

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

100-річчю ДДАЕУ присвячується

**В. І. ЧОРНА
Т. В. АНАНЬЄВА**

**РАДІОБІОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ
РАДІОЕКОЛОГІЇ
ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

ОЛДІПЛУС

2021

УДК 577.34+631.438(075)
Ч-75

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Дніпровського державного аграрно-економічного університету
(протокол № 7 від 25 березня 2021 року)*

Рецензенти:

О. О. Шугуров, доктор біол. наук, старший наук. співр., професор кафедри загальної біології та водних біоресурсів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Г. О. Ушакова, доктор біол. наук, професор, завідувач кафедри біофізики та біохімії Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Л. М. Степченко, кандидат біол. наук, професор, завідувач кафедри фізіології та біохімії сільськогосподарських тварин Дніпровського державного аграрно-економічного університету

Чорна В. І.

Ч-75 **Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум :** навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. – 162 с.

ISBN 978-966-289-498-1

У посібнику вміщені основні поняття з техніки радіаційної безпеки при роботі з радіоактивними речовинами, правила роботи з приладами індивідуального дозиметричного контролю. Розглянуто фізичні основи дозиметрії, прогнозування забруднення рослинницької і тваринницької продукції, вирощеної в умовах територій, забруднених радіонуклідами.

Навчальний посібник призначений для користування при вивченні дисциплін «Радіобіологія», «Сільськогосподарська радіоекологія», «Радіоекологія» для здобувачів вищої освіти за спеціальностями 201 «Агрономія», 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

УДК 577.34+631.438(075)

ISBN 978-966-289-498-1

© В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1	
РАДІОБІОЛОГІЯ	7
Практична робота № 1	
Техніка радіаційної безпеки при роботі з радіоактивними речовинами.....	7
Практична робота № 2	
Радіоактивність та одиниці її вимірювання	12
Практична робота № 3	
Вивчення систем генерації та уловлювання іонізуючих випромінювань.....	15
Практична робота № 4	
Ізотопи та ядерні реакції, що зумовлюють іонізуючі випромінювання.....	22
Практична робота № 5	
Гама-еквівалент і гама-постійна	28
Практична робота № 6	
Дозиметрія іонізуючих випромінювань	30
Практична робота № 7	
Види дозиметричних і радіометричних приладів	35
Практична робота № 8	
Вимірювання радіаційного фону території.....	41
Практична робота № 9	
Розрахунок і оцінка еквівалентної дози опромінення внаслідок надходження радіонуклідів в організм	48
РОЗДІЛ 2	
ОСНОВИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ РАДІОЕКОЛОГІЇ	54
Практична робота № 10	
Радіаційно-гігієнічна оцінка території та прогнозування радіоактивного забруднення продукції рослинництва	54

Практична робота № 11 Прогнозування радіонуклідного забруднення продукції тваринництва (ситуаційні задачі).....	62
Практична робота № 12 Ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення.....	67
Практична робота № 13 Прогноз вмісту радіонуклідів у лісовій продукції	72
Практична робота № 14 Особливості ведення рибництва та рибальства на водоймах в умовах радіоактивного забруднення.....	80
Практична робота № 15 Визначення сумарної ефективної дози опромінення населення.....	86
Практична робота № 16 Побудова камерних моделей міграції радіонуклідів у природних екосистемах	91
Практична робота № 17 Оцінка і прогноз розподілу радіонуклідів і дози в типовій екосистемі схилів, характерних для ландшафтів України.....	102
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....	108
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	140
ДОДАТКИ.....	143
Додаток 1	143
Додаток 2	154
Додаток 3	157
Додаток 4	160

ВСТУП

Радіобіологія – це фундаментальна наука, яка інтенсивно розвивається, що пов'язано з широким застосуванням іонізуючих та неіонізуючих випромінювань в господарській діяльності, медицині і наукових дослідженнях. Її розвиток зумовлений всебічними дослідженнями стану біологічних об'єктів внаслідок підвищення рівня іонізуючих випромінювань, що викликано антропогенним забрудненням довкілля радіонуклідами за використання і випробовування ядерної та термоядерної зброї, розширення ядерних паливно-енергетичних комплексів. Будуються і вводяться в експлуатацію нові АЕС. Однак, за неповними даними у світі зареєстровано більше 100 радіаційних аварій, в тому числі в Росії, США, Англії, Японії та Україні. У зв'язку з аваріями виникає потреба комплексної оцінки цього джерела енергії, організації радіаційного моніторингу для поліпшення контролю за середовищем, розробки методів і заходів стабілізації обстановки на забруднених радіонуклідами територіях і створення безпечних умов для життя й праці людини. Стрімкий розвиток радіобіології привів до накопичення надзвичайно великої кількості експериментального матеріалу, що стосується досліджень на різних рівнях організації – молекулярному, субклітинному, клітинному, тканинному, організмовому, біоценотичному та біосферному. Завдяки цьому сформульовано цілий ряд важливих принципів, які сприяють розв'язанню проблем радіобіології та біології у цілому.

Особливої актуальності після Чорнобильської катастрофи набула проблема проживання людей і ведення ними господарської діяльності на великих територіях забруднених радіонуклідами та прогнозування радіоекологічних наслідків у майбутньому.

Розширення різних аспектів радіобіології, у тому числі дослідження впливу неіонізуючого випромінювання, стимулює широке застосування електромагнітного випромінювання для передачі та сприйняття інформації. В першу чергу це радіолокаційні станції, системи супутникового зв'язку, теле- та радіостанції, стільниковий

зв'язок, персональні комп'ютери, електротранспорт, побутові електроприлади тощо.

Навчальний посібник підготовлений з використанням матеріалів окремих розділів з відомих підручників і посібників Ю. А. Кутлахмедова, В. І. Корогодіна, В. К. Кольтовера, В. П. Зотова, А. Д. Белова, В. А. Крішіна, Н. П. Лисенка, В. В. Пака, Л. В. Рогожіна, Д. М. Гродзинського, Б. С. Прістера, М. О. Лощілова, О. Ф. Немеца, В. А. Пояркова, М. М. Калетніка, В. П. Краснова, В. О. Бозуна, О. О. Орлова, Б. А. Шелудченка та ін.

РОЗДІЛ 1 **РАДІОБІОЛОГІЯ**

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 **ТЕМА: Техніка радіаційної безпеки** **при роботі з радіоактивними речовинами**

1.1. Основні поняття і визначення

Радіоактивність – це самовільне перетворення ядер атомів деяких хімічних елементів у ядра інших елементів, що супроводжується виділенням іонізуючого випромінювання. Такі елементи називаються радіоактивними.

Робота з радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючих випромінювань є потенційно небезпечною. Вона регламентується двома основними державними нормативно-правовими документами: «Норми радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) та «Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України» (ОСПУ-2005).

У документах викладено встановлені радіаційно-гігієнічні регламенти, які включають систему принципів, нормативів у галузі протирадіаційного захисту та правил радіаційної безпеки.

Широке застосування методу мічених атомів у біологічних дослідженнях зобов'язує всіх працюючих з радіоактивними ізотопами мати чітке уявлення про те, які вимоги слід пред'являти до ізотопів, як мічених атомів, і які існують обмеження в застосуванні цього методу.

Кожен, хто має справу з радіоактивними речовинами, завжди повинен пам'ятати, що робота з ними небезпечна для здоров'я. Працюючи з радіоактивними ізотопами тривалий час, можна не зашкодити здоров'ю, якщо під час роботи дотримуватися правил безпеки з урахуванням особливостей дії випромінювання.

НРБУ-97 є головним державним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення.

Метою НРБУ-97 є визначення основних вимог до охорони навколишнього середовища та здоров'я людини від можливої шкоди, що пов'язана з опроміненням від джерел іонізуючого випромінювання.

Документ визначає два принципово відмінних підходи до забезпечення протирадіаційного захисту:

За всіх видів практичної діяльності в умовах нормативної експлуатації індустріальних та медичних джерел іонізуючого випромінювання.

За втручання, яке пов'язано з опроміненням населення в умовах радіаційної аварії, а також за хронічного опромінення через техногенно-підсилені джерела природного походження.

Практична діяльність – це діяльність людей, що пов'язана з використанням джерел іонізуючого випромінювання і спрямована на досягнення матеріальної чи іншої користі, яка призводить до контрольованого та передбаченого опромінення людей.

До практичної діяльності належать виробництво джерел випромінювання, використання їх у промисловості, медицині, сільському господарстві, наукових дослідженнях тощо, а також виробництво ядерної енергії, включаючи всі елементи ядерного паливного циклу.

Втручання – такий вид людської діяльності, що передбачає проведення контрольних заходів, які завжди спрямовані на зниження та відвернення неконтрольованого і непередбаченого опромінення або імовірного опромінення населення.

НРБУ-97 включають чотири групи радіаційно-гігієнічних регламентних величин (регламентів).

Перша група – регламенти для контролю за практичною діяльністю, метою яких є додержання опромінення персоналу та населення на прийнятному для індивідуума та суспільства рівні, а також підтримання радіаційно-прийняттого стану навколишнього середовища та технології радіаційно-ядерних об'єктів. До цієї групи входять такі регламенти: ліміти доз, похідні рівні – допустимі та контрольні.

Друга група – регламенти, що мають за мету обмеження опромінення людини від медичних джерел. До цієї групи входять рекомендовані рівні.

Третя група – регламенти щодо відвернутої внаслідок втручання дози опромінення населення в умовах радіаційної аварії. До цієї групи належать рівні втручання та рівні дії.

У межах цього документа рівень втручання – це рівень відвернутої дози опромінення, за підвищення якої потрібно застосовувати конкретний контрзахід у разі аварійного чи хронічного опромінення.

Рівень дії – це величина, яка виражається у вигляді таких показників радіаційної обстановки, які можуть бути виміряні (потужність дози γ -випромінювання, об'ємна активність радіонуклідів у повітрі, концентрація їх у продуктах харчування, щільність радіоактивних випадін на ґрунт та ін.). За перевищення встановлених показників розглядається питання про втручання.

Четверта група – регламенти щодо відвернутої внаслідок втручання дози опромінення населення від техногенно-підсиленних джерел природного походження (гранітні кар'єри, будівельні матеріали, мінеральні добрива тощо).

Нормами радіаційної безпеки встановлюються такі категорії осіб, які зазнають опромінення.

Категорія А (персонал) – особи, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань.

Категорія Б – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням робочих місць у приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями, можуть отримати додаткове опромінення.

Категорія В – усе населення України.

Радіоактивні речовини за токсичністю поділяються на 4 групи:

Група I – елементи з особливо високою радіотоксичністю. До неї належать: ^{90}Sr , ^{226}Ra , ^{210}Po .

Група II – елементи з високою радіотоксичністю: ^{22}Na , ^{45}Ca , ^{60}Co , ^{131}I , ^{238}U .

Група III – елементи з середньою радіотоксичністю: ^{16}N , ^{31}Si , ^{32}P , ^{36}Cl , ^{42}K , ^{50}Fe .

Група IV – елементи з найменшою радіотоксичністю: ^3H , ^{14}C , ^{17}N , ^{69}Zn .

Робота з радіоактивними ізотопами може проводитися без дотримання спеціальних заходів обережності у такому самому порядку, що і в хімічній лабораторії, якщо використовується така кількість ізотопів:

Група радіотоксичності	Сумарна активність, мкКі
I	0,1
II	1,0
III	10,0
IV	100,0

Організовуючи роботу в радіобіологічній лабораторії, треба враховувати природу та кількість радіоізотопів, з якими передбачається працювати.

Роботи в навчальній лабораторії, де радіоактивні ізотопи використовуються для біологічних досліджень, проводяться з ізотопами груп III та IV, їхня активність на робочому місці повинна становити: групи III – від 0,01 до 0,1 мікрокюри, групи IV – від 0,1 до 10 мікрокюри.

Ці роботи не вимагають дотримуватися спеціальних заходів безпеки, тобто користуватися спеціальними захисними костюмами, застосовувати складні захисні прилади, дистанційні інструменти.

Згідно з інструкцією, роботи з матеріалами зазначеної токсичності можна проводити в загальних приміщеннях, обладнаних у відповідності з вимогами, що висуваються стосовно хімічних лабораторій, але все-таки ці роботи бажано проводити в окремому приміщенні.

1.2. Порядок виконання роботи

У навчальних лабораторіях треба користуватися заходами асептичної техніки:

1. Працювати з радіоактивними ізотопами у білому халаті. Волосся має бути захищено білою шапочкою.
2. Під час роботи з радіоактивними речовинами треба одягати гумові рукавички. Закінчивши роботу, рукавички треба тричі вимити з милом. Знімаючи їх, необхідно слідкувати за тим, щоб внутрішня поверхня рукавичок залишалася незабрудненою.
3. При виході з лабораторії необхідно зняти халат.
4. Забороняється набирати в піпетку розчин ротом; усі маніпуляції з піпеткою проводити за допомогою гумової груші.

5. Усі роботи з радіоактивними речовинами виконувати у кюветі, покритій шаром фільтрувального паперу.

6. Забруднені руки і тіло радіоактивними речовинами необхідно негайно вимити водою з милом; якщо ця обробка не дає належного ефекту, то застосовують спеціальні миючі засоби залежно від хімічної природи забруднюючої речовини, зокрема адсорбенти, розчинники, речовини, що утворюють комплекси.

Склад миючих розчинів:

- a) 10–20 г лимонної (чи щавлевої) кислоти розчиняють в 1 л води;
- b) 10–20 г тринатрійфосфату розчиняють в 1 л води;
- v) 40 г $KMnO_4$, 5 г сірчаної кислоти розчиняють в 1 л води;
- г) 40 г їдкого натру розчиняють в 1 л води, потім додають 10 г трилону Б і перемішують до повного його розчинення.

7. У випадку забруднення радіоактивними речовинами окремих ділянок столів, підлоги необхідно терміново розпочати дезактивацію: якщо забруднювачем є розчин радіоактивних речовин, то його слід зібрати сухими тканинами, що легко вбирають вологу, чи фільтрувальним папером.

Після того, як основну кількість радіоактивної речовини видалено, забруднення, що залишилося, ліквідують вищезазначеними миючими розчинами (дезактивація), потім поверхню промивають водою і протирають сухою чистою ганчіркою, далі чистоту поверхні контролюють радіометричним приладом.

8. Увесь забруднений посуд збирають у спеціально призначені посудини і по можливості швидше миють.

9. Уживати їжу та зберігати харчові продукти в приміщенні, де знаходяться або використовуються радіоактивні речовини, забороняється.

10. Закінчивши роботу, кожен працюючий повинен прибрати своє робоче місце і дезактивувати робочий посуд та інструмент до гранично допустимих величин активності.

11. Чистоту робочих місць необхідно *регулярно* перевіряти за допомогою дозиметричних приладів. Нині для α -активних речовин прийнята гранично допустима норма забруднення рук, що дорівнює потоку 75 α -частинок протягом 1 хв з поверхні 150 cm^2

(поверхня руки в середньому дорівнює 150 см^2). Для одягу і робочих поверхонь – 500α -часток за 1 хв з поверхні 150 см^2 . Для β -активних ізотопів гранично допустимі норми забрудненості дорівнюють для рук 5000β -частинок за 1 хв з площі в 150 см^2 , а для одягу і робочих поверхонь – 25000β -частинок відповідно.

Дайте письмові відповіді на запитання:

1. Якими державними документами регламентується робота з радіоактивними речовинами?
2. Назвіть і дайте характеристику груп радіаційно-гігієнічних регламентів, зазначених у НРБУ.
3. Назвіть і дайте характеристику категорій осіб, встановлених нормами радіаційної безпеки.
4. За якої сумарної активності радіоактивних ізотопів робота може проводитись без дотримання спеціальних заходів обережності?
5. Перелічити правила роботи з радіоактивними речовинами у навчальних лабораторіях.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

ТЕМА: РАДІОАКТИВНІСТЬ ТА ОДИНИЦІ ЇЇ ВИМІРЮВАННЯ

2.1. Основні поняття і визначення

Радіоактивність – це самовільне перетворення ядер атомів деяких хімічних елементів у ядра інших елементів, що супроводжується виділенням іонізуючого випромінювання. Такі елементи називаються радіоактивними. Кожний радіоактивний елемент розпадається з певною швидкістю, яка вимірюється *періодом напіврозпаду*, тобто часом, протягом якого розпадається половина ядер всіх атомів радіоактивного джерела.

У процесі розпаду ядер у навколишнє середовище виділяється енергія у вигляді α -, β -частинок та γ -квантів.

Радіоактивний розпад проходить під впливом процесів, що відбуваються всередині ядра, його темп і характер не залежать

від кількості радіоактивного елемента і не змінюються за звичайних умов впливу. Кожний атом розпадається спонтанно, але ж в певній кількості речовини протягом кожної секунди розпадається в середньому деяка доля ядер. Швидкість розпаду атомів кожного радіоактивного елемента (*радіонукліду*) залежить від взаємопов'язаних величин: періоду напіврозпаду (T) та постійної розпаду (λ).

Постійна розпаду – це характерна величина для певного ізотопу, яка показує ту частину радіоактивних атомів, що розпадається протягом одиниці часу. Постійну розпаду виражають у зворотних секундах (с^{-1}) для того, щоб показати зменшення з часом радіоактивних атомів.

Між періодом напіврозпаду та постійною розпаду існує певний зв'язок: $\lambda = \frac{0,693}{T}$, отже $T = 0,693 / \lambda$, де $0,693$ – натуральний логарифм 2 ($\ln 2$). Таким чином, чим більший період напіврозпаду, тим меншою є постійна розпаду.

Якщо кількість радіоактивних ядер позначити через N , то закон радіоактивного розпаду буде мати такий вигляд:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (2.1)$$

де N_t – кількість атомів, які існують на момент t ;

N_0 – кількість атомів у початковий момент спостереження;

t – час від початкового до даного моменту;

e – основа натуральних логарифмів, що дорівнює $2,72$;

λ – постійна розпаду.

Підставимо значення $\lambda = 0,693/T$ у формулу і отримаємо

$$N_t = N_0 \cdot e^{-0,693t/T}. \quad (2.2)$$

Оскільки активність (A) радіонукліда, яка відбиває кількість розпадів протягом одиниці часу, є рівнозначною швидкості розпаду, то її можна записати так:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-0,693t/T}, \quad (2.3)$$

де A_0 – активність у початковий момент часу;

A_t – активність, що існує на момент часу t .

За одиницю активності в системі СІ прийнято одне ядерне перетворення за секунду (розпад/с). Ця одиниця отримала назву беккерель (Бк): 1 Бк = 1 розпад/с.

Позасистемною одиницею активності є кюрі (Ки). Активності в 1 Ки відповідає $3,7 \cdot 10^{10}$ ядерних перетворень за секунду (1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк), що приблизно дорівнює швидкості розпаду 1 г ^{226}Ra .

2.2. Порядок виконання роботи

Між активністю в одиницях кюрі і масою радіоактивної речовини (РР) у грамах існує певний зв'язок. Вага у грамах радіонукліда, активність якого дорівнює 1 Ки, визначають за формулами:

$$Q = 8,9 \times 10^{-14} \cdot MT, \text{ с}; \quad (2.4)$$

$$Q = 5,3 \times 10^{-12} \cdot MT, \text{ хв}; \quad (2.5)$$

$$Q = 3,2 \times 10^{-10} \cdot MT, \text{ год}; \quad (2.6)$$

$$Q = 7,7 \times 10^{-9} \cdot MT, \text{ діб}; \quad (2.7)$$

$$Q = 2,8 \times 10^{-6} \cdot MT, \text{ рік}; \quad (2.8)$$

де M – атомна маса, T – період напіврозпаду, Q – маса в грамах.

Приклад. Розрахувати масу 1 Ки ^{131}I ($M = 131$; $T = 8,06$ діб).

Розв'язання. $Q = 7,7 \times 10^{-9} \cdot 131 \cdot 8,06 = 8,1 \cdot 10^{-6}$ г

Маса 1 Бк ^{131}I буде меншою у $3,7 \times 10^{10}$ разів.

Активність 1 г будь-якої радіоактивної речовини в одиницях кюрі дорівнює

$$A = 1,13 \times 10^{13} / MT, T, \text{ с}; \quad (2.9)$$

$$A = 1,88 \times 10^{11} / MT, T, \text{ хв}; \quad (2.10)$$

$$A = 1,30 \times 10^9 / MT, T, \text{ год}; \quad (2.11)$$

$$A = 1,30 \times 10^8 / MT, T, \text{ діб}; \quad (2.12)$$

$$A = 1,57 \times 10^5 / MT, T, \text{ рік}. \quad (2.13)$$

Приклад. Визначити активність 1 г ^{131}I ($M = 131$; $T = 8,06$ діб).

Розв'язання. $A = 1,3 \cdot 10^8 / 131 \cdot 8,06 = 1,30 \cdot 10^8 / 1055,86 = 1,23 \cdot 10^5$ Ки/г.

Активність 1 г ^{131}I в беккерелях:

$$A = 1,23 \times 10^5 \times 3,7 \times 10^{10} = 4,55 \cdot 10^{15} \text{ Бк}.$$

У практичній роботі нерідко необхідно визначити активність певного ізотопу під час зберігання.

Для такого розрахунку використовують рівняння закону радіоактивного розпаду (2.3). Вираз $0,693t/T$ можна позначити як коефіцієнт x і знайти у відповідних таблицях. Оскільки x може мати будь-яке позитивне або негативне значення, а основа натуральних логарифмів (e) – величина постійна, що дорівнює 2,72, І. Н. Верховська запропонувала універсальний метод розрахунку і склала таблицю, в якій наводяться значення e^x та e^{-x} для різних значень x . Користуючись додатком 4, треба пам'ятати, що t і T необхідно виражати в однакових одиницях вимірювання часу.

Дайте письмові відповіді на запитання:

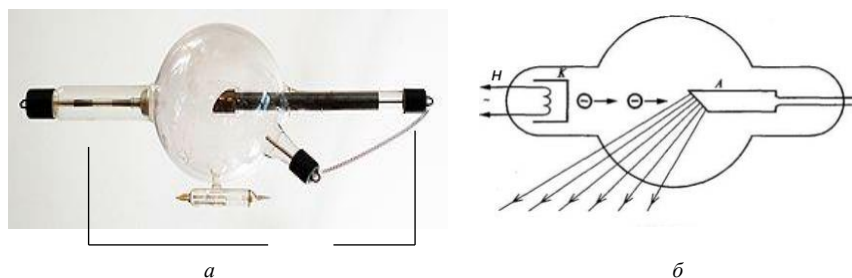
1. Що таке радіоактивність?
2. Що таке період напіврозпаду?
3. Які ви знаєте системні та позасистемні одиниці вимірювання радіоактивності?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

ТЕМА: Вивчення систем генерації та уловлювання іонізуючих випромінювань

3.1. Основні поняття і визначення

Рентгенівська трубка. Катодо-променева трубка (рис. 3.1, а), яку В. К. Рентген використовував у своїх експериментах, була розроблена Й. Хітторфом і В. Круксом. У рентгенівській трубці випромінюючий елемент являє собою вакуумний резервуар з трьома електродами: катодом, анодом та накалом. Рентгенівська трубка – електровакуумний прилад, призначений для отримання рентгенівського випромінювання.



Стрілками показані рентгенівські промені, К – катод,
А – анод (іноді званий антикатод), «-» – електрони, Н – накал

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд (а) і схематичне зображення (б) рентгенівської трубки

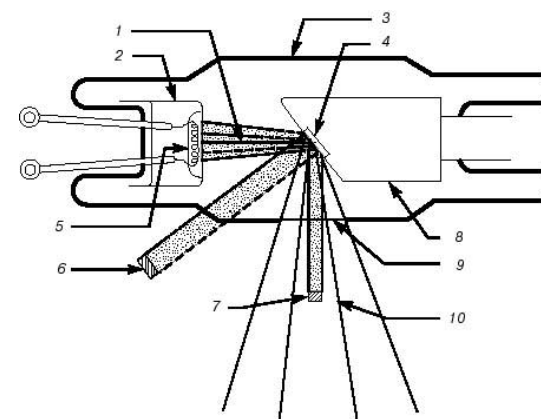
Отримання електронів, їх прискорення і гальмування здійснюється в самій рентгенівській трубці, що представляє вакуумований скляний балон, в який упаяно металеві електроди: катод – для отримання електронів і анод – для їх гальмування.

Електрони вивільнюються і летять від катода до аноду під дією різниці потенціалів між ними у 1,5 кВ при силі струму – до 1 А.

Анод виготовляють з тугоплавкого металу – вольфраму. Накал призначений для розігріву катода і як наслідок – полегшення виходу з нього електронів.

Рентгенівські промені виникають при сильному прискоренні заряджених частинок (гальмівне випромінювання), або при високоенергетичних переходах в електронних оболонках атомів (характеристичне випромінювання). Обидва ефекти використовуються в рентгенівських трубках. У процесі прискорення–гальмування лише близько 1% (ККД–1%) кінетичної енергії електрона йде на рентгенівське випромінювання, 99% енергії перетворюється в тепло. На склі В. К. Рентген виявив люмінесценцію (зелене світіння). Виділивши новий тип опромінення у 1895 р., В. К. Рентген назвав його Х-променями (X-rays). Рентгенівські промені мають довжину хвилі 10^{-9} – 10^{-10} м (1–0,1 нанометр).

Рентгенівська трубка Куліджа. При бомбардуванні електронами вольфрамовий антикатод випускає характеристичне рентгенівське випромінювання. У трубці Куліджа (рис. 3.2) поперечний зріз рентгенівського пучка менше за реально опромінену площу.



1 – електронний пучок; 2 – катод з фокусуючим електродом; 3 – скляна оболонка (трубка); 4 – вольфрамова мішень (антикатод); 5 – нитка накалу катода; 6 – реально опромінена площа; 7 – ефективна фокальна пляма; 8 – мідний анод; 9 – вікно; 10 – розсіяне рентгенівське випромінювання

Рисунок 3.2 – Схематичне зображення трубки Куліджа

У цій трубці електрони фокусуються на аноді за допомогою особливої форми катода. Додатковий електрод називається фокусуючим і разом з катодом утворює «електронний прожектор» трубки. Анод, що піддається бомбардуванню електронами, виготовлений з тугоплавкого матеріалу, оскільки більша частина кінетичної енергії бомбардуючих електронів перетворюється в тепло. Крім того, бажано, щоб матеріал аноду був з великим атомним номером, тому що вихід рентгенівського випромінювання зростає із збільшенням атомного номера. Матеріалом аноду найчастіше вибирається вольфрам.

Конструкція рентгенівських трубок може бути різною залежно від умов застосування і вимог.

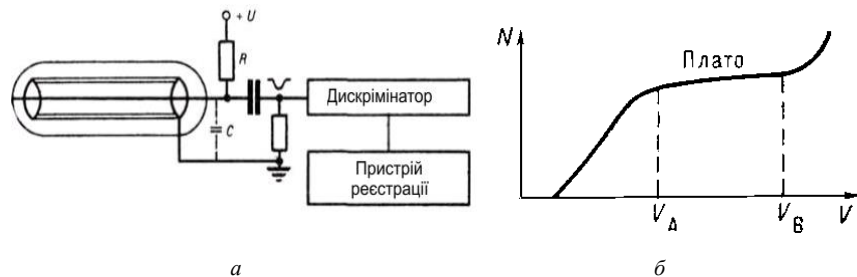
Для опромінювання людини використовують концентрований пучок ефективної фокальної плями (7). Пучок йде в металевій колоні. Мідний анод призначений для відбору температури від анода. Використовується водяне охолодження трубки. ККД – до 3%.

Іонізаційний метод контролю випромінювань. Лічильник Гейгера-Мюллера. Системи реєстрації іонізуючих частинок і хвиль

можуть бути різними. Найбільш застосовуваний з них створений на базі іонізаційних камер, принцип дії яких можна розглянути на прикладі лічильника Гейгера-Мюллера (рис. 3.3, а).

Датчиком випромінювання лічильника Гейгера-Мюллера є іонізаційна камера. У роботі використовують циліндричні галогенні камери. Робочий об'єм камери заповнений сумішшю аргону (основний компонент) і хлору або парів броду (добавка, що гасить). Це дає специфічну характеристику виходу іонізаційних частинок при певній напрузі живлення (рис. 3, б). На великому інтервалі $\Delta V = V_B - V_A$ детектор однаково спрацьовує на будь-яку частинку і видає постійне число іонізованих атомів аргону.

Стінки циліндра є катодом («-»), а натягнута по вісі лічильника тонка металева нитка – анодом («+»). На електроди подається робоча напруга від 400 до 450 В. Оскільки діаметри електродів різняться між собою в сотні разів, напруженість поля поблизу нитки на 2–3 ступеня вище, ніж біля стінки циліндра. Циліндричний катод-стінка і розташований коаксіально анод-нитка є спільним елементом конструкції лічильників Гейгера-Мюллера будь-якого типу.



а – принципова електрична схема лічильника Гейгера-Мюллера;
 б – характеристика газу іонізаційної камери за формування частинок (залежність кількості зарядів N від напруги живлення V)

Рисунок 3.3 – Схема лічильника Гейгера-Мюллера (а) і графік виходу частинок від напруги живлення (б) в датчику

Під дією електричного поля електрони і іони, що утворилися при проходженні зовнішньої частки (фотона) через робочий об'єм детектора, наведено переміщуються до електродів. При цьому

відбувається «розряд» джерела високої напруги через газове середовище і створюється різниця потенціалів (вихідний сигнал) на опорі R .

Амплітуда вихідного сигналу здебільшого визначається процесом розвитку розряду, який, у свою чергу, залежить від прикладеної напруги, конструкції детектора і складу газу-наповнювача.

Лічильники Гейгера-Мюллера характеризуються тим, що в деякому інтервалі поданої на електроди напруги амплітуда вихідного сигналу не залежить від енергії ядерної частинки. Робоча напруга, від правильного вибору якої головним чином залежить стабільність роботи лічильника, повинна відповідати середині цього інтервалу і забезпечує появу так званого «переривання коронного розряду». Електрони і іони, що утворилися як при проходженні ядерної частинки (фотона) через робочий об'єм детектора, так і на наступних стадіях розвитку розряду, прискорюються електричним полем і набувають енергії, достатньої для іонізації і збудження великого числа атомів. У результаті в просторі поблизу анода утворюються лавини заряджених частинок. Фотоіонізація молекул галогену і матеріалу катода електромагнітним випромінюванням збуджених атомів аргону сприяє миттєвому поширенню розряду уздовж всієї довжини анода. У робочому об'ємі детектора утворюється до 10^9 пар іонів, причому їх число не залежить від первинної іонізації.

Електрони швидко (менше, ніж за 10^{-6} с) збираються на аноді, що викликає імпульс напруги на опорі R і дозволяє зареєструвати частинку. При цьому навколо анода залишається «чохол» малорухомих позитивних іонів і напруженість поля зменшується настільки, що розряд переривається і наступна ядерна частинка не може викликати нових лавин. Лічильник буде готовий реєструвати нову частинку тоді, коли просторовий позитивний заряд переміститься до катода і різниця потенціалів між електродами досягне порогового значення, при якому можливий коронний розряд. Час відновлення «працездатності» детектора визначається в основному швидкістю дрейфу позитивних іонів і становить приблизно 10^{-3} с, що відповідає мінімальному інтервалу часу між двома частинками, які можуть бути зареєстровані роздільно (дозвільний час детектора – τ).

Сцинтиляційна система реєстрації частинок. Камера Черенкова (рис. 3.4) функціонує на основі ефекту Вавілова-Черенкова – світіння речовини при попаданні в неї високоенергетичної частинки.

Робота детектора заснована на реєстрації випромінювання, відкритого П. А. Черенковим в 1934 р., що виникає при русі зарядженої частинки в прозорому середовищі зі швидкістю v більшої швидкості світла u в цьому середовищі:

$$u = c/n,$$

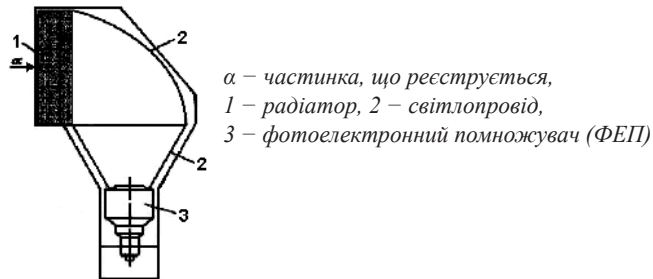
де c – швидкість світла у вакуумі, n – показник заломлення середовища.

Умова виникнення з черенківського випромінювання має вигляд:

$$v > c/n.$$

Так, коефіцієнт заломлення води $n_{H_2O} = 1,33$, а швидкість світла у воді $c_{H_2O} = 2,26 \times 10^8$ м/с, у плексигласу $n_{пл} = 1,50$, а $c_{пл} = 2 \times 10^8$ м/с.

Принцип роботи пристрою наступний. Частинка потрапляє в детектор і викликає світіння катодної речовини (сцинтилятора), при цьому утворюється фронт пучків фотонів (рис. 3.5, а), які реєструються надалі як показники попадання частинки в речовину.



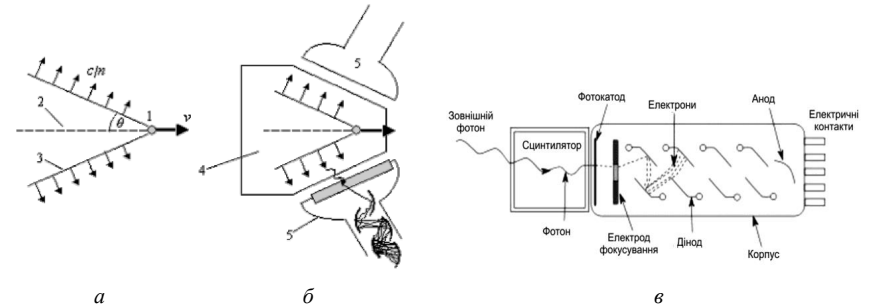
*а – частинка, що реєструється,
1 – радіатор, 2 – світлопровід,
3 – фотоелектронний помножувач (ФЕП)*

Рисунок 3.4 – Детектор черенківського випромінювання

Дана система реєструє вже не саму частку, а її «сліди» у вигляді світла. Фотоелектронний помножувач (ФЕП) складається з вхідної (катодної) камери (утворюється поверхнями фотокатода, фокусуючих електродів, динодів), помножувальної динодної системи, анода і додаткових електродів. Всі елементи розміщуються у вакуумному корпусі (балоні). На фотокатоді світлові промені вибивають електрони, які далі летять до аноду.

Найбільш поширені ФЕП, в яких посилення потоку електронів здійснюється за допомогою кількох спеціальних електродів зігнутої

форми – «динодів», що мають коефіцієнт вторинної емісії більше 1. Для фокусування і прискорення електронів на анод і диноди подається висока напруга (600–3000 В). Іноді також застосовується магнітне фокусування або фокусування в схрещених електричних і магнітних полях.



*а – конус черенківського лічильника; б – устрій лічильника: 1 – частинка,
2 – траєкторія частинки, 3 – фронт світлової хвилі, 4 – катод (сцинтилятор),
5 – ФЕП (показано розвиток лавини вторинних електронів, викликаних фотоелектроном); в – схема ФЕП з приєднаним сцинтилятором*

Рисунок 3.5 – Принцип роботи черенківського лічильника

Оскільки на діноди послідовно подають все більшу напругу, потік електронів збільшується в кратну кількість разів. Це в мільйони разів збільшує чутливість датчика. Існують фотоелектронні помножувачі з напівпровідниковими множинними елементами (гібридні), принцип дії яких заснований на явищі іонізації атомів напівпровідника при його бомбардуванні електронами.

3.2. Порядок виконання роботи

Письмово дайте відповіді на запитання:

1. Опишіть принцип дії рентгенівської катодо-променевої трубки.
2. У чому полягають особливості рентгенівської трубки Куліджа?
3. Поясніть принцип дії лічильника Гейгера-Мюллера.
4. Що таке сцинтилятор?
5. Опишіть принцип дії камери Черенкова.
6. Що таке фотоелектронний помножувач (ФЕП)?
7. Поясніть конструкцію і принцип дії ФЕП.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4
ТЕМА: Ізотопи та ядерні реакції,
що зумовлюють іонізуючі випромінювання

4.1. Основні поняття і визначення

Фундаментальні типи взаємодії у Всесвіті – електромагнітна сила, гравітаційна, сильна, слабка.

Гравітаційна взаємодія проявляється на великих відстанях та відповідає за тяжіння тіл. Але на рівні мікросвіту вона не має суттєвого значення у зв'язку з дуже малими силами, що виникають між мікрочастинками.

Електромагнітна взаємодія пов'язана з наявністю зарядів протилежних знаків – протону (позитрону як можливої його складової) та електрону. Ця сила у мільярди разів більша, ніж гравітаційна.

Сильна взаємодія проявляється в масштабах порядку розміру атомного ядра та відповідає за притягнення між нуклонами (протонами та нейтронами). Оскільки на рівні ядра ця сила більше за електромагнітну, протони наближуються один до одного на відстані, зіставні з розмірами цих нуклонів. Тобто, нейтрони у ядрі і здатні виконувати роль клею.

Слабка взаємодія забезпечує деякі ядерні реакції, наприклад β -розпад.

Електрон (${}_{-1}^0e$) – це стабільна частинка з масою спокою $m_e = 0,9 \times 10^{-31}$ кг, яка несе один елементарний негативний заряд електрики, рівний $1,6 \times 10^{-19}$ Кл, прийнятий в ядерній фізиці за одиницю. Число «-1» у запису електрона показує заряд (у позитрона та протона це +1 або просто 1).

Частинки ядра – це нуклони – (від слова нуклеус – ядро) – нейтрони і протони (рис. 4.1).

Протон (1_1p) – стабільна частка, час життя порівнянн з часом життя Всесвіту. Тобто, заряд дорівнює 1, масове число (записується вище букви «р») – також дорівнює 1. $m_p = 1836,2 m_e = 1,672 \times 10^{-27}$ кг.

Нейтрон (1_0n) – маса: $m_n = 1,001 m_p = 1838 m_e = 1,67 \times 10^{-27}$ кг. Час життя у вільному стані – 15 хв. Час напіврозпаду – 614 с. Розпадається на протон, та електрон:

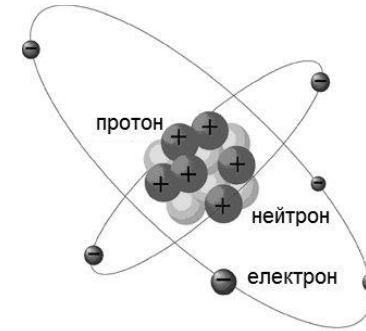
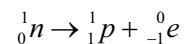


Рисунок 4.1 – Спрощена схема атома та атомного ядра (у центрі). Протон (+), електрон (-), нейтрон не має заряду

Атомні елементи позначаються у загальному вигляді: A_ZX , де Z – порядковий номер у таблиці Менделєєва (кількість протонів у атомі), A – масове число ядра (кількість нейтронів + кількість протонів). Приклад: ${}^{238}_{92}U$ вміщує 92 протона і 146 (238-92) нейтронів. Властивість атома визначається кількістю протонів у його ядрі.

Ядерні реакції. Розпад ядра – процес розщеплення атомного ядра на два (рідше три) менших ядра з близькими масами, званих осколками поділу (рис. 4.2). У результаті поділу можуть виникати й інші продукти реакції: легкі ядра (в основному α -частинки), протони, нейтрони, електрони і γ -кванти.

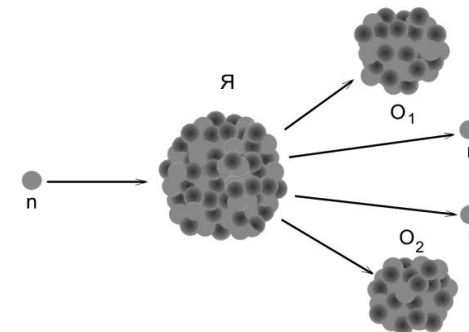


Рисунок 4.2 – Зображення розпаду ядра (Я) на два осколки ділення (O_1 та O_2) та два нейтрона (n) при захваті ядром зовнішнього нейтрона

Розпад буває або *спонтанним (мимовільним)*, або *вимушеним* (в результаті взаємодії з іншими частками, насамперед, з нейтронами). Поділ важких ядер – екзотермічний процес, в результаті якого вивільняється велика кількість енергії у вигляді кінетичної енергії продуктів реакції, а також випромінювання.

λ – константа розпаду. Показує відношення ядер, що розпалися, до загального числа ядер:

$$\lambda = n/N \text{ (за період часу } \ln 2 \text{ с)}$$

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} \text{ (де } \ln 2 = 0,693). T_{1/2} = \ln 2 / \lambda; T = \tau \cdot \ln 2. \lambda = 1/\tau,$$

де $T_{1/2}$ – період напіврозпаду, τ – стала розпаду.

Рівняння радіоактивного розпаду:

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = N_0 e^{-\lambda t},$$

де $N(t)$ – кількість цілих ядер через час t ; N_0 – початкова кількість ядер.

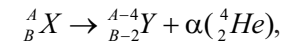
Ізотопи (від грецьк. ізос – «рівний», і топос – «місце») – різновиди атомів (і ядер) одного хімічного елемента з різною кількістю нейтронів в ядрі. Назва пов'язана з тим, що ізотопи знаходяться в одному і тому ж місці (в одній клітині) таблиці Менделєєва. Фактично усі існуючі атоми – ізотопи, але є стабільні ізотопи (коли є узгодження кількості протонів і нейтронів у ядрі) та нестабільні (зі зміненою кількістю нейтронів у такому ядрі).

Приклад ізотопів: $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, $^{18}_8\text{O}$ – три стабільних ізотопу кисню. Вуглець має два стабільних ізотопи – ^{12}C і ^{13}C , ^{14}C має період напіврозпаду 5700 років (використовується для визначення віку біологічних останків). Чим далі ізотоп від «сталіх форм», тим швидше він розпадається.

Важливо! Усі розпади йдуть із збереженням заряду (до реакції і після сума зарядів не змінюється) і маси.

Альфа-розпад (α -розпад) спостерігається тільки для важких ядер (атомний номер повинен бути більше 82, масове число має бути більше 200). При цьому масове число ядра зменшується на 4, а атомний номер – на 2. Альфа-частинка – це ядро атома гелію (іон). Період напіврозпаду α -активних ядер експоненціально зростає із зменшенням енергії α -частинки. При енергії α -частинки менше 2 МеВ час життя α -активних ядер істотно перевищує час існування Всесвіту. Швидкість вильоту альфа-частинки 20000 км/год.

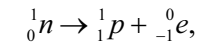
У загальному вигляді формула альфа-розпаду виглядає таким чином:



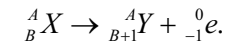
де X – один елемент таблиці Менделєєва, Y – інший.

Бета-розпад (β -розпад) – тип радіоактивного розпаду, обумовлений слабою взаємодією. Він змінює заряд ядра на одиницю без зміни масового числа. При цьому ядро випромінює бета-частинку (електрон або позитрон), а також нейтральну фундаментальну частинку.

Якщо розпад йде з викидом електрона, він називається «бета-мінус-розпадом» (β^-). При цьому один з нейтронів ядра розпадається на протон та електрон. Останній, вилітаючи з ядра утворює β -випромінювання.

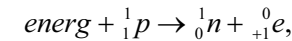


або для атома X :

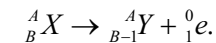


У випадку розпаду ядра з випусканням позитрона йде «бета-плюс-розпад» (β^+).

У разі β^+ -розпаду потребується зовнішня додаткова енергія для того, щоб протон у ядрі перетворився у нейтрон та позитрон (${}^0_{+1} e$):

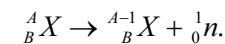


або для атома X :



Далі позитрон анігілює з електроном оболонки атому з виділенням гама-квантів. Тому за β^+ -розпаду опромінення біологічних тканин йде лише γ -квантами.

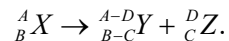
Нейтронний розпад у чистому вигляді нейтронний розпад тільки у ізотопів легких елементів, наприклад ^{13}Be і ^5He . У важких елементів випускання нейтронів енергетично невигідно в порівнянні з α -розпадом.



Тобто, при нейтронному розпаді один ізотоп речовини перетворюється на інший ізотоп тієї ж речовини.

Протонний розпад в нормі не спостерігається у нуклідів, які існують в природі. У зв'язку з енергетичною «невигідністю» розпад цим шляхом може бути отриманий тільки у ядерних реакціях, як правило, з використанням прискорювача частинок. Проте, випромінювання, що складається з потоку протонів (протонне випромінювання) – основна складова частина космічного випромінювання.

Стандартний радіоактивний розпад елементів. Уран зустрічається в природі у вигляді двох ізотопів: ^{238}U (99,3 %) і ^{235}U (0,7 %). При бомбардуванні нейтронами ядра обох ізотопів можуть розщеплюватися на два осколки. При цьому реакція поділу ^{235}U найбільш інтенсивно йде на повільних (теплових) нейтронах, в той час як ядра ^{238}U вступають в реакцію ділення тільки з швидкими нейтронами з енергією порядку 1 МеВ. У загальному вигляді розпад речовини X можна записати:

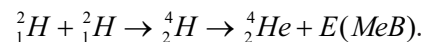


Таким чином, нейтрони є елементами, які провокують радіоактивний розпад. Як правило, на виході розпаду може бути ще декілька нейтронів.

Термоядерний синтез. При нормальній температурі злиття ядер неможливо, тому що позитивно заряджені ядра відчувають величезні сили кулонівського відштовхування. Для синтезу легких ядер необхідно зблизити їх на відстань близько 10^{-15} м, на якому дія ядерних сил тяжіння перевищуватиме кулонівських сили відштовхування. Для того щоб відбулося злиття ядер, необхідно збільшити їх рухливість, тобто збільшити їх кінетичну енергію. Це досягається підвищенням температури до 10^7 К. За рахунок отриманої теплової енергії збільшується рухливість ядер, і вони можуть підійти один до одного на близькі відстані. В результаті злиття легких ядер звільняється велика кількість енергії, оскільки утворюється нове ядро, яке має більшу питому енергію зв'язку, ніж вихідні ядра. Термоядерна реакція – це екзоенергетична реакція.

Наприклад, в результаті реакції між двома ізотопами водню (дейтерієм) утворюється гелій з виділенням енергії).

Вказана реакція може бути записана у вигляді:



Фотоядерні реакції. При поглинанні γ -кванту ядро отримує надлишок енергії без зміни свого нуклонного складу, а ядро з надлишком енергії є складеним ядром. Якщо передана ядру енергія перевищує енергію зв'язку нуклона в ядрі, то розпад складеного ядра, що утворилося, відбувається найчастіше з випусканням нуклонів, в основному нейтронів. Такий розпад веде до ядерних реакцій, які і називаються фотоядерним, а явище випускання нуклонів в цих реакціях – ядерним фотоефектом.

4.2. Порядок виконання роботи

Користуючись періодичною таблицею хімічних елементів Д. І. Менделєєва та рівняннями ядерних реакцій, розв'яжіть задачі:

Задача 1. Стався α -розпад ядра ізотопу торія-232. Написати рівняння розпаду.

Задача 2. Ізотоп нептунія з масовим числом 239 бета-мінус(β^-)-радіоактивний. Вказати дану ядерну реакцію.

Задача 3. Для ядра протактинія-231 властивий бета плюс (β^+) розпад. Вказати дану ядерну реакцію.

Задача 4. Стався нейтронний розпад ізотопу ^{13}Be . Описати даний процес.

Задача 5. Стався природний розпад урана-238 на 2 ядра, причому один з осколків поділення – криптон-86. Вказати дану ядерну реакцію.

Задача 6. У процесі захвату нейтрона відбувся поділ ядра урана-235 на два ядра і 3 нейтрона, причому одне з двох нових ядер – ізотоп криптому з масовим числом 89. Запишіть формулу такого ділення.

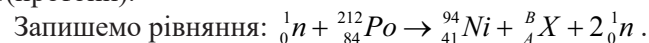
Задача 7. Описати процес, що йде при злитті ядер дейтерію і тритію.

Приклад розв'язання задачі:

Після захвату ізотопом полонію-212 нейтрона його ядро розпаляється на 2 осколків ділення і два нейтрони. Описати формулу цього процесу, якщо один з осколків – ^{94}Ni .

Розв'язання.

З таблиці Менделєєва елемент Ni має порядковий номер – 41(протони).

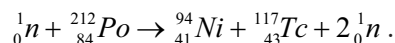


Сума зарядів та мас не змінюються до та після розпаду:

Для зарядів: $0+84=41+A+0$; $A=84-41=43$. Тобто ядро $X - {}_{43}\text{Tc}$.

Для мас: $1+212 = 94+B+(2*1)$; $B = 117$.

Таким чином, пройшла наступна реакція:



ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5 ТЕМА: Гамма-еквівалент і гамма-постійна

5.1. Основні поняття і визначення

Активність γ -випромінювальних радіонуклідів часто виражають не в одиницях кюрі (бекерелях), а через γ -еквівалент.

Гамма-еквівалент джерела (M) – це умовна маса точкового джерела, який створює на певній відстані таку саму потужність експозиційної дози, як і 1 мг ${}^{226}\text{Ra}$. Одиницею вимірювання γ -еквіваленту є міліграм-еквівалент радію – це активність будь-якого радіоактивного ізотопу, γ -випромінювання якого за однакових умов вимірювання створює таку саму потужність експозиційної дози, як і γ -випромінювання 1 мг радію Державного еталона, зануреного в платинову оболонку товщиною 0,5 мм.

Точкове джерело в 1 мг (1 мКі) радію, що знаходиться в стані рівноваги з продуктами розщеплення, після початкової фільтрації шаром платини 0,5 мм створює в повітрі на відстані 1 см потужність дози, що дорівнює 8,4 Р/год. Ця величина отримала назву *гамма-постійної радію (K_γ)* і прийнята як еталон потужності дози випромінювання. З нею порівнюють потужність дози всіх інших γ -випромінювальних радіонуклідів.

Величина гамма-постійної залежить від схеми розпаду радіонукліда і енергії його γ -випромінювання. У довідниках зазначають

як диференційні, так і усереднені гамма-постійні величини кожного ізотопу. На практиці частіше користуються усередненими величинами K_{γ} . Їх значення для деяких радіонуклідів наведено в табл. 5.1.

Гамма-еквівалент ізотопу M пов'язаний з його активністю A через гамма-постійну K_{γ} співвідношеннями, які дозволяють перейти від активності радіоактивної речовини (PP), що виражена у міліграм-еквіваленті радію, до активності, вираженої у мілікюрі (мКі), та навпаки:

$$M = AK_{\gamma} / 8,4; \quad (5.1)$$

$$A = M \cdot 8,4 / K_{\gamma}. \quad (5.2)$$

Таблиця 5.1

Усереднені значення гамма-постійних деяких радіонуклідів

Нуклід	Гамма-постійна, K_{γ}	
	Р·см ² / год·мКі	аГр*·м ² / с·Бк
${}^{24}\text{Na}$	18,13	118,80
${}^{40}\text{K}$	0,78	5,07
${}^{59}\text{Fe}$	6,17	40,48
${}^{60}\text{Co}$	12,85	84,23
${}^{65}\text{Zn}$	3,06	20,02
${}^{131}\text{I}$	2,16	14,13
${}^{137}\text{Cs}$	3,26	21,24
${}^{144}\text{Ce}$	0,13	0,85
${}^{266}\text{Ra}$	8,40	55,06
${}^{235}\text{U}$	0,71	4,65

Примітка: *а (атто) – префікс до найменування одиниці фізичної величини, для утворення найменшої дольної одиниці, яка дорівнює 10–18 від вихідної.

Частинки, що випромінюються радіоактивним елементом, утворюють потік, який вимірюється кількістю частинок за секунду. Кількість частинок, що приходить на одиницю поверхні (м² чи см²), являють собою *щільність потоку* частинок і мають розмірність «частинок за хвилину на м² чи см²».

5.2. Порядок виконання роботи

Завдання 1. Обчислити активність γ -джерела, якщо γ -еквівалент його дорівнює 10 мг-екв ${}^{59}\text{Fe}$.

Завдання 2. Обчислити активність γ -джерела, якщо γ -еквівалент його дорівнює 12 мг-екв ${}^{40}\text{K}$.

Завдання 3. Активність ^{144}Ce дорівнює 150 мКі. Обчислити γ -еквівалент даного радіоізоотопу.

Розв'язати задачі та зробити висновок щодо зв'язку радіоактивності радіоізоотопів з активністю радіо.

Приклад. Активність ^{137}Cs дорівнює 15 мКі. Обчислити γ -еквівалент цього джерела.

Розв'язання. $M = 15 \cdot 3,26 / 8,4 = 5,82$ мг-екв.

Дайте письмові відповіді на запитання:

1. Що таке γ -еквівалент радіоактивного джерела?
2. Від чого залежить величина γ -постійної?
3. Як γ -еквівалент ізоотопу пов'язаний з його активністю?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

ТЕМА: Дозиметрія іонізуючих випромінювань

6.1. Основні поняття і визначення

Дозиметрія – це галузь прикладної ядерної фізики, яка вивчає фізичні величини, що характеризують дію іонізуючого випромінювання на різні об'єкти та методи їх вимірювання.

Мірою впливу будь-якого виду іонізуючих випромінювань на біологічні об'єкти є величина поглиненої енергії випромінювання, або доза випромінювання. *Доза випромінювання* – це величина поглиненої енергії випромінювання одиницею маси речовини, що опромінюється.

У радіобіології розрізняють три види доз. *Доза експозиційна* D_x , або фізична, – це кількість енергії рентгенівського чи γ -випромінювання, що поглинається одиницею маси повітря. Одиницею експозиційної дози в системі СІ є кулон на кілограм (Кл/кг) – дорівнює експозиційній дозі, за якої всі електрони і позитрони, що вивільнюються у повітрі масою 1 кг, створюють іони, які несуть електричний заряд 1 Кл кожного знаку. Одиницею експозиційної дози, що не входить у СІ, є *рентген*. Це експозиційна доза рентгенівського чи

γ -випромінювання, за якої в 1 см^3 повітря (0,001293 г) утворюється така кількість іонів, що їх сумарний заряд дорівнює одній електро-статичній одиниці кількості електрики кожного знаку (в 1 см^3 сухого повітря за нормальних умов утворюється близько 2 млрд. пар іонів. $1 \text{ Р} = 2,08 \cdot 10^9$ пар іонів на 1 см^3 повітря). При цьому вважається, що заряджені частинки, які утворилися в 1 см^3 повітря, всю отриману енергію витрачають на іонізацію.

Іонізуюче випромінювання, проходячи крізь речовину, витрачає свою енергію на іонізацію та збудження зустрічних атомів і поглинається цією речовиною. Енергію, витрачену зарядженою частинкою або фотоном електромагнітного випромінювання на одиницю довжини їх пробігу в речовині, називають *лінійною передачею енергії* (ЛПЕ). В системі СІ її виражають в джоулях на метр. В радіобіології частіше використовують спеціальні одиниці і ЛПЕ виражають в кілоелектронвольтах (кеВ) на мікрометр шляху у воді (1 кеВ/мкм дорівнює 0,16 нДж/м). *Електронвольт* (еВ) – одиниця вимірювання енергії, яку набуває електрон при проходженні електричного поля з різницею потенціалів 1 В. Використовуються також похідні одиниці:

$$1 \text{ кеВ} = 10^3 \text{ еВ}; 1 \text{ МеВ} = 10^6 \text{ еВ}, 1 \text{ ГеВ} = 10^9 \text{ еВ}, 1 \text{ ТеВ} = 10^{12} \text{ еВ}.$$

Поглинена доза (D_p) – це кількість енергії різних видів іонізуючих випромінювань, яка поглинена одиницею маси чи об'єму опромінюваного об'єкта:

$$D_p = D_x \cdot f, \quad (6.1)$$

де f – перехідний множник, який залежить від щільності та хімічного складу речовини, а також від енергії фотонів (табл. 6.1).

Одиницею поглиненої дози випромінювання в міжнародній системі (СІ) є грей (Гр): $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Добре відомими є відмінності у біологічному ефекті різних видів (γ , β , α) іонізуючого випромінювання. Для оцінки цих відмінностей введено поняття відносної біологічної ефективності (ВБЕ) цих видів випромінювання – це відношення поглинених доз контрольного (D_0) та того, що досліджується (D_p), іонізуючих випромінювань, які спричинюють однаковий рівень біологічного ефекту за інших рівних умов.

$$\text{ВБЕ} = D_0 / D_p. \quad (6.2)$$

Таблиця 6.1

Перехідний множник f від експозиційної до поглиненої дози для фотонів з енергією 10 кеВ – 2 МеВ в умовах рівноваги заряджених частинок

Енергія фотонів, кеВ	Об'єкт випромінювання		
	вода	м'язи	кістки
Перехідний множник f (рад/Р)			
10	0,91	0,92	3,46
50	0,90	0,93	3,52
100	0,95	0,95	1,45
400	0,97	0,96	0,93
1000	0,97	0,96	0,93
2000	0,97	0,96	0,93

Як контрольне випромінювання використовується рентгенівське чи γ -випромінювання з енергією фотонів 180–250 кеВ, яке створює вторинні електрони зі середньою лінійною передачею енергії, що дорівнює 3 кеВ/мкм води. Відносна біологічна ефективність є функцією лінійної передачі енергії й залежить від виду біологічного ефекту, що спостерігається. Описуючи конкретну біологічну реакцію живого організму, ВБЕ показує, у скільки разів біологічна дія даного виду випромінювання перевищує контрольне. Наприклад, якщо однаковий ефект викликають контрольне випромінювання дозою 1 Гр та швидкі нейтрони дозою 0,1 Гр, то для останніх ВБЕ = $1/0,1 = 10$. Це свідчить про те, що швидкі нейтрони відносно даної біологічної реакції є у 10 разів більш ефективними, ніж рентгенівське випромінювання. Поняття *відносна біологічна ефективність* застосовують тільки в радіобіології.

ВБЕ – це коефіцієнт, який характеризує відносну ефективність дії радіації з різними значеннями лінійної передачі енергії (ЛПЕ) щодо певного біологічного ефекту. ВБЕ різних видів іонізуючого випромінювання варіює від 1 до 20 умовних одиниць. Наприклад, ВБЕ рентгенівського і γ -випромінювання становить 1, нейтронів з енергією менше 20 кеВ – 3, нейтронів з енергією 0,1–10,0 МеВ – 10, ВБЕ α -випромінювання з енергією менше 10 МеВ дорівнює 20.

У радіобіології й радіоекології прийнято переводити поглинену дозу випромінювання, яку дістають біологічні об'єкти за тих чи інших

умов, з урахуванням його ВБЕ, у еквівалентну дозу іонізуючого випромінювання (D_e). Еквівалентна доза – це добуток поглиненої дози іонізуючого випромінювання на ВБЕ певного виду випромінювання:

$$D_e = D_p \cdot ВБЕ. \quad (6.3)$$

Як відомо, зовнішньому впливу іонізуючого випромінювання та інкорпорованим в організмі радіонуклідам властивий різний ступінь ефекту з боку різних органів і систем організму. Тобто існує відносна значущість тих чи інших органів у забезпеченні життєдіяльності організму людини: така сама доза опромінення одних органів призводить до загибелі організму, при цьому інші органи витримують великі поглинені дози без помітного впливу на весь організм.

Через неоднакову сприйнятливість різних органів і тканин до променевого впливу було введено поняття ефективною еквівалентною дозою іонізуючого випромінювання ($D_{e.e.}$)

Для розрахунку потрібно помножити значення еквівалентної дози – D_e , (Зіверт) на відповідний тканинний коефіцієнт W :

$$D_{e.e.} = D_e \times W. \quad (6.4)$$

У таких випадках ефект впливу γ -випромінювання на все тіло людини приймають за одиницю, а вибіркового впливу на окремі органи і тканини виражають у частках одиниці. Так, у разі надходження ^{131}I з доквілля до організму він на 90% накопичується у щитовидній залозі, і вся зумовлена цим радіонуклідом еквівалентна доза випромінювання діє переважно на клітини цієї залози. Експерименти та розрахунки засвідчили, що ймовірність значного ураження всього організму при цьому становить 0,05. Це означає: якщо поглинена доза зовнішнього випромінювання 10 Гр є летальною для людини, то за вибіркового опромінення у такій дозі щитовидної залози (через ^{131}I) ефект буде близький до ефекту поглиненої людиною дози зовнішнього випромінювання 0,5 Гр. Така доза, як правило, не може стати летальною для людини.

Поглинена доза для джерел направленої дії розраховується за формулою

$$D_p = D_x \times W, \quad (6.5)$$

де D_x – експозиційна доза; W – середньозважений коефіцієнт для різних органів і тканин організму людини.

За цими коефіцієнтами можна розраховувати значення ефективних еквівалентних доз для ситуацій вибіркового і нерівномірного опромінення.

За публікацією Міжнародного Комітету радіаційного захисту (МКРЗ) № 60, цей тканинний коефіцієнт W становить: статеві залози – 0,25;

- червоний кістковий мозок 0,12;
- товста кишка – 0,12;
- шлунок – 0,12;
- легені – 0,12;
- сечовий міхур – 0,05;
- молочні залози – 0,15;
- печінка – 0,05;
- стравохід – 0,05;
- щитовидна залоза – 0,03;
- шкіра – 0,01;
- поверхня кісток – 0,03;
- інші органи – 0,30;
- все тіло – 1,0.

Для оцінки характеристик дози іонізуючого випромінювання в часі використовують поняття дози за тривалий проміжок часу – її називають *очікуваною*, за 50-річний *період* – *піввікова* доза, за середню тривалість життя (70 років) – *життєва* доза. Ці поняття застосовують для прогнозу і характеристики радіоекологічно ситуації на ядерних підприємствах за нормальних і аварійних умов. На практиці частіше для цього використовують річну піввікову еквівалентну дозу випромінювання.

Виникнення біологічних ефектів залежить не тільки від величини дози, а й від швидкості її накопичення: доза, накопичена протягом короткого проміжку часу, спричинює більші ушкодження. Для цього введено поняття потужності дози.

Потужність дози (P) – це доза випромінювання D за одиницю часу (t):

$$P = D/t. \quad (6.6)$$

В системі СІ одиницями потужності експозиційної дози є ампер на кілограм (A/kg), поглиненої – греї за секунду ($Гр/с$), еквівалентної

дози – зіверт за секунду ($Zв/с$). Позасистемні одиниці – рентген за секунду ($Р/с$), рад за секунду ($рад/с$), бер за секунду ($бер/с$) відповідно.

6.2. Порядок виконання роботи

Завдання 1. Потужність експозиційної дози від γ -джерела становить 1,5 $Р/год$ ($E = 1000$ кеВ). Визначити експозиційну і поглинену дози у кістковій тканині за добу.

Завдання 2. Визначити поглинену дозу ($Гр$) у м'язовій тканині за тиждень, якщо відомо, що потужність експозиційної дози від γ -джерела становить 2 $Р/год$ ($E = 100$ кеВ).

Завдання 3. Визначити поглинену дозу від радіоактивного джерела за 30 діб, якщо потужність поглиненої дози дорівнює 0,05 мрад/год.

Дайте письмові відповіді на запитання:

1. Дати визначення експозиційної, поглиненої, еквівалентної доз.
2. Що таке лінійна передача енергії? В яких одиницях її вимірюють?
3. Дати характеристику відносної біологічної ефективності.
4. Що таке очікувана, піввікова, життєва дози?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

ТЕМА: Види дозиметричних і радіометричних приладів

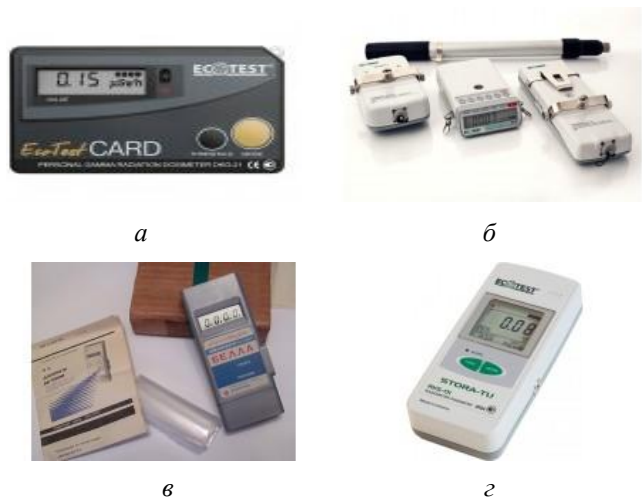
7.1. Основні поняття і визначення

Організм людини не відчуває іонізуючого вимірювання, тому при роботі з радіоактивними речовинами необхідно проводити систематичний індивідуальний та загальний контроль доз опромінення. Прилади дозиметричного контролю по суті компенсують людині відсутність органів чуття на іонізуюче випромінювання.

Усі прилади для радіометричного та дозиметричного контролю поділяються на такі групи: *дозиметри* – для вимірювання зовнішніх

потоків радіоактивного випромінювання; *радіометри* – для вимірювання рівнів забруднення; *індивідуальні дозиметри* – для вимірювання радіоактивності повітря, води та індивідуального дозиметричного контролю. Дозиметричні прилади складаються з детектора (іонізаційна камера, газовий чи сцинтиляційний лічильник) та вимірювального блока, який складається з підсилювача, блока живлення та вимірювального приладу.

Типові дозиметри – це прилади для вимірювання доз випромінювання (поглиненої, еквівалентної, експозиційної) або потужностей цих доз (рис. 7.1).



a – дозиметри типу ДКГ-21 Ecotest CARD; