

Волинський національний університет імені Лесі Українки
Факультет хімії та екології
Кафедра екології та охорони навколишнього середовища

О.С. Музиченко

РАДІОЕКОЛОГІЯ

Методичні вказівки до практичних робіт

Луцьк - 2024

УДК 574:551-521(072)

М 89

Рекомендовано до друку науково-методичною радою Волинського національного університету імені Лесі Українки (протокол №7 від 27 березня 2024 р.).

Рецензенти:

Гулай О.І., д.п.н., професор кафедри матеріалознавства Луцького національного технічного університету;

Джам О. А., к.х.н., доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Волинського національного університету імені Лесі Українки.

Музиченко О. С.

М 89 Радіоекологія: методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів освіти спеціальності «Екологія». Луцьк: Вежа-Друк, 2024. 73 с.

В методичних вказівках викладено правила і техніка радіаційної безпеки під час роботи з джерелами іонізуючих випромінювань і радіоактивними речовинами. Розглянуто фізичні основи радіоактивності та прийоми статистичної обробки даних радіометрії. Викладений цикл практичних робіт з радіоекології передбачає ситуаційні задачі щодо особливостей ведення аграрного виробництва на радіоактивно забруднених територіях та принципи їх виконання. Запитання для самоконтролю допомагають закріпити набуті знання.

Науково-методичне видання рекомендовано для здобувачів освіти спеціальності «Екологія».

ЗМІСТ

Передмова.....	4
<i>Практична робота №1</i> Будова ядра та радіоактивні перетворення ядер.....	5
<i>Практична робота №2</i> Прогнозування змін активності радіонуклідів.....	9
Практична робота №3 Основні поняття радіаційної дозиметрії та одиниці вимірювання.....	12
<i>Практична робота №4</i> Основні санітарні правила при роботі з радіоактивними речовинами.....	16
<i>Практична робота №5</i> Будова, принципи роботи і класифікація ядерних реакторів.....	21
<i>Практична робота №6</i> Норми радіаційної безпеки при роботі з радіоактивними речовинами.....	27
<i>Практична робота №7</i> Методи контролю радіоактивного опромінення.....	32
<i>Практична робота №8</i> Прогнозування ризиків радіаційного впливу на людину.....	36
<i>Практична робота №9</i> Збір та знешкодження твердих і рідких радіоактивних відходів та пилогазоочистка від радіонуклідів.....	40
<i>Практична робота №10</i> Радіозахисне харчування.....	43
<i>Практична робота №11</i> Визначення сумарної ефективної дози опромінення населення.....	50
<i>Практична робота №12</i> Вивчення експрес-методів визначення сумарної β - активності, визначення часу лічби та відносної похибки вимірювання.....	53
<i>Практична робота №13</i> Прогноз вмісту радіонуклідів у сільськогосподарській продукції.....	56
<i>Практична робота №14</i> Основні принципи ведення тваринництва на радіоактивно забруднених територіях.....	64
ЛІТЕРАТУРА.....	69
ДОДАТКИ.....	71

ПЕРЕДМОВА

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 практичних заняттях з освітнього компонента «Радіоекологія», згідно навчального плану підготовки бакалавра за спеціальністю 101 Екологія в ВНУ імені Лесі Українки.

У методичних вказівках подано 14 практичних занять з теоретичним матеріалом, практичними завданнями, обчислювальними формулами, контрольними запитаннями. Вони забезпечують системність формування та розвитку у здобувачів освіти умінь і практичних навичок, які застосовуються в радіоекологічних дослідженнях.

Практична робота №1

Тема: Будова ядра та радіоактивні перетворення ядер.

Мета роботи: Вивчити будову ядра та розглянути основні ядерні перетворення.

Досліджуючи проходження α -частинок з енергією декілька *MeV* крізь тонкі пластинки золота, Е. Резерфорд зробив висновок про те, що атом складається з позитивно зарядженого ядра і електронів, які його оточують. Розмір ядра $\sim 10^{-14} - 10^{-15}$ м, а розмір атома $\approx 10^{-10}$ м.

Атомне ядро складається з елементарних частинок протонів і нейтронів. Протон (*p*) має позитивний заряд, що дорівнює заряду електрона, масу спокою $m_p = 1.672 \cdot 10^{-27}$ кг. Нейтрон (*n*) – нейтральна частинка з масою спокою $m_n = 1.675 \cdot 10^{-27}$ кг. Протони і нейтрони називають *нуклонами* (від лат. «nucleus» – ядро). Загальна кількість нуклонів в ядрі називається *масовим числом A*. До складу ядра входять *Z* протонів та *N* нейтронів, тому $A = Z + N$.

Атом з певним числом протонів і нейтронів в складі ядра називається *нуклідом*. Нуклід з ядром в основному стані позначають ${}^A_Z X$, де *X* – символ хімічного елемента з порядковим номером *Z*.

Атомне ядро характеризується зарядом Ze , де *e* – заряд протона, *Z* – *зарядове число* ядра.

Зарядове число *Z* характеризує одночасно:

- число протонів в ядрі,
- число електронів в електрично нейтральному атомі,
- порядковий номер елемента в періодичній системі Менделєєва.

Ядра атомів умовно поділяють на легкі (з масовим числом $A < 25$), середні (з масовим числом $25 \leq A \leq 80$) та важкі ($A \geq 80$). Ядра водню (протони) і гелію (α -частки) відносять до групи елементарних часток. Усі ядра (крім ядра водню) складаються із протонів та нейтронів (що зветься нуклонами), пов'язаних між собою ядерними силами. Радіус ядра для різних елементів знаходиться у межах $(2-8) \cdot 10^{-13}$ м.

У стабільних атомах співвідношення між кількістю протонів і нейтронів, що в них містяться, описується формулою:

$$Z = \frac{F}{1,98 + 0,015A^{2/3}}$$

Якщо це співвідношення є порушене, ядра стають радіоактивними. При цьому ядра з більшим вмістом (надлишком) протонів випромінюють позитрони, ядра з надлишком нейтронів – електрони.

Хімічні елементи позначаються у вигляді ${}^A_Z X$, де *X* – назва елемента, атому якого належить ядро (наприклад, ядра: гелію – ${}^4_2\text{He}$, кисню – ${}^{16}_8\text{O}$, урану – ${}^{235}_{92}\text{U}$).

Нукліди, ядра яких мають однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів, називаються *ізотопами*. Ізотопи хімічно тотожні, але відрізняються масою і ядерними властивостями. Всі хімічні речовини мають ізотопи.

Найменшу кількість відомих ізотопів (три – водень, дейтерій, тритій) має водень, а найбільшу (36) ксенон і цезій. Всього відомо близько 1300 ізотопів, з них 250 стабільні, інші радіоактивні. Ізотопи вуглецю і тритій утворюються під впливом космічної радіації.

Нукліди – загальна назва атомів, які вирізняються кількістю ядерних частинок. Радіонуклід – це нестійкий нуклід, такий, що розпадається. Термін «радіонуклід» застосовується для визначення атомів радіоактивних речовин.

Залежно від зміни складу (по вмісту протонів і нейтронів) атомні ядра одного і того ж елемента можуть бути ізотопами, ізобарами і ізотонами.

Ізотопи – це ядра одного елемента з однаковими значеннями протонів Z , але різними значеннями нейтронів N . Більшість хімічних елементів мають два та більше ізотопів.

Ізобари – це атомні ядра з однаковими масовими числами A , але різним вмістом протонів Z .

Ізотони – це атомні ядра з однаковим числом нейтронів, але різними масовими числами A .

До елементарних часток, належать протони (ядра водню), α -частинки (ядра гелію) та нейтрони.

Нейтрон – елементарна частка, що не має електричного заряду і входить до складу атомних ядер, позначається символом n . Маса нейтрону $m_n = 1,008981$ а.о.м. По діапазнам кінетичних енергій (E) нейтрони поділяються на такі групи:

– холодні нейтрони:

$$0 < E_m < 0,005 \text{ eV};$$

– теплові нейтрони (знаходяться у тепловій рівновазі з атомами речовини)

$$0,005 \text{ eV} < E_m < 0,5 \text{ eV},$$

– проміжні нейтрони:

$$0,5 \text{ eV} < E_m < 100\text{-}500 \text{ keV};$$

– швидкі нейтрони:

$$0,1 \text{ MeV} \text{-} 0,5 \text{ MeV} < E_m < 10\text{-}20 \text{ MeV};$$

– надшвидкі нейтрони:

$$E_m > 20 \text{ MeV} \text{ (надходять тільки з космосу)}$$

Протон (ядро водню) – стійка елементарна частинка з позитивним елементарним електричним зарядом, що дорівнює по абсолютній величині заряду електрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ кул), позначається p .

Маса протона дорівнює різниці масі атому водню та маси електрону і складає:

$$m_p = 1,00759 \text{ а.е.м.} = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Альфа-частинка (α -частинка) є ядром гелію, що складається з двох протонів та двох нейтронів і має позитивний електричний заряд, вдвічі більший заряду електрону по абсолютній величині, позначається символами α та He.

Атомна маса α -частинки складає 4,003. Маса дорівнює $6,644 \cdot 10^{-27}$ кг. Альфа-частинки випромінюються при розпаді важких радіоактивних ядер (урану, торію, радію та ін.). Якщо в ядрі є надлишок нейтронів,

випромінюються електрони.

Електрон (або негативна β -частинка) – це стійка елементарна частка з масою $9,108 \cdot 10^{-31}$ кг з негативним електричним зарядом, що дорівнює $1,6 \cdot 10^{-19}$ кулонів, позначається символами e^- або β^- . Якщо в ядрі є надлишок протонів, випромінюються позитрони.

Позитрон (або позитивна β -частинка) є античастинкою електрону, має масу, що дорівнює масі електрону та позитивний електричний заряд, що по абсолютній величині дорівнює заряду електрона, позначається β^+ .

Джерелом β -частинок (електронів і позитронів) є радіоактивні ізотопи а також ядерні вибухи і реакції поділу у ядерних реакторах.

Радіоактивністю називають самовільне (спонтанне) перетворення ядер нестійких ізотопів одних елементів у ядра ізотопів інших елементів, що зумовлено внутрішніми причинами та супроводжується α -, β -, γ -випромінюванням, а також інших частинок (нейтронів, протонів).

До радіоактивних процесів належать:

1. α - розпад;
2. β - розпад;
3. γ - випромінювання;
4. спонтанний поділ тяжких ядер;
5. протонна радіоактивність.

Радіоактивний розпад характеризується середнім часом життя радіоактивного ізотопу $\tau = 1/\lambda$ і періодом напіврозпаду ($T_{1/2}$), що виражається формулою $T_{1/2} = \tau \ln 2$ або

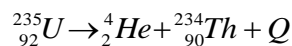
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} = 0,693 \tau .$$

Періодом піврозпаду називається час, протягом якого початкова кількість ядер певної речовини розпадається наполовину

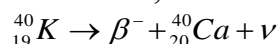
Природні радіоактивні перетворення ядер, які відбуваються самочинно, називаються *радіоактивним розпадом*.

Альфа-розпад супроводжується викидом з ядра нестійкого елемента α -частинки, яка являє собою ядро атома гелію. При цьому воно втрачає 2 протони й 2 нейтрони і перетворюється в інше ядро, заряд якого менше на 2, а масове число на 4. Отже, при такому розпаді, відповідно із правилом зміщення, сформульованим Фаянсом і Содді (1913 р.), створений дочірній елемент зміщується вліво відносно материнського на 2 клітинки таблиці Менделєєва.

Наприклад:

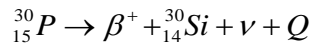


Бета-розпад. Якщо в ядрі є надлишок нейтронів, то відбувається електронний (β^-) розпад, при якому один із нейтронів перетворюється в протон, а з ядра вилітає електрон і антинейтрино. При цьому розпаді заряд ядра і номер збільшується на одиницю, а дочірній елемент зсунутий в таблиці Менделєєва на один номер вправо від материнського, а масове число залишається без зміни:



Якщо в ядрі є надлишок протонів, відбувається позитронний β^+ розпад.

При цьому ядро викидає позитрон і нейтрино, а один із протонів перетворюється в нейтрон. Заряд ядра і атомний номер зменшуються на 1 і дочірній елемент зміщується на 1 номер вліво від материнського елемента в таблиці Менделєєва. Масове число залишається без змін:



Позитрон, що вилетів з ядра, зриває з оболонки атома «лишній» електрон, або взаємодіє з вільним електроном, утворюючи пару «позитрон-електрон», яка миттєво перетворюється в 2 γ -кванти з енергією, еквівалентною масі частинок ($e^{+}e^{-}$). Процес перетворення пари в 2 γ -кванти отримав назву анігіляції (знищення), а виникаюче електромагнітне випромінювання – анігіляційного. В даному випадку відбувається перетворення однієї форми матерії – частинок речовини, в іншу форму – γ -фотони. Таким чином, при позитронному розпаді в кінцевому результаті за межі материнського атома вилітають не частинки, а два γ -кванта, кожен з яких має енергію 0,511 МеВ, що дорівнює енергетичному еквіваленту маси спокою частинок – позитрону та електрону.

Гамма-випромінювання – це короткохвильове електромагнітне випромінювання з дуже малою довжиною хвилі $\lambda < 10^{-10}\text{ м}$ і внаслідок цього – яскраво вираженими корпускулярними властивостями.

Експериментально встановлено, що γ - випромінювання не є самостійним видом радіоактивності, а лише супроводжує α - та β - розпади; виникає також під час ядерних реакцій, гальмування заряджених частинок, їх розпаду та ін. Встановлено, що γ - випромінювання не викликає зміни заряду і масового числа ядер, воно випускається дочірнім ядром, яке в момент свого утворення перебуває у збудженому стані.

Ядерні реакції – це перетворення атомних ядер при взаємодії з елементарними частинками, з γ - квантами або між собою.

Завдання.

1. Вкажіть тип ядерних перетворень у радіоактивному розпаді сімейства урану-238.

Уран-238 \rightarrow Торій-234 \rightarrow Протактиній-234 \rightarrow Уран-234 \rightarrow Торій-230 \rightarrow Радій-226 \rightarrow Радон-222 \rightarrow Полоній-218 \rightarrow Свинець-214 \rightarrow Бісмут-214 \rightarrow Полоній-214 \rightarrow Свинець-210 \rightarrow Бісмут-210 \rightarrow Полоній-210 \rightarrow Свинець-206 (стабільний).

2. Вкажіть кількість нейтронів у ядрі нукліду ${}^{40}\text{Ar}$:

а) 40; б) 18; в) 22; г) 20; д) 58.

3. Вкажіть назву атомів з певним значенням нуклонного та протонного чисел:

а) ізотоп; б) нуклід; в) нуклон; г) радіонуклід; д) ізомер.

4. Вкажіть кількість частинок, які містить ядро нукліду Ванадію ${}^{51}_{23}\text{V}$:

а) 51 нейтрон і 23 електрони; б) 51 протон і 28 нейтронів;

- в) 23 протони і 28 нейтронів; г) 23 нейтрони і 51 протон;
 д) 74 нейтрони і 23 протони.

5. Вкажіть, чим кількісно відрізняються атоми ізотопів одного й того ж елемента:

- а) зарядом ядра; б) кількістю нейтронів;
 в) кількістю протонів; г) кількістю електронів;
 д) кількістю нейтронів і протонів.

6. Вкажіть кількість частинок, які містить ядро нукліду Феруму ${}^{56}_{26}\text{Fe}$:

- а) 56 нейтронів і 26 протонів; б) 26 протонів і 30 нейтронів;
 в) 56 протонів і 30 нейтронів; г) 26 нейтронів і 56 протонів;
 д) 82 нейтрони та 26 протонів.

Контрольні запитання.

1. Описати сучасну модель будови атома.
2. Від чого залежить період напіврозпаду радіонукліду?
3. Що таке ізотопи, радіонукліди?

Практична робота №2

Тема: Прогнозування змін активності радіонуклідів.

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

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. 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 (λ) 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 $\frac{1}{4}$. 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:

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

де: λ – постійна радіоактивного розпаду (с^{-1});
 $T_{1/2}$ – період напіврозпаду (діб), $T_{1/2} = 0,693 / \lambda$.

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

$$A = \lambda \cdot N, \quad (2)$$

де: A – активність нукліду (Бк);
 λ – постійна радіоактивного розпаду (с^{-1}); N – кількість атомів.

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 = 1Бк = $2,7 \times 10^{-11}$ Кі. Один Кі = $3,7 \times 10^{10}$ Бк. Активність нукліду через t -час обчислюється за формулою:

$$A_t = A_0 \times e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}} \quad (3)$$

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).

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

$$N_t = \frac{A_t}{\lambda}, \quad (4)$$

де: N_t – кількість атомів нукліду через t -час (Бк); A_t – активність нукліду через t -час, (Бк); λ – постійна радіоактивного розпаду (с^{-1}).

Для відображення постійної радіоактивного розпаду (λ) в одиницях (с^{-1}) системи СІ, при обчисленні кількості атомів (N), використовується формула:

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}, \quad (5)$$

де: λ – постійна радіоактивного розпаду (с^{-1}); $\ln(2) = 0,693$; $T_{1/2}$ – період напіврозпаду (діб).

Завдання 1.

Визначте активність (A_t) радіонукліду (x) з періодом напіврозпаду (y) та початковою активністю (A_0), через t -час, використовуючи варіанти даних таблиці 1. Порівняйте зміни активності радіонуклідів з відносно

короткотривалим і довготривалим періодами напіврозпаду.

Таблиця 1

Вихідні дані

Показники	Варіант						
	1	2	3	4	5	6	7
Радіонуклід (x)	^{95}Zr	^{242}Cm	^{14}C	^{249}Bk	^{227}Th	^{254}Es	^{252}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 2, 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 2

Вихідні дані

Показники	Варіант						
	1	2	3	4	5	6	7
Радіонуклід (x)	^{58}Co	^{144}Ce	^{106}Ru	^{137}Cs	^{91}Sr	^{225}Ra	^{136}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

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.

Контрольні запитання.

1. Що називають радіоактивністю?
2. Розкрийте зміст поняття «активність нукліду».
3. Що відображає показник постійної радіоактивного розпаду?
4. Розкрийте зміст основного закону радіоактивного розпаду.
5. Назвіть чим характеризується концентрація радіоактивної речовини.
6. На основі якого показника характеризується концентрація радіоактивної речовини?

Практична робота №3

Тема: Основні поняття радіаційної дозиметрії та одиниці вимірювання.

Мета роботи: Ознайомити здобувачів освіти з дозами та одиницями вимірювання радіоактивності.

Важливим завданням в цивільному захисті є виявлення і оцінка небезпечності іонізуючих випромінювань для населення у різних умовах радіаційної обстановки.

Для визначення необхідності проведення дезактивації й санітарної обробки, визначення норм споживання забруднених продуктів, дози опромінення з метою визначення працездатності населення вимірюють потужність дози випромінювання, радіоактивність речовин та об'єктів.

В науковій літературі одиниці подаються як в Міжнародній системі (СІ) так і несистемні одиниці, які активно застосовувались раніше. Тому розглянемо їх також.

Наявність радіоактивних речовин у середовищі часто буває дуже малою. Тому мірою радіоактивних речовин є не вага, а активність радіоізотопів.

Активністю радіоактивного елемента є число атомних розпадів в ньому за одиницю часу, вона характеризує швидкість радіоактивного розпаду радіонукліда. Активність радіоактивної речовини пропорційна її кількості. Кількість радіоактивної речовини свідчить про її активність - про кількість атомів, що розпадаються за 1 с.

Одиницею активності в системі СІ є Беккерель.

Беккерель (Бк, Вq) – це така кількість радіоактивної речовини, в якій проходить 1 акт розпаду за 1 с, а несистемна одиниця – *Кюрі (Ки, Ci)* – така кількість радіоактивної речовини в якій проходить 37 млрд. актів розпаду за 1 с.

За одиницю радіоактивності речовини – питому вагову активність прийнята одиниця *Беккерель на кілограм (Бк/кг)*, а несистемна – *Кюрі на кілограм (Ки/кг)*.

Одиницею радіоактивності рідкого і газоподібного середовища – питомою об'ємною активністю в системі СІ є *Беккерель на літр (Бк/л)*, а несистемна одиниця – *Кюрі на літр (Ки/л)*.

За одиницю радіоактивності площі – питому забрудненість площі в системі СІ є *Беккерель на квадратний кілометр (Бк/км²)*, несистемна одиниця – *Кюрі на квадратний кілометр (Ки/км²)*.

Іонізуючу властивість радіації в повітрі характеризують дозою випромінювання.

Доза випромінювання (опромінення) – це кількість енергії радіоактивних випромінювань поглинутих одиницею об'єму середовища, яке опромінюється.

Доза випромінювання є мірою уражаючої дії радіоактивних випромінювань на організм людини, тварин і рослини. Вона накопичується за різний час, а ураження від опромінення залежить від величини дози та від часу

її накопичення. Розрізняють експозиційну, поглинуту і еквівалентну дози.

Експозиційна доза (ЕД) відображає степінь 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). $1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$, а $1 \text{ Кл/кг} \approx 3,876 \times 10^3 \text{ Р}$.

При експозиційній дозі, яка дорівнює одному рентгену, в 1 м³ сухого повітря при нормальному атмосферному тиску виникає сумарний заряд іонів одного знака величиною $0,33 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$.

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

$$MD = \frac{G_{\sigma} \times A}{R^2} \quad (1)$$

де: MD – потужність експозиційної дози (А/кг);

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

A – активність радіонукліду (Бк);

R – відстань від детектора до джерела випромінювання (см).

Поглинута доза (ПД) – фізична величина, що дорівнює відношенню енергії поглинутого випромінювання до маси опромінюваної речовини. .

Одиниця поглинутої дози випромінювання – Грей (Гр): $1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ – доза випромінювання, при якій опромінюваній речовині масою 1 кг передається енергія довільного іонізуючого випромінювання 1 Дж.

Позасистемною одиницею вимірювання поглинутої дози є рад. $1 \text{ Рад} = 0,01 \text{ Гр} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/кг}$. Поглинута доза обчислюється за формулою:

$$D_{rad} = X f, \quad (2)$$

де: D_{rad} – поглинута доза (рад),

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

f – перехідний коефіцієнт.

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.

Еквівалентна доза (ЕД) відображає відносну біологічну ефективність випромінювання. Еквівалентна доза характеризує те, що різні види іонізуючого випромінювання під час опромінювання організму однаковими дозами

приводять до різного ефекту. Це пов'язано з неоднаковою щільністю іонізації різних видів випромінювань. Так, кількість іонів, які утворюються під дією опромінення α -частинками, у сотні разів вища від γ -променів. Тому введено поняття «відносна біологічна ефективність» (ВБЕ), яка показує співвідношення поглинутих доз різних видів випромінювання, що викликають однаковий біологічний ефект. Якщо умовно прийняти біологічну ефективність γ - і β -променів за одиницю, то для α -частинок вона буде дорівнювати десяти, а для повільних і швидких нейтронів відповідно п'яти і двадцяти. Еквівалентна доза опромінення використовується для оцінювання дії випромінювання на людей і тварин

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.

Еквівалентна доза обчислюється за формулою:

$$H = D_{rad} \cdot W_R, \quad (3)$$

де: H – еквівалентна доза опромінення (Зв);

D_{rad} – поглинута доза опромінення (Рад);

W_R – зважений коефіцієнт для даного виду опромінення.

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

Позасистемною одиницею вимірювання еквівалентної дози є *біологічний еквівалент рентгена* (Бер). 1 бер – доза довільного виду іонізуючого випромінювання, яка здійснює таку саму біологічну дію, яку здійснює доза рентгенівського або γ -випромінювання в 1 Р. 1 Бер = 10^{-2} Зв.

Доза в берах виражається тоді, коли необхідно оцінити загальний біологічний ефект незалежно від типу діючих випромінювань.

Щоб урахувати нерівномірність ураження від різних видів випромінювань введено «коефіцієнт якості», на який необхідно перемножити величину поглинутої дози від певного виду випромінювання, щоб одержати еквівалентну дозу.

Всі міжнародні й національні норми встановлені в еквівалентній дозі опромінення. Одиницею потужності еквівалентної дози в системі СІ є *Зіверт за секунду* (Зв/с, Sv/s), а несистемною одиницею є *бер за секунду* (бер/с).

Співвідношення між величинами одиниць радіації наступне:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ розпад/с} = 2,7 \cdot 10^{-11};$$

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк};$$

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 1 \text{ Дж/кг};$$

$$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр} = 100 \text{ Ерг/г};$$

$$1 \text{ рад} = 1,14 \text{ Р};$$

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ Бер} = 1 \text{ Гр};$$

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр};$$

$$1 \text{ Бер} = 10^{-2} \text{ Зв} = 10^{-2} \text{ Гр};$$

$$1 \text{ Р} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

Завдання 1.

Обчисліть потужність експозиційної дози в атмосферному повітрі, а також експозиційну дозу за 12 год. опромінення на відстані (R) 3-5 та 120 см. Перетворіть отримані результати обчислень в показники поглинутої дози, використовуючи дані таблиць 1 та 2.

Таблиця 1

Вихідні дані

Показники	Варіант			
	1	2	3	4
Радіонуклід (x)	^{58}Co	^{144}Ce	^{106}Ru	^{137}Cs
Активність радіонукліду (z) (Бк)	3000	2000	5000	7000
Гамма постійна ($G\sigma$)	0,000000443	0,000000758	0,000000248	0,000000651
Перехідний коефіцієнт (f)	2	3	2	4

Таблиця 2

Вихідні дані

Показники	Варіант			
	5	6	7	8
Радіонуклід (x)	^{91}Sr	^{225}Ra	^{136}Cs	^{65}Ge
Активність радіонукліду (z) (Бк)	4000	9000	12000	11000
Гамма постійна ($G\sigma$)	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 3.

Таблиця 3

Вихідні дані

Об'єкт опромінення	Зважений коефіцієнт, (W_R)	Поглинута доза опромінення, D_{rad} (Рад)
Шкіра	0,01	3
Кістковий червоний мозок	0,12	24
Легені	0,12	11
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

Проаналізуйте показники експозиційної, поглинутої і еквівалентної доз опромінення та розкрийте особливості їх застосування в екологічних дослідженнях.

Контрольні запитання.

1. Що називають експозиційною дозою опромінення? Як розраховується еквівалентна доза і в яких одиницях вона вимірюється?
2. Що таке відносна біологічна ефективність випромінювання.
3. Дайте визначення біологічного еквівалента рентгена.
4. На що вказує зважений коефіцієнт при обчисленні еквівалентної дози опромінення?

Практична робота №4

Тема: Основні санітарні правила при роботі з радіоактивними речовинами.

Мета роботи: Ознайомитися з основними санітарними правилами при роботі з радіоактивними речовинами.

Згідно з основними санітарними правилами України (ОСПУ) при роботі з радіоактивними речовинами людина може отримати зовнішнє та внутрішнє опромінення.

Зовнішнє опромінення – вплив іонізуючого випромінювання на організм із зовні; внутрішнє або інкорпороване – вплив іонізуючого випромінювання на організм або окремі його органи радіонуклідами, що містяться в середині організму.

Всі джерела випромінювання поділяють на закриті (виключається можливість надходження радіоактивних речовин в навколишнє середовище, а отже й можливість внутрішнього опромінення – це диски, сплави, злитки, стержні тощо) і відкриті (є можливість надходження радіоактивних речовин в навколишнє середовище, а отже може мати місце як зовнішнє, так і внутрішнє опромінення – це рідини, порошки, гази тощо).

В ОСПУ всі радіонукліди, як потенційні джерела внутрішнього опромінення, умовно розділені на 4 групи за радіотоксичністю (табл. 1).

Радіотоксичність – властивість радіоактивних ізотопів викликати патологічні зміни при надходженні їх в організм. Радіотоксичність ізотопів залежить від ряду їх характеристик і факторів, головними з яких є такі: 1) тип радіоактивного перетворення; 2) середня енергія одного акту розпаду; 3) схема радіоактивного розпаду; 4) шляхи надходження радіоактивних речовин в організм; 5) розподіл радіоактивних речовин по органах і системах; 6) час

перебування радіонукліда в організмі; 7) тривалість часу надходження радіоактивних речовин в організм людини.

Таблиця 1

Класифікація радіонуклідів за відносною токсичністю

Група токсичності	Радіонукліди
А Надзвичайно високотоксичні	90Sr+90Y, 210Pb+210Bi, 210Po, 2nAt, 126Ra+дочірні, 228Ra, 227Ac, трансуранові
Б Дуже токсичні	45Ca, 59Fe, 89Sr, 91Y, 107Ru+106Rh, 126I, 129I, 131I, 134Cs, 140Ba+140La, 144Ce+144Pr, 151Sm, 152Eu, 154Eu, 170Tu, 207Bi, 223Ra, 228Ac, 227Th, 228Th, 230Th, 232Th, 234Th, 230Pa, 231Pa, 230U до 238U
В Середньотоксичні	14C, 16N, 22Na, 31Si, 32P, 35S, 36Cl, 42K, 47Ca, 46Sc, 47Sc, 48Sc, 48V, 52Mn, 64Mn, 56Mn, 55Fe, 58Co, 60Co, 59Ni, 63Ni, 65Ni, 64Cu, 65Zn, 72Ga, 73As, 74As, 76As, 77As, 75Se, 82Br, 87Kr, 88Kr, 86Rb, 88Rb, 85Sr, 89Sr, 91Sr, 92Sr, 91Y, 92Y, 93Y, 93Zr+93Nb, 95Zr+95Nb, 99Mo, 96Tc, 97Tc, 99Tc, 103Ru, 105Ru, 105Rh, 103Pd+103Rh, 109Pd, 105Ag, 111Ag, 109Cd+109Ag, 115Cd, 113Sn, 122Sb, 124Sb, 125Sb, 129Te, 132Te, 133I, 134I, 135I, 135Cs, 136Cs, 137Cs+137Ba, 137Ba, 141Ce, 143Ce, 142Pr, 143Pr, 146Nd, 149Nd, 147Pm, 153Sm, 155Eu, 153Gd, 159Gd, 160Tb, 166Dy, 166Ho, 169Er, 171Er, 171Tu, 175Yb, 177Lu, 181Hf, 182Ta, 181W, 185W, 187W, 183Re, 186Re, 188Re, 191Os, 190Ir, 192Ir, 194Ir, 191Pt, 193Pt, 197Pt, 196Au, 198Au, 199Au, 197Hg, 203Hg, 200Tl, 202Tl, 204Tl, 212Pb, 206Bi, 231Th, 233Pa, 240U
Г Помірнотоксичні	3H, 7Be, 13N, 17N, 18F, 38Ca, 37Ar, 41Ar, 51Cr, 69Zn, 71Ge, 77Kr, 85Kr, 87Rb, 97Nb, 97Ru, 115In, 129Sb, 133Te, 133Xe, 135Xe, 131Cs, 139Ba, 141La, 142La, 145Ce, 145Pr, 146Pr, 144Nd, 147Sm, 165Dy, 187Re, 201Tl, природний U та Th

1. Група А – особливо радіотоксичні, їхня активність на робочому місці не повинна перевищувати 0,1 мкКі. До них належать 39 ізотопів, в тому числі Pb-210, Po-210, Ra-226, Pu-239 та Pu-240, Am-24 та інші трансуранові елементи.

2. Група Б – високорадіотоксичні, їхня активність на робочому місці не повинна перевищувати 1 мкКі. Це 23 ізотопи, зокрема Sr-90, B-131, Ru-106, Ra-223, Th-227 та інші.

3. Група В – середньорадіотоксичні, допустима активність яких на робочому місці на повинна бути вищою 10 мкКі. До них належать 162 ізотопи, в тому числі: Na-24, P-32, S-35, K-42, Mn-56, Co-60, Sr-89, Cs-134, Cs-137, Ba-140, Ce-144.

4. Група Г – малорадіотоксичні, допустима концентрація яких на робочому місці не повинна перевищувати 100 мкКі. До них належить 45 ізотопів, в тому числі: H-3, C-14, P-33, Cu-64, Pt-197 та інші.

При роботі з радіаційними речовинами передбачено захист від випромінювання. В комплексі заходів із захисту враховують також вид іонізуючого випромінювання: α -, та β -частинки, γ -кванти.

α -частинки пробігають в повітрі від 2,4 до 11,0 см (залежно від енергії), а в

біологічній тканині соті долі міліметра. Тому одяг та гумові рукавиці повністю захищають від зовнішнього α - випромінювання.

β -частинки пробігають в повітрі від 10 см до 25 м, а у біологічних тканинах – до 7,5 мм, і діють в основному на покривні тканини та рогівку ока. Повного захисту від β -частинок немає. Але для захисту від β -випромінювання застосовують екрани з матеріалів, які мають малу атомну масу (скло, плексиглас, алюміній), або двошарові екрани: перший – для поглинання β -частинок та додатково другий – з важких металів (свинець та інші) для поглинання гальмівного рентгенівського випромінювання, що утворюється.

γ -випромінювання викликає слабку іонізуючу дію при значній проникаючій здатності: пробіг γ -квантів в повітрі – 100-150 м, в біологічній тканині – декілька метрів.

Захист від зовнішнього γ -випромінювання здійснюють за допомогою наступних заходів:

- зменшення тривалості роботи з джерелом випромінювання шляхом швидкої маніпуляції з препаратами в результаті високої кваліфікації персоналу та скорочення робочого дня;
- застосування захисних екранів з матеріалів, які мають велику атомну масою (свинець, чавун);
- збільшенням відстані до джерела випромінювання (дистанційні інструменти, подовжувачі, маніпулятори). При збільшенні відстані вдвічі доза зменшується у 4 рази;
- використання для роботи джерел з мінімально можливим виходом випромінювання.

ОСПУ передбачено ряд вимог щодо протирадіаційного захисту при роботі із закритими джерелами іонізуючих випромінювань. Так, усі закриті радіоактивні джерела, що знаходяться в неробочому стані, мають бути у захисних пристроях, а установки, які генерують випромінювання, знеструмлені. Доторкатися до радіоактивних джерел руками забороняється. Виймати такі джерела з контейнера слід за допомогою спеціальних дистанційних пристосувань. При маніпуляціях із джерелами іонізуючих випромінювань необхідно використовувати дистанційні інструменти (продовжувачі) та інші захисні пристрої (екрани). Товщина захисних екранів розраховується за шарами половинного послаблення ($T_{1/2}$).

Шар половинного послаблення – це товщина будь-якого матеріалу (речовини), яка знижує дозу проникаючої радіації в 2 рази (табл. 2).

ОСПУ встановлюють максимальну допустиму потужність ефективної дози при використанні різних джерел випромінювання. Потужність випромінювання від приладів у виробничих умовах не повинна перевищувати 1 мкЗв·год⁻¹ на віддалі 1 м від поверхні блока приладу з джерелом. Потужність дози від невикористаного супутнього рентгенівського випромінювання не повинна перевищувати такого ж значення на віддалі 0,1 м від поверхні пристрою. Для пересувних (переносних) та інших препаратів вона має бути не більшою 10 мкЗв·год⁻¹ на віддалі 1 м від поверхні блока захисту апарата з джерелом. Пульст керування установкою знаходиться в окремому від джерела приміщенні.

**Величина шару половинного послаблення у-випромінювання
для різних матеріалів**

Матеріал	Густина, г/см	Товщина шару, см
Вода	1	13,0
Деревина	0,7	21,0
Поліетилен	0,9	14,0
Склопластик	1,4	10,0
Бетон	2,3	5,6
Алюміній	2,7	6,5
Сталь, залізо	7,8	1,8
Свинець	11,3	1,3

Основні принципи попередження внутрішнього опромінення організму, що виникає при роботі з відкритими джерелами ІВ, базуються на використанні принципів захисту, які використовуються при роботі зі закритими джерелами випромінювання, а також здійснюється герметизація виробничого обладнання для запобігання забруднення приміщень лабораторії та навколишнього середовища радіоактивними речовинами.

Застосовуються санітарно-технічні пристрої і спеціальне обладнання, використовуються спеціальні захисні матеріали, засоби індивідуального захисту. Виконуються правила особистої гігієни, проводиться дезактивація приміщень, апаратури та засобів індивідуального захисту.

Таким чином, існують п'ять таких *принципів протирадіаційного захисту*:

1. Захист збільшенням відстані від джерела радіоактивності.
2. Захист зменшенням часу роботи з джерелом радіоактивності.
3. Захист кількістю – зменшенням кількості радіоактивної речовини на робочому місці.
4. Захист екрануванням від джерела радіоактивності.
5. Захист за допомогою застосування спеціальних радіозахисних речовин: радіопротекторів, радіоблокіраторів, радіодекорпорантів.

Основні санітарні правила індивідуального захисту та особистої гігієни.

При роботі з радіоактивними речовинами ОСПУ та НРБУ-97 встановлюють основні санітарні правила індивідуального захисту та особистої гігієни.

До засобів індивідуального захисту (умовно) відносять засоби індивідуального користування. Крім того, співробітники лабораторій забезпечуються халатами, шапочками, рукавицями, пластиковими нарукавниками, фартухами, напівхалатами, напівкомбінезонами, гіневмокостюмами, додатковим спецвзуттям (гумові чоботи, пластикові сліди, бахили, чохли).

При роботі з радіоактивними газами, аерозолями та порошками застосовують фільтруючі засоби захисту органів дихання (респіратор Р-2,

«Пелюстка», протигаз), для захисту очей застосовують окуляри із оргскла. Матеріали, з яких виготовлено засоби захисту, повинні мати малу сорбційну здатність, легко відмиватися від радіоактивних речовин та відповідати гігієнічним вимогам.

Після закінчення роботи індивідуальні засоби захисту перевіряються на забрудненість, і при необхідності (перевищенні граничних значень) їх дезактивують.

При потраплянні радіоактивних речовин на шкіряний покрив негайно миють руки 72% милом, або миючим порошком. При забрудненні волосся – його миють з використанням 3% лимонної кислоти. Очі слід промивати струменем теплої води при відкритих віках.

У приміщеннях, де працюють з радіоактивними речовинами допускається:

- перебування співробітників без засобів індивідуального захисту;
- зберігання харчових продуктів та інших предметів, які не мають прямого відношення до виконуваних робіт;
- вживання їжі, паління цигарок, користування косметикою.

До безпосередньої роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання допускаються особи, старші 18 років, які пройшли обов'язковий медичний огляд та мають допуск до роботи.

Обов'язковим є щоденний радіаційний контроль за рівнем забруднення робочих поверхонь, обладнання, шкіряних покривів та спецодягу персоналу.

Два рази на місяць контролюють вміст радіоактивних речовин у повітрі робочих приміщень та один раз у квартал – в стічних водах.

Щомісячно проводиться індивідуальний контроль за дозами опромінення обслуговуючого персоналу.

Завдання.

1. Ознайомитися з основними санітарними правилами роботи з радіоактивними речовинами.
2. Встановити групу токсичності радіонуклідів (табл. 3).
3. Ознайомитися з основними видами захисту від випромінювання.
4. Охарактеризувати основні санітарні правила індивідуального захисту та особистої гігієни при роботі радіоактивними речовинами.

Таблиця 3

Вихідні дані

Варіант										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Радіонукліди										
а	Pb -210	Sr-90	Na-24	Ra-226	P-32	Ra-223	S-35	K-42	Th-227	Pu-239
б	Cs-137	H-3	Am-24	C-14	Co-60	P-33	Po-210	Cu-64	Sr-92	Pt-197
в	B-131	Sr-91	Y-91	Ru-106	Zr-93	Sr-89	Y-93	Pu-240	Ba-140	Mn-56

Контрольні запитання.

1. Охарактеризуйте групи токсичності радіонуклідів. Наведіть приклади надзвичайно високотоксичних, дуже токсичних, середньотоксичних та

помірнотоксичних радіонуклідів.

2. Що таке шар половинного послаблення?

3. Охарактеризуйте величину шару половинного послаблення γ -випромінювання для різних матеріалів, встановіть найбільш ефективний матеріал.

4. Як часто проводять індивідуальний контроль персоналу, котрий працює із радіоактивними речовинами?

5. За допомогою яких приладів проводять індивідуальний контроль персоналу, котрий працює із радіоактивними речовинами?

Практична робота №5

Тема: Будова, принципи роботи і класифікація ядерних реакторів.

Мета роботи: Розглянути будову, класифікації, характеристики ядерних реакторів та принципи їх роботи.

Ядерний реактор – це фізичний пристрій, у якому здійснюється керована ланцюгова на реакція ядерного поділу з виділенням та і відведенням теплової енергії. У більшості існуючих ядерних реакторів для підтримання ланцюгової реакції поділу ядер атомів використовуються повільні (теплові) нейтрони. Проте вже є ядерні реактори, які працюють на швидких нейтронах.

Основною частиною ядерного реактора є активна зона, в якій певним чином розташовані тепловидільні елементи (ТВЕЛ) з ядерним паливом, сповільнювач нейтронів та нейтронопоглинальні стержні, за допомогою яких здійснюється управління ланцюговою реакцією ядерного поділу. Для відведення тепла від тепловидільних елементів через активну зону безперервно прокачується теплоносій.

Як ядерне паливо у більшості реакторів використовується природний уран, збагачений ізотопом з масовим числом 235, у вигляді діоксиду. Ступінь збагачення складає до 6 %.

До сповільнювачів належать речовини, які значною мірою зменшують енергію, а разом з тим і швидкість нейтронів (графіт, легка і важка вода та ін.).

Регулюючі стержні та стержні аварійного захисту містять у собі речовини, які добре поглинають нейтрони (бор, кадмій, гафній та ін.).

Як теплоносій можуть використовуватись вода (легка або важка), газ (гелій, азот, вуглекислий газ), рідкий метал (натрій) та деякі інші речовини.

Залежно від характерних ознак реактори класифікують по призначенню, енергетичному спектру нейтронів, типу сповільнювача, теплоносія і т.д.

1. По призначенню реактори поділяють на *енергетичні, дослідницькі, транспортні, промислові, експериментальні, багатоцільові*. Неодмінною умовою для транспортних реакторів повинні бути компактність, маневреність. Дослідницькі реактори, повинні бути високо потоковими, щоб виділити пучки нейтронів з певною енергією. Промислові реактори призначені для наробітку плутонію, виробництва радіоактивних ізотопів, опріснення морської води.

2. По енергетичному спектрі нейтронів розрізняють *реактори на*

теплових, швидких і проміжних нейтронах. Найбільш освоєні в даний час реактори на теплових нейтронах. Вони вимагають найменшого питомого завантаження ядерного палива по ізотопу, котрий поділяється. Реактори на проміжних нейтронах використовуються тільки в спеціальних дослідницьких установках.

3. По виду сповільнювача реактори на теплових нейтронах поділяються на *легководні, важководні, графітові.* Найкращою здатністю, що сповільнює, володіє звичайна вода, найгіршою – графіт. При використанні легководного сповільнювача необхідно тільки збагачений уран, тому що вода не тільки добре сповільнює нейтрони, але і помітно поглинає їх. Як сповільнювач використовують берилій.

4. По теплоносій реактори класифікують на *легководні, газоохолоджувані, важководні, рідкометалеві.* Найбільш розповсюджений теплоносій – звичайна вода. Розплавлені метали набули застосування в реакторах на швидких нейтронах.

5. За структурою активної зони розрізняють реактори *гетерогенні і гомогенні.* У гетерогенних реакторах паливо, сповільнювач і теплоносій просторово розділені. У гомогенних реакторах використовується однорідна суміш палива, сповільнювача і теплоносія у вигляді розчину, суспензії розплавів. Практично усі працюючі в даний час реактори відносяться до класу гетерогенних.

6. По конструкційному виконанню реактори поділяють на *корпусні і каналні.* У корпусних реакторах тиск теплоносія несе корпус, у каналних – кожен окремий канал.

7. Реактори з водним теплоносієм розрізняють на киплячі та з водою під тиском (без її кипіння). Переважно корпусні реактори – це реактори з водою під тиском, каналні – переважно киплячі.

8. По паливу класифікація реакторів різноманітна: *по збагаченню* (на природному і збагаченому урані), *по агрегатному стані палива* (на металевому природному урані, легovanому урані, керамічному паливі, розплавах), *по відтворюючому матеріалі* (з уран-плутонієвим чи торієвим циклом). Найбільше поширення поки отримали реактори з твердим керамічним паливом і уран-плутонієвим циклом.

На сьогодні в ядерній енергетиці використовують п'ять основних модифікацій реакторів, які працюють на повільний нейтронах, і один тип реактора-розмножувача на швидких нейтронах (табл. 1).

На вітчизняних АЕС найширшого застосування набули водоводяні енергетичні реактори (ВВЕР), в яких теплоносієм і сповільнювачем є легка вода, в реактори великої потужності каналні (РВПК), теплоносієм є легка вода, а сповільнювачем – графіт.

Принципова відмінність цих двох типів реакторів полягає в тому, що в реакторі типу ВВЕР теплоносій прокачується через всю активну зону, а тому весь корпус реактора перебуває під тиском, а в реакторах типу РВПК теплоносій циркулює по робочих каналах і тільки вони перебувають під тиском.

Основні типи ядерних енергетичних реакторів

Тип реактора	Теплоносій	Сповільнювач
Реактори, які працюють на повільних нейтронах		
ВВЕР	Легка вода під тиском	Легка вода
	Легка вода кипляча	Легка вода
	Газ	Графіт
	Важка вода	Важка вода
РВПК	Легка вода	Графіт
Реактори, які працюють на швидких нейтронах		
ШН	Рідкий метал	Відсутній

Принцип дії ядерного реактора з водою під тиском. Ядерна реакція протікає в активній зоні реактора (рис. 1-2).

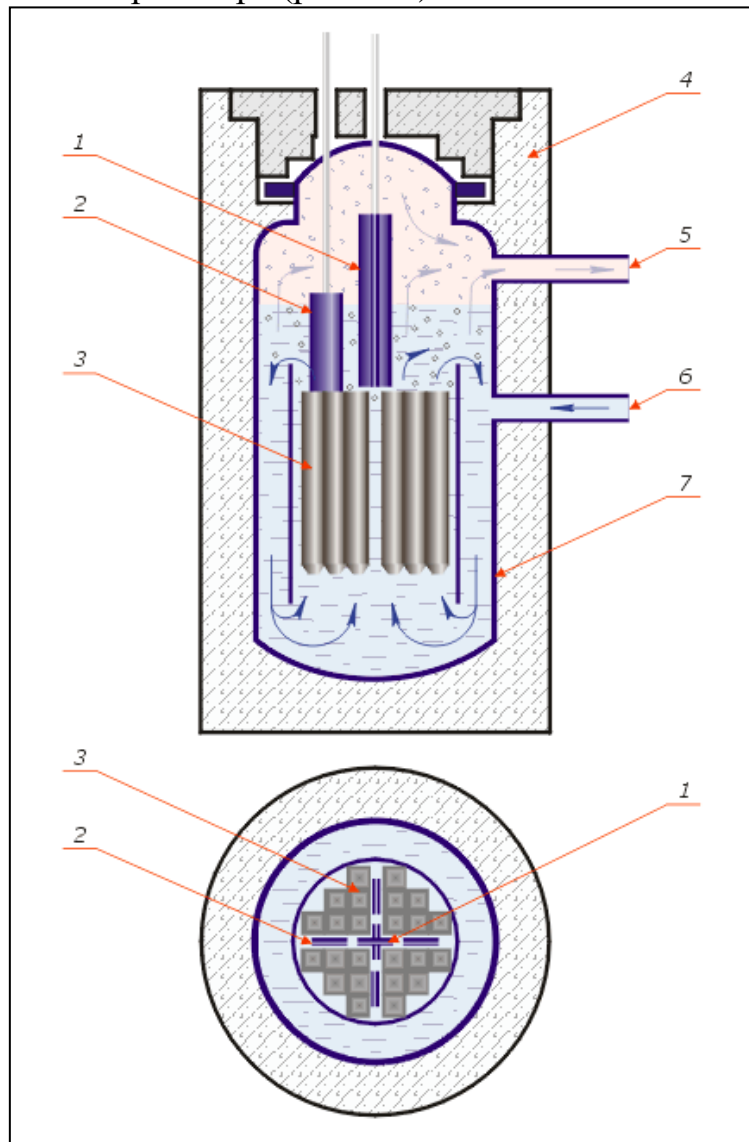


Рис. 1. Схема ядерного реактора:

1 – стержень аварійної зупинки; 2 – керуючий стержень; 3 – ядерне паливо; 4 – біологічний захист; 6 – вихід парової суміші; 7 – вхід води; 8 – корпус

Основний елемент ядерного реактора – *активна зона* або енергоблок, де розміщується ядерне паливо, оформлене у вигляді тепловиділяючих елементів (твелів). Твели компонуються в тепловиділяючі збірки (ТВЗ). Вони розташовуються найчастіше у вертикальних каналах і утворюють правильні ґратки. До складу активної зони входять, крім того, конструкційні матеріали – оболонки твелів. У реакторах на теплових нейтронах до складу активної зони входить також сповільнювач, призначений для уповільнення нейтронів поділу і формування необхідного енергетичного спектра.

Ядерне паливо (суміш ізотопів урану з підвищеним вмістом урану-235) завантажують у реактор у спеціальних контейнерах, що вміщені в паливні стержні. В активну зону вводяться також регулювальні стержні, що дозволяють керувати швидкістю ланцюгової реакції й підтримувати значення коефіцієнта розмноження нейтронів $k=1$. Для повернення нейтронів в активну зону слугує відбивач нейтронів, що її оточує. Завдяки цьому збільшується кількість нейтронів у зоні поділу ядер ^{235}U .

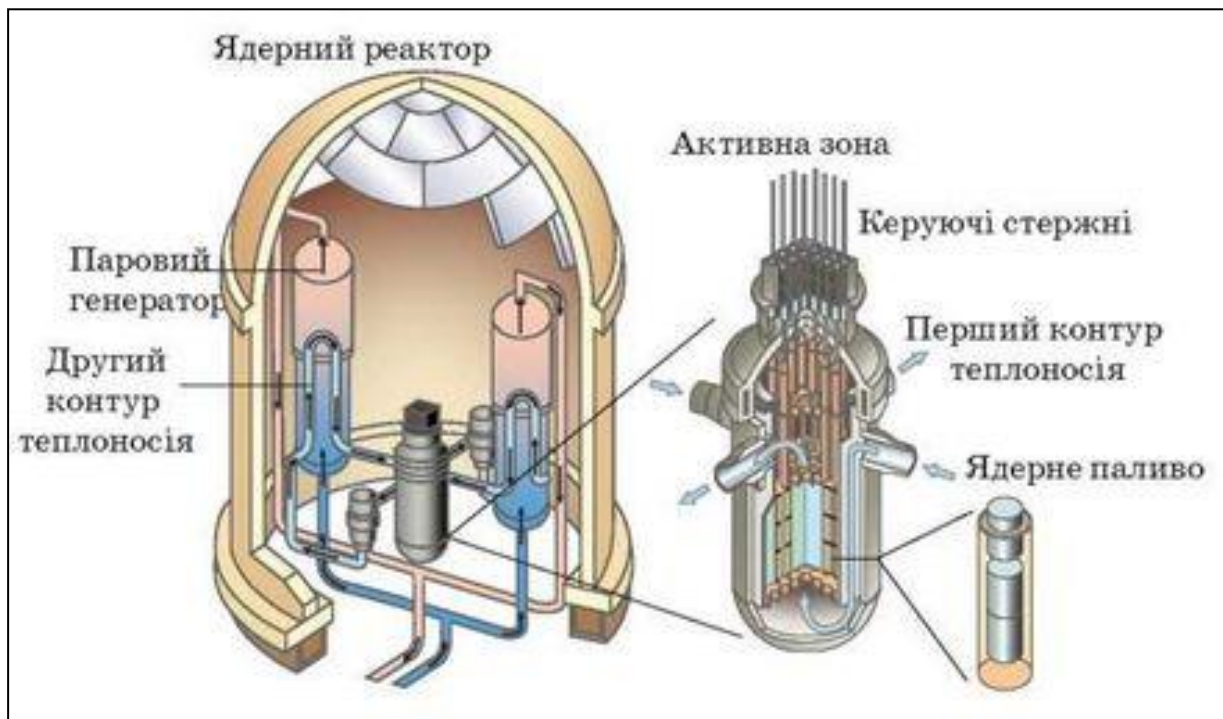


Рис. 2. Схема будови ядерного реактора

Оскільки ядерний реактор є потужним джерелом нейтронів і γ -променів, то в ньому передбачено радіаційний захист. В активній зоні міститься перший контур теплоносія, у якому циркулює вода під високим тиском. Вода в першому контурі нагрівається за рахунок енергії, що виділяється під час реакції поділу ядер урану в паливних стержнях (її температура сягає 300°C), і проходить по трубах через паровий генератор. Вода другого контуру теплоносія циркулює через паровий генератор і конденсатор. У паровому

генераторі вона перетворюється у водяну пару високого тиску. Далі, як і в теплових електростанціях, водяна пара спрямовується на лопаті турбіни, що з'єднана з електрогенератором.

Ядерний реактор є частиною атомної електростанції (АЕС) – комплексу технічних споруд, що призначені для вироблення електричної енергії (рис. 3). В атомній електростанції ядерний реактор відіграє функцію постачальника тепла для нагрівання води й перетворення її на водяну пару. Пара під високим тиском спрямовується в турбіну, сполучену з електрогенератором. Щоб уникнути витоку радіації, контури першого і другого теплоносія замкнуті.

Для охолодження й конденсації пари в конденсаторі застосовується третій контур теплоносія. Зазвичай це вода із природних водойм.

Турбіна атомної електростанції є тепловою машиною, що визначає загальну ефективність станції. У сучасних атомних електростанціях коефіцієнт корисної дії становить близько 30%. Отже, для виробництва 1000 МВт електричної потужності теплова потужність реактора має сягати 3000 МВт. При цьому 2000 МВт забирає вода третього контуру, що охолоджує конденсатор. Це призводить до локального перегрівання природних водойм і виникнення екологічних проблем.

Показники роботи атомного реактора. У процесі роботи в реакторі відбувається вигорання вихідного ядерного палива, нагромадження продуктів поділу і нового ядерного палива. Відношення мас знову накопиченого палива і вигорілого вихідного називається *коефіцієнтом відтворення (КВ)*. Залежно від типу реактора КВ може бути менше чи більше одиниці й в окремому випадку – близьким до одиниці.

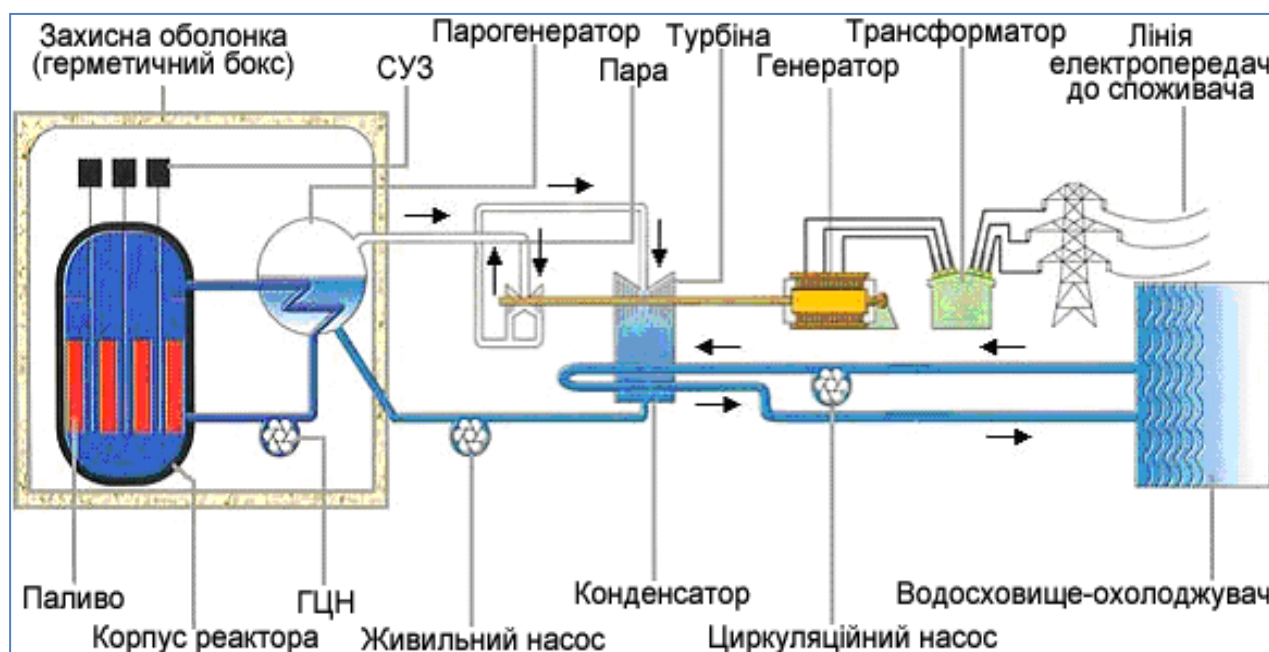


Рис. 3. Схема роботи атомної електростанції з двоконтурним водо-водяним енергетичним реактором

У процесі одного акта поділу у товщині урану вивільняється приблизно

200 MeV енергії і утворюється, в середньому, 2,5-3 нейтрони. Частина нейтронів бере участь у наступних реакціях поділу, частина йде на утворення нового ядерного палива, частина поглинається продуктами поділу і конструкційних матеріалів, частина залишає реактор, не про взаємодіявши (нейтрони витоку). Вивільнена теплова енергія відводиться у зовнішній контур, а утворені нейтрони використовуються у наступних ядерних реакціях

Для ланцюгової реакції поділу, що самопідтримується, з виділенням тепла на постійному рівні необхідно, щоб на кожен акт поділу після усіх втрат залишався один нейтрон. У цьому випадку реактор буде знаходитись точно в критичному стані.

Важлива характеристика, що визначає стан реактора, – *коефіцієнт розмноження* k , дорівнює відношенню числа нейтронів даного покоління до числа нейтронів попереднього покоління. При $k=1$ реактор знаходиться в критичному стані і працює з постійним енерговиділенням. Якщо ж $k<1$, то ланцюгова реакція розподілу загасає і в остаточному підсумку енерговиділення в реакторі припиняється. Нарешті, при $k>1$ реакція розподілу буде безупинно зростати, і для припинення зростання енерговиділення необхідно зменшити k до значення, рівного одиниці.

Величина $k-1=\Delta k$ називається надлишковою реактивністю. Таким чином, при $\Delta k=0$ реактор знаходиться в критичному стані, а при $\Delta k>0$ – у надкритичному. У підкритичному реакторі $\Delta k<0$. У цьому випадку говорять у глибині підкритичності, що визначається як $\Delta k=1-k$.

Відношення $\Delta k/k$ називають реактивністю реактора. При нормальних режимах роботи k надзвичайно мало відрізняється від одиниці, значення Δk ототожнюють з цим відношенням і називають просто *реактивністю*.

Швидкість зміни щільності нейтронів залежить від періоду реактора T , що є час, за який щільність нейтронів зміниться в $e=2,71828$ разів. У стаціонарному режимі $T = \infty$. При T рівному кінцевому значенню, реактор розганяється, $T > 0$, або ланцюгова реакція загасає, якщо $T<0$.

Для досягнення критичного стану в реакторі необхідно мати строго визначену кількість ядерного палива, рівну так називаній *критичній масі*. Відповідно при масі менш критичній реакція поділу загасає й енерговиділення припиняється, а при масі палива більш критичної – реактор розганяється з безупинним зростанням енерговиділення.

Заміна касет, що вигоріли, відбувається на реакторі після його зупинки та розущільнення. Здійснюється заміна під водою дистанційно за допомогою спеціальної машини. Кожного року проводиться розвантаження біля 1/3 робочих касет і завантаження такої ж кількості нових. Відпрацьовані твели поміщають спочатку в басейн витримки, а потім виряджають на переробку.

Енергоблок АЕС складається з першого та другого контуру і реакторного відділення.

Перший контур – радіоактивний, він в своєму складі має реактор і декілька циркуляційних петель, кожна з яких містить головний циркуляційний насос (ГІДН), парогенератор та трубопроводи з аустенітної сталі.

Другий контур – нерадіоактивний, складається з пароутворювальної

частини парогенераторів, турбіни з генератором і допоміжного обладнання машинного відділення. Контури є ізольованим один від одного, що дозволяє запобігати переходу радіоактивних речовин з першого в другий.

Реакторне відділення складається з: реактора, парогенератора, головних циркулярних насосів, компенсатора об'єму, місткості системи аварійного охолодження зони та трубопроводів зв'язку. Все це є розташованим під захисною оболонкою у боксах з масивними стінками з тяжкого бетону і залізобетону. Реакторне відділення розташоване у головному корпусі ЛЕС.

Приміщення, де міститься реакторне відділення, розділяється на зони суворого та вільного режиму. У зоні суворого режиму розташовані системи та обладнання, що мають контакт з радіоактивною водою першого контуру.

Для зменшення витоку нейтронів активна зона з усіх боків оточена *відбивачем*. Відбивач звичайно складається з того ж матеріалу, що і сповільнювач. Активна зона і відбивач розміщені в герметичному корпусі.

Для ослаблення потоків швидких і теплових нейтронів, а також γ -випромінювання реактор містить *біологічний захист*.

У процесі роботи реактора відбувається згорання ядерного палива, нагромадження продуктів поділу і нового ядерного палива, у результаті, чого порушується баланс нейтронів і змінюється критична маса. Остання залежить від складу активної зони, що безупинно змінюється. Критична маса залежить від температури матеріалів активної зони.

Крім головного корпусу, АЕС (наприклад, такої як Запорізька) складається з таких споруд: спецкорпус із санітарно-побутовими блоками, блоками майстерень та допоміжними естакадами; об'єднаний допоміжний корпус; об'єднаний газовий корпус; споруди технічного водопостачання; електротехнічні спорудження.

Завдання.

Описати основні технічні характеристики сучасних ядерних реакторів, які використовуються на АЕС на теплових та швидких нейтронах. Завдання оформити у вигляді таблиці.

Контрольні запитання.

1. Описати принцип функціонування ядерного реактору.
2. Сучасний стан атомної енергетики у світі.
3. Недоліки та переваги атомної енергетики.

Практична робота №6

Тема: Норми радіаційної безпеки при роботі з радіоактивними речовинами.

Мета роботи : ознайомитися із загальними нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97/Д-2000).

«Норми радіаційної безпеки України» з доповненням «Радіаційний захист

від джерел потенційного опромінення» (НРБУ-97/Д-2000) є основним державним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів.

Мета НРБУ-97/Д-2000 – охорона здоров'я людини, безпечна експлуатація джерел іонізуючого випромінювання та охорона навколишнього середовища.

Основними принципами радіаційної безпеки є:

1. Принцип виправданості – будь-яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватись, коли вона не приносить більше користі опроміненним особам чи суспільству ніж шкоди;
2. Принцип неперевищення – рівні опромінення не повинні перевищувати встановлених лімітів доз;
3. Принцип оптимізації – рівні доз опромінення та кількість опромінюваних осіб повинні бути мінімальними.

Основні регламентовані величини НРБУ-97/Д-2000

Вимоги НРБУ-97/Д-2000 поширюються на ситуації опромінення людей в таких умовах:

1. Нормальна експлуатація індустриальних джерел іонізуючого випромінювання. До цієї групи вимог входять:

- ліміти доз (ЛД) – норматив обмеження опромінення осіб категорій А, Б та В, з використанням показників ліміту ефективної дози та ліміту еквівалентної дози зовнішнього опромінення;
- похідні рівні, серед яких розрізняють допустимі рівні (ДР) – норматив надходження радіонуклідів в організм людини за календарний рік, усередненої річної потужності еквівалентної дози, концентрації радіонуклідів в повітрі, питній воді, раціоні та інше;
- контрольні рівні (КР) – регламенти, чисельні значення яких встановлюються керівництвом установи виходячи з фактично досягнутого на даному об'єкті рівня, за узгодженням з органами Держпродспоживслужби.

2. Обмеження опромінення людини від медичних джерел. До цієї групи вимог входять рекомендовані рівні – величина дози, потужності дози чи радіоактивності, що встановлюється Міністерством охорони здоров'я.

3. Опромінення населення в умовах радіаційної аварії:

- рівні втручання – рівні відвернутої дози (доза, що відвертається внаслідок застосування певного контрзаходу), при перевищенні якої потрібно застосовувати контрзаходи;
- рівні дії – величина, похідна від рівнів втручання, що характеризується показниками, які можуть бути виміряні потужністю дози, активністю, щільністю забруднення та іншими.

4. Опромінення від техногенно підсилених джерел природного походження (природні джерела, які в результаті діяльності людини піддані концентруванню або збільшилась їхня доступність). До цієї групи належать рівні втручання та рівні дії.

НРБУ-97/Д-2000 встановлюють такі категорії осіб, які зазнають

опромінення:

1. Категорія А (персонал), що безпосередньо працює з іонізуючим випромінюванням;

2. Категорія Б (персонал) – особи, крім осіб категорії А, що за професійною діяльністю можуть піддаватись додатковому впливу іонізуючого випромінювання;

3. Категорія В – все населення.

Радіаційно-гігієнічні регламенти першої групи.

1. Опромінення персоналу категорії А. Для персоналу (категорія осіб А) ліміт індивідуальної річної ефективної дози (ЛДЕ) не повинен перевищувати 20 мЗв рік⁻¹. Особи, віком до 18 років до роботи з джерелами іонізуючого випромінювання не допускаються. Для осіб, у яких ЛДЕ може перевищувати 10 мЗв рік⁻¹, є обов'язковим індивідуальний дозиметричний контроль.

При плануванні підвищеного опромінення персоналу використовується значення $ЛД_{max}$ за один окремий рік – 50 мЗв.

Опромінення персоналу, що планується, в дозах від 1 до 2 $ЛД_{max}$, (50-100 мЗв рік⁻¹) дозволяється органами Держсанепідемнагляду. Опромінення персоналу, що планується, в дозах від 2 до 5 $ЛД_{max}$ може бути дозволено лише в окремих випадках Міністерством охорони здоров'я один раз протягом всієї діяльності працівника. Планування підвищеного опромінення жінок у віці 45 років та чоловіків, молодших 30 років, забороняється.

Числові значення допустимих та контрольних рівнів наведені в Додатку 2 НРБУ-97/Д-2000.

2. Опромінення персоналу категорії Б. Для персоналу (категорія Б) ліміт індивідуальної річної ефективної дози ($ЛД_e$) не повинен перевищувати 2 мЗв рік⁻¹. Значення величин допустимих та контрольних рівнів для цієї категорії встановлено на рівні 1/10 величин, наведених в Додатку 2 для персоналу категорії А.

Для вагітних жінок (категорії А, Б) встановлено величини допустимих рівнів (ДР) в 20 разів нижчі, ніж для відповідних допустимих рівнів персоналу категорії А.

3. Опромінення населення (категорія В). Контроль опромінення населення здійснюється на основі розрахунків річних ефективних та еквівалентних доз опромінення критичних груп осіб – це частина населення, яка за своїми статеві-віковими, соціально-професійними умовами, місцем проживання та іншими ознаками отримує чи може отримувати найбільші рівні опромінення від даного джерела. Структура, обсяг, методи і засоби цього контролю регламентуються відповідними розділами основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ).

Радіаційно-гігієнічні регламенти другої групи (медичне опромінення населення). Протирадіаційний захист цього виду практичної діяльності ґрунтується на таких самих принципах – виправданості, оптимізації та неперевикнення.

Ліміти доз для обмеження медичного опромінення не встановлюються, а необхідність проведення певної рентгенологічної чи радіологічної процедури

обґрунтовується лікарем. З метою зниження рівнів опромінення населення Міністерством охорони здоров'я України запроваджуються та затверджуються рекомендовані рівні медичного опромінення – величина дози, потужність дози чи радіоактивності.

При проведенні профілактичного обстеження населення річна ефективна доза не повинна перевищувати 1 мЗв.

Радіаційно-гігієнічні регламенти третьої групи (радіаційні аварії). Радіаційна аварія – це незапланована подія на будь-якому об'єкті з радіаційною чи радіаційно-ядерною технологією, при якому має місце втрата регулюючого контролю та реальне (або потенційне) опромінення людей.

Усі радіаційні аварії поділяють на дві групи:

1. Аварії, які супроводжуються радіоактивним забрудненням приміщень, території об'єкта та навколишнього середовища.
2. Аварії, які призводять до забруднення середовища виробничої діяльності та проживання людей.

За масштабом радіаційні аварії поділяють на:

1. Промислові – наслідки яких не поширюються за межі території даного об'єкта.
2. Комунальні – наслідки яких поширюються на оточуючі території, де проживає населення.

Серед комунальних аварій розрізняють: локальні – в зоні аварії проживає населення загальною чисельністю до 10 тис. чоловік; регіональні – займають території декількох населених пунктів, адміністративних районів або навіть областей, де чисельність населення, в зоні дії аварії не перевищує 10 тис. чоловік; глобальні – внаслідок яких дії піддається значна (чи вся) територія країни та її населення.

Крім того, у розвитку комунальних аварій розрізняють такі фази: рання (гостра) фаза; середня, або фаза стабілізації; пізня фаза чи відновлення.

Персонал в умовах радіаційної аварії. Обмеження опромінення основного персоналу встановлюється на рівні значень регламентів першої групи для категорії А за умови неперевищення величини сумарного опромінення 100 мЗв (подвоєне значення максимального ліміту ефективної дози за один рік). У виняткових випадках, коли роботи виконуються з метою збереження життя людей, не більше 500 мЗв.

Населення в умовах радіаційної аварії. Протирадіаційний захист населення в умовах радіаційної аварії ґрунтується на системі протирадіаційних заходів (контрзаходів), серед яких розрізняють: прямі – які дозволяють запобігти або знизити дозу опромінення; непрямі – які зменшують або компенсують величину збитку для здоров'я.

Залежно від масштабів та фаз аварії також умовно розрізняють термінові, невідкладні (укриття населення, евакуація, обмеження в режимі поведінки, фармакологічна профілактика тощо), та довгострокові (тимчасове відселення, переселення, дезактивація, обмежене вживання забруднених продуктів та води тощо) контрзаходи.

НРБУ-97/Д-2000 встановлює такий залишковий прийнятний сумарний

рівень зовнішнього та внутрішнього опромінення:

- 1 мЗв за рік для хронічного опромінення тривалістю більше 10 років;
- 5 мЗв сумарно за перші 2 роки;
- 15 мЗв сумарно за перші 10 років.

Радіаційно-гігієнічні регламенти четвертої групи. Регламенти цієї групи спрямовані на зменшення доз хронічного опромінення людини від техногенно-підсиленних джерел природного походження.

Встановлені такі допустимі величини ефективної питомої активності ($A_{\text{еф}}$) природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та сировині:

- коли величина $A_{\text{еф}}$ становить 370 Бк кг⁻¹ будівельні матеріали та сировина може використовуватись для всіх видів будівництва без обмежень;
- коли $A_{\text{еф}}$ становить 370-740 Бк кг⁻¹ – для промислового будівництва та будівництва шляхів;
- коли $A_{\text{еф}}$ становить 740-1350 Бк кг⁻¹ – для будівництва поза межами населених пунктів, а в населених пунктах лише для будівництва підземних споруд за умови покриття шаром ґрунту товщиною понад 0,5 м та виключення тривалого перебування людей.

Для матеріалів, що мають естетичну цінність, $A_{\text{еф}}$ не повинна перевищувати 3700 Бк кг⁻¹.

Потужність поглиненої в повітрі дози (ППД) γ -випромінювання у повітрі будинків та приміщень, що будуються та реконструюються з постійним перебуванням людей повинна, становити не більше 4,4 нГр с⁻¹ (30 мкР год⁻¹), а тих, які експлуатуються – 7,3 нГр с⁻¹ (50 мкР год⁻¹), включаючи компоненту від природного радіаційного фону.

Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) ізотопів радону-222 та радону-220 у повітрі будинків та приміщень, що будуються та реконструюються з постійним перебуванням людей, повинна становити не більше 50 Бк м⁻³ та 3 Бк м⁻³ відповідно. У повітрі приміщень, що експлуатуються – 100 та 6 Бк м⁻³ відповідно.

Завдання.

1. Ознайомитися з основними положеннями НРБУ-97/Д-2000.
2. Навести характеристику категорій осіб, які можуть зазнати опромінення.
3. Ознайомитися та встановити особливості радіаційно-гігієнічних регламентів першої, другої, третьої та четвертої груп.
4. Навести приклади радіаційних аварій, та охарактеризувати фази розвитку.

Контрольні запитання.

1. З якою метою було введено в дію НРБУ-97/Д-2000?
2. Назвіть основні принципи радіаційної безпеки.
3. Які категорії населення встановлено відповідно до НРБУ-97/Д-2000?
4. Який залишковий прийнятний сумарний рівень зовнішнього та внутрішнього опромінення встановлюють відповідно до НРБУ-97/Д-2000?

Практична робота №7

Тема: Методи контролю радіоактивного опромінення.

Мета роботи: Освоїти методику проведення розрахунків оцінки доз опромінення людей.

Джерелами іонізуючого випромінювання, які можуть несприятливо впливати на навколишнє середовище та здоров'я населення, є різні радіаційно-ядерні об'єкти: енергетичні, промислові, дослідні, експериментальні реактори; електростанції, виробництва, установки, обладнання, склади, сховища, транспортні засоби, що використовують або містять ядерні матеріали.

Після катастрофи на ЧАЕС у 1991 р. Верховна Рада прийняла закони України «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи» та «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи». Відповідно до цих законів, у межах забруднених площ виділяється чотири зони:

1) *зона відчуження* – це територія, з якої проведено евакуацію населення в 1986 р.;

2) *зона безумовного (обов'язкового) відселення* – це територія, що зазнала інтенсивного забруднення довгоживучими радіонуклідами, зі щільністю забруднення ґрунту понад доаварійного рівня ізотопами цезію від 15 Кі/км² та вище, або стронцію від 3,0 Кі/км² та вище, або плутонію від 0,1 Кі/км² та вище, де розрахункова еквівалентна доза опромінення людини з врахуванням коефіцієнтів міграції радіонуклідів у рослини та інших факторів може перевищити 5,0 мЗв (0,5 бер) за рік понад ту дозу, яку вона одержувала у доаварійний період

3) *зона гарантованого добровільного відселення* – це територія, що зазнала інтенсивного забруднення довгоживучими радіонуклідами, зі щільністю забруднення ґрунту понад доаварійного рівня ізотопами цезію від 5 до 15 Кі/км² та вище, або стронцію від 0,15 до 3,0 Кі/км² та вище, або плутонію від 0,01 до 0,1 Кі/км² та вище, де розрахункова еквівалентна доза опромінення людини з врахуванням коефіцієнтів міграції радіонуклідів у рослини та інших факторів може перевищити 1,0 мЗв (0,1 бер) за рік понад ту дозу, яку вона одержувала у доаварійний період;

4) *зона посиленого радіоекологічного контролю* – це територія, що зазнала інтенсивного забруднення довгоживучими радіонуклідами, зі щільністю забруднення ґрунту понад доаварійного рівня ізотопами цезію від 1 до 5 Кі/км² та вище, або стронцію від 0,02 до 0,15 Кі/км² та вище, або плутонію від 0,005 до 0,01 Кі/км² та вище, де розрахункова еквівалентна доза опромінення людини з врахуванням коефіцієнтів міграції радіонуклідів у рослини та інших факторів може перевищити 0,5 мЗв (0,05 бер) за рік понад ту дозу, яку вона одержувала у доаварійний період.

Уражаюча дія проникаючої радіації на стан і здоров'я людей залежить від дози опромінення і часу, який пройшов від моменту вибуху чи аварії, від віку,

від імунітету, від генетичних особливостей тощо.

Контроль радіоактивного опромінення проводиться груповим та індивідуальним методами. *Індивідуальний метод* контролю опромінення проводиться з метою визначення доз опромінення, отриманих кожною людиною за час перебування на забрудненій місцевості. Для цього використовують індивідуальні дозиметри.

Груповий метод контролю використовується для населення. При груповому методі контролю індивідуальні дозиметри видаються з розрахунку 1-2 шт. на одну бригаду чи інший підрозділ. При відсутності індивідуальних дозиметрів визначення доз опромінення проводиться розрахунковим способом.

Розрахунок доз опромінення проводиться за середнім значенням рівнів радіації за формулою 1:

$$D = P_{\text{ср}} \cdot T \quad (1)$$

де D – середня доза зовнішнього опромінення, рентген,

$P_{\text{ср}}$ – середній рівень радіації на місцевості, Р/год,

T – тривалість опромінення, год.

При розрахунках доз опромінення для людей, які знаходяться в укриттях і засобах руху, враховується коефіцієнт послаблення γ -випромінювання будовами і засобами руху. Коефіцієнт послаблення показує, у скільки разів зовнішнє опромінення людей, які знаходяться всередині сховища, в засобах руху менше, ніж на відкритій місцевості. Деякі коефіцієнти послаблення наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Середні значення коефіцієнта послаблення дози радіації ($K_{\text{осл}}$) деякими сховищам и та засобами руху

Перелік сховищ та засобів руху	Коефіцієнт послаблення
Житлові кам'яні будинки:	
одноповерхові	10
двоповерхові	15
триповерхові	20
чотириповерхові	25
п'ятиповерхові і так далі	30 і так далі
Житлові дерев'яні будинки:	
одноповерхові	2
двоповерхові	8
Адміністративні одноповерхові споруди	7
Станції метро залежно від глибини	500 - 5000
Польові споруди:	
відкриті траншеї та щілини	3
перекриті щілини, бліндажі і сховища з лісоматеріалів	50
Транспортні засоби:	
автомобілі, тролейбуси, автобуси, криті вагони	2
трамваї, трактори	3

Точніші значення коефіцієнта послаблення визначають шляхом

вимірювання рівнів радіації на відкритій місцевості в районі розміщення сховища, транспортних засобів і в самому сховищі або всередині транспортних засобів.

В таких випадках значення коефіцієнта послаблення ($K_{осл}$) отримують шляхом поділу значення рівнів радіації на відкритій місцевості (P_M), на значення рівнів радіації, виміряних у сховищі (P_C):

$$K_{осл} = \frac{P_M}{P_C} \quad (2)$$

Враховуючи (2), формула (1) набирає виразу:

$$D = P_{ср} \cdot T / K_{осл} \quad (3)$$

Приклад 1. Визначити дозу радіації, яку отримав особовий склад за 4 год. під час перебування на відкритій місцевості. Вимірювання рівнів радіації проводили 5 разів. При цьому були зафіксовані такі значення рівнів радіації: 2,0; 1,5; 1,0; 0,9; 0,6 Р/год.

$$P_{ср} = \frac{2,0 + 1,5 + 1,0 + 0,9 + 0,6}{5} = 1,2 \text{ Р/год.}$$

Розв'язок:

Доза радіації, яку отримав особовий склад: $D = 1,2 \cdot 4 = 4,8 \text{ Р}$.

Приклад 2. Визначити коефіцієнт послаблення дози радіації підвалу одноповерхового кам'яного будинку. Рівні радіації, виміряні в підвалі, складають 2 Р/год, а виміряні на відкритій місцевості дорівнюють 80 Р/год.

$$K = \frac{80}{2} = 40$$

Розв'язок:

Для визначення отриманої дози опромінення людьми, які перебувають у сховищі, необхідно дозу опромінення, визначену на відкритій місцевості, розділити на коефіцієнт послаблення γ -випромінювання даного сховища.

Розрахунки рівнів радіації. Часто для розрахунків режимів поведінки населення необхідно знати значення рівнів радіації, приведених на 1 год. після вибуху чи аварії. З цією метою використовують спеціальний коефіцієнт послаблення Π (табл. 2).

Таблиця 2

**Значення коефіцієнтів для розрахунку рівнів радіації на 1 год.
після вибуху, аварії**

Час, який пройшов після вибуху, год.	1	2	3	4	5	6	7	8	10
$\Pi = \frac{P_1}{P_0}$	1	2,3	3,74	5,28	6,9	8,6	10,3	12,1	15,9
Час, який пройшов після вибуху, год.	12	18	24	30	36	48	72	96	120
$\Pi = \frac{P_1}{P_0}$	19,7	31,1	45,3	59,0	73,7	104,1	170	240	312

P_1 – рівень радіації на 1 год. після вибуху, Р/год.;

P_2 – рівень радіації в момент вимірювання, Р/год.

Приклад 3. Визначити приведений рівень радіації, якщо в момент вимірювання $t_0 = 3$ год. ступінь забруднення місцевості становив 40 Р/год.

Розв'язок: За таблицею 2 для часу 3 год. коефіцієнт Π дорівнює 3,74. Це означає, що $P_1 = 3,74 \cdot 40 = 150$ Р/год – приведений рівень радіації через 1 год після вибуху.

Основною одиницею вимірювання потужності експозиційної дози є рентген (Бер).

$$1 \text{ Р} = 1000 \text{ мР}$$

$$1 \text{ Р} = 1\,000\,000 \text{ мкР}, \text{ а } 1 \text{ Бер} = 0,01 \text{ Зв.}$$

Щільність забруднення площ вимірюється в $\text{Кі}/\text{км}^2$.

$1 \text{ Кі}/\text{км}^2 = 0,00888 \text{ мР}/\text{год}$, тобто при щільності забруднення поверхні в $1 \text{ Кі}/\text{км}^2$ її потужність експозиційної дози складає $0,00888 \text{ мР}/\text{год}$. Використовуючи цю залежність, можна розраховувати дози опромінення, перебуваючи на забрудненій території.

Людина протягом доби може перебувати на повітрі, в будинку, в транспорті, тобто, $K_{\text{осл}}$ – різні.

Загальну дозу опромінення ($D_{\text{заг}}$) доцільніше розраховувати за формулою 4.

$$D_{\text{заг}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n \quad (4),$$

де $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ – дози, які отримує людина з коефіцієнтами ослаблення, відповідно K_1, K_2, K_3, K_n .

Завдання.

Студент **У** мешкає на території із щільністю забруднення ґрунту ^{137}Cs **А** $\text{Кі}/\text{км}^2$.

Визначити його дозу опромінення за рік, якщо він мешкає в **Б** будинку на **В** поверсі, а заняття проходять на **Г** поверсі багатоповерхової цегляної споруди (табл. 3).

При цьому варіант повсякденного життя студента такий:

сон – 8 год.;

поїздка в університет – 50 хв, в т. ч. пішки – 20 хв (0,33 год): а в тролейбусі – 30 хв (0,5 год);

заняття в університеті – 6 год;

поїздка додому – аналогічна поїздки до ВНЗ;

прогулянка на відкритому повітрі – 3 год.;

заняття та перебування вдома – весь інший час доби, год.

Хід виконання

1. Дози необхідно розраховувати окремо, які отримає студент протягом доби з урахуванням $K_{\text{осл}}$.

2. Знаходимо загальну дозу опромінення, яку студент отримав протягом доби.

3. Визначаємо дозу за рік: $D_p = D_d \cdot 365$.

4. Порівнюємо отриману дозу із допустимого – 0,1 Бер.

5. Висновки.

Таблиця 3

Вихідні дані

№ з/п	А, Кі/км ²	Б, (будинок)	В (поверх)	Г (поверх університету)
1	1	д	1	1
2	2	ц	1	2
3	3	д	2	3
4	4	ц	1	1
5	5	д	1	2
6	1	ц	2	4
7	2	д	2	5
8	3	ц	3	6
9	4	д	1	7
10	5	ц	2	1
11	1	д	2	8
12	1,5	ц	4	9
13	2	д	1	1
14	2,5	ц	5	0
15	3	д	2	3

Контрольні запитання.

1. Внесок різних джерел іонізуючих випромінювань у формування дози опромінення людини.
2. Особливості біологічної дії інкорпорованих радіонуклідів.

*Практична робота №8***Тема: Прогнозування ризиків радіаційного впливу на людину**

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

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:

$$D\Sigma = D_{ext} + D_{int},$$

де: $D\Sigma$ – сумарна доза радіаційного впливу на людину (Зв);

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

D_{int} – доза внутрішнього опромінення (Зв).

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

$$D_{ext} = D_s + D_v,$$

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

D_s – доза зовнішнього γ -опромінення від поверхні ґрунту (Зв);

D_v – доза зовнішнього γ -опромінення від розсіяних в атмосфері радіонуклідів (Зв).

При прогнозуванні дози зовнішнього γ -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 γ -опромінення може зменшуватись до 10 разів. Зважаючи на це, обчислення зовнішнього опромінення організму людини всередині приміщень, здійснюється за формулою:

$$D_{sr} = 0,46 \cdot D_s,$$

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

D_s – доза зовнішнього γ -опромінення від поверхні ґрунту (Зв).

Доза зовнішнього γ -опромінення від розсіяних в атмосфері радіонуклідів обчислюється за формулою:

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

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

A_v – об'ємна активність розсіяних в атмосфері радіонуклідів ($\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$);

$B_{v\gamma}$ – дозовий коефіцієнт ($\text{Зв} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{год}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$);

t – обсяг часу (год).

Внутрішній радіаційний вплив на організм людини здійснюється переважно α - і β -випромінюваннями та дещо менше γ -випромінюванням. Доза внутрішнього опромінення формується впливом радіонуклідів ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}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:

$$D_{int} = D_{ing} + D_{per},$$

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).

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

$$D_{ing}(t) = A_v \cdot B_v \beta \gamma \cdot V \cdot t ,$$

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 х м⁻³);

$B_v \beta \gamma$ – дозовий коефіцієнт радіонукліду при інгаляційному потраплянні в організм людини (Зв х м³ х год⁻¹ х Бк⁻¹);

V – обсяг спожитого атмосферного повітря (м³ х год⁻¹);

t – обсяг часу (год).

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

$$D_{per} = 365 \cdot B_{per} \cdot \sum m_i \cdot AU_{ini=1},$$

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 х Бк⁻¹);

m_i – маса i -го продукту харчування, який потрапляє в організм людини протягом доби (кг);

AU_i – питома активність i -го продукту харчування (Бк х кг⁻¹).

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

$$r = D_\Sigma \cdot r_e ,$$

де: r – індивідуальний радіаційний ризик для людини;

D_Σ – сумарна доза радіаційного впливу на людину (Зв);

r_e – коефіцієнт індивідуального радіаційного ризику для населення, умовно прийнятий в розмірі $7,3 \times 10^{-2}$ х людину⁻¹ х Зв⁻¹ (характеризує скорочення життя в середньому на 15 років за один ймовірний випадок смертельного захворювання).

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 радіонукліду вважається недопустимим.

Завдання 1.

Обчисліть сумарну дозу радіаційного впливу на людину за даними таблиць 1 та 2. Проаналізуйте індивідуальний радіаційний ризик для людини на основі обчислених показників зовнішнього та внутрішнього опромінення. Зробіть висновки.

Таблиця 1

Вихідні дані 1

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

Таблиця 2

Вихідні дані 2

Варіант	Радіонуклід (x)	V, (м ³ · год ⁻¹)	B_{per} , (Зв · Бк ⁻¹)	mi, (кг на добу)	AUi, (Бк/кг ⁻¹)
1	⁹⁰ Sr	482	$8,29 \cdot 10^{-8}$	1,2	1020
2	¹³⁷ Cs	494	$1,51 \cdot 10^{-8}$	1,3	784
3	⁹⁰ Sr	491	$8,45 \cdot 10^{-8}$	1,5	782
4	¹³⁷ Cs	478	$1,37 \cdot 10^{-8}$	1,1	278
5	⁹⁰ Sr	475	$8,77 \cdot 10^{-8}$	0,9	311
6	¹³⁷ Cs	487	$1,78 \cdot 10^{-8}$	0,8	101
7	⁹⁰ Sr	471	$8,94 \cdot 10^{-8}$	1,2	77
8	¹³⁷ Cs	479	$1,93 \cdot 10^{-8}$	1,4	17

Завдання 2.

Обчисліть індивідуальний радіаційний ризик на людину за даними таблиць 1 та 2. Порівняйте обчислені дані з показниками шкали індивідуальних радіаційних ризиків для людини. Висновки запишіть у зошит.

Проаналізуйте обчислені показники сумарної дози радіаційного впливу та розкрийте їх важливість для прогнозування індивідуальних радіаційних ризиків для людини.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні показники, на основі яких обчислюється сумарна доза радіоактивного впливу на людину.

2. На основі яких основних показників здійснюється обчислення зовнішнього опромінення організму людини всередині приміщень?

3. На основі яких показників обчислюється доза внутрішнього опромінення при інгаляційному потраплянні радіонуклідів в організм людини?

4. Назвіть показники, на основі яких здійснюється обчислення індивідуального радіаційного ризику для людини.

Практична робота №9

Тема: Збір та знешкодження твердих і рідких радіоактивних відходів та пилогазоочищення від радіонуклідів.

Мета: ознайомитися з класифікацією радіоактивних відходів та сучасними методами їх знешкодження.

Радіоактивні відходи класифікують за фізичним станом як пилогазоподібні; рідкі; тверді. Ці відходи також класифікують за ступенем активності як слабоактивні; середньоактивні; високоактивні.

Методи знешкодження рідких радіоактивних відходів.

Залежно від питомої активності, відходи поділяють на три категорії – високоактивні (ВAB), середньоактивні (САВ) та низькоактивні (НАВ) (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Класифікація твердих радіоактивних відходів

Категорія відходів	Потужність поглинутої дози γ -випромінювання в повітрі на віддалі 10 см від поверхні			
	мГр/год		мрад/год	
Низькоактивні	$3 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-1}$		0,03 ÷ 30	
Середньоактивні	$3 \cdot 10^{-1} \div 3 \cdot 10$		$3 \cdot 10^1 \div 3 \cdot 10^3$	
Високоактивні	>10		>103	
	Питома α -активність відходів		Питома β -активність відходів	
	Бк/кг	Ки/кг	Бк/кг	Ки/кг
Низькоактивні	$7 \cdot 10^4 \div 4 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{-6} \div 10^{-4}$	$7 \cdot 10^3 \div 4 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^{-7} \div 10^{-5}$
Середньоактивні	$4 \cdot 10^6 \div 4 \cdot 10^9$	$10^{-4} \div 10^{-1}$	$4 \cdot 10^5 \div 4 \cdot 10^8$	$10^{-5} \div 10^{-2}$
Високоактивні	$>4 \cdot 10^9$	$>10^{-1}$	$>4 \cdot 10^8$	$>10^{-2}$

Таблиця 2

Класифікація рідких та газоподібних радіоактивних відходів

Категорія відходів	Питома β -активність відходів			
	рідких		газоподібних	
	Бк/м ³	Ки/л	Бк/м ³	Ки/л
Низькоактивні	$4 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^{-5}$	4,0	10-13
Середньоактивні	$4 \cdot 10^8 \div 4 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{-5} \div 1,0$	$4 \div 4 \cdot 10^4$	$10-13 \div 10^{-9}$
Високоактивні	$>4 \cdot 10^{13}$	$>1,0$	$>4 \cdot 10^4$	$>10^{-9}$

Низькоактивні відходи небезпечні лише тоді, коли потрапляють до організму людини, середньоактивні – ще й за рахунок зовнішнього опромінення. Високоактивні відходи вимагають не лише потужного захисту, а й охолодження протягом тривалого часу після їх утворення.

В господарчо-побутову каналізацію припускається скид радіоактивних стічних вод, що мають концентрацію, перевищуючу припустиму об'ємну концентрацію для води не більш ніж в 10 разів при умові, що в колекторі даного підприємства є забезпеченим їх десятикратне розведення нерадіоактивними стічними водами, а підсумковий скид радіоактивних речовин у водоймище не перевищує припустимі граничні концентрації.

Припустимі концентрації радіонуклідів у скидах рідких радіоактивних підходів у поверхневій водоймищі встановлюються по узгодженню з органами Державного санітарного нагляду.

Видалення рідких радіоактивних відходів усіх категорій є забороненим в:

- колодязі;
- свердловини; поглинаючі ями;
- поля зрошення і фільтрації;
- системи підземного зрошення;
- ставки, озера й водосховища, що є призначеними для розведення риби та птахів.

За неможливістю розведення рідких радіоактивних відходів у колекторі підприємства, а також за малими кількостями відходів (менш за 200 л/добу) рідкі радіоактивні відходи необхідно збирати у спеціальні ємності для наступного видалення до пункту поховання радіоактивних відходів.

На таких підприємствах, де за добу створюється більш за 200 літрів радіоактивних відходів з концентраціями, що перевищують 10 припустимих об'ємних концентрацій для води, є необхідним упорядковувати спеціальну каналізацію з очисними спорудами.

Якщо питома активність твердих відходів є нижчою за приведені значення, їх видаляють разом із звичайним сміттям.

Якщо тверді радіоактивні відходи мають підвищену питому активність, але містять короткоживучі радіонукліди, то їх спочатку треба витримати у спеціальних контейнерах, доки не відбудеться необхідне зниження активності, а потім видаляти як звичайне сміття, але окремо.

Збирання твердих радіоактивних відходів на підприємствах повинно відбуватися безпосередньо на тих місцях, де вони створюються.

Збирання твердих радіоактивних відходів проводиться окремо від звичайного сміття, крім того, роздільно з урахуванням таких факторів:

- природи відходів (чи є вони неорганічними, або органічними, або біологічними);
- періоду напіврозпаду (до 15 діб і більше 15 діб);
- вибухо- та пожеженобезпечності;
- засобів, що їх потребує переробка даного виду відходів.

Рештки від переробленого опроміненого палива, джерела випромінювання,

іонітні смоли, використане обладнання і таке інше підлягає похованню.

Фільтри і матеріал для витирання треба спочатку спалити, а вже залишки від паління піддавати похованню.

Видалення радіоактивних відходів повинно здійснюватися на спеціальних пунктах у контейнерах. Потужність дози випромінювання на відстані одного метру від збірника з радіоактивними відходами не повинна бути більшою за 0,1 мЗв/год.

На спеціально обладнаних автомашинах з закритим кузовом або з цистерною (для рідких відходів) здійснюється транспортування радіоактивних підходів до місць поховання.

Автомашини та замінювані збірники відходів після кожного рейсу треба дезактивувати.

Для поховання низькоактивних відходів можна використовувати сховища у вигляді резервуарів і траншей.

Все вищезгадане відноситься до низькоактивних відходів. Велику небезпеку являють собою середньо- та високоактивні відходи. Щодо таких підходів, передбачено їх поховання у відокремленому стані у підземних сховищах та шахтах на глибині від 300 до 1000 метрів від поверхні землі.

Система цієї спеціальної каналізації повинна передбачати дезактивацію стічних вод і, по можливості, їх повторне використання в технологічних цілях.

Для очищення слабоактивних і середньоактивних скидних вод від радіонуклідів використовують різні засоби, а саме:

- упарювання;
- іонний обмін; :
- хімічні методи.

Очищення радіоактивних вод від радіонуклідів в багатьох випадках являє собою самостійну задачу і потребує спеціального вирішення.

В обладнанні для опромінення гуми, де за опромінювач використовують ^{60}Co , який зберігають у воді, освітлення води від дрібнодисперсної суміші здійснюють за допомогою швидких механічних фільтрів, що мають целюлозотканинну насадку, а дезактивація вод досягається через іонообмінні фільтри, виготовлені з синтетичних смол.

Очищення води в системах охолодження прискорювачів в плазмових і магнітних обладнання складається з її дезактивації та видалення продуктів корозії. Ця задача вирішується через включення у схему установки попередньої очищення, що складається з механічних фільтрів (трьохшарова фільтруюча тканина, сульфітна целюлоза, активоване вугілля) і фільтрів заключного очищення.

Встановлюється певний термін використання фільтрів і радіоактивних сорбентів, після цього їх вивозять на поховання.

Поховання радіоактивних відходів у шахті не завжди є можливим, оскільки відходи виділяють велику кількість теплоти, через що можуть відбутися вибухи. Вважається, що менш небезпечним є поховання таких відходів у морі на великих глибинах у ізольованому вигляді, але цей засіб потребує проведення спеціальної обробки відходів. Спеціальна обробка

передбачає:

- нанесення скляного покриття;
- бетонування;
- уміщення у високонадійні контейнери.

На сьогоднішній день найбільш перспективним і розробленим вважається засіб підземного поховання радіоактивних відходів між шарами водоупорів і цементної пульпи у розшарованих гірських породах.

Завдання.

Розв'язати задачі.

1. Яка активність препарату, якщо за 10 хв. розпадається 10000 ядер цієї речовини?
2. В 10 г тканини поглинуто 109 α -частинок з енергією біля 5 МеВ. Знайти поглинуту і еквівалентну дози. Коефіцієнт ВБЕ для α -частинок дорівнює 20.
3. В 2 г живої тканини поглинуто 1010 протонів з енергією 4 МеВ. Виразити поглинуту дозу в радах і берах. Коефіцієнт ВБЕ = 10.
4. Іонізація, яка створюється космічними променями на рівні моря на 500 північної широти – 2,74 пар іонів см³/с. Визначити дозу випромінювання (в Р) за тиждень. Порівняти цю дозу з гранично допустимою, яка дорівнює 0,1 Р.
5. Обчислити ефективну еквівалентну дозу альфа-випромінювання, що діє на молочні залози людини, якщо поглинена доза 2 Гр.

Контрольні запитання.

1. Класифікація радіоактивних відходів.
2. Методи знешкодження рідких радіоактивних відходів.
3. Захоронення радіоактивних відходів.

Практична робота №10

Тема: Радіозахисне харчування.

Мета роботи: Розглянути особливості харчового раціону населення в умовах хронічного надходження радіоактивних речовин в організм людини.

Надходження штучних радіоактивних речовин у зовнішнє середовище супроводжується включенням їх у процеси міграції, накопиченням у харчових продуктах і потім безпосередньо в організмі людини.

Багато харчових речовин внаслідок природних якостей мають виражені радіозахисні властивості. До них належать білки, амінокислоти метіонін, цистин, поліненасичені жирні кислоти, складні не крохмальні вуглеводи, аскорбінова кислота, тіамін, рибофлавін, ретинол, токоферол, вітамін Р, каротин, мінеральні речовини: калій, кальцій, магній, фосфор, йод, селен та ін.

Білки є носіями сульфгідрильних груп. У зв'язку з цим вони виконують роль ефективних інактиваторів, що легко окиснюються активними радикалами. Останні регулюють незаражувальну функцію печінки, беруть участь у кровотворенні, підвищують імунітет, сприяють повноцінному засвоєнню

вітамінів, а також інших речовин. Високий вміст білка в раціоні сприяє збільшенню виділення ^{137}Cs не тільки з м'язової тканини, а й з внутрішніх органів та крові. В умовах впливу іонізуючої радіації найбільшого значення набувають дві сірковмісні амінокислоти – метіонін і цистин, що мають властивість зв'язувати активні радикали.

Жири також дуже важливі в умовах підвищеного радіаційного впливу. Важливо споживати жири не тільки тваринного походження, але і рослинні жири, що містять поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК) та антиокислювачі. ПНЖК в організмі не синтезуються, вони повинні надходити у складі рослинних жирів їжі. Дорослій людині бажано споживати 30-35 г олії на день. Вівсяна крупа містить близько 6 % жиру, багатого радіозахисними ПНЖК, що робить її дуже важливим продуктом у радіозахисному харчуванні. ПНЖК в комплексі з іншими ліпотропними речовинами (сірковмісні амінокислоти, вітаміни, фосфоліпіди) істотним чином впливають на основний обмін. Недостатній їхній вміст при підвищеному променевому навантаженні знижує антиоксидантну функцію печінки і сприяє накопиченню метаболітів у тканинах організму.

В умовах впливу іонізуючої радіації змінюється структура **вуглеводів**, що споживаються. Рекомендується збільшити у раціоні некрохмальні вуглеводи (пектинові речовини, харчові волокна, альгінати, полісахариди) і, навпаки, зменшити споживання чистих вуглеводів (цукру, кондитерських виробів тощо). Збільшення у харчуванні складних вуглеводів обумовлене їх радіозахисними властивостями. Наявність у пектинових речовинах вільних карбоксильних груп галактуронової кислоти надає їм властивості зв'язувати в травній системі іони металів з наступним утворенням нерозчинних комплексів (пектатів, пектинатів), які не всмоктуються, а виводяться з організму. Захисна дія пектинів обумовлюється й тим, що вони разом з іншими харчовими волокнами поліпшують перистальтику кишок, сприяючи більш швидкому виведенню металів з фекаліями. Радіонуклід в'язуючою активністю щодо ^{137}Cs володіють яблучний, буряковий і цитрусовий пектини. Найбільш багаті на пектини буряки столові, редька, редис, морква, солодкий перець, гарбузи, баклажани, яблука, абрикоси, айва, вишні, сливи, груші, цитрусові.

Ефективними засобами, які сприяють зменшенню всмоктування радіоактивного стронцію, є альгінова кислота та її солі. Хліб з включенням альгінату натрію зменшує відкладання, радіоактивного стронцію на 40 %, а морська капуста у складі м'ясних консервів знижує нагромадження стронцію більш як удвічі.

Вітаміни, їх нестача негативно впливає на опірність організму проти випромінювання, вони мають специфічну антирадіаційну дію. Сюди належить здатність ряду вітамінів (тіаміну, токоферолу, аскорбінової кислоти, каротину, біофлавоноїдів, біотину) вступати у взаємодію з вільнорадикальними формами кисню та активними продуктами радіолізу, інактивуєючи їх. Цінною є здатність ряду вітамінів та вітаміноподібних сполук, зокрема біофлавоноїдів, зв'язувати радіонукліди, утруднюючи всмоктування та прискорюючи виведення їх з організму.

Вітамін С (аскорбінова кислота). Важливе значення мають протиокислювальні властивості аскорбінової кислоти, тобто здатність інактивувати вільнорадикальні форми кисню, підтримувати у відновленому стані SH-групи білків і низькомолекулярних тіолів. Добова потреба в аскорбінової кислоті становить 70-100 мг.

Обмін її тісно пов'язаний з обміном *вітаміну Р* (тобто біофлавоноїдів). До них належать рутин, гесперидин, кверцетин – рослинні світло-жовті пігменти, що мають вітамін-Р-активну дію. Біофлавоноїди в умовах іонізуючої радіації в основному захищають стінки судин, насамперед капілярів. В основі радіозахисного, зокрема мембранозміцнюючого, впливу біофлавоноїдів можуть бути їх антиоксидантні властивості, здатність виступати в ролі “пастки” вільних радикалів та інгібіторів процесів перекисного окислення мембранних ліпідів. Багато їх міститься у листі чаю, шкоринці винограду.

До важливих радіозахисних факторів належать також *антоціани* – речовини червоного кольору, які у великій кількості містяться у чорній смородині, чорноплідній горобині. Встановлено, що вони зміцнюють судини, знижують проникність капілярів. Добова потреба у біофлавоноїдах становить 500 мг.

Вітаміни групи В, що містять у своєму складі сірку, а також беруть активну участь в окислювально-відновлювальних процесах як переносники іонів водню, мають протирадіаційну дію. Особливо дуже корисними є тіамін, рибофлавін і нікотинова кислота, їх джерела – чорний хліб, молоко, яйця, риба, печінка, бобові, овочі, молода зелень. Потреба у тіаміні становить 1,5-2 мг, у рибофлавіні – 2-2,5 мг, у нікотиновій кислоті – 15-25 мг. В умовах забруднення навколишнього середовища радіонуклідами важливо забезпечити організм достатньою кількістю ретинолу і каротину. Відома їх протипухлинна роль. Доведено радіозахисний вплив каротину. Основним джерелом ретинолу є печінка, вершкове масло, сир, інші молочні продукти, яйця. Рослинні продукти (морква, томати, зелень, абрикоси) містять багато каротину, який в організмі перетворюється на ретинол. Потреба організму у ретинолі становить 1 мг на добу.

Токоферол має сильні протиокислювальні властивості, що є досить важливим фактором у профілактиці шкідливого впливу підвищеної радіації. Багато цього вітаміну міститься у зародках злаків, у хлібі із цільного зерна. Добова потреба в токоферолі становить 20 мг.

В умовах забруднення навколишнього середовища та продуктів радіоактивним цезієм важливе значення має насичення організму солями калію, що є аналогом цезію в обмінних процесах. Калій міститься в овочах і фруктах, у картоплі крупах, капусті, моркві, буряках, кавунах, динях. Значну кількість калію містить курага, ізюм, чорнослив, чорна смородина.

Доведений позитивний вплив солей *кальцію* на зменшення всмоктування радіоактивного стронцію у тонких кишках. Необхідно врахувати, що засвоювані форми кальцію містяться лише в молоці і молочних продуктах. Кальцій із злакових продуктів засвоюється погано через несприятливе його співвідношення із фосфором та магнієм, а також у зв'язку з наявністю у

злакових продуктах інозитфосфорної кислоти, що утворює з фосфором і кальцієм незасвоювані сполуки. М'ясо і риба містять мало кальцію. Добова потреба дорослих у кальції становить 800 мг, дітей – 1200 мг.

В умовах підвищеної іонізуючої радіації важливе значення має забезпечення організму достатньою кількістю солей *магнію і фосфору*, які сприяють зменшенню нагромадження радіоактивного стронцію. Багато магнію містять: чорний хліб, крупи, особливо вівсяна, бобові, курага. Потреба у магнії становить 500-600 мг. Легкозасвоювані форми фосфору містяться у м'ясних і молочних продуктах, особливо багато в сирих яйцях, печінці, м'ясі, рибі тощо. Потреба дорослих у фосфорі становить 1200-1600 мг, дітей – 1500-2000 мг на добу. Оптимальне співвідношення між кальцієм, фосфором і магнієм у раціонах повинно виражатись як $1 : (1,5-2) : 0,5$.

Важливе значення має адекватне постачання організмові селену, що обумовлене його багатоплановим ефектом при іонізуючій радіації. Малі дози селену викликають відновлення імунологічних реакцій. Нестача селену пригнічує стійкість до мікробних і вірусних інфекцій. Найбільша кількість селену міститься у м'ясних і зернових продуктах, а також у домашньому сири та інших сирах. Овочі і фрукти містять його менше. Потреба дорослої людини в селені становить 0,5 мг на добу.

Нестача марганцю в раціоні призводить до нагромадження в організмі перекисних сполук. Джерелом легкозасвоюваних форм кровотворних мікроелементів, в тому числі заліза, є м'ясні продукти, особливо печінка, кров, а також яблука. Багато заліза містить вівсяна крупа. Добова потреба в залізі становить: у чоловіків – 10 мг, у жінок – 18 мг; добова потреба у міді – 2 мг, марганці – 5 мг. Потреба дорослої людини в йоді становить 150-200 мкг на добу.

Сучасна концепція *радіозахисного харчування* базується на трьох основних положеннях: по-перше, на максимально можливому зменшенні надходження радіонуклідів з їжею; по-друге, на гальмуванні процесу всмоктування і нагромадження радіонуклідів в організмі і, нарешті, на додержанні принципів раціонального харчування.

При організації радіозахисного харчування необхідно подбати про постачання організмові повноцінних білків, доцільно віддавати перевагу м'ясу кролів, птиці, яловичині, оскільки ці продукти містять менше жиру, який гальмує процеси травлення.

Серед круп перевага надається вівсяній і гречаній; обидві містять багато повноцінного білка, незамінних амінокислот, в тому числі метіоніну, лізину; вівсяна крупа, окрім повноцінного білка і амінокислот, містить ще й багато рослинного жиру з ПНЖК (близько 6%), солей магнію, поліфенолів, що виявляють протирадіаційну дію.

Вибираючи молочні продукти, краще споживати страви з сиру і домашнього сиру, які вже звільнилися від радіонуклідів у процесі їх виробництва. Наявність у сири й домашньому сири сірковмісних амінокислот і кальцію, що виявляють радіозахисну дію, робить ці продукти незамінними у щоденному харчуванні. Багато легкозасвоюваного кальцію і повноцінних білків

є також у молоці й кисломолочних продуктах (кефірі, ряжанці, кислому молоці). У сметані багато жиру, в той час як вміст кальцію і білка в ній невисокий. Корисні курячі яйця, в яких міститься до 12,5 % повноцінного білка і сірковмісних амінокислот метіоніну й цистину.

Морська риба та інші продукти моря, на відміну від прісноводної риби, менше забруднені радіонуклідами. У зв'язку з цим страви з морської риби та інших продуктів моря потрібно використовувати у щоденному харчуванні; ними можна повністю замінити м'ясо. Крім того, у риб'ячому жирі багато ПНЖК і ретинолу, що мають протирадіаційні властивості.

Картопля, завдяки високому вмісту калію і аскорбінової кислоти, повинна бути у щоденному радіозахисному раціоні. Слід врахувати, що взимку і ранньої весни картопля – основне джерело аскорбінової кислоти. Добове споживання її у дорослих повинно бути не менше 350-400 г. Важливе значення у радіозахисному харчуванні мають овочі і фрукти.

У радіозахисному харчуванні особливого значення надається пряним овочам. Пряні овочі – цибуля, часник, петрушка, кріп, селера, хрін – завдяки фітонцидам, що містяться в них, ефірним маслам, глікоалкалоїдам, аскорбіновій кислоті, каротину мають властивість не тільки убивати гнильні мікроби, а й підвищувати стійкість організму до інфекцій та інших шкідливих факторів навколишнього середовища, зокрема до радіонуклідів. Корисними є продукти, що мають синій колір за рахунок пігментних речовин – антоціанів з радіозахисною дією (чорна смородина, чорноплідна горобина, столові буряки, темні сорти винограду). Крім антоціанів, у цих продуктах міститься багато аскорбінової кислоти, каротину, органічних кислот. Загальне добове споживання овочів не повинно бути менше 400-500 г, причому не менше чверті з них повинна становити морква.

В умовах підвищеного забруднення навколишнього середовища радіонуклідами корисно більше вживати бобових (гороху, квасолі тощо). Крім повноцінного білка, метіоніну, цистину, ПНЖК, у цих культурах є багато магнію, необхідного для оптимального засвоєння кальцію.

У радіозахисному харчуванні корисні різні види горіхів, в яких міститься чимало повноцінних білків і рослинного жиру, багатого на ПНЖК і токоферол.

До речовин з радіозахисними властивостями належать екстрактивні речовини чаю (таніни, катехіни, епікатехіни, біофлавоноїди). Чайні катехіни, в тому числі епікатехіни, мають властивості вітаміну Р, сприяють зміцненню судин, особливо дрібних (капілярів), і знижують проникність їх стінок. Таніни чаю, володіючи зв'язуючими властивостями, поліпшують травлення. Чай є також і вітамінним напоєм, бо крім біофлавоноїдів (вітаміну Р) у ньому є аскорбінова кислота. Діючи в комплексі, вони і виявляють свою радіозахисну дію, сприятливо впливають на стан стінок судин.

Нині створюють продукти, які запобігають всмоктуванню радіонуклідів цезію і стронцію в кишках шляхом додавання різних речовин до рецептури харчових продуктів. Асортимент рекомендованих продуктів включає різні види хліба (з висівками, з плющеного зерна, з обрешеного борошна), декілька видів печива, мармеладу, цукерок, ковбасних виробів, консерви м'ясні і м'ясо-

рослинні, концентрати, киселів, сири плавлені.

В умовах підвищеної іонізуючої радіації встановлено зниження імунних сил організму. При цьому в організмі уповільнюються усі транспортні реакції обміну радіоактивного цезію, що спричиняється до подовження часу перебування його в організмі, а отже, до збільшення дози внутрішнього опромінювання. Тому важливу роль у цих умовах покликані відіграти так звані адаптогени. Важливе значення має забезпечення ними організму.

Адаптогенами називають засоби, які прискорюють адаптацію до різноманітних факторів середовища. Адаптогени повинні відповідати трьом основним ознакам: не мати помітного негативного впливу на організм (тобто бути низької токсичності), діяти неспецифічно (тобто захищати організм незалежно від природи пошкоджуючого фактора) і виявляти нормалізуючу, тобто захисну, дію на організм незалежно від спрямованості фізіологічних зрушень.

До найбільш ефективних адаптогенів належать препарати елеутерококу колючого, женьшеню, лимоннику китайського, вітаміни, флавоноїди, вітамінно-амінокислотні комплекси, деякі мікроелементи, особливо в поєднанні з вітамінно-амінокислотними комплексами, біостимулятори, коферменти та ряд інших речовин.

Завдання.

1. Порівняти ефективність різних способів кулінарної обробки деяких їстівних грибів щодо зниження у них вмісту ^{137}Cs (рис. 1-4).
2. Порівняти швидкість виведення ^{137}Cs з плодових тіл різних грибів в результаті виварювання та вимочування (рис. 1-4).
3. Описати біологічні особливості накопичення радіонуклідів їстівними грибами.



Рис. 1. Зміна сумарної активності ^{137}Cs у плодових тілах польських грибів в процесі їх вимочування

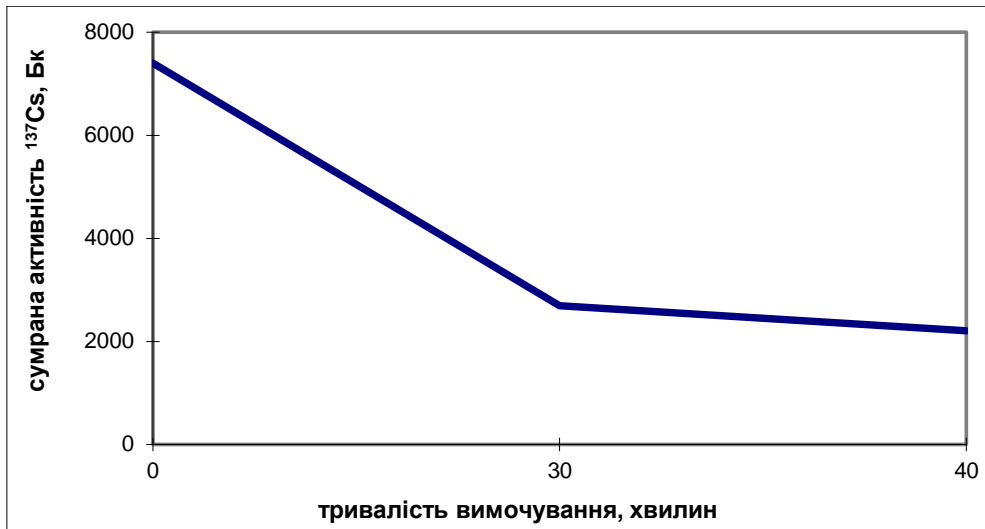


Рис. 2. Зміна сумарної активності ^{137}Cs у плодових тілах лисичок в процесі їх вимочування

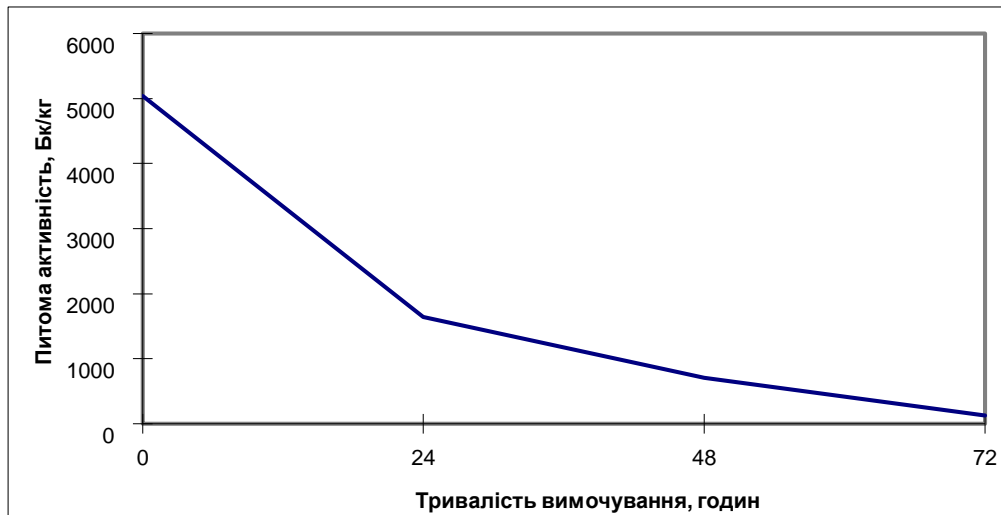


Рис. 3. Зміна питомої активності ^{137}Cs у плодових тілах хрящів-молочників оливково-чорних у процесі вимочування

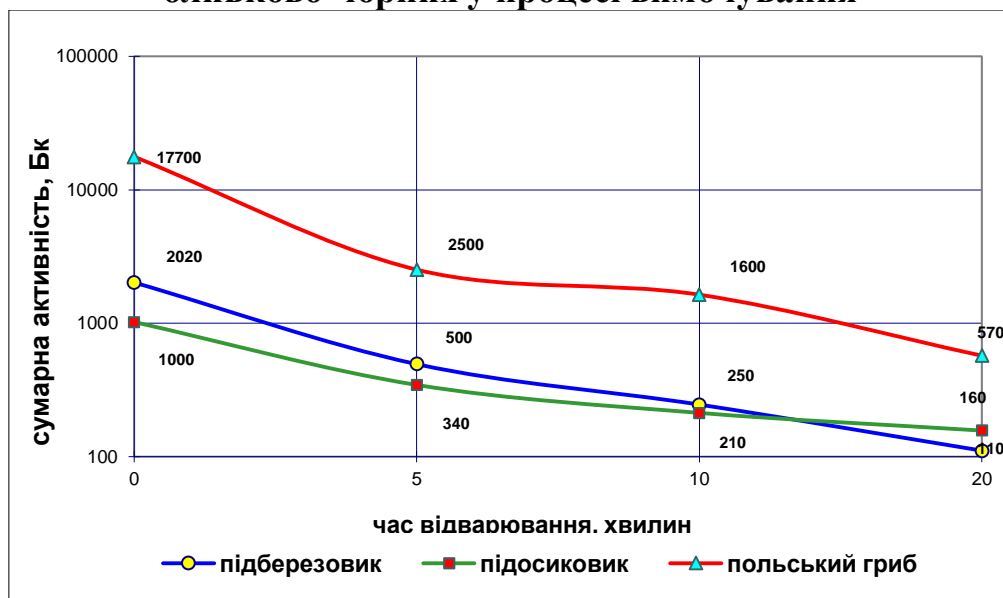


Рис. 4. Зміна концентрації ^{137}Cs у свіжих плодових тілах грибів у процесі відварювання

Контрольні запитання.

1. Хімічні радіозахисні речовини і радіосенсибілізатори.
2. Класифікація радіопротекторів та механізми їх дії
3. Радіоблокатори і радіодекорпоранти.

*Практична робота №11***Тема: Визначення сумарної ефективної дози опромінення населення.**

Мета роботи: ознайомитися з методикою розрахунку річної сумарної ефективної дози опромінення.

На території радіоактивного забруднення одним з ведучих факторів, що визначають екологічні умови проживання людей є рівень радіаційного опромінення населення.

Міжнародною комісією з радіаційного захисту (МКРЗ) рекомендована гранично допустима норма опромінення – 5 Бер/рік.

Сумарна доза опромінення складається з зовнішнього та внутрішнього опромінення. Зовнішнє опромінення обумовлене радіаційним фоном території, космічними та ін. джерелами. Внутрішнє опромінення визначається кількістю радіонуклідів, що надходить в організм людини з їжею, водою та повітрям.

Умовою проживання і трудової діяльності населення без обмежень за радіаційним фактором є отримання додаткової за рахунок забруднення території радіоактивними ізотопами дози, яка не перевищує рівня опромінення $1,0 \text{ мЗв}$ ($0,1 \text{ бер}$) за рік.

Додаткова доза зовнішнього опромінення зумовлюється щільністю забруднення ґрунтів, фоноутворюючими ізотопами цезію, стронцію, плутонію.

Розрахувати дозу зовнішнього опромінення для умов Західного Полісся можна на основі номограм (табл. 1).

Таблиця 1

Номограма розрахунку зовнішнього опромінення населення залежно від щільності забруднення ґрунту

Цезій		Стронцій		Плутоній			
Щільність забруднення ґрунту, $\text{Ки}/\text{км}^2$	Доза опромінення, мбер			Щільність забруднення ґрунту, $\text{Ки}/\text{км}^2$	Доза опромінення, мбер	Щільність забруднення ґрунту, $\text{Ки}/\text{км}^2$	Доза опромінення, мбер
	місто	снт.	село				
0,1	0,6	0,9	1,3	0,01	0,2	0,005	0,3
0,2	1,0	1,8	2,6	0,02	0,4	0,01	0,6
0,5	3,0	4,5	6,5	0,05	1,0	0,02	1,2
1,0	6,0	9,0	13	0,1	2,0	0,05	3
2,0	12	18	26	0,2	4,0	0,1	6
5,0	30	45	65	0,5	10	0,2	12
10	60	90	130	1	20	0,5	30

Основну ж дозу опромінення люди отримують за рахунок внутрішнього

опромінення в результаті споживання забрудненої їжі. При цьому розрахунки внутрішнього опромінення (табл. 2) визначаються за надходженням радіонуклідів в перерахунку на основні продукти – картоплю та молоко.

Таблиця 2

Номограма розрахунку внутрішнього опромінення населення залежно від щільності забруднення продуктів

Рівень забруднення продукції, нКі/кг	Доза опромінення, мбер		
	Молоко		Картопля
	Місто	Село	
0,1	2	3	3
0,2	4	6	6
0,5	10	15	15
1,0	20	30	30
2,0	40	60	60
5,0	100	150	150
10	200	300	300
20	400	600	600
50	1000	1500	1500
100	2000	3000	3000

Приймають, що середньодобове споживання людиною молока становить 0,5 л, картоплі – 1,5 кг. Розрахунки внутрішнього опромінення базуються на дослідних даних про те, що концентрація радіоцезію 1нКі на 1 л молока (нКі/л) забезпечує дозу 30 мбер на рік, а споживання 0,5 л молока на добу за дозовою ефективністю відповідає споживанню 1,5 кг картоплі.

Внутрішнє опромінення організму людини, залежно від рівня забруднення цезієм молока та картоплі, можна розрахувати за номограмами в табл. 2.

Крім цезію, внутрішнє опромінення організму викликається і радіоізотопами стронцію та плутонію. При цьому вважається, що при щільності забруднення території стронцієм 1 Кі/км² ефективна еквівалентна доза внутрішнього опромінення складає 20 мбер (за умови відсутності показників забруднення території стронцієм береться консервативна доза – 10 мбер), а сама концентрація в ґрунті плутонію відповідає ефективній еквівалентній дозі внутрішнього опромінення 60 мбер (за умови відсутності показників забруднення території плутонієм береться консервативна доза – 1 мбер).

Річну сумарну ефективну еквівалентну дозу опромінення населення розраховують за формулою:

$$P = P_{\text{зовн.}} + P_{\text{внутр.}}, \text{ мбер} \quad (1)$$

де $P_{\text{зовн}}$ – доза зовнішнього опромінення, яка визначається за формулою:

$$P_{\text{зовн}} = P_{\text{Cs}} + P_{\text{Sr}} + P_{\text{Pu}}, \text{ мбер} \quad (2)$$

де P_{Cs} , P_{Sr} , P_{Pu} – доза зовнішнього опромінення, сформована щільністю забруднення ґрунту відповідно цезієм, стронцієм, плутонієм;

$P_{внутр.}$ – доза внутрішнього опромінення, яка визначається за формулою:

$$P_{внутр.} = P_{молока} + P_{картоплі}, \text{ мбер} \quad (3)$$

де $P_{молока}$, $P_{картоплі}$ – доза внутрішнього опромінення сформована при споживанні відповідно молока та картоплі.

Завдання.

Розрахувати сумарну ефективну дозу опромінення населення, яке проживає на радіаційно забруднених територіях за даними у табл. 3. Результати представити у табличній формі (табл. 4).

Таблиця 3

Вихідні дані

Показники	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²										
Цезій	10	5,2	8,5	3,7	0,25	0,8	0,9	0,1	0,12	0,2
Стронцій	1	0,01	0,1	0,05	0,05	0,1	0,02	0,04	0,03	0,1
Плутоній	0,1	1,0	0,005	0,2	0,05	0,02	0,1	0,3	0,4	0,02
Рівень забруднення продукції, нКі/кг										
Молоко, нКі/кг	30	10	100	70	80	30	40	50	1	5
Картопля, нКі/кг	50	50	100	15	0,5	10	10	20	80	18

Таблиця 4

Визначення прогнозованої сумарної ефективної еквівалентної дози опромінення населення

Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Величина зовнішнього опромінення, мбер		Величина внутрішнього опромінення, мбер		Сумарна ефективна еквівалентна доза опромінення, мбер	
	місто	село	місто	село	місто	село
цезій	+	+				
стронцій	+	+				
плутоній	+	+				
Σ	+	+				
Рівень забруднення продукції:						
молоко, нКі/кг			+	+		
картопля, нКі/кг			+	+		
Σ			+	+	+	+

Контрольні запитання.

1. Чим викликана додаткова зовнішня доза опромінення населення?
2. Чим викликана додаткова внутрішня доза опромінення населення?

Практична робота №12

Тема: Вивчення експрес-методів визначення сумарної β - активності, визначення часу лічби та відносної похибки вимірювання.

Мета роботи: ознайомитися з експрес-методами визначення сумарної бета-активності, навчитися визначати час відрахунку та розраховувати відносну похибку вимірювання.

Визначення питомої масової сумарної бета-активності в об'єктах радіометричного контролю ґрунтується на вимірюванні спеціальними приладами потоку β -частинок, що випускаються зразком. При цьому використовують два методи: метод «тонкошарових» зразків і метод «товстошарових» зразків.

У першому випадку препарат для вимірювання роблять такої товщини, при якій поглинання β -частинок самим зразком, випущених ним самим, незначне. Однак використання зразка малої маси знижує чутливість методу внаслідок малої активності та малої швидкості лічби. В цьому випадку доводиться збільшувати час лічби, захист від фону і кількість лічильників.

При методі «товстошарових» зразків використовують препарати такої товщини, що її подальше збільшення не приводить до збільшення виходу із зразка бета-частинок.

При визначенні питомої масової сумарної β -активності в зразках, важливо знати їх радіонуклідний склад, що зменшить похибку вимірювання.

Таким чином, при визначенні сумарної β -активності відносним методом, наважку зроби можна наносити на підкладку тонким, проміжним або товстим шаром. В тонкому шарі визначають α -випромінюючі ізотопи, а також β -активність проб з малою концентрацією, або малою енергією ізотопів. В проміжному 25-100 мг/см² визначають сумарну β -активність за зольним залишком (в 200 мг золи). У товстому шарі – 1,5-2 г/см² проводять експрес методи визначення сумарної β -активності.

Вимірювання в товстому шарі. Подрібнену пробу, без зважування, поміщають в алюмінієву або пластмасову чашечку глибиною не менше 1 см, після чого проводять вимірювання в такій послідовності: вимірювання фону (порожня чашечка в свинцевому будиночку); вимірювання імпульсів від проби (чашечка з пробю): вимірювання імпульсів від еталона – висушений та розтертий хімічно чистий KCl.

Коефіцієнт зв'язку K визначають із співвідношення:

$$K = \frac{A_{\text{ет}}}{\text{швидкість лічби еталона}}$$

де $A_{\text{ет}}$ – активність еталона.

Приклад 1. Визначити сумарну β -активність при $N_{\phi} = 11$ імп./хв; $N_{KCl} = 45$ імп./хв; $N_{np} = 16$ імп./хв; $A_{em} = 3,87 \times 10^{-7}$ Кі/кг.

Розв'язок: $N_{oKCl} = N_{KCl} - N_{\phi} = 45 - 11 = 34$ імп./хв,

$N = N_{np} - N_{\phi} = 16 - 11 = 5$ імп./хв.

$$K = \frac{3,87 \cdot 10^{-7}}{34} = 0,1138 \cdot 10^{-7} = 11,38 \cdot 10^{-9}$$

$$A_{np} = N_{np} \cdot K = 5 \cdot 11,38 \cdot 10^{-9} = 56,9 \cdot 10^{-9} \text{ Кі/кг.}$$

Крім вимірювання в товстому шарі існує касетний та кюветний метод визначення сумарної β -активності. Суть названих методів така ж як і попереднього.

Визначення сумарної β -активності за зольним залишком (при низькій концентрації радіоактивних речовин).

Визначення сумарної β -активності за зольним залишком проводять в такій послідовності.

1 Спочатку проводять вимірювання кількості імпульсів від 200 мг КСІ (еталон) протягом 15-20 хв.

2 Проводять перерахунок на число імпульсів за хвилину, з внесенням поправки на фон.

3 Визначають коефіцієнт перерахунку: $K = \frac{A_{KCl}}{N_{oKCl}}$

4 Двічі (по 20 хв) визначають кількість імпульсів від 200 мг проби.

5. Визначають активність проби:

$$A_{np} = N_{np} \cdot K \cdot M, \text{ Кі/кг.}$$

де M – коефіцієнт зольності, визначають, як відношення маси золи від проби/маси сирої проби, в грамах.

Приклад 2. Маса сирої проби вівса 50 г, золи одержано 1,5 г.

$$M = 1,5/50 = 0,03.$$

Швидкість лічби: $N_{\phi} = 10$ імп./хв, $N_{KCl} = 24$ імп./хв, $N_{вівса} = 13$ імп./хв.

Розв'язок:

$$K = \frac{3,87 \cdot 10^{-7}}{14} = 0,276 \cdot 10^{-7} = 2,76 \cdot 10^{-8}$$

$$A_{вівса} = 3 \cdot 2,76 \cdot 10^{-8} \cdot 0,03 = 0,248 \cdot 10^{-8} = 2,48 \cdot 10^{-9} \text{ Кі/кг.}$$

Визначення відносної похибки вимірювання.

Величини, одержані в процесі вимірювань, внаслідок статистичної природи самого явища радіоактивності, а також проявів зовнішнього впливу, які не контролюються в процесі вимірювань (ефективність лічильника та інше) мають випадковий характер. Критерієм придатності (достовірності) одержаних результатів для використання є помилка (похибка) відхилення одержаних результатів від середнього значення. Відносну похибку активності (A)

вираховують із залежності:

$$\delta A = \frac{\Delta A}{A}$$

або у випадку швидкості лічби дана залежність матиме вигляд:

$$n_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}}}{t_{\text{пр}}}$$

де, n – кількість імпульсів від проби з фоном за одиницю часу (хв); $t_{\text{пр}}$ – час вимірювання (хв); $N_{\text{пр}}$ – середня кількість імпульсів від проби з фоном за час вимірювання. Тоді

$$\delta A = \sqrt{\left(\frac{\Delta N_{\text{пр}}}{N_{\text{пр}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta N_{\text{см}}}{N_{\text{см}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta N_{\phi}}{N_{\phi}}\right)^2};$$

$$\delta N_{\text{пр}} = \frac{\sqrt{N_{\text{пр}} + N_{\text{см}} + N_{\phi}}}{t}$$

Приклад 3. Протягом 100 секунд лічильник зареєстрував 135 імпульсів від фону та 719 імпульсів від проби пилку з фоном. Визначити відносну похибку інтенсивності вимірювання проби.

Розв'язок:

$$1. \delta N_{\phi} = \sqrt{N_{\phi}} = \sqrt{135} = 11,6$$

$$2. \delta N_{\text{пр}} = \sqrt{N_{\text{пр}}} = \sqrt{719} = 26,8$$

$$\delta A = \sqrt{\left(\frac{26,8}{719}\right)^2 + \left(\frac{11,6}{135}\right)^2} = \sqrt{(0,037)^2 + (0,09)^2} = 0,095 \text{ або } 9,5\%$$

Визначення часу лічби. Необхідний час для лічби залежить від активності проби, фону, величини необхідного ступеня достовірності результатів, і визначається за такою формулою:

$$tc = nc + \sqrt{\frac{nc \times n\phi}{\delta^2 \times no^2}}$$

де t – час лічби з фоном; nc – швидкість лічби від проби з фоном; $n\phi$ – швидкість лічби від фону; no – швидкість лічби проби без фону; δ – відносна похибка вимірювань, %.

Приклад 4. Визначити час вимірювання інтенсивності проби з фоном для визначення активності з точністю до 2% при інтенсивності фону 135, а проби 719 імп. за 100 с.

Розв'язок:

$$tc = 7,19 + \sqrt{\frac{7,19 \times 1,35}{2^2 + 5,84^2}}$$

$$tc = 7,19 + \sqrt{\frac{9,71}{4 \times 34,1}} = 7,19 + 0,267 = 7,457 \text{ с} = 0,12 \text{ хв}$$

Час лічби фону визначається аналогічно.

Завдання.

1 Ознайомитися з основними експрес-методами визначення питомої масової сумарної бета-активності в об'єктах радіометричного контролю.

2. Випишіть вихідні дані (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N_{пр}$	620	740	320	680	710	850	310	930	750	810
$N_{ф}$	95	144	75	88	100	115	67	144	120	170

3. Визначити відносну похибку інтенсивності випромінювання від проби при $t_{пр} = 100$ с.

4. Встановити час лічби сумарної інтенсивності (проба + фон) при $\delta = 2\%$. Зробити висновки.

Контрольні запитання.

1. Встановіть сутність методів «тонкошарових» і «товстошарових» зразків.

2. В якій послідовності проводять визначення сумарної β -активності в зольному залишку?

3. З якою метою проводять визначення відносної похибки вимірювання?

4. Що є критерієм придатності (достовірності) одержаних результатів вимірювання визначення сумарної β -активності?

Практична робота №13

Тема: Прогноз вмісту радіонуклідів у сільськогосподарській продукції.

Мета роботи: Ознайомитися та засвоїти методику прогнозування радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції.

Рослини є важливою ланкою більшості біологічних ланцюгів, за якими мігрують радіонукліди в природі, та початковою ланкою харчових ланцюгів, які визначають надходження радіоактивних елементів в організм тварин та людей. Із багатьох радіоактивних елементів найбільшу біологічну небезпеку представляють довго живучі радіоізотопи цезію та стронцію, які мають період напіврозпаду біля 30 років і активно включаються в процеси біологічної міграції. Інші радіонукліди, що були викинуті із зруйнованого реактора, мають короткий період напіврозпаду (декілька діб, місяців) або практично не беруть участі в процесах мінералізованого обміну біологічних об'єктів. Період напіврозпаду радіоізотопів плутонію складає від 20 до 30 тисяч років, але вони практично не засвоюються в ґрунті і рослинах, і не є небезпечними для людини лише у випадку потрапляння в легені з пилом. Надходження цезію та стронцію в організм з продуктами харчування відбувається в результаті переходу ^{90}Sr ,

^{137}Cs з ґрунту в рослини, а потім в продукцію рослинництва і тваринництва.

^{137}Cs є аналогом калію, тому подібно до цього елемента бере участь в усіх в реакціях обміну в рослинах, організмах тварин та рослини, біологічно дуже рухомий і порівняно з іншими радіонуклідами швидко виводиться з організмів тварин та людини.

^{90}Sr – хімічний аналог кальцію, для нього характерно високе засвоєння рослинами та тваринами, він повільно виводиться з організму та накопичується в кісткових тканинах.

Рівень забруднення сільськогосподарської продукції прямо пропорційний щільності забруднення ґрунтів. Щільність забруднення ґрунту вимірюється кількістю розпадів радіоактивних атомів, які проходять за одиницю часу на площі поверхні ґрунту.

При розробці структури посівних площ можна попередньо розрахувати очікуваний вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs в майбутньому врожаї.

Існують прогнозні моделі за допомогою яких можна встановити рівень забруднення ^{137}Cs сільськогосподарських культур. Номограми визначення вмісту ^{137}Cs в об'єктах див. рис.1, 2, 3.

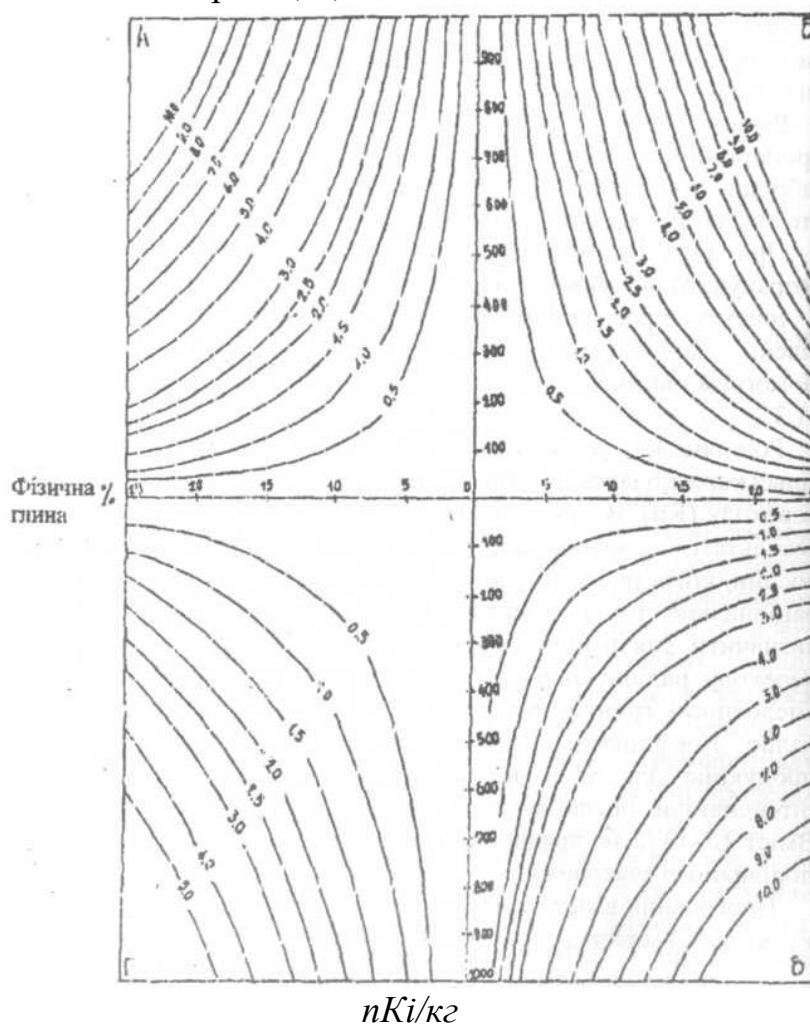


Рис. 1. Номограма визначення вмісту ^{137}Cs (пКі/кг) у сільськогосподарських культурах в дерново-підзолистих ґрунтах різного гранулометричного складу (вміст фізичної глини, %) при різній щільності забруднення (пКі/км²) А – картопля; Б – жито; В – кукурудза на зелену

масу; Г – льон

Розглянемо розрахунок прогнозу вмісту радіонуклідів в сільськогосподарській продукції з використанням коефіцієнта переходу (K_n). В основі цього методу прогнозу закладено фактичні результати польових досліджень рівня забруднення ґрунту та рослин, котрі росли на ньому. Застосування цього методу прогнозу раціональне, так як коефіцієнт пропорційності можна попередньо визначити для різних сільськогосподарських культур. Коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини залежить від типу та кислотності ґрунтів, вмісту в них гумусу, обмінного кальцію та калію. Коефіцієнти переходу із всіх типів ґрунту в рослинну продукцію для ^{90}Sr вище, ніж для ^{137}Cs . ^{90}Sr в 2-6 разів інтенсивніше поглинається бобовими культурами, ніж злаковими. Вміст ^{137}Cs , як правило, також вище в зернобобових культурах порівняно зі злаковими.

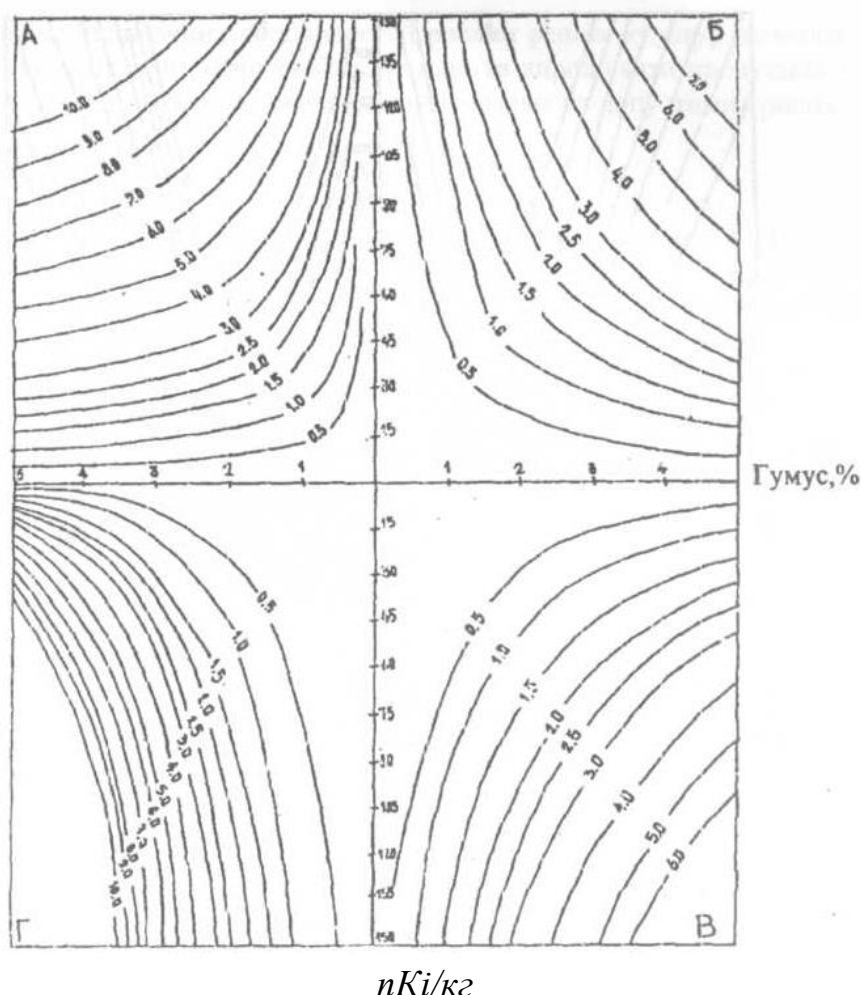


Рис. 2. Номограма визначення вмісту ^{137}Cs ($n\text{Ki}/\text{kg}$) в сільськогосподарській продукції для легкосуглинкових ґрунтів залежно від вмісту гумусу при різних рівнях забруднення ($n\text{Ki}/\text{km}^2$)
А – жито; Б – картопля; В – кукурудза на зелену масу; Г – льон

Прогнозний вміст радіонуклідів у врожаї сільськогосподарських культур (С) можна розрахувати за формулою:

$$C = K_n \times D, \text{ Бк/кг,}$$

де K_n – коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в рослину;

D – щільність забруднення ґрунту (Бк/м²).

Таким чином, рівні забруднення врожаю однієї і тієї ж культури залежить як від щільності забруднення ґрунту так і від агрохімічних властивостей ґрунтів. Чим вища окультуреність ґрунту, тим нижчий рівень накопичення радіонуклідів у врожаї, У зв'язку з цим розміщення культур із врахуванням щільності забруднення ґрунту, а також біологічних особливостей рослин різних культур дозволяє регулювати рівні забруднення врожаю та вирощувати продукцію з вмістом радіонуклідів, значно нижчим тимчасово допустимих рівнів.

Завдання.

Розрахувати рівні вмісту радіонуклідів у врожаї сільськогосподарських культур.

1. Виписати вихідні дані відповідно до варіанта (табл. 1).

Таблиця 1

		Вихідні дані									
		Варіанти									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
а	№ культури	1	2	3	4	5	10	11	51	52	53
		7	8	21	13	9	17	14	55	54	56
		12	20	36	37	18	23	24	66	57	58
		19	35	43	22	33	32	26	69	52	60
		34	39	48	40	44	47	31	70	67	61
		38	40	6	50	49	25	45	71	68	65
ґрунт дерново-підзолистий супіщаний											
б	№ культури	52	68	52	68	71	61	51	62	51	57
		56	64	56	69	70	60	52	61	52	58
		60	70	60	70	69	56	66	60	54	59
		61	71	61	71	68	52	65	59	55	60
		62	56	62	56	67	68	64	58	56	63
		67	52	67	60	62	67	63	57	53	64
ґрунт											
Дерново-підзолистий піщаний			торфово-глеєвий		чорнозем суглинний		чорнозем	сірий лісовий			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Щільність забруднення ґрунту, Кі/км											
а	14,9	10,5	12,6	4,5	5,0	8,4	7,8	5,9	7,8	11	
б	15	13	8	10	2,8	3,7	6,8	7,1	11,5	12	

2. Охарактеризувати тип ґрунту та навести основні агрохімічні характеристики (рН, величину гідролітичної кислотності, вміст і азоту,

фосфору, калію та кальцію, гумусу).

3. Визначити коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в культури (табл. 2, 3.) та оцінити біологічні особливості кожної культури щодо накопичення радіонуклідів.

4. Користуючись формулою, розрахувати прогнозований рівень забруднення врожаю сільськогосподарських культур відповідно до заданих умов.

5. Одержані прогнозні рівні вмісту радіонуклідів у врожаї сільськогосподарських культур порівняти з тимчасовими допустимими рівнями вмісту радіонуклідів в сільськогосподарській продукції (табл. 4) та визначити відсоток перевищення, коли такий існує.

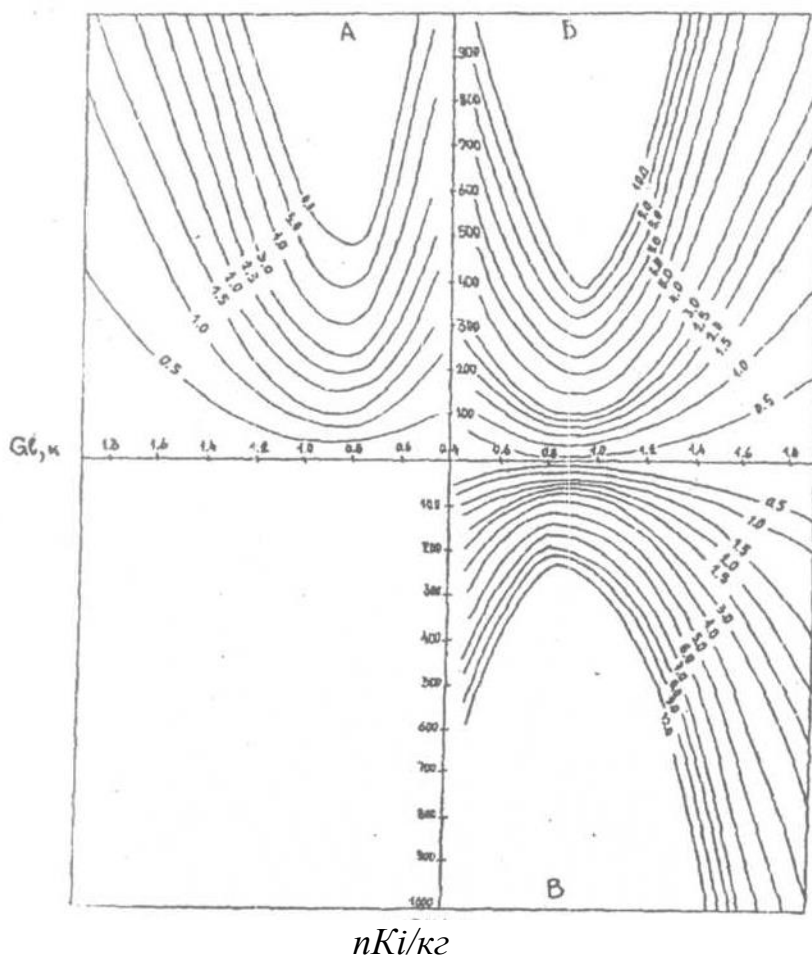


Рис. 3. Номограма визначення вмісту ^{137}Cs ($n\text{Ki}/\text{kg}$) в сільськогосподарській продукції залежно від ступеня оглеєності. Gf – глибина залягання глеєвого горизонту; А – льон; Б – картопля, жито; В – кукурудза на зелену масу

6. Результати розрахунків представити у табличній формі (табл. 5.).

7. Беручи до уваги зроблені розрахунки забруднення культур, підібрати культури, які можна вирощувати при даному рівні забруднення ґрунту. Обґрунтувати вилучення деяких культур з сівозміни, яка культивується на даній території.

8. Зробити висновок.

**Коефіцієнти переходу (K_n) ^{137}Cs в рослини з дерново-підзолистого
супіщаного ґрунту**

Номер культури	$K_n = \frac{\text{Бк/кг}}{\text{кБк/м}^2}$	
	Основна продукція	Побічна продукція
Зернові та зернобобові		
1. Кукурудза	0,07	0,27
2. Озима пшениця	0,11	0,43
3. Ячмінь	0,13	0,19
4. Тритикале	0,16	0,25
5. Яра пшениця	0,16	0,33
6. Просо	0,24	0,81
7. Жито	0,24	0,28
8. Овес	0,35	0,81
9. Боби	0,52	1,26
10. Гречка	0,76	0,8
11. Соя	0,88	1,2
12. Горох	0,91	1,45
13. Вика	0,29	1,48
14. Люпин жовтий	4,5	0,27
Овочеві		
15. Баклажани	0,013	-
16. Цибуля ріпчаста (зел.)	0,017	-
17. Цибуля латук (перо)	0,03	-
18. Перець солодкий	0,05	-
19. Кабачки цукіні	0,06	-
20. Кабачки Грибовські	0,06	-
21. Гарбуз	0,06	-
22. Патисони	0,09	-
23. Часник	0,09	-
24. Помідори	0,04-0,12	-
25. Морква	0,13-0,15	-
26. Редиска	0,15	-
27. Петрушка	0,10	-
28. Коріандр	0,17	-
29. Календула	0,17	-
30. Капуста червонокочанна	0,19	-
31. Капуста білокочанна	0,21	-
32. Капуста брюссельська	0,22	-

33. Капуста кольрабі	0,35	
34. Цвітна капуста	0,32	
35. Столовий буряк	0,17	-
36. Щавель	0,29	-
37. Картопля	0,39	-
Кормові		
38. Кукурудза	0,15	-
39. Тимофіївка	0,23	-
40. Редька олійна	0,3	-
41. Кормова капуста	0,43	-
42. Рапс озимий	0,46	-
43. Конюшина червона	0,54	-
44. Соняшник	0,6	-
45. Люпин жовтий	1,5	-
Технічні		
46. Льон зерно	0,13	-
47. Льон соломка	0,19	-
48. Соняшник	0,42	-
49. Редька олійна	0,48	-
50. Цукровий буряк	0,34	-

Таблиця 3

Коефіцієнти переходу ^{137}Cs з ґрунту в культури, ($K_{\text{п}} = \frac{\text{Бк/кг}}{\text{кБк/м}^2}$)

Номер культури	Ґрунт					
	*1	*2	*3	*4	*5	*6
51. Люцерна	0,9	-	-	-	0,1	0,2
52. Конюшина	0,8-2,9	0,9	8,0	0,2	0,1	0,3
53. Вика	1,1-4,5	-	-	-	0,2	0,4
54. Люпин	0,9-2,7	-	-	-	0,1	0,3
55. Горох	0,5	-	-	-	0,2	0,3
56. Кукурудза (силос)	0,6	0,2	1,6	0,05	0,1	0,3
Зерно						
57. Озима пшениця	0,4	-	-	-	0,05	0,2
58. Озиме жито	0,3	-	-	-	0,07	0,1
59. Озимий ячмінь	0,3	-	-	-	0,01	0,1
Овочі						
60. Картопля	0,3	-	0,8	-	0,04	0,1
61. Буряк	0,2	0,2	2,7	0,05	0,06	0,3
62. Капуста	0,1	0,4	20	0,08	0,04	0,1
63. Помідори	0,6	1,3	-	0,2	0,03	0,09

64. Огірки	0,3	-	-	-	0,03	0,06
65. Цибуля	0,3	-	-	-	0,11	0,2
66. Морква	0,2	-	-	-	0,05	0,12
Зелена маса						
67. Рапс	-	0,8	8,0	0,1	-	-
68. Злакові	-	0,4	4,0	0,05	-	-
69. Бобові	-	0,8	8,0	0,2	-	-
70. Овес	-	0,2	4,0	0,05	-	-
71. Ячмінь	-	0,2	0,8	0,05	-	-

*1- дерново-підзолисті супіщані; *2 - дерново-підзолисті піщані; *3- осушені торфопо-глеєві; *4 - важко суглинистий чорнозем ; *5 - чорнозем; *6 - сірі лісові

Таблиця 4

**Допустимі рівні вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr в сільськогосподарській продукції,
зумовлені аварією на ЧАЕС (ДР-2006)**

№ з/п	Продукція	^{137}Cs , Бк/кг	^{90}Sr Бк/кг
1	Вода	20	5
2	Сіно та солома	600	200
3	Зерно фуражне	600	200
4	Зерно харчове	60	20
5	Столова зелень	40	20
6	Зелена маса	60	20
7	Садові ягоди, фрукти	70	10
8	Буряк кормовий	40	20
9	Картопля	60	20
10	Овочі	40	20
11	Зерно зернобобових	40	20
12	Круп'яні	40	20
13	Свіжі дикоростучі ягоди і гриби	500	50
14	Сушені дикоростучі ягоди і гриби	2500	250
15	Інші продукти	600	200
16	М'ясо і м'ясні продукти	200	20
17	Молоко і молочні продукти	100	20
18	Риба і рибні продукти	150	35
19	Яйця	6	2
20	Молоко згущене	300	60
21	Молоко сухе	500	100

Таблиця 5

Прогнозний вміст радіонуклідів в сільськогосподарській продукції

Культура	Щільність забруднення ґрунту, Д, Бк/м ²	Коефіцієнт переходу, К _п , Бк/кг	Вміст радіонуклідів у врожаї, С, Бк/кг	ДР, Бк/кг	Відсоток перевищення ДР, %
1	Д	К _{п1}	С ₁	ТДР ₁	%
2	Д	К _{п2}	С ₂	ТДР ₂	%
3	Д	К _{п3}	С ₃	ТДР ₃	%
...
n	Д	К _{пn}	С _n	ДР _n	%

Контрольні запитання.

1. Наведіть приклади найбільш небезпечних, з точки зору сільськогосподарського виробництва, радіонуклідів. Відповідь обґрунтуйте.
3. Від чого залежить рівень забруднення сільськогосподарської продукції?
4. Що характеризує коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту до рослини та від яких факторів він залежить?
5. Які методи прогнозу забруднення радіонуклідами сільськогосподарської продукції ви знаєте?
6. Які фактори впливають на рівень забруднення сільськогосподарської продукції рослинництва радіонуклідами за умов вирощування при однакових щільностях забруднення ґрунту радіонуклідами?

Практична робота №14

Тема: Основні принципи ведення тваринництва на радіоактивно забруднених територіях

Мета роботи: ознайомитися з основними принципами ведення тваринництва на забруднених землях і навчитися прогнозувати вміст ¹³⁷Cs у продуктах тваринництва.

Основну дозу радіоактивного опромінення людина одержує не ззовні, а за рахунок споживання забруднених продуктів. Зменшити надходження радіонуклідів в організм людини можна лише за умов прогнозування ймовірних рівнів забруднення продуктів тваринництва.

Радіоактивні речовини надходять в організм тварин трьома шляхами: перорально (через рот), аерогенно (через дихальні шляхи), перкутанно (через шкіряний покрив). Аерогенний та перкутанний шляхи представляють інтерес при оцінці дозових навантажень на організм тварин, а пероральний, зокрема, характеризує забруднення основних продуктів тваринництва (молока, м'яса, яєць).

Загалом в господарствах, які розміщені на забруднених радіонуклідами територіях, ступінь забруднення продукції тваринництва буде залежати від складу раціону та способу утримання тварин.

Найбільш високі рівні забруднення тваринництва будуть спостерігатися

при екстенсивному типі відгодівлі тварин (кормовою базою є природні луки та пасовища). Зменшення рівнів забруднення окремих кормів та загалом раціону тварин в цілому, може бути досягнути при використанні інтенсивної системи землеробства, стійлового утримання тварин з організацією раціональної кормової бази.

При складанні раціону, необхідно брати до уваги те, що важливе значення для пониження переходу радіонуклідів цезію та стронцію в продукцію тваринництва має збалансоване мінеральне харчування. Наприклад, дефіцит кальцію в раціоні тварин, викликає підвищене накопичення ^{90}Sr в молоці. Тому, при складанні раціону для продуктивних тварин та птахів, рекомендується повноцінний та збагачений кальцієм раціон. При забрудненні території радіоактивним цезієм раціон тварин повинен бути збалансований за калієм.

Радіонуклід, який потрапив в організм з кормом, всмоктується в кров у відповідних відділах шлунково-кишкового тракту. За певний період часу (в хвиликах), він розподіляється в судинній системі і виводиться з крові з сечею, потом, калом, молоком та в результаті радіоактивного розпаду. Частина радіонуклідів відкладається в тканинах, потім потрапляє в кров і включається в процеси виведення.

Виведення радіонуклідів з молоком залежить від періоду лактації та продуктивних якостей тварин: чим вищий добовий удій корови, тим менша концентрація радіонуклідів в молоці. Концентрація ^{137}Cs у молоці визначається кількістю радіонуклідів в добовому раціоні. Перехід ^{137}Cs з раціону дійної корови у молоко, в середньому складає 1% від вмісту радіонуклідів в добовому раціоні. Основним шляхом зменшення вмісту ^{137}Cs у молоці є переведення корів на максимально «чисті» корми.

Значний вплив на забруднення продукції має стан пасовищ. Практика показує, що використання природних пасовищ з забрудненням ^{137}Cs до 5 Кі/км², а інколи і до 10 Кі/км² з додатковою підгодівлею тварин «чистими» кормами, дозволяє одержувати молоко з вмістом радіонуклідів в межах норми.

В організмі тварин радіоактивний цезій концентрується в м'язах, а ^{90}Sr – в кістках. Порівняно з молоком, концентрація ^{137}Cs в м'язах приблизно в 4 рази є вищою, а ^{90}Sr – в 1,5 рази нижчою.

Для характеристики швидкості виведення радіоцезію з м'язів, використовують «час напіввиведення», тобто проміжок часу, за який вміст радіонуклідів зменшується в два рази. Період напіввиведення для жуйних тварин, залежно від віку та продуктивності, рівний 20-30 днів. Основний метод зниження радіоцезію в м'ясі, полягає у відгодівлі тварин на завершальному етапі максимально «чистим» кормом (табл. 1). Швидкість зниження ^{137}Cs в м'язах тварин, при утриманні їх на «чистих» кормах, із збільшенням віку зменшується.

Таблиця 1

Вміст ^{137}Cs в м'язах і в раціоні ВРХ на різних стадіях відгодівлі

Стадії відгодівлі	Вміст ^{137}Cs		
	В м'язах, Бк/кг		В добовому раціоні, Бк/кг
	На початку стадії	В кінці стадії	

Початкова	без обмежень	2980	74000
Проміжна	2960	1480	37000
Кінцева	1480	740	18500

Таблиця 2

Тривалість стадії відгодівлі залежно від віку ВРХ

Стадії відгодівлі	Вік тварин на момент забою		
	1,5 року	2,5 роки	2,5-9 років
	Тривалість стадії відгодівлі, доби		
Початкова	без обмежень	без обмежень	
Проміжна	15	15	30
Завершальна	50	60	120

Таблиця 3

Прогноз вмісту ^{137}Cs в продуктах тваринництва

Продукт	Допустимий вміст ^{137}Cs		% переходу з добового раціону в 1 кг продукції
	в продукті, Бк/кг	в раціоні тварин, Бк	
Молоко	100	10000	1
М'ясо яловичини	200	5000	4
М'ясо свинини	200	1400	15
М'ясо бараняче	200	1400	15
М'ясо куряче	200	45	50

В таблиці 3 наведено допустимі рівні вмісту ^{137}Cs в раціоні, який забезпечує одержання продукції тваринництва в межах ДР.

Для зниження концентрації радіонуклідів в продуктах харчування, необхідно застосовувати технологічну та кулінарну обробку. Перехід ^{137}Cs та ^{90}Sr з забрудненого молока в молочні продукти показана в табл. 4. Відомо ряд способів зниження концентрації радіонуклідів в м'ясі та м'ясопродуктах (табл. 5).

Таблиця 4

Перехід ^{137}Cs та ^{90}Sr із забрудненого молока в молочні продукти, у % від вмісту в цільному молоці

Найменування продукції	^{137}Cs	^{90}Sr
Молоко цільне	100	100
Молоко знежирене	85	92
Вершки	15	8
Масло	2,5	1,5

Маслянка	13,5	6,5
Топлене масло	<0,1	<1
Знежирений сир	10	12
Казеїн	1,6	6,3

Таблиця 5

Способи переробки м'яса та ступінь пониження концентрації радіоцезію в продуктах

Спосіб	Продукт	Ступінь пониження ¹³⁷ Cs в продукції
Варіння (30-40 хв.)	м'ясо	3-5
Вимивання в проточній воді протягом 12 годин або в розчині кухонної солі	м'ясо	1,3-3
Перетоплення	сало	20

Завдання.

Визначити забруднення м'яса та молока при певному вмісті цезію в раціоні.

1. Виписати вихідні дані згідно з варіантом (табл. 6).

Таблиця 6

Вихідні дані

Вміст ¹³⁷ Cs в кормах, Бк/кг	Варіант	Раціон						
		Сіно		Силос	Кормовий буряк	Концентрати	Солома	Сінаж
		1*	2*					
	0	1450	1112	1230	60	500	2000	400
	1	1024	1270	560	39	200	1520	250
	2	963	1360	230	49	60	456	350
	3	1112	1780	165	87	52	789	500
	4	123	1632	480	20	45	963	268
	5	1260	1258	230	56	75	852	369
	6	2560	4560	153	78	200	741	425
	7	1590	1470	562	96	152	546	173
	8	1000	1897	852	10	56	832	189
	9	12584	1365	126	26	250	428	190

Сіно заготовлене з першого (1) та другого (2*) полів

2. Розрахувати вміст радіонуклідів в запропонованих раціонах для відгодівлі телят (сіно – 2 кг; силос – 15 кг; кормовий буряк – 6 кг; концентрати – 3 кг) та харчування дійних корів (сіно – 2,5 кг; сінаж – 10 кг; силос – 25 кг, коренеплоди (кормовий буряк) – 11 кг; солома – 2 кг; концентрати – 6,5 кг).

Раціон, який складений за поживністю, прораховують для визначення

вмісту в ньому радіонуклідів за формулою:

$$A P(A) + B P(B) + \dots = P(\text{раціону}), \text{ Бк}$$

де A – кількість корму A в раціоні, кг; $P(A)$ – вміст радіонуклідів у кормі A , Бк/кг; B – кількість корму B у раціоні, кг; $P(B)$ – вміст радіонуклідів у кормі B , Бк/кг.

3. Порівняти одержаний результат з допустимим вмістом ^{137}Cs в раціоні телят та корів. Якщо вміст радіонуклідів у раціоні більший, ніж показники таблиці 4, то необхідно замінити корми або зменшити кількість найбільш забрудненого корму.

4. Визначити забруднення м'яса та молока при даному вмісті цезію в раціоні.

5. Результати розрахунків звести у таблицю 7.

6. Запропонувати способи зменшення вмісту радіонуклідів в продукції шляхом її переробки.

7. Зробити висновки.

Таблиця 7

Розрахунок рівня забруднення продукції тваринництва

Продукція	Забруднення добового раціону, Бк/добу	% переходу цезію з добового раціону в продукт	Забруднення продукту, Бк/кг	ДР, Бк/кг	Перевищення, %
Молоко	$P_{\text{корів}}$	1	$0,01 P_{\text{корів}}$		
М'ясо	$P_{\text{телят}}$	4	$0,04 P_{\text{телят}}$		

Контрольні запитання.

1. Що спричиняє накопичення радіонуклідів в організмі тварин?
2. Яким чином розраховують вміст радіонуклідів у раціоні тварин?
3. Охарактеризуйте методи зниження вмісту цезію та стронцію у молочній продукції.
4. Який відсоток радіонуклідів переходить з добового раціону тварини в молоко, м'ясо?

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Ананьєва Т. В., Чорна В. І. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології: посібник. Дніпро: ЛІРА, 2022. 168 с.
2. Батлук В. А. Радіаційна екологія: навч. посібн. Київ: Знання, 2009. 309 с.
3. Гайченко В.А., Гудков І. М., Кашпаров В. О., Кічно В. О., Лазарєв М. М. Практикум з радіобіології та радіоекології. Херсон: Олді Плюс, 2014. 278с.
4. Гродзинський Д. М. Радіобіологія. Київ: Либідь, 2001. 448 с.
5. Гудков І. М. Радіобіологія: підручник. Київ : НУБіП України, 2016. 485 с.
6. Гудков І. М., Гайченко В. А., Кашпаров В. О., Кутлахмедов Ю. А. та ін. Радіоекологія: підручник. Херсон: Олді Плюс, 2013. 467 с.
7. Клименко М. О., Клименко О. М., Клименко Л. В. Радіоекологія: підручник. Рівне : НУВГП, 2020. 304 с.
8. Константинов М. П. Радіаційна безпека: навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2003. 145 с.
9. Кутлахмедов Ю. О. Корогодін В. І., Кольтовер В. К. та ін. Основи радіоекології. Київ: Вища школа, 2003. 319 с.
10. Кутлахмедов Ю. О., Войціцький В. М., Хижняк С. В. Радіобіологія: навч. посібн. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2011. 543 с.
11. Лапига І. В. Радіоекологія: лабораторний практикум. Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2018. 53 с.
12. Батлук В. А. Радіаційна екологія. Київ: Знання, 2009. 309 с.
13. Музиченко О. Радіоекологія. Конспект лекцій для студентів спеціальності 101 Екологія. Луцьк: Вид-во Вежа, 2023. 109 с.
14. Павлович В. М. Фізика ядерних реакторів: навч. посіб. НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. Чорнобиль (Київ. обл.): Ін-т проблем безпеки АЕС, 2009. 224 с.
15. Масікевич Ю. Г., Шапорєв В. П., Моїсєєв В. Ф. та ін. Радіоекологія: підручник. Чернівці: Місто, 2018. 450 с.
16. Саввін О.В., Сухарева М.В., Мешкова А.Г., Суліменко С.Є. Радіоекологія. Частина I : конспект лекцій. Дніпро : НМетАУ, 2021. 81 с.

Додаткова

1. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. Державні гігієнічні нормативи / ГН 6.6.1.1-130-2006. Наказ МОЗ України від 03.05.2006, №256.
2. Закон України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи». ВРУ, від 27.02.1991 №791а- XII.
3. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами». ВРУ, від 30.06.1995 №255/95-ВР.
4. Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення (у розрізі районів); за ред. В.І. Холоші. МНС України у справах

захисту населення від наслідків Чорнобил. катастрофи. Київ, 2008. 49 с.

5. Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки. Національна доповідь України. Національний науковий центр радіаційної медицини, Національна академія медичних наук, Київ, 2016, 177с. (http://dazv.gov.ua/images/pdf/national_dopovid_2016.pdf)

Періодична система хімічних елементів Д.І. Менделєєва

Період	Ряд	Г Р У П И												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
1	1	H Гідроген Водень 1,0079							He Гелій 4,0026					
2	2	Li Літій 6,941	Be Берилій 9,012	B Бор 10,81	C Карбон Вуглець 12,011	N Нітроген Азот 14,0067	O Оксиген Кисень 15,999	F Флуор Фтор 18,998	Ne Неон 20,179					
3	3	Na Натрій 22,990	Mg Магній 24,305	Al Алюміній 26,981	Si Силіцій Кремній 28,086	P Фосфор 30,973	S Сульфур Сірка 32,06	Cl Хлор 35,453	Ar Аргон 39,948					
4	4	K Калій 39,098	Ca Кальцій 40,08	Sc Скандій 44,956	Ti Титан 47,90	V Ванадій 50,941	Cr Хром 51,996	Mn Манган Марганець 54,938	Fe Ферум Залізо 55,847	Co Кобальт 58,933	Ni Нікел Нікель 58,70			
	5	Cu Купрум Мідь 63,546	Zn Цинк 65,39	Ga Галій 69,72	Ge Германій 72,59	As Арсен Миш'як 74,921	Se Селен 78,96	Br Бром 79,904	Kr Криптон 83,80					
5	6	Rb Рубідій 85,468	Sr Стронцій 87,62	Y Ітрій 88,906	Zr Цирконій 91,22	Nb Ніобій 92,906	Mo Молібден 95,94	Tc Технецій [98,906]	Ru Рутеній 101,07	Rh Родій 102,905	Pd Паладій 106,4			
	7	Ag Аргентум Срібло 107,868	Cd Кадмій 112,41	In Індій 114,82	Sn Станум Олово, цина 118,71	Sb Стибій 121,75	Te Телур 127,60	I Іод Йод 126,904	Xe Ксенон 131,30					
6	8	Cs Цезій 132,91	Ba Барій 137,33	*La Лантан 138,905	Hf Гафній 178,49	Ta Тантал 180,948	W Вольфрам 183,85	Re Реній 186,207	Os Осмій 190,2	Ir Іридій 192,22	Pt Платина 195,09			
	9	Au Аурум Золото 195,967	Hg Меркурій Ртуть 200,59	Tl Талій 204,37	Pb Плюмбум Свинець, оливо 207,2	Bi Бісмут Вісмут 208,980	Po Полоній [209]	At Астат [210]	Rn Радон [222]					
7	10	Fr Францій [223]	Ra Радій 226,025	**Ac Актиній [227]	Unq Уннілквадій [261]	Unp Уннілпентій [262]	Unh Уннілгексій [263]	Uns Уннілсептій [264]	Uno Уннілоктій [265]	Une Унніленій [266]	Uun Уннінілій [272]			
Вищі оксиди		R ₂ O	RO	R ₂ O ₃	RO ₂	R ₂ O ₅	RO ₃	R ₂ O ₇	RO ₄					
Леткі водневі сполуки					RH ₄	RH ₃	H ₂ R	HR						
*Ланта-ноїди	58 Ce Церій 140,12	59 Pr Празеодим 140,908	60 Nd Неодим 144,24	61 Pm Прометій [145]	62 Sm Самарій 150,36	63 Eu Європій 151,96	64 Gd Гадоліній 157,25	65 Tb Тербій 158,925	66 Dy Диспрозій 162,50	67 Ho Гольмій 164,93	68 Er Ербій 167,26	69 Tm Тулій 168,934	70 Yb Ітербій 173,04	71 Lu Лютецій 174,97
**Акти-ноїди	90 Th Торій 232,038	91 Pa Протактиній [231]	92 U Уран 238,029	93 Np Нептуній [237]	94 Pu Плутоній [244]	95 Am Америцій [243]	96 Cm Кюрій [247]	97 Bk Берклій [247]	98 Cf Каліфорній [251]	99 Es Ейнштейній [254]	100 Fm Фермій [257]	101 Md Менделєєв [258]	102 No Нобелій [259]	103 Lr Лоуренсій [260]

О.С. Музиченко

РАДІОЕКОЛОГІЯ

Методичні вказівки до практичних робіт