обчислень та висновки відобразіть у зошитах для лабораторних робіт.

**Завдання 1.** Визначте активність ( $A_t$ ) радіонукліду ( $x$ ) з періодом напіврозпаду ( $y$ ) та початковою активністю ( $A_0$ ), через  $t$ -час, використовуючи варіанти даних таблиці 3. Порівняйте зміни активності радіонуклідів з відносно короткотривалим і довготривалим періодами напіврозпаду.

Таблиця 3

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6	Варіант 7
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8
Радіонуклід ( $x$ )	$^{95}\text{Zr}$	$^{242}\text{Cm}$	$^{14}\text{C}$	$^{249}\text{Bk}$	$^{227}\text{Th}$	$^{254}\text{Es}$	$^{252}\text{Cf}$
Початкова активність ( $A_0$ ), Бк	1012	934	1347	1721	1289	1148	1588
$t$ -час після розпаду	22 доби	89 діб	701 рік	95 діб	7 діб	232 доби	2,1 роки
Період напіврозпаду ( $y$ )	64,05 Діб	163 доби	5760 років	314 діб	18,2 доби	276 діб	2,65 роки

**Завдання 2.** Використовуючи варіанти даних таблиці 4, визначте кількість атомів ( $N_t$ ) радіонукліду ( $x$ ) з періодом напіврозпаду ( $y$ ) через  $t$ -час. Порівняйте зміни кількості атомів у радіонуклідів з відносно короткотривалим і довготривалим періодами напіврозпаду.

Таблиця 4

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6	Варіант 7
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8
Радіонуклід ( $x$ )	$^{58}\text{Co}$	$^{144}\text{Ce}$	$^{106}\text{Ru}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{91}\text{Sr}$	$^{225}\text{Ra}$	$^{136}\text{Cs}$
Початкова активність ( $A_0$ ), Бк	975	1334	2167	1077	1800	1758	1217
$t$ -час після розпаду	212 діб	189 діб	75 діб	22 роки	3,7 годин	4 доби	8 діб
Період напіврозпаду ( $y$ )	267 Діб	284 доби	364 доби	30,12 років	9,7 годин	15 діб	13 діб

**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** шляхом порівняльного аналізу виявіть відмінності у змінах активності та кількості радіонуклідів з відносно короткотривалим і довготривалим періодами напіврозпаду за певний (вказаний у вашому варіанті) проміжок часу. До кожного завдання висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт. Захист лабораторної роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в зошиті всіх розв'язаних завдань і висновків.

***Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:***

1. Що називають радіоактивністю?
2. Розкрийте зміст поняття “активність нукліду”.
3. Що відображає показник постійної радіоактивного розпаду?
4. Назвіть системні та позасистемні одиниці виміру активності нукліду.
5. Розкрийте зміст основного закону радіоактивного розпаду.
6. Що називають періодом напіврозпаду радіонукліду?
7. Назвіть чим характеризується концентрація радіоактивної речовини.
8. На основі якого показника характеризується концентрація радіоактивної речовини?
9. Як називається системна одиниця вимірювання одного ядерного перетворення за одну секунду?
10. Як називається позасистемна одиниця вимірювання одного ядерного перетворення за одну секунду?

### Лабораторна робота № 3

#### **Тема: Основні дозиметричні показники опромінення та одиниці їх вимірювання**

**Мета:** оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування показників експозиційної, поглинутої та еквівалентної доз опромінення.

**Завдання:** сформулювати і закріпити практичні уміння та навички обчислення показників експозиційної, поглинутої та еквівалентної доз опромінення, що використовуються в екологічних дослідженнях.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо вивчити теоретичні основи формування показників експозиційної, поглинутої та еквівалентної доз опромінення за певний проміжок часу, які розкриті в конспекті лекцій та інших рекомендованих наукових джерелах. З метою запобігання появи помилок в обчисленнях дозиметричних величин, рекомендується використовувати на лабораторному занятті комп'ютерний прикладний програмний засіб Excel.

#### **Основні теоретичні положення**

У радіоекологічних дослідженнях серед дозиметричних показників найбільше використовуються: експозиційна доза, потужність експозиційної дози, поглинута доза, еквівалентна доза, інтенсивність випромінювання, щільність потоку частинок, коефіцієнт якості випромінювання, відносна біологічна ефективність опромінення [1]. Розглянемо особливості обчислення деяких з них.

Експозиційна доза (ЕД) відображає ступінь іонізації сухого повітря за нормальних кліматичних умов, зокрема, при температурі атмосферного повітря 0 °С і тиску 760 мм ртутного стовпчика. Системною одиницею експозиційної дози є Кулон на кілограм (Кл/кг). Один Кл/кг дорівнює експозиційній дозі, при якій всі електрони і позитрони, що вивільнені фотонами в об'ємі повітря масою 1кг, утворюють іони з зарядом 1 Кл кожного знаку. Позасистемною одиницею експозиційної дози є Рентген (Р).  $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ , а  $1 \text{ Кл/кг} \approx 3,876 \cdot 10^3 \text{ Р}$ . При 1 Р в 1 см<sup>3</sup> повітря іонізуючим опроміненням утворюється близько  $2,08 \cdot 10^9$  пар іонів [1].

Потужність експозиційної дози (ПЕД)  $\gamma$ -випромінювання прямо пропорційна активності радіонукліду і енергії квантів, та обернено пропорційна квадрату відстані від детектору до джерела випромінювання. ПЕД обчислюється за формулою:

$$MD = \frac{G_{\sigma} \cdot A}{R^2}, \quad (14)$$

де:

$MD$  – потужність експозиційної дози (А/кг);

$G_{\sigma}$  –  $\gamma$ -постійна для радіонукліду ( $\text{Р} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$ );

$A$  – активність радіонукліду (Бк);

$R$  – відстань від детектора до джерела випромінювання (см) [4].

Поглинута доза (ПД) відображає енергію будь-якого виду іонізуючого випромінювання, яка передана опроміненій речовині. Системною одиницею вимірювання поглинutoї дози є Грей (Гр). 1 Гр = енергії 1 Дж = 100 рад будь-якого виду іонізуючого випромінювання, яка передана опроміненій речовині масою 1 кг. Позасистемною одиницею вимірювання поглинutoї дози є Рад. 1 Рад = 0,01 Гр =  $1 \cdot 10^{-2}$  Дж/кг. Поглинута доза обчислюється за формулою:

$$D_{rad} = X \cdot f, \quad (15)$$

де:

$D_{rad}$  – поглинута доза (Рад),

$X$  – експозиційна доза в цій точці (Кл / кг),

$f$  – перехідний коефіцієнт [4].

Числове значення перехідного коефіцієнту ( $f$ ) залежить від енергії випромінювання, виду поглинаючої тканини (атомного номера і щільності), відстані від детектора до джерела. Для води і м'яких тканин тваринного організму значення цього коефіцієнту становить 0,93 (заокруглено 1), для кісткової тканини – 2-5 Рад / Р [2].

Еквівалентна доза (ЕД) відображає відносну біологічну ефективність випромінювання. Системною одиницею еквівалентної дози є Зіверт (Зв). При дозі 1 Зв виникає біологічний ефект, подібний до дози 1 Гр. Системною одиницею обчислення потужності еквівалентної дози є Зв/с. Позасистемною одиницею вимірювання еквівалентної дози є Бер. При обчисленні еквівалентної дози необхідно пам'ятати, що 1 Бер =  $10^{-2}$  Зв. Еквівалентна доза обчислюється за формулою:

$$H = D_{rad} \cdot W_R, \quad (16)$$

де:

$H$  – еквівалентна доза опромінення (Зв),

$D_{rad}$  – поглинута доза опромінення (Рад),

$W_R$  – зважений коефіцієнт для даного виду опромінення [1].

*Зважений коефіцієнт* ( $W_R$ ) даного виду опромінення показує в скільки разів ефективність біологічної дії даного виду випромінювання перевищує рентгенівське або  $\gamma$ -випромінювання, при однаковій поглинутій дозі в тканинах.

**Порядок виконання роботи:** насамперед ознайомтесь з основними теоретичними положеннями і формулами обчислення показників експозиційної, поглинutoї та еквівалентної доз опромінення. Після цього самостійно розв'яжіть нижче зазначені завдання. Порядок виконання кожного лабораторного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт.

Завдання 1. Обчисліть потужність експозиційної дози в атмосферному повітрі, а також експозиційну дозу за 12 годин опромінення на відстані ( $R$ ) 3-5 та

120 см. Перетворіть отримані результати обчислень в показники поглинутої дози, використовуючи дані таблиць 5 та 6.

Таблиця 5

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
<i>I</i>	2	3	4	5
Радіонуклід (x)	<sup>58</sup> Co	<sup>144</sup> Ce	<sup>106</sup> Ru	<sup>137</sup> Cs
Активність радіонукліду (z) (Бк)	3000	2000	5000	7000
Гамма постійна (G <sub>б</sub> )	0,000000443	0,000000758	0,000000248	0,000000651
Перехідний коефіцієнт (f)	2	3	2	4

Таблиця 6

	Варіант 5	Варіант 6	Варіант 7	Варіант 8
<i>I</i>	2	3	4	5
Радіонуклід (x)	<sup>91</sup> Sr	<sup>225</sup> Ra	<sup>136</sup> Cs	<sup>65</sup> Ge
Активність радіонукліду (z) (Бк)	4000	9000	12000	11000
Гамма постійна (G <sub>б</sub> )	0,000000328	0,000000179	0,000000572	0,000000282
Перехідний коефіцієнт (f)	3	5	4	2

Завдання 2. Обчисліть еквівалентну дозу опромінення (H) на основі даних таблиці 7.

Таблиця 7

Об'єкт опромінення	Зважений коефіцієнт, (W <sub>R</sub> )	Поглинута доза опромінення, D <sub>rad</sub> (Рад)
<i>I</i>	2	3
Шкіра	0,01	3
Кістковий червоний мозок	0,12	24
Легені	0,12	11

Продовження таблиці 7

1	2	3
Стравохід	0,05	8
Шлунок	0,12	18
Печінка	0,05	7
Нирки	0,01	4
Товстий кишечник	0,12	10
Інші органи	0,01	5

**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** проаналізуйте показники експозиційної, поглинутої і еквівалентної доз опромінення та розкрийте особливості їх застосування в екологічних дослідженнях. Порядок розв'язання кожного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт. Захист лабораторної роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в зошиті всіх розв'язаних завдань і висновків.

**Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:**

1. Що називають експозиційною дозою опромінення?
2. Яка системна одиниця використовується для вимірювання експозиційної дози?
3. Яка позасистемна одиниця використовується для вимірювання експозиційної дози опромінення?
4. Що називають поглинутою дозою опромінення?
5. Яка системна одиниця використовується для вимірювання поглинутої дози опромінення?
6. Яка позасистемна одиниця використовується для вимірювання поглинутої дози опромінення?
7. Що називають еквівалентною дозою опромінення?
8. На що вказує зважений коефіцієнт при обчисленні еквівалентної дози опромінення?
9. Яка системна одиниця використовується для вимірювання еквівалентної дози опромінення?
10. Яка позасистемна одиниця використовується для вимірювання еквівалентної дози опромінення?

**Тема: Вимірювання фону  $\gamma$ -випромінювання на відкритих ділянках місцевості**

**Мета:** оволодіти способами і методами вимірювання фону  $\gamma$ -випромінювання відкритих ділянок місцевості дозиметром МКС-05 «ТЕРРА-П».

**Завдання:** сформувати і закріпити практичні уміння та навички використання дозиметру ТЕРРА-П для визначення потужності еквівалентної дози опромінення на відкритих ділянках місцевості.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо ознайомитись з теоретичними основами (інструкцією) використання дозиметру МКС-05 «ТЕРРА-П». Крім цього, у кожного студента повинен бути окремий дослідницький журнал (зошит обсягом 12 аркушів), в якому будуть записуватись і зберігатись всі значення вимірювань та інша важлива для подальшого аналізу інформація.

**Основні теоретичні положення**

Провідна роль у формуванні природного радіоактивного фону належить радіонуклідам, які є складовими гірських порід:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  та елементам двох радіоактивних родин  $^{238}\text{U}$  та  $^{232}\text{Th}$ . В результаті  $\alpha$ - і  $\beta$ -розпадів ядер природних і штучних радіонуклідів виникає короткохвильове електромагнітне випромінювання, яке поширюється в просторі зі швидкістю світла та енергією 0,01-3 МеВ. Для  $\gamma$ -квантів характерні відсутність маси спокою (тому вони існують лише в русі) та електричного заряду (тому в електричному і магнітному полях вони не відхиляються) [3]. Зважаючи на це,  $\gamma$ -кванти можуть формувати потужний фон, небезпечний для живих організмів.

Для людини нормальний фон  $\gamma$ -випромінювання становить  $\approx 0,1$  мкЗв / год, а максимально допустимий фон  $\gamma$ -випромінювання  $\approx 0,3$  мкЗв / год [5, 6]. Вимірювання фону  $\gamma$ -випромінювання здійснюється із застосуванням дозиметрів МКС-05 «ТЕРРА-П», ДКС-96 (додатки 2, 3) та інших.

**Порядок виконання роботи**

1. Ознайомтесь з теоретичними основами (інструкцією) використання дозиметру МКС-05 «ТЕРРА-П», послідовністю дій при вимірюванні потужності еквівалентної дози опромінення (див. додаток 2).
2. Виберіть ділянки на відкритій місцевості, де планується здійснювати вимірювання потужності еквівалентної дози опромінення.
3. На кожній вибраній ділянці розміром 5х5 метрів окресліть периметр, діагоналі та позначте 4 точки по кутах периметру і 1 точку на перехресті діагоналей (всього 5 точок);
4. Визначте GPS координати кожної з 5 точок на ділянці;
5. Опишіть рельєф місцевості (наявність рослинності, будівель, ставка тощо), що оточує вибрану ділянку;

6. Визначте погодні умови (температуру і вологість повітря, ґрунту та інші показники);
7. В дослідницькому журналі накресліть карту-схему вибраної ділянки місцевості і відобразіть на ній вище зазначену описову інформацію;
8. На кожній вибраній ділянці, в 5 точках (4 по кутах і 1 в центрі) здійсніть в п'яти кратній повторюваності вимірювання потужності еквівалентної дози опромінення на висотах 5 см, 50 см, 150 см від поверхні ґрунту;
9. Результати вимірювань відобразіть в дослідницькому журналі у вигляді таблиці (додаток 4).
10. На основі табличних даних обчисліть та порівняйте середні значення фону  $\gamma$ -випромінювання кожної вибраної ділянки місцевості. Виявіть ділянки з мінімальним та максимальним значенням потужності еквівалентної дози опромінення. Висновки запишіть в дослідницький журнал.

**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** проаналізуйте динаміку показника фону  $\gamma$ -випромінювання кожної вибраної ділянки та кліматичних умов, рельєфу тощо. Виявіть можливий їх вплив на значення потужності еквівалентної дози опромінення. Порядок виконання лабораторної роботи, результати обчислень та висновки запишіть у дослідницький журнал (окремо виділений зошит). Захист лабораторної роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в дослідницькому журналі оформленої карти-схеми, заповненої таблиці і висновків.

**Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:**

1. Що називають еквівалентною дозою опромінення?
2. Яким радіонуклідам належить провідна роль у формуванні фону  $\gamma$ -випромінювання?
3. З якою швидкістю та енергією поширюються в просторі  $\gamma$ -кванти та їх проникна здатність?
4. Розкрийте екологічне значення  $\gamma$ -випромінювання в житті людини?
5. Яка системна одиниця використовується для вимірювання потужності дози опромінення?
6. Яка системна одиниця використовується для вимірювання фону  $\gamma$ -випромінювання?
7. Яке значення фону  $\gamma$ -випромінювання є нормальним для людини?
8. Яке значення фону  $\gamma$ -випромінювання є максимально допустимим для людини?
9. Розкрийте принцип роботи дозиметру МКС-05 «ТЕРРА-П».
10. Яку послідовність дій необхідно дотримуватись при вимірюванні потужності еквівалентної дози опромінення дозиметром МКС-05 «ТЕРРА-П».

## Лабораторна робота № 5

### Тема: Прогнозування радіаційно-екологічного стану атмосферного повітря

**Мета:** оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування показників радіаційно-екологічного стану атмосферного повітря.

**Завдання:** сформувати і закріпити практичні уміння та навички обчислення об'ємної активності радіонуклідів в повітрі, поверхневої активності радіонуклідів в ґрунті, дози зовнішнього  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінювання в середині хмари з радіоактивними газами, як основних показників радіаційно-екологічного стану атмосферного повітря.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо вивчити теоретичні основи процесів формування об'ємної активності радіонуклідів в повітрі, поверхневої активності радіонуклідів в ґрунті, дози зовнішнього  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінювання в середині хмари з радіоактивними газами, які розкриті в конспекті лекцій та інших рекомендованих наукових джерелах. З метою запобігання появи помилок в обчисленнях, рекомендується використовувати на лабораторному занятті комп'ютерний прикладний програмний засіб Excel.

#### Основні теоретичні положення

На радіаційно-екологічний стан навколишнього середовища впливають природні та штучні радіонукліди, які відрізняються активністю та періодом напіврозпаду.

Природні радіонукліди (ПРН) це радіоактивні ізотопи, які поширені в природних умовах і створені без втручання людини. Їх умовно поділяють на 2 групи:

- 1) Ізотопи стабільних хімічних елементів, які не належать до радіоактивних родин, це зокрема:  
 $^{40}\text{K}$  (з типом  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювань і  $T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$  років);  
 $^{144}\text{Nd}$  (з типом  $\alpha$ -випромінювання і  $T_{1/2} = 2,4 \cdot 10^{15}$  років) та інші.
- 2) Ізотопи нестабільних хімічних елементів, ядра яких зазнають поступового  $\alpha$ -розпаду, що зумовлює появу рядів (родин) інших радіонуклідів. Такими ізотопами є:  
 $^{238}\text{U}$  (з типом  $\alpha$ -випромінювання і  $T_{1/2} = 4,51 \cdot 10^9$  років);  
 $^{232}\text{Th}$  (з типом  $\alpha$ -випромінювання і  $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$  років) та інші [1].

Штучні радіонукліди (ШРН) це радіоактивні ізотопи, які створені людиною із застосуванням спеціальних технологій. Ці ізотопи характеризуються різним типом випромінювання та періодом напіврозпаду. Серед них в окремі групи виділяють радіонукліди, які утворились:

- безпосередньо в результаті поділу ядра з непарним масовим числом (тобто з надлишком нейтронів або протонів) та зазнали  $\beta$ -розпаду, наприклад,  
 $^{90}\text{Sr}$  (з типом  $\beta$ -випромінювання і  $T_{1/2} = 28,1$  років),  
 $^3\text{H}$  (з типом  $\beta$ -випромінювання і  $T_{1/2} = 12,3$  років);

- внаслідок захоплення ядрами стабільних хімічних елементів електронів, які вилетіли з інших ядер внаслідок ядерного поділу, наприклад,  
 $^{60}\text{Co}$  (з типом  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінюваннями і  $T_{1/2} = 5,26$  років),  
 $^{24}\text{Na}$  (з типом  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінюваннями і  $T_{1/2} = 14,8$  годин),  
 $^{59}\text{Fe}$  (з типом  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінюваннями і  $T_{1/2} = 45$  діб);
- внаслідок захоплення нейтронів ядрами Урану або Плутонію, які нездатні до розпаду, наприклад,  
 $^{241}\text{Am}$  (з типом  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінюваннями і  $T_{1/2} = 431$  рік),  
 $^{239}\text{Pu}$  (з типом  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінюваннями і  $T_{1/2} = 24400$  років) [1].

В прогнозуванні радіаційно-екологічного стану довкілля, зокрема, поширення радіонуклідів в атмосферному повітряному середовищі, застосовуються *гаусові моделі розсіювання*, враховуються значення показників активності, висоти, тривалості викидів, швидкості вітру, стану атмосфери і рельєфу земної поверхні. На їх основі обчислюється *метеорологічне розведення* ( $G$ ), яке відображає кратність зменшення початкової активності викидів в точках з координатами  $x, y, z$  на територіях поширення хмари радіоактивних опадів [1]. Виявлення доз радіоактивного забруднення здійснюється на основі результатів обчислення показників об'ємної активності радіонуклідів в повітрі та поверхневої активності в ґрунті.

Об'ємна активність радіонуклідів в повітрі обчислюється за формулою:

$$A_v = Q \cdot G, \quad (17)$$

де:

- $A_v$  – об'ємна активність радіонукліда в повітрі ( $\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$ );
- $Q$  – загальне значення активності викиду ( $\text{Бк}$ );
- $G$  – метеорологічне розведення ( $\text{с} \cdot \text{м}^{-3}$ ) [4].

Поверхнева активність радіонуклідів в ґрунті обчислюється за формулою:

$$A_s = A_v \cdot v_g, \quad (18)$$

де:

- $A_s$  – поверхнева активність радіонукліду в ґрунті ( $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ );
- $A_v$  – об'ємна активність радіонукліду в повітрі ( $\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$ );
- $v_g$  – швидкість осідання радіонуклідів з атмосфери на ґрунт ( $0,001-0,01 \text{ м/с}$ ) [1].

Результати обчислень за формулами 17 і 18, використовуються в подальшому, для виявлення значень показника зовнішнього опромінення в середині хмари радіоактивних викидів. Дозу опромінення при зовнішніх  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінюваннях оцінюють із застосуванням відповідних коефіцієнтів.

Доза зовнішнього  $\beta$ -опромінення в середині хмари з радіоактивними газами обчислюється за формулою:

$$D_v = A_v \cdot K_{v\beta}, \quad (19)$$

де:

(Зв);  $D_v$  – доза зовнішнього опромінення в середині хмари радіоактивних газів

$A_v$  – об'ємна активність радіонукліда в повітрі (Бк · с · м<sup>-3</sup>);

$K_{v\beta}$  – коефіцієнт дози  $\beta$  опромінення в середині хмари радіоактивних газів (Зв · м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup> · Бк<sup>-1</sup>) [1].

Доза зовнішнього  $\gamma$ -опромінення в середині хмари з радіоактивними газами обчислюється за формулою:

$$D_v = A_v \cdot K_{v\gamma}, \quad (20)$$

де:

(Зв);  $D_v$  – доза зовнішнього опромінення в середині хмари радіоактивних газів

$A_v$  – об'ємна активність радіонукліда у повітрі (Бк · с · м<sup>-3</sup>);

$K_{v\gamma}$  – коефіцієнт дози  $\gamma$  опромінення в середині хмари радіоактивних газів (Зв · м<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup> · Бк<sup>-1</sup>) [4].

Потужність еквівалентної дози опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту обчислюється за формулою:

$$H_s = A_s \cdot K_{s\gamma}, \quad (21)$$

де:

$H_s$  – потужність еквівалентної дози зовнішнього опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту (Зв · год<sup>-1</sup>);

$A_s$  – коефіцієнт дози  $\gamma$  опромінення (Зв · м<sup>2</sup> · г<sup>-1</sup> · Бк<sup>-1</sup>);

$K_{s\gamma}$  – об'ємна активність радіонукліда в повітрі (Бк · с · м<sup>-3</sup>) [4].

Потужність еквівалентної дози за час, що минув з моменту потрапляння радіонукліду на поверхню ґрунту обчислюється за формулою:

$$D_s(t) = H_s [1 - \exp(-\lambda_{eff} \cdot t)] \cdot \lambda_{eff}^{-1}, \quad (22)$$

де:

$D_s(t)$  – потужність еквівалентної дози за час, що минув з моменту потрапляння радіонукліду на поверхню ґрунту (Зв);

$H_s$  – потужність еквівалентної дози зовнішнього опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту (Зв · год<sup>-1</sup>);

$\lambda_{eff}$  – постійна розпаду пов'язана з радіоактивним розпадом і вертикальною міграцією радіонуклідів в глибші шари ґрунту (наближено дорівнює періоду напіврозпаду досліджуваного радіонукліду) (год<sup>-1</sup>);

$t$  – обсяг часу з моменту потрапляння радіонукліду на поверхню ґрунту (год<sup>-1</sup>) [4].

**Порядок виконання роботи:** насамперед ознайомтесь з основними теоретичними положеннями і формулами обчислення показників об'ємної активності радіонуклідів в повітрі, поверхневої активності радіонуклідів в ґрунті, дози зовнішнього  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінювання в середині хмари з радіоактивними газами. Після цього самостійно розв'яжіть нижче зазначені завдання. Порядок виконання кожного лабораторного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт.

**Завдання 1.** За даними таблиць 8 і 9 обчисліть об'ємну активність радіонуклідів в повітрі ( $A_v$ ), поверхневу активність радіонуклідів в ґрунті ( $A_s$ ), дози зовнішнього  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінювань в середині хмари з радіоактивними газами ( $D_v$ ), потужність еквівалентної дози опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту ( $H_s$ ).

Таблиця 8

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Радіонуклід ( <i>x</i> )	$^{58}\text{Co}$	$^{144}\text{Ce}$	$^{106}\text{Ru}$	$^{137}\text{Cs}$
Період напіврозпаду ( <i>y</i> )	267 діб	284 доби	364 доби	30,12 років
Активність викиду ( <i>Q</i> )	$1,12 \cdot 10^{-12}$	$1,17 \cdot 10^{-12}$	$1,11 \cdot 10^{-12}$	$1,15 \cdot 10^{-12}$
Відстань до джерела (м)	9000	4000	1500	500
Метеорологічне розведення ( <i>G</i> )	$1,72 \cdot 10^{-5}$	$1,68 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$	$1,85 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт дози ( $K_{v\beta}$ )	$2,39 \cdot 10^{-14}$	$2,43 \cdot 10^{-14}$	$2,48 \cdot 10^{-14}$	$2,53 \cdot 10^{-14}$
Коефіцієнт дози ( $K_{v\gamma}$ )	$4,24 \cdot 10^{-14}$	$4,22 \cdot 10^{-14}$	$4,19 \cdot 10^{-14}$	$4,27 \cdot 10^{-14}$
Коефіцієнт дози ( $K_{sy}$ )	$3,29 \cdot 10^{-13}$	$3,31 \cdot 10^{-13}$	$3,34 \cdot 10^{-13}$	$3,38 \cdot 10^{-13}$
Швидкість осідання (м/с)	0,003	0,004	0,002	0,001
<i>t</i> -час (год $^{-1}$ )	7584	7272	7349	7454
Постійна розпаду $\lambda_{eff}$ (год $^{-1}$ )	$3,12 \cdot 10^{-6}$	$3,28 \cdot 10^{-6}$	$3,22 \cdot 10^{-6}$	$3,17 \cdot 10^{-6}$

Таблиця 9

	Варіант 5	Варіант 6	Варіант 7	Варіант 8
1	2	3	4	5
Радіонуклід (x)	$^{91}\text{Sr}$	$^{225}\text{Ra}$	$^{136}\text{Cs}$	$^{140}\text{La}$
Період напіврозпаду (y)	9,7 годин	15 діб	13 діб	40,2 годин
Активність викиду (Q)	$1,29 \cdot 10^{-12}$	$1,27 \cdot 10^{-12}$	$1,22 \cdot 10^{-12}$	$1,18 \cdot 10^{-12}$
Відстань до джерела (м)	11000	7000	3400	2500
Метеорологічне розведення (G)	$1,93 \cdot 10^{-5}$	$1,89 \cdot 10^{-5}$	$1,87 \cdot 10^{-5}$	$1,83 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт дози ( $K_{v\beta}$ )	$2,67 \cdot 10^{-14}$	$2,61 \cdot 10^{-14}$	$2,56 \cdot 10^{-14}$	$2,58 \cdot 10^{-14}$
Коефіцієнт дози ( $K_{v\gamma}$ )	$4,37 \cdot 10^{-14}$	$4,33 \cdot 10^{-14}$	$4,29 \cdot 10^{-14}$	$4,22 \cdot 10^{-14}$
Коефіцієнт дози ( $K_{sy}$ )	$3,49 \cdot 10^{-13}$	$3,47 \cdot 10^{-13}$	$3,43 \cdot 10^{-13}$	$3,37 \cdot 10^{-13}$
Швидкість осідання (м/с)	0,004	0,003	0,002	0,001
t-час (год $^{-1}$ )	7677	7589	7521	7451
Постійна розпаду $\lambda_{eff}$ (год $^{-1}$ )	$3,39 \cdot 10^{-6}$	$3,32 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-6}$	$3,19 \cdot 10^{-6}$

**Завдання 2.** Обчисліть потужність еквівалентної дози опромінення ( $D_s(t)$ ) за t-час, що минув після радіоактивних викидів, використовуючи дані таблиць 8 та 9.

**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** проаналізуйте показники об'ємної активності радіонуклідів в повітрі, поверхневої активності радіонуклідів в ґрунті, дози зовнішнього  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінювань в середині хмари з радіоактивними газами та розкрийте характерні відмінності їх середніх значень. Порядок розв'язання кожного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт. Захист лабораторної роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в зошиті всіх розв'язаних завдань і висновків.

**Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:**

1. Що називають природними радіонуклідами?
2. На які групи поділяють природні радіонукліди?
3. Які ізотопи стабільних хімічних елементів не належать до радіоактивних родин?

4. Які ізотопи нестабільних хімічних елементів належать до радіоактивних родин?
5. Що називають штучними радіонуклідами?
6. На які групи поділяють штучні радіонукліди?
7. Назвіть показники, на основі яких обчислюється об'ємна активність радіонукліда в повітрі?
8. Назвіть показники, на основі яких обчислюється поверхнева активність радіонуклідів в ґрунті.
9. Назвіть показники, на основі яких обчислюється потужність еквівалентної дози зовнішнього опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту.
10. На основі яких показників здійснюється обчислення значень зовнішнього опромінення в середині хмари радіоактивних викидів?

**Тема: Прогнозування радіаційно-екологічного стану ґрунтів**

**Мета:** оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування показників радіаційно-екологічного стану ґрунтів.

**Завдання:** сформувати і закріпити практичні уміння та навички обчислення дифузійної та конвективної міграції радіонуклідів, як основних факторів радіаційно-екологічного стану ґрунтів.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо вивчити теоретичні основи процесів дифузійної та конвективної міграції радіонуклідів в ґрунті, які розкриті в конспекті лекцій та інших рекомендованих наукових джерелах. З метою запобігання появи помилок в обчисленнях, рекомендується використовувати на лабораторному занятті комп'ютерний прикладний програмний засіб Excel.

**Основні теоретичні положення**

На радіаційно-екологічний стан ґрунтів впливає багато різноманітних факторів, серед них основними є дифузія та вологе конвективне перенесення радіонуклідів.

Дифузійна міграція радіонуклідів – полягає у переміщенні радіонуклідів, які є іонами ґрунтового розчину, в напрямі градієнту активності (від більшої концентрації до меншої) [1].

Волога конвективна міграція радіонуклідів – полягає в переміщенні радіонуклідів разом з ґрунтовою вологою.

Дослідження міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунтів спрямовані на виявлення радіоактивного забруднення родючих шарів та ймовірності потрапляння радіонуклідів в нижні шари ґрунтових вод.

В польових умовах зразки ґрунту отримують застосуванням спеціальних трубчастих пробовідбірників. Отриманий в цих пробовідбірниках ґрунтовий керн ділять на окремі частини, які є зразками кожного шару досліджуваного вертикального профілю ґрунту. У кожній відокремленій частині (прошарку) ґрунту, визначають її активність і масу. Обчислення активності кожного шару ґрунту відображають у відносних одиницях і обчислюють за формулою:

$$q_i = \frac{AU_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n (AU_i \cdot m_i)}, \quad (23)$$

де:

$q_i$  – активність  $i$ -го шару ґрунту (відн. одиниць);

$AU_i$  – питома активність  $i$ -го шару ґрунту (Бк/кг<sup>-1</sup>);

$m_i$  – маса  $i$ -го шару ґрунту (кг);

$n$  – кількість ґрунтових шарів [4].

Опис міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунту здійснюється із застосуванням *рівняння дифузії Фіка*, яке відображає залежність активності радіонукліду від часу і координати на осі  $y$ :

$$q(y, t) = \frac{A \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{\sqrt{\pi D t}} \cdot e^{\left(-\frac{y^2}{4Dt}\right)}, \quad (24)$$

де:

$q$  – активність в  $i$ -му шарі ґрунту (відн. одиниць);  
 $y$  – глибина відбору шару ґрунту (см);  
 $t$  – обсяг часу з моменту початку міграції радіонукліду (с);  
 $A$  – активність радіонукліду в  $i$ -му шарі ґрунту (Бк/кг);  
 $\pi$  –  $\approx 3,14$ ;  
 $D$  – коефіцієнт дифузії ( $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ );  
 $\lambda$  – постійна розпаду ( $\text{с}^{-1}$ ) [1].

При обчислення коефіцієнту дифузії ( $D$ ) знаходять натуральні логарифми від двох частин формули 24. Рівняння набуває іншого вигляду:

$$\ln[q(y, t)] = \ln\left(\frac{A \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{\sqrt{\pi D t}}\right) + \left(-\frac{y^2}{4Dt}\right), \quad (25)$$

Для спрощення подальших обчислень здійснюють заміну параметрів:

$$\ln[q(y, t)] = z, \quad (26)$$

$$\ln\left(\frac{A \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{\sqrt{\pi D t}}\right) = a, \quad (27)$$

$$\frac{1}{4Dt} = b, \quad (28)$$

$$y^2 = x. \quad (29)$$

На кінцевому етапі математичних перетворень отримаємо лінійне рівняння:

$$z = a - bx, \quad (30)$$

тоді

$$z_i = \ln(q_i). \quad (31)$$

При розв'язанні рівняння 30, обчислення значень показників  $a$  та  $b$  здійснюють за формулами лінійної залежності:

$$b = \frac{\sum(x \cdot z) - \sum x \cdot \frac{\sum z}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}, \quad (32)$$

$$a = \frac{\sum z}{n} - b \frac{\sum x}{n}. \quad (33)$$

**Порядок виконання роботи:** насамперед ознайомтесь з основними теоретичними положеннями і формулами обчислення показників дифузійної і вологої конвективної міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунтів. Після цього, самостійно розв'яжіть нижче зазначені завдання. Порядок виконання кожного лабораторного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт.

**Завдання 1.** За даними таблиці 10 обчисліть прогнозовану активність радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунту для  $t$ -часу =7 років. Результати обчислень оформіть у вигляді таблиць (11, 12).

Таблиця 10

№ грунтового шару, <i>i</i>	Глибина відбору шару грунту, <i>y</i> (см)	Маса шару грунту, <i>m<sub>i</sub></i> (кг)	Питома активність <i>i</i> -го шару ґрунту, <i>AU<sub>i</sub></i> , (Бк/кг <sup>-1</sup> )						
			Варіанти						
			1	2	3	4	5	6	7
Радіонуклід			<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra
Період напіврозпаду, років			30,12	30,12	30,12	1620	1620	1620	1620
1	1,0	0,02	395	1890	4370	740	1180	2410	2890
2	2,5	0,06	143	815	1017	378	772	1890	774
3	4,0	0,10	74	367	383	146	489	851	412
4	5,5	0,14	48	298	129	84	218	474	291
5	7,0	0,18	29	104	88	43	164	201	148
6	8,5	0,22	18	63	39	22	51	98	77
7	10,0	0,26	9	14	7	11	4	9	5

**Завдання 2.** Визначте активність кожного шару ґрунту в абсолютних та відносних одиницях виміру, коефіцієнт дифузії ( $D$ ), значення параметрів  $a$  та  $b$  (див. рівняння 30). Результати обчислень оформіть у вигляді таблиць (11, 12).

Таблиця 11

№ грунтового шару, $i$	Глибина відбору шару грунту, $y$ (см)	Маса шару грунту, $m_i$ (кг)	Питома активність шару грунту, $AU_i$ , (Бк/кг <sup>-1</sup> )	Активність шару грунту, $AU_i \cdot m_i$	
				Абсолютна, (Бк)	Відносна, $q_i$
1	$y_1$	$m_1$	$AU_1$	$AU_1 \cdot m_1$	$q_1$
2	$y_2$	$m_2$	$AU_2$	$AU_2 \cdot m_2$	$q_2$
$n$	$y_n$	$m_n$	$AU_n$	$AU_n \cdot m_n$	$q_n$
				$\Sigma (AU_i \cdot m_i)$	$\Sigma q_i$

Таблиця 12

№ грунтового шару, $i$	$x_i = y_i^2$	$z_i = \ln(q_i)$	$x_i \cdot z_i$
1	$x_1$	$z_1$	$x_1 \cdot z_1$
2	$x_2$	$z_2$	$x_2 \cdot z_2$
$n$	$x_n$	$z_n$	$x_n \cdot z_n$
		$\Sigma x_i$	$\Sigma z_i$
		$\Sigma x_i$	$\Sigma (x_i \cdot z_i)$

**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** проаналізуйте показники дифузійної і вологої конвективної міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунтів та розкрийте характерні відмінності їх середніх значень. Порядок розв'язання кожного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт. Захист лабораторної роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в зошиті всіх розв'язаних завдань і висновків.

**Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:**

1. На основі яких показників здійснюється прогнозування радіаційно-екологічного стану ґрунтів?
2. Назвіть основні фактори, які впливають на радіаційно-екологічний стан ґрунтів.
3. Які засоби використовують в польових умовах для отримання зразків ґрунту?
4. Що дозволяють виявити дослідження міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунтів?
5. В чому полягає дифузійна міграція радіонуклідів?
6. В чому полягає волога конвективна міграція радіонуклідів?

7. На основі яких показників здійснюється обчислення активності кожного шару ґрунту?
8. В яких одиницях вимірюють радіоактивність кожного шару ґрунту?
9. Що відображає рівняння дифузії Фіка в описі міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунту?
10. На основі яких показників здійснюється обчислення коефіцієнту дифузії радіонуклідів в ґрунті.

## Лабораторна робота № 7

### Тема: Прогнозування міграції радіонуклідів у рослин

**Мета:** оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування показників інтенсивності міграції радіонуклідів у рослин.

**Завдання:** сформулювати і закріпити практичні уміння та навички обчислення, прогнозування питомої активності радіонуклідів в рослинах при одноразових та багаторазових радіоактивних викидах.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо вивчити теоретичні основи процесів міграції радіонуклідів у рослин, які розкриті в конспекті лекцій та інших рекомендованих наукових джерелах. З метою запобігання появи помилок в обчисленнях, рекомендується використовувати на лабораторному занятті комп'ютерний прикладний програмний засіб Excel.

#### Основні теоретичні положення

В рослини радіонукліди потрапляють:

- з атмосфери по надземним органам (листкам, стеблам, квіткам);
- з ґрунту по кореневій системі [7].

При потраплянні радіонуклідів з атмосферного повітря на надземні органи рослин, інтенсивність міграційних процесів залежить від коефіцієнту первинного затримання поверхні надземних органів рослин. Цей коефіцієнт обчислюється за формулою:

$$K_f = \frac{A_f}{A_s}, \quad (34)$$

де:

$K_f$  – коефіцієнт первинного затримання (від 0,01 до 1);

$A_f$  – активність радіонукліду на поверхні надземних органів рослин (на 1 м<sup>2</sup>);

$A_s$  – активність радіонукліду на поверхні ґрунту (на 1 м<sup>2</sup>) [4].

Активність радіонуклідів на поверхні надземних органів рослин може з часом зменшуватись внаслідок приросту фітомаси та видалення радіоактивних частинок потоками вітру, сніговими і дощовими опадами. В навколишнє середовище радіонукліди можуть потрапляти внаслідок одноразових та багаторазових радіоактивних викидів.

При одноразових радіоактивних викидах *питома активність радіонуклідів в рослинах* обчислюється за формулою:

$$AU_t = \frac{A_s}{m} K_f \cdot e^{(-\lambda_{eff} \cdot t)}, \quad (35)$$

де:

$AU_t$  – питома активність радіонукліду в рослині на момент часу  $t$  (Бк · кг<sup>-1</sup>);

$A_s$  – поверхнева активність радіонукліду в ґрунті (Бк · м<sup>-2</sup>);

$m$  – фітомаса ( $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ );

$K_f$  – коефіцієнт первинного затримання при одноразовому викиді (від 0,01 до 1);

$\lambda_{(eff)}$  – ефективна постійна втрат ( $\lambda_{(eff)} = \ln(2) \cdot T_{eff}^{-1}$  (добу $^{-1}$ );

$t$  – обсяг часу з моменту радіоактивних викидів (діб) [1].

Значення показника ефективної постійної втрат  $\lambda_{(eff)}$ , при наявності радіонуклідів з середнім і довготривалим напіврозпадом, становить у сільськогосподарських рослин 10-25 діб, у лісових рослин – до 500 діб.

Багаторазові радіоактивні викиди радіонуклідів зумовлені, переважно, впливом діяльності підприємств ядерного паливного циклу. При постійній швидкості осідання радіоактивних частинок *питома активність радіонуклідів в рослинах* за певний обсяг часу ( $t$ ) обчислюється за формулою:

$$AU_{tb} = \frac{A_s}{m} K_{fb} \cdot \frac{1 - e^{(-\lambda_{eff} \cdot t)}}{\lambda_{eff}}, \quad (36)$$

де:

$AU_{tb}$  – питома активність радіонукліду в рослині на момент часу  $t$  при багаторазових викидах ( $\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ );

$A_s$  – поверхнева активність радіонукліда в ґрунті ( $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ );

$m$  – фітомаса ( $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ );

$K_{fb}$  – коефіцієнт первинного затримання при багаторазових викидах (0,01-1);

$\lambda_{(eff)}$  – ефективна постійна втрат ( $\lambda_{(eff)} = \ln(2) \cdot T_{eff}^{-1}$  (добу $^{-1}$ );

$t$  – обсяг часу з моменту радіоактивних викидів (діб) [1].

При потраплянні радіонуклідів в рослину по кореневій системі, вони накопичуються в тканинах рослин нерівномірно. Наприклад, радіоактивні ізотопи стронцію накопичуються, переважно, в клітинних стінках старіючих тканин, які характеризуються низькою фізіологічною активністю. Ізотопи цезію, навпаки, накопичуються в тканинах з високою фізіологічною активністю.

Накопичення радіонуклідів в рослині характеризується відповідним *коефіцієнтом накопичення*, який обчислюється за формулою:

$$K_n = \frac{AU_t}{AU_i}, \quad (37)$$

де:

$K_n$  – коефіцієнт накопичення радіонуклідів;

$AU_t$  – питома активність радіонукліду в рослині на момент часу  $t$  ( $\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ );

$AU_i$  – питома активність  $i$ -го шару ґрунту ( $\text{Бк/кг}^{-1}$ ) [1].

**Порядок виконання роботи:** насамперед ознайомтесь з основними теоретичними положеннями і формулами обчислення показників питомої

активності радіонуклідів в рослинах при одноразових та багаторазових викидах радіонуклідів з підприємств. Після цього, самостійно розв'яжіть нижче зазначені завдання. Порядок виконання кожного лабораторного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт.

Завдання 1. За даними таблиці 13, обчисліть питому активність радіонуклідів ( $AU_t$ ) в фітомасі на момент  $t$ -часу, при різних відстанях від джерела одноразових радіоактивних викидів. Результати обчислень оформіть у вигляді таблиці 14.

Таблиця 13

Варіант	Радіо- нуклід	Рослинний об'єкт	Відстань до джерела $r$ (м)	$A_s$	$K_f$	$m$	$t$ (діб)	$T_{eff}$ , (діб)	$AU_i$
1	$^{137}\text{Cs}$	трави	200	0,95	0,5	4,2	2	17	5890
2	$^{90}\text{Sr}$	кущі	230	0,91	0,6	1,7	28	12	815
3	$^{137}\text{Cs}$	кущі	650	0,82	0,6	1,5	9	18	3267
4	$^{137}\text{Cs}$	зерно	650	0,35	0,03	0,7	3	24	298
5	$^{90}\text{Sr}$	трави	1800	0,73	0,5	4,3	10	31	104
6	$^{90}\text{Sr}$	зерно	1700	0,61	0,03	0,9	10	27	63
7	$^{137}\text{Cs}$	дерева	2400	0,23	0,8	3,7	28	22	1014
8	$^{90}\text{Sr}$	дерева	720	0,84	0,8	3,2	9	23	312

Таблиця 14

Варіант	Відстань до радіоактивного джерела $r$ (м)	Радіонуклід	$AU_t$	$t$	$T_{eff}^{-1}$	$K_n$

На основі даних отриманих в таблиці 14, порівняйте питому активність радіонуклідів на різній відстані до джерела радіоактивного забруднення. Важливо пам'ятати, що допустимою питомою активністю вважається для  $^{90}\text{Sr}$   $=1000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ , для  $^{137}\text{Cs}$   $=10000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  [1].

Завдання 2. За даними таблиці 15, обчисліть питому активність радіонуклідів ( $AU_{tb}$ ) в фітомасі на момент  $t$ -часу, при різних відстанях від джерела багаторазових радіоактивних викидів. Результати обчислень оформіть у вигляді таблиці 16.

Таблиця 15

Варіант	Радіо- нуклід	Рослинний об'єкт	Відстань до джерела (м)	$A_s$	$K_{fb}$	$m$	$t$ (діб)	$T_{eff}$ , (діб)	$AU_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$^{90}\text{Sr}$	кущі	4200	0,37	0,4	1,2	3	12	891
2	$^{90}\text{Sr}$	трави	950	0,91	0,2	3,7	8	15	1815
3	$^{137}\text{Cs}$	кущі	1100	0,82	0,7	2,4	12	18	267
4	$^{137}\text{Cs}$	зерно	440	0,35	0,3	0,6	7	14	3298
5	$^{90}\text{Sr}$	трави	2300	0,73	0,05	5,3	9	27	98
6	$^{90}\text{Sr}$	зерно	370	0,28	0,09	2,9	8	22	463
7	$^{137}\text{Cs}$	дерева	2400	0,23	0,3	4,7	24	18	2014
8	$^{137}\text{Cs}$	дерева	720	0,84	0,9	2,2	5	11	1312

Таблиця 16

Варіант	Відстань до радіоактивного джерела	Радіонуклід	$AU_{ib}$	$t$	$T_{eff}^{-1}$	$K_n$

На основі даних отриманих в таблиці 16, порівняйте питому активність радіонуклідів на різній відстані до джерела радіоактивного забруднення. Допустимою питомою активністю вважається для  $^{90}\text{Sr} = 1000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  та для  $^{137}\text{Cs} = 10000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$  [1].

**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** проаналізуйте показники питомої активності радіонуклідів в рослинах, які розміщені на різних відстанях до джерел одноразових і багаторазових радіоактивних забруднень та розкрийте тенденції їх змін з часом. Порядок розв'язання кожного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт. Захист лабораторної роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в зошиті всіх розв'язаних завдань і висновків.

**Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:**

1. Назвіть характерні особливості міграції радіонуклідів у фітоценозах.
2. Назвіть основні шляхи потрапляння радіонуклідів у рослини.
3. Що відображає коефіцієнт первинного затримання, при потраплянні радіонуклідів в рослини з повітря?

4. Назвіть показники, на основі яких здійснюється обчислення коефіцієнту первинного затримання радіонуклідів.
5. Які фактори з часом можуть зумовлювати зменшення активності радіонуклідів на поверхні надземних органів рослин?
6. На основі яких показників обчислюється питома активність радіонуклідів в рослинах, за умов одноразового радіоактивного викиду?
7. Назвіть показники, на основі яких обчислюється питома активність радіонуклідів в рослинах, при постійній швидкості осідання радіоактивних частинок.
8. Розкрийте особливості накопичення радіоактивних ізотопів стронцію, при їх потраплянні в рослину по кореневій системі з ґрунту.
9. Розкрийте особливості накопичення радіоактивних ізотопів цезію, при їх потраплянні в рослину по кореневій системі з ґрунту.
10. Назвіть показники, на основі яких здійснюється обчислення коефіцієнту накопичення радіонуклідів.

## Лабораторна робота № 8

### Тема: Прогнозування міграції радіонуклідів у тварин

**Мета:** оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування кількісних показників накопичення радіонуклідів тваринами, доз їх внутрішнього опромінення.

**Завдання:** сформувати і закріпити практичні уміння та навички обчислення, прогнозування кількісних показників накопичення радіонуклідів тваринами, доз їх внутрішнього опромінення.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо вивчити теоретичні основи процесів накопичення радіонуклідів тваринами, доз їх внутрішнього опромінення, які розкриті в конспекті лекцій та інших рекомендованих наукових джерелах. З метою запобігання появи помилок в обчисленнях, рекомендується використовувати на лабораторному занятті комп'ютерний прикладний програмний засіб Excel.

### Основні теоретичні положення

Радіонукліди потрапляють в середину організму тварин:

- через поверхневий шар шкіри;
- через шлунково-кишковий тракт;
- інгаляційно [1].

Інтенсивність проникнення ізотопів в організм залежить від їх фізико-хімічних властивостей. В шлунково-кишковому тракті найлегше засвоюються радіоактивні ізотопи лужних металів С, N, Р, S, Мо. Найповніше (70%) засвоюються радіоізотопи Те і Ро. Порівняно важче засвоюються (до 20%) радіоізотопи Al, Mg, V, Fe, Zn. Незначний відсоток (1%) засвоюється U, Zr, Nb та інших подібних елементів. Радіонукліди можуть потрапляти в організм тварини одноразово та багаторазово [1].

Одноразове потрапляння радіонуклідів в організм зумовлює на початковому етапі різке зростання їх концентрації в тканинах. В подальшому, при відсутності потрапляння радіонуклідів в організм, вони з нього поступово видаляються. Це пояснюється тим, що інтенсивність надходження радіонуклідів в тканини організму не перевищує інтенсивності їх видалення. Тому, на основі значень показника кількості надходження радіонуклідів їх початкова концентрація в організмі обчислюється за формулою:

$$C_p = \frac{Q \cdot f_1 \cdot f_2}{M}, \quad (38)$$

де:

$C_p$  – початкова концентрація радіонуклідів в організмі (Бк);

$Q$  – загальне значення активності викиду (Бк);

$f_1$  – коефіцієнт всмоктування радіонуклідів в кров (від 0,001 до 1);

$f_2$  – коефіцієнт всмоктування радіонукліду в тканині на 1 кг маси (від 0,0001 до 1);

$M$  – маса тканини або органу в організмі (кг) [4].

Багаторазове потрапляння радіонуклідів в організм зумовлює їх накопичення та поступове зростання активності. При цьому, якщо в подальшому, надходження радіонуклідів сповільнюється, організм здатний відновити збалансованість і ефективність виведення радіонуклідів. Питома активність радіонукліду в тканині, органі або організмі досліджуваного харчового ланцюга обчислюється із застосуванням *коефіцієнту накопичення* за формулою:

$$AU_{tv} = K_n \cdot AU_{tv-1}, \quad (39)$$

де:

$AU_{tv}$  – питома активність радіонукліду в організмі для досліджуваного харчового ланцюга (Бк · кг<sup>-1</sup>);

$K_n$  – коефіцієнт накопичення;

$AU_{tv-1}$  – питома активність радіонукліду в тварині для попередньої ланки харчового ланцюгу (Бк · кг<sup>-1</sup>) [4].

Також застосовується коефіцієнт *Transfer Factor*, який обчислюється за формулою:

$$AU = Tf \cdot AU_p \cdot m_p \quad (40)$$

де:

$AU$  – коефіцієнт переходу Transfer Factor;

$Tf$  – коефіцієнт переходу радіонукліду в тканину для біологічних тканин (кг · кг<sup>-1</sup>);

$AU_p$  – питома активність радіонукліду в харчовому раціоні (Бк · добу<sup>-1</sup>);

$m_p$  – маса харчового раціону (кг) [1].

Сумарний радіоактивний вплив на організм відображається формулою:

$$D = D_v + D_s + D_{int}, \quad (41)$$

де:

$D$  – сумарний радіоактивний вплив на організм (Зв);

$D_v$  – доза зовнішнього опромінення в хмарі радіоактивних викидів ( $\beta$ - і  $\gamma$ -опромінення) (Зв);

$D_s$  – доза зовнішнього опромінення від поверхні ґрунту ( $\gamma$ -опромінення) (Зв);

$D_{int}$  – доза внутрішнього опромінення ( $\beta$ -опромінення) (Зв) [1].

Потужність дози внутрішнього опромінення в тканині організму обчислюється на основі питомої активності радіонукліду та середніх значень енергій  $\alpha$ - та  $\beta$ -опромінення, за формулою:

$$D_{\alpha,\beta} = AU \cdot f \cdot E_{av} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}, \quad (42)$$

де:

$D_{\alpha,\beta}$  – потужність дози внутрішнього опромінення органу або організму (Гр · с<sup>-1</sup>);

$AU$  – питома активність радіонукліду в органі або організмі (Бк · кг<sup>-1</sup>);

$f$  – коефіцієнт виходу радіонуклідів даного виду опромінення (для  $\beta$ -випромінювання = 1, для води і м'яких тканин тваринного організму = 0,93, для кісткової тканини – 2-5 Рад / Р;

$E_{av}$  – середнє значення енергії  $\beta$ -опромінення ( $^{90}\text{Sr} = 0,18$  та  $^{137}\text{Cs} = 0,195$  МеВ);

$1,6 \cdot 10^{-13}$  – коефіцієнт переходу від МеВ до Дж [1].

Для рослин допустима потужність дози внутрішнього опромінення не повинна перевищувати 10 мГр / добу<sup>-1</sup>, для тварин – 1 мГр / добу<sup>-1</sup> [4].

**Порядок виконання роботи:** насамперед ознайомтесь з основними теоретичними положеннями і формулами обчислення показників початкової концентрації радіонуклідів в організмі, питомої активності радіонуклідів в організмі та сумарного радіоактивного впливу на організм. Після цього, самостійно розв'яжіть нижче зазначені завдання. Порядок виконання кожного лабораторного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт.

**Завдання 1.** За даними таблиці 17 обчисліть початкову концентрацію радіонуклідів, після їх одноразового потрапляння в організм.

Таблиця 17

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6	Варіант 7
<i>I</i>	2	3	4	5	2	3	4
Радіонуклід ( <i>x</i> )	$^{58}\text{Sr}$	$^{144}\text{Cs}$	$^{106}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{58}\text{Sr}$	$^{144}\text{Cs}$	$^{106}\text{Sr}$
Активність викиду $Q$ (Бк)	$1,13 \cdot 10^{-12}$	$1,18 \cdot 10^{-12}$	$1,12 \cdot 10^{-12}$	$1,17 \cdot 10^{-12}$	$1,30 \cdot 10^{-12}$	$1,28 \cdot 10^{-12}$	$1,23 \cdot 10^{-12}$
$f_1$	0,037	0,028	0,017	0,003	0,011	0,009	0,007
$f_2$	0,0089	0,0075	0,0024	0,0007	0,0091	0,0032	0,0018
$M$	0,171	0,205	0,194	0,187	0,801	0,794	0,852
$K_n$	6	0,7	5	0,4	7	0,5	4
$AU_{iv-I}$	358	375	382	395	499	489	477

**Завдання 2.** Обчисліть питому активність радіонуклідів ( $AU_{iv}$ ) після їх багаторазового потрапляння в організм через харчовий ланцюг, за даними таблиці 18.

Таблиця 18

Варіант	Радіонуклід (x)	$K_n$	$AU_{iv-I}$	$Tf$	$AU_p$	$m_p$	$f$
1	$^{58}\text{Sr}$	8	785	0,93	43	0,879	0,92
2	$^{144}\text{Cs}$	0,3	792	0,95	40	0,976	0,87
3	$^{106}\text{Sr}$	9	821	0,93	37	0,912	0,85
4	$^{137}\text{Cs}$	0,5	889	0,94	32	0,824	0,84
5	$^{90}\text{Sr}$	11	932	0,95	34	0,805	0,81
6	$^{137}\text{Cs}$	0,7	945	0,93	29	0,934	0,78
7	$^{106}\text{Sr}$	14	957	0,92	38	0,794	0,75
8	$^{90}\text{Cs}$	0,9	599	0,97	28	0,782	0,72

**Завдання 3.** Обчисліть потужність дози внутрішнього опромінення організму ( $D_{\alpha,\beta}$ ) за даними таблиці 18. Порядок розв'язання завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит.

**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** проаналізуйте показники початкової концентрації радіонуклідів, після їх одноразового потрапляння в організм та розкрийте особливості їх змін залежно від активності радіаційного викиду. Проаналізуйте основні фактори, які здатні впливати на потужність внутрішнього опромінення організму. Розкрийте характерні відмінності у формуванні доз внутрішнього опромінення при одноразовому та багаторазовому потрапленні радіонуклідів в організм тварин. Порядок розв'язання кожного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт. Захист лабораторної роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в зошиті всіх розв'язаних завдань і висновків.

**Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:**

1. Розкрийте особливості міграції радіонуклідів у зооценозах.
2. Назвіть основні шляхи потрапляння радіонуклідів в організм тварини.
3. Які радіоактивні ізотопи найлегше засвоюються в шлунково-кишковому тракті?
4. За яких умов радіонукліди здатні видалитись з організму тварини?
5. Як при багаторазовому потрапленні радіонуклідів в організм змінюється інтенсивність їх видалення з організму?
6. Назвіть показники, на основі яких обчислюється початкова концентрація радіонуклідів при одноразовому їх потрапленні в організм тварини.

7. Назвіть показники, на основі яких обчислюється питома активність радіонукліду в тканині, органі або організмі при дослідженні певного харчового ланцюга.
8. Назвіть показники, на основі яких обчислюється коефіцієнт *Transfer Factor*.
9. Назвіть показники, на основі яких обчислюється сумарний радіоактивний вплив на організм тварини.
10. Назвіть показники, на основі яких обчислюється потужність дози внутрішнього опромінення в тканинах тварин.

## Лабораторна робота № 9

### Тема: Прогнозування ризиків радіаційного впливу на людину

**Мета:** оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування доз зовнішнього  $\gamma$ -опромінення від розсіяних в атмосфері радіонуклідів та доз внутрішнього опромінення при інгаляційному, пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини.

**Завдання:** сформулювати і закріпити практичні уміння та навички обчислення, прогнозування доз зовнішнього  $\gamma$ -опромінення від розсіяних в атмосфері радіонуклідів та доз внутрішнього опромінення при інгаляційному, пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини.

**Тривалість роботи:** 2 години.

**Вказівки щодо підготовки до заняття:** для успішного проведення лабораторного заняття, студентам необхідно попередньо вивчити теоретичні основи формування доз зовнішнього  $\gamma$ -опромінення від розсіяних в атмосфері радіонуклідів та доз внутрішнього опромінення людини, які розкриті в конспекті лекцій та інших рекомендованих наукових джерелах. З метою запобігання появи помилок в обчисленнях, рекомендується використовувати на лабораторному занятті комп'ютерний прикладний програмний засіб Excel.

#### Основні теоретичні положення

Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини може проявлятися в пошкодженні генів і функцій клітин, канцерогенезі або проліферативній загибелі. Після отримання незначних доз опромінення, в організмі людини можуть проявлятися гастроінтестинальний, кістково-мозковий та інші синдроми радіаційного пошкодження тканин [8].

Сумарний радіаційний вплив на організм людини здійснюється зовнішнім та внутрішнім опроміненням. Він обчислюється за формулою:

$$D_{\Sigma} = D_{ext} + D_{int} , \quad (43)$$

де:

$D_{\Sigma}$  – сумарна доза радіаційного впливу на людину (Зв);

$D_{ext}$  – доза зовнішнього опромінення (Зв);

$D_{int}$  – доза внутрішнього опромінення (Зв) [1].

Зовнішній радіаційний вплив на організм людини здійснюється  $\gamma$ -випромінюванням і дещо менше  $\beta$ -випромінюванням, що зумовлено наявністю радіонуклідів  $^{40}\text{K}$  та радіонуклідів родин  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в повітрі і поверхні ґрунту. Доза зовнішнього опромінення обчислюється за формулою:

$$D_{ext} = D_s + D_v , \quad (44)$$

де:

$D_{ext}$  – доза зовнішнього опромінення (Зв);

$D_s$  – доза зовнішнього  $\gamma$ -опромінення від поверхні ґрунту (Зв);

$D_v$  – доза зовнішнього  $\gamma$ -опромінення від розсіяних в атмосфері радіонуклідів (Зв) [1].

При прогнозуванні дози зовнішнього  $\gamma$ -опромінення від поверхні ґрунту ( $D_s$ ), важливо враховувати, що протягом доби людина може перебувати від 1 до 8 годин на відкритому вуличному просторі за межами приміщень, а решту часу в середині приміщень, де інтенсивність  $\gamma$ -опромінення може зменшуватись до 10 разів. Зважаючи на це, обчислення зовнішнього опромінення організму людини всередині приміщень, здійснюється за формулою:

$$D_{sr} = 0,46 \cdot D_s , \quad (45)$$

де:

$D_{sr}$  – зовнішнього опромінення організму людини всередині приміщень (Зв);

$D_s$  – доза зовнішнього  $\gamma$ -опромінення від поверхні ґрунту (Зв) [4].

Доза зовнішнього  $\gamma$ -опромінення від розсіяних в атмосфері радіонуклідів обчислюється за формулою:

$$D_v(t) = A_v \cdot B_{v\gamma} \cdot t , \quad (46)$$

де:

$D_v(t)$  – доза зовнішнього  $\gamma$ -опромінення в певний момент часу від розсіяних в атмосфері радіонуклідів (Зв);

$A_v$  – об'ємна активність розсіяних в атмосфері радіонуклідів (Бк · м<sup>-3</sup>);

$B_{v\gamma}$  – дозовий коефіцієнт (Зв · м<sup>3</sup> · год<sup>-1</sup> · Бк<sup>-1</sup>);

$t$  – обсяг часу (год) [4].

Внутрішній радіаційний вплив на організм людини здійснюється переважно  $\alpha$ - і  $\beta$ -випромінюваннями та дещо менше  $\gamma$ -випромінюванням. Доза внутрішнього опромінення формується впливом радіонуклідів <sup>3</sup>H, <sup>7</sup>Be, <sup>14</sup>C, <sup>22</sup>Na, які потрапляють в організм людини через легені при вдиханні повітря (інгаляційно) та через шлунково-кишковий тракт (перорально) з продуктами харчування, питною водою тощо. Доза внутрішнього опромінення обчислюється за формулою:

$$D_{int} = D_{ing} + D_{per} , \quad (47)$$

де:

$D_{int}$  – доза внутрішнього опромінення (Зв);

$D_{ing}$  – доза внутрішнього опромінення при інгаляційному потраплянні радіонуклідів в організм людини (Зв);

$D_{per}$  – доза внутрішнього опромінення при пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини (Зв) [1].

При інгаляційному потраплянні радіонуклідів в організм людини, доза внутрішнього опромінення обчислюється за формулою:

$$D_{ing}(t) = A_v \cdot B_{v\beta\gamma} \cdot V \cdot t, \quad (48)$$

де:

$D_{ing}(t)$  – доза внутрішнього опромінення в певний момент часу при інгаляційному потраплянні радіонуклідів в організм людини (Зв);  
 $A_v$  – об'ємна активність розсіяних в атмосфері радіонуклідів (Бк · м<sup>-3</sup>);  
 $B_{v\beta\gamma}$  – дозовий коефіцієнт радіонукліду при інгаляційному потраплянні в організм людини (Зв · м<sup>3</sup> · год<sup>-1</sup> · Бк<sup>-1</sup>);  
 $V$  – обсяг спожитого атмосферного повітря (м<sup>3</sup> · год<sup>-1</sup>);  
 $t$  – обсяг часу (год) [4].

При пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини, доза внутрішнього опромінення обчислюється за формулою:

$$D_{per} = 365 \cdot B_{per} \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot AU_i, \quad (49)$$

де:

$D_{per}$  – доза внутрішнього опромінення при пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини (Зв);  
 $B_{per}$  – дозовий коефіцієнт при пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини (Зв · Бк<sup>-1</sup>);  
 $m_i$  – маса  $i$ -го продукту харчування, який потрапляє в організм людини протягом доби (кг);  
 $AU_i$  – питома активність  $i$ -го продукту харчування (Бк · кг<sup>-1</sup>) [1].

На основі показника дози радіаційного впливу на людину ( $D_\Sigma$ ), індивідуальний радіаційний ризик для людини обчислюється за формулою:

$$r = D_\Sigma \cdot r_e, \quad (50)$$

де:

$r$  – індивідуальний радіаційний ризик для людини;  
 $D_\Sigma$  – сумарна доза радіаційного впливу на людину (Зв);  
 $r_e$  – коефіцієнт індивідуального радіаційного ризику для населення, умовно прийнятий в розмірі  $7,3 \cdot 10^{-2} \cdot \text{людину}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$  (характеризує скорочення життя в середньому на 15 років за один ймовірний випадок смертельного захворювання) [1].

Аналіз індивідуального радіаційного ризику для людини здійснюється із застосуванням *шкали індивідуальних радіаційних ризиків*:

1. При  $r < 10^{-6}$  індивідуальний радіаційний ризик канцерогенного впливу досліджуваного радіонукліду вважається дуже незначним;

2. Якщо  $10^{-6} < r < 5,0 \cdot 10^{-5}$ , то індивідуальний радіаційний ризик канцерогенного впливу вважається допустимим;

3. У випадку  $r > 5,0 \cdot 10^{-5}$ , індивідуальний радіаційний ризик канцерогенного впливу досліджуваного радіонуклідів вважається недопустимим.

**Порядок виконання роботи:** насамперед ознайомтесь з основними теоретичними положеннями і формулами обчислення доз зовнішнього опромінення від розсіяних в атмосфері та поширених на поверхні ґрунту радіонуклідів, а також доз внутрішнього опромінення при інгаляційному і пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини. Після цього, самостійно розв'яжіть нижче зазначені завдання. Порядок виконання кожного лабораторного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт.

Завдання 1. Обчисліть сумарну дозу радіаційного впливу на людину за даними таблиць 19 та 20. Проаналізуйте індивідуальний радіаційний ризик для людини на основі обчислених показників зовнішнього та внутрішнього опромінення. Висновки запишіть у зошит.

Таблиця 19

Варіант	Радіо- нуклід (x)	$D_s$ , (мкЗв)	$A_v$ , (Бк · с · м <sup>-3</sup> )	$B_{v\gamma}$ , (Зв · м <sup>3</sup> · год <sup>-1</sup> · Бк <sup>-1</sup> )	t, (год)	$B_{v\beta\gamma}$ , (Зв · м <sup>3</sup> · год <sup>-1</sup> · Бк <sup>-1</sup> )
1	2	3	4	5	6	7
1	<sup>90</sup> Sr	0,09	$2,06 \cdot 10^{-17}$	$1,43 \cdot 10^{-10}$	2688	$5,17 \cdot 10^{-8}$
2	<sup>137</sup> Cs	0,07	$2,18 \cdot 10^{-17}$	$5,12 \cdot 10^{-10}$	5208	$4,33 \cdot 10^{-9}$
3	<sup>90</sup> Sr	0,04	$2,36 \cdot 10^{-17}$	$1,83 \cdot 10^{-10}$	2328	$5,42 \cdot 10^{-8}$
4	<sup>137</sup> Cs	0,12	$2,28 \cdot 10^{-17}$	$5,77 \cdot 10^{-10}$	4824	$4,12 \cdot 10^{-9}$
5	<sup>90</sup> Sr	0,05	$2,21 \cdot 10^{-17}$	$1,64 \cdot 10^{-10}$	7440	$5,73 \cdot 10^{-8}$
6	<sup>137</sup> Cs	0,08	$2,12 \cdot 10^{-17}$	$5,91 \cdot 10^{-10}$	2664	$4,58 \cdot 10^{-9}$
7	<sup>90</sup> Sr	0,15	$2,09 \cdot 10^{-17}$	$1,75 \cdot 10^{-10}$	6840	$5,92 \cdot 10^{-8}$
8	<sup>137</sup> Cs	0,06	$2,24 \cdot 10^{-17}$	$5,37 \cdot 10^{-10}$	5784	$4,89 \cdot 10^{-9}$

Таблиця 20

Варіант	Радіо- нуклід (x)	V, (м <sup>3</sup> · год <sup>-1</sup> )	$B_{per}$ , (Зв · Бк <sup>-1</sup> )	$m_i$ , (кг на добу)	$AU_i$ , (Бк/кг <sup>-1</sup> )
1	2	3	4	5	6
1	<sup>90</sup> Sr	482	$8,29 \cdot 10^{-8}$	1,2	1020
2	<sup>137</sup> Cs	494	$1,51 \cdot 10^{-8}$	1,3	784
3	<sup>90</sup> Sr	491	$8,45 \cdot 10^{-8}$	1,5	782

1	2	3	4	5	6
4	$^{137}\text{Cs}$	478	$1,37 \cdot 10^{-8}$	1,1	278
5	$^{90}\text{Sr}$	475	$8,77 \cdot 10^{-8}$	0,9	311
6	$^{137}\text{Cs}$	487	$1,78 \cdot 10^{-8}$	0,8	101
7	$^{90}\text{Sr}$	471	$8,94 \cdot 10^{-8}$	1,2	77
8	$^{137}\text{Cs}$	479	$1,93 \cdot 10^{-8}$	1,4	17

**Завдання 2.** Обчисліть індивідуальний радіаційний ризик на людину за даними таблиць 19 та 20. Порівняйте обчислені дані з показниками *шкали індивідуальних радіаційних ризиків* для людини. Висновки запишіть у зошит.

**Аналіз результатів роботи, висновки і захист роботи:** проаналізуйте обчислені показники сумарної дози радіаційного впливу та розкрийте їх важливість для прогнозування індивідуальних радіаційних ризиків для людини. Порядок розв'язання кожного завдання, результати обчислень та висновки запишіть у зошит для лабораторних робіт. Захист лабораторної роботи студентом здійснюється на поточному (як виняток на наступному) занятті, за умов наявності в зошиті всіх розв'язаних завдань і висновків.

**Контрольні запитання для перевірки результатів навчання:**

1. Назвіть основні показники, на основі яких обчислюється сумарна доза радіоактивного впливу на людину.
2. Назвіть основні радіонукліди, які здійснюють зовнішній радіаційний вплив на організм людини в повітрі і ґрунті.
3. На основі яких основних показників здійснюється обчислення зовнішнього опромінення організму людини всередині приміщень?
4. Назвіть основні радіонукліди, які формують внутрішнє радіаційне опромінення організму людини.
5. На основі яких показників обчислюється доза внутрішнього опромінення при інгаляційному потраплянні радіонуклідів в організм людини?
6. Назвіть основні показники, на основі яких обчислюється доза внутрішнього опромінення при пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини.
7. Назвіть системну одиницю вимірювання дози внутрішнього опромінення при пероральному потраплянні радіонуклідів в організм людини.
8. Назвіть показники, на основі яких здійснюється обчислення індивідуального радіаційного ризику для людини.
9. Назвіть системну одиницю вимірювання дози зовнішнього  $\gamma$ -опромінення в певний момент часу від розсіяних в атмосфері радіонуклідів.
10. Охарактеризуйте основні показники шкали індивідуальних радіаційних ризиків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Моисеев А. А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А. М. Моисеев, В. И. Иванов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 292 с.
2. Ахмедзянов В. Р., Киреева О. А. Лабораторный практикум по курсу «Радиозкология» / В. Р. Ахмедзянов, О. А. Киреева. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 150 с.
3. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии: [учеб. пособ.] / Ю. А. Александров. – Йошкар-Ола, 2007. – 268 с. ISBN 978-5-94808-312-4
4. Кукин П. П. Основы радиационной безопасности в жизнедеятельности человека: [учеб. пособ.] / П. П. Кукин, В. Л. Лапин, В. М. Попов и др. – Курск: АП Курск, 1995. – 144 с.
5. Дозиметр-радиометр МКС-05 «ТЕРРА» Руководство по эксплуатации ВІСТ.412129.006-03 РЭ. – Львов, 2012. – 83 с.
6. Измеритель мощности дозы «ДП-5ВБ» ПАСПОРТ ЕЯ 2.807.028-03 ПС. – К., 1991. – 33 с.
7. Давиденко В. М. Радіобіологія : [навч. посіб.] / В. М. Давиденко. – Миколаїв: МДАУ, 2011. – 248.
8. Гродзинський Д. М. Радіобіологія : [підруч.] / Д. М. Гродзинський. – 2-е вид. – К.: Либідь, 2001. – 440 с.
9. IUPAC Periodic Table of the Elements [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://www.iupac.org/cms/wp-content/uploads/2015/07/IUPAC\\_Periodic\\_Table-28Nov16.pdf](https://www.iupac.org/cms/wp-content/uploads/2015/07/IUPAC_Periodic_Table-28Nov16.pdf)

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Давиденко В. М. Радіобіологія: [навч. посіб.] / В. М. Давиденко. – Миколаїв: МДАУ, 2010. – 229 с.
2. Григор'єва Л. І. Іонізуюче випромінювання та його вплив на людину: [навч. посіб.] / Л.І. Григорєва, Ю. А. Томілі, І. М. Рожков. – Миколаїв: МДГУ ім. Петра Могили, 2008. – 208 с.
3. Белозерский Г. Н. Радиационная экология: [учеб.] / Г. Н. Белозерский. – М.: Академия, 2008. – 382 с.
4. Сахаров В. К. Радиоэкология: [учеб. пособ.] / В. К. Сахаров. – СПб.: Изд. Лань, 2006. – 320 с.
5. Фокин А. Д. Сельскохозяйственная радиология: [учебн. для вузов] / А. Д. Фокин, А. А. Лурье, С. П. Торшин. – М.: Дрофа, 2005. – 367.
6. Ткаченко Г. М. Основи радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту при роботі з джерелами іонізуючих випромінень : [метод. Вказівки] / Г. М. Ткаченко, М. М. Лазарев, В. О. Кіцно. – К.: НАУ, 2005. – 52 с.
7. Кутлахмедов Ю. О. Основи радіоекології: [навч. посіб.] / Ю. О. Кудлахметов, В. І. Корогодін, В. К. Кольтовер. – К.: Вища школа, 2003. – 320 с.
8. Сердюкова А. С. Радиационная безопасность и дозиметрия: [учеб. пособ.] / А. С. Сердюкова, Т. М. Иванова. – М.: МГГА, 2001. – 77 с.
9. Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України : ОСПУ-2001. – К.: МОЗ, 2001. – 136 с.
10. Старков В. Д. Радиационная экология: [учеб. пособ.] / В. Д. Старков, В. И. Мигунов. – Тюмень: ФГУ ИПП «Тюмень», 2003. – 304 с.
11. Пивоваров Ю. П. Радиационная экология: [учеб. пособ.] / Ю. П. Пивоваров, В. П. Михалев. – М.: Академия, 2004. – 240 с.
12. Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений: [учеб. пособ.] / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 495 с.
13. Пристер Б. С. Основы сельскохозяйственной радиологии: [учеб. пособ.] / Б. С. Пристер, Н. А. Лоцилов, О. Ф. Немец, В. А. Поярков. – К.: Урожай, 1991. – 472 с.
14. Алексахин Р. М. Сельскохозяйственная радиоэкология: [учеб. пособ.] / Р. М. Алексахин, А. В. Васильев, В. Г. Дикарев и др.; под ред. Р. М. Алексашина, Н. А. Корнеева. – М.: Экология, 1992. – 400 с.

# ІУРАС ПЕРІОДИЧНА ТАБЛИЦЯ ЕЛЕМЕНТІВ [9]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 <b>H</b> hydrogen 1.008 [1.0078, 1.0082]	2 <b>He</b> helium 4.0026	3 <b>Li</b> lithium 6.94 [6.938, 6.997]	4 <b>Be</b> beryllium 9.0122	5 <b>B</b> boron 10.81 [10.806, 10.821]	6 <b>C</b> carbon 12.011 [12.009, 12.012]	7 <b>N</b> nitrogen 14.007 [14.006, 14.008]	8 <b>O</b> oxygen 15.999 [15.998, 16.000]	9 <b>F</b> fluorine 18.998 [18.997, 19.000]	10 <b>Ne</b> neon 20.180	11 <b>Na</b> sodium 22.990 [22.989, 22.991]	12 <b>Mg</b> magnesium 24.305 [24.304, 24.307]	13 <b>Al</b> aluminum 26.982 [26.981, 26.983]	14 <b>Si</b> silicon 28.086 [28.085, 28.087]	15 <b>P</b> phosphorus 30.974 [30.973, 30.975]	16 <b>S</b> sulfur 32.06 [32.059, 32.070]	17 <b>Cl</b> chlorine 35.45 [35.446, 35.457]	18 <b>Ar</b> argon 39.948 [39.946, 39.950]
19 <b>K</b> potassium 39.098 [39.096, 39.100]	20 <b>Ca</b> calcium 40.078(4)	21 <b>Sc</b> scandium 44.956 [44.954, 44.958]	22 <b>Ti</b> titanium 47.867 [47.867, 47.867]	23 <b>V</b> vanadium 50.942 [50.942, 50.942]	24 <b>Cr</b> chromium 51.996 [51.996, 51.996]	25 <b>Mn</b> manganese 54.938 [54.938, 54.938]	26 <b>Fe</b> iron 55.845(2)	27 <b>Co</b> cobalt 58.933 [58.933, 58.933]	28 <b>Ni</b> nickel 58.693 [58.693, 58.693]	29 <b>Cu</b> copper 63.546(3)	30 <b>Zn</b> zinc 65.38(2)	31 <b>Ga</b> gallium 69.723 [69.723, 69.723]	32 <b>Ge</b> germanium 72.630(8)	33 <b>As</b> arsenic 74.922 [74.922, 74.922]	34 <b>Se</b> selenium 78.971(8)	35 <b>Br</b> bromine 79.901(79.901)	36 <b>Kr</b> krypton 83.798(2)
37 <b>Rb</b> rubidium 85.468 [85.468, 85.468]	38 <b>Sr</b> strontium 87.62 [87.62, 87.62]	39 <b>Y</b> yttrium 88.906 [88.906, 88.906]	40 <b>Zr</b> zirconium 91.224(2)	41 <b>Nb</b> niobium 92.906 [92.906, 92.906]	42 <b>Mo</b> molybdenum 95.95 [95.95, 95.95]	43 <b>Tc</b> technetium	44 <b>Ru</b> ruthenium 101.07(2)	45 <b>Rh</b> rhodium 102.91 [102.91, 102.91]	46 <b>Pd</b> palladium 106.42 [106.42, 106.42]	47 <b>Ag</b> silver 107.87 [107.87, 107.87]	48 <b>Cd</b> cadmium 112.41 [112.41, 112.41]	49 <b>In</b> indium 114.82 [114.82, 114.82]	50 <b>Sn</b> tin 118.71 [118.71, 118.71]	51 <b>Sb</b> antimony 121.76 [121.76, 121.76]	52 <b>Te</b> tellurium 127.60(3)	53 <b>I</b> iodine 126.90 [126.90, 126.90]	54 <b>Xe</b> xenon 131.29 [131.29, 131.29]
55 <b>Cs</b> caesium 132.91 [132.91, 132.91]	56 <b>Ba</b> barium 137.33 [137.33, 137.33]	57-71 lanthanoids	72 <b>Hf</b> hafnium 178.49(2)	73 <b>Ta</b> tantalum 180.95 [180.95, 180.95]	74 <b>W</b> tungsten 183.84 [183.84, 183.84]	75 <b>Re</b> rhenium 186.21 [186.21, 186.21]	76 <b>Os</b> osmium 190.23(3)	77 <b>Ir</b> iridium 192.22 [192.22, 192.22]	78 <b>Pt</b> platinum 195.08 [195.08, 195.08]	79 <b>Au</b> gold 196.97 [196.97, 196.97]	80 <b>Hg</b> mercury 200.59 [200.59, 200.59]	81 <b>Tl</b> thallium 204.38 [204.38, 204.39]	82 <b>Pb</b> lead 207.2 [207.2, 207.2]	83 <b>Bi</b> bismuth 208.98 [208.98, 208.98]	84 <b>Po</b> polonium	85 <b>At</b> astatine	86 <b>Rn</b> radon
87 <b>Fr</b> francium	88 <b>Ra</b> radium	89-103 actinoids	104 <b>Rf</b> rutherfordium	105 <b>Db</b> dubnium	106 <b>Sg</b> seaborgium	107 <b>Bh</b> bohrium	108 <b>Hs</b> hassium	109 <b>Mt</b> meitnerium	110 <b>Ds</b> darmstadtium	111 <b>Rg</b> roentgenium	112 <b>Cn</b> copernicium	113 <b>Nh</b> nihonium	114 <b>Fl</b> flerovium	115 <b>Mc</b> moscovium	116 <b>Lv</b> livermorium	117 <b>Ts</b> tennessine	118 <b>Og</b> oganesson

Key:

atomic number	Symbol	name
conventional atomic weight		
standard atomic weight		



INTERNATIONAL UNION OF  
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 28 November 2016.  
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

## Конструкція і принцип роботи дозиметру МКС 05 «ТЕРРА-П» [5]

### 1. Загальна характеристика дозиметру

Дозиметр створений у формі моноблоку, в якому розміщені детектор  $\gamma$ - та  $\beta$ -випромінювань, електрична плата з схемою формування анодної напруги, цифрового обчислення, керування і індикації, а також елементи живлення.

Детектор  $\gamma$ - і  $\beta$ -випромінювань перетворює випромінювання в послідовність електричних імпульсів, кількість яких пропорційна інтенсивності вимірюваного (зареєстрованого) випромінювання.

Формування імпульсів анодного струму, цифрового обчислення, керування і індикації здійснюється за такою схемою:

- масштабування і лінеаризація обчислюваної характеристики детектору;
- вимірювання потужності еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання і поверхневої щільності потоку  $\beta$ -частинок шляхом вимірювання середньої частоти імпульсів, які надходять з виходу детектору;
- вимірювання еквівалентної дози фотонного випромінювання шляхом вимірювання загальної кількості імпульсів, що надходять з виходу детектору;
- вимірювання часу накопичення еквівалентної дози і реального часу;
- формування і стабілізація анодного струму детектору;
- керування режимами роботи дозиметру;
- відображення результатів вимірювань.

Для живлення дозиметру застосовуються батареї з двох елементів типу ААА.

### 2. Конструкція дозиметру

Корпус приладу із заокругленими кутами складається з верхньої і нижньої кришок. В середній частині верхньої кришки дозиметру розташована панель індикації, ліворуч і праворуч над нею – дві кнопки керування роботою дозиметру, а у верхній частині кришки – гучномовець.

В нижній кришці приладу розміщено відділення для елементів живлення, а також вікно для вимірювання поверхневої щільності потоку  $\beta$ -частинок. Відділення живлення і вікно закриваються відповідними кришками.

Кнопки «РЕЖИМ» і «ПОРОГ» призначені для включення дозиметру, вибору відповідного режиму роботи і програмування порогових рівнів спрацьовування звукової сигналізації.



Детектором іонізуючих випромінювань є газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера типу СБМ-20-1. Він призначений для детектування  $\gamma$ - і  $\beta$ -випромінювань, параметри яких вимірюються дозиметром.

### **3. Загальні відомості про роботу дозиметру**

У виключеному стані дозиметр перебуває енергозберігаючому режимі роботи, в якому підтримується активність тільки процесу відліку реального часу процесором.

В результаті короточасного натискання кнопки «РЕЖИМ», процесор переходить в активний стан і подає електричний сигнал на формування струму напругою 400 В, який необхідний для роботи лічильника СБМ-20-1. Одночасно процесор включається в пріоритетний режим вимірювання потужності еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання, про що він сигналізує мерехтінням світлодіоду.

Оцінюючи інтенсивність імпульсного потоку від лічильника Гейгера-Мюллера, процесор автоматично задає інтервал і діапазон вимірювання.

Послідовним короточасним натисканням кнопки «РЕЖИМ» забезпечується вибір відповідних режимів роботи дозиметру.

Натисканням кнопки «ПОРОГ» у відповідному режимі вимірювання процесор переходить в режим програмування значень порогових рівнів спрацьовування звукової сигналізації.

При кожному натисканні кнопок «ПОРОГ» і «РЕЖИМ» включається підсвічування цифрової шкали дозиметру до 5 секунд.

Вимикання дозиметру здійснюється натисканням і утриманням в натиснутому стані кнопки «РЕЖИМ» протягом 4 секунд.

### **4. Вимірювання потужності еквівалентного іонізуючого випромінювання (фону $\gamma$ -випромінювання)**

Режим вимірювання потужності еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання активізується автоматично після включення дозиметру. При цьому, на цифровому індикаторі вже на перших секундах будуть висвічуватися результати вимірювань, які відразу надають можливість оперативно оцінити рівень  $\gamma$ -випромінювання. До отримання достовірної статистично опрацьованої інформації цифровий індикатор буде мигати.

Тривалість статистичного опрацювання залежить від інтенсивності випромінювання. Одиниця вимірювання потужності еквівалентної дози – мкЗв/год (мікрозіверт за годину). Для об'єктного вимірювання потужності еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання дозиметр необхідно зорієнтувати метрологічною міткою “+” в напрямку досліджуваного об'єкту. При цьому необхідно переконатись, що кришка-фільтр закриває вікно, за яким знаходиться вимірювальний детектор.

Результатом вимірювань потужності еквівалентної дози вважається середнє арифметичне п'яти останніх вимірювань після припинення мигань цифрового індикатору. Кожний зареєстрований  $\gamma$ -квант буде супроводжуватись звуковим сигналом.

Інтервали і діапазони вимірювань будуть встановлюватись автоматично в залежності від інтенсивності вимірюваного випромінювання.

При необхідності оперативної оцінки рівня випромінювання, процес статистичного опрацювання інформації можна перезапустити примусово. Для цього необхідно натиснути і утримувати в натиснутому стані протягом 2 секунд кнопку «ПОРОГ». В результаті виконаних цих дій наближену оцінку рівня фону  $\gamma$ -випромінювання можна буде здійснити протягом 10 секунд. Результати кожного вимірювання рекомендується записувати в спеціальний зошит (дослідницький журнал).

## Конструкція і принцип роботи дозиметру ДП-5В [6]

### 1. Загальна характеристика дозиметру

Дозиметр ДП-5В призначений для вимірювання потужності експозиційної дози  $\gamma$ -випромінювання, а також виявлення  $\beta$ -випромінювання. Потужність експозиційної дози  $\gamma$ -випромінювання визначається в мілірентгенах за годину або рентгенах за годину в точці, де розміщений блок детектування приладу.

Прилад розрахований на забезпечення діапазону вимірювань  $\gamma$ -випромінювань від 0,05 мР/год до 200 Р/год і межах енергій від 0,084 МэВ до 1,25 МэВ.

У приладі 6 піддіапазонів вимірювань. Відлік показників здійснюється за шкалою з наступним множенням на відповідний коефіцієнт під діпазону, при цьому основною вважається ділянка шкали, накреслена сполушною лінією.

### 2. Підготовка дозиметру до роботи

Відкрити кришку футляру, ознайомитися з розташуванням і призначенням засобів керування. Встановити ручку перемикача діпазонів в положення «0» (вимкнено) і під'єднати живлення. Встановити ручку перемикача піддіпазонів в положення «Д» (контроль режиму). В результаті цих дій стрілка приладу повинна розміститися в режимному секторі. Увімкнути освітлення вимірювальної шкали (при необхідності). Перевірити працездатність приладу: повернути екран блоку детектування в положення «у», підключити навушники. Встановити перемикач піддіпазонів в положення «хОД», при цьому стрілка мікроампер метру повинна відхилитися, а в навушниках пролунають звуки потріскування. Якщо натиснути на кнопку обнуління показників «Х», тоді стрілка приладу повинна опинитися на нульовій позначці шкали і прилад готовий до роботи.

### 3. Вимірювання потужності дози $\gamma$ -випромінювання

Повернути екран блоку детектування в положення «у» і прилад почне фіксувати потужність дози  $\gamma$ -випромінювання у місці розташування блоку детектування. На піддіпазоні «3» показники зчитуються за шкалою мікроамперметру «0-200». На інших піддіпазонах показники зчитуються за шкалою мікроамперметру «0-5», помножуються на коефіцієнт відповідного піддіпазону.

### 4. Вимірювання потужності дози $\beta$ -випромінювання

Для виявлення  $\beta$ -випромінювання необхідно повернути екран на блоці детектування в положення «р». Піднести блок детектування до досліджуваної поверхні на відстань 1-1,5 см. Ручку перемикача піддіпазонів поступово



встановити в положення «x0,1», «x1», «x10» до початку відхилення стрілки мікроамперметру в межах шкали.

При встановленні екрану на блоці детектування на позицію «р», вимірюється сумарна потужність дози  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінювань. Збільшення вимірюваних показників на одному і тому ж піддіапазоні в порівнянні з вимірюванням  $\gamma$ -випромінювання вказує на наявність  $\beta$ -випромінювання. Результати кожного вимірювання рекомендується записувати в спеціальний зошит (дослідницький журнал).

Таблиця 21

Показники потужності еквівалентної дози опромінення досліджуваної ділянки

Дата вимірювання	Номер ділянки	Номер точки на ділянці	GPS координати точки	Опис досліджуваної ділянки	Температура повітря, (°C)	Температура ґрунту, (°C)	Вологість повітря, (%)	Вологість ґрунту, (%)	Потужність еквівалентної дози на висоті 5 см, (мкЗв / год)	Середнє значення потужності еквівалентної дози на висоті 5 см, (мкЗв / год)	Потужність еквівалентної дози на висоті 50 см, (мкЗв / год)	Середнє значення потужності еквівалентної дози на висоті 50 см, (мкЗв / год)	Потужність еквівалентної дози на висоті 150 см, (мкЗв / год)	Середнє значення потужності еквівалентної дози на висоті 150 см, (мкЗв / год)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Навчальне видання

**Лапига  
Ігор Васильович**

# **РАДІОЕКОЛОГІЯ**

**Лабораторний практикум**

Відповідальний редактор: Лапига І. В.



Підписано до друку 25.02.2018 р. Формат 60x84/16.

Папір офсетний. Гарнітура Times.

Ум. др. арк. 2,12

Наклад. 100 прим. Зам. № 064

Віддруковано з оригіналів.

Видавництво Національного педагогічного університету  
Імені М. П. Драгоманова. 01601, м. Київ-30, вул. Пирогова, 9  
Свідоцтво про реєстрацію ДК № 1101 від 29.10.2002. (044) 234-75-87  
Віддруковано в друкарні Національного педагогічного університету  
імені М. П. Драгоманова (044) 239-30-26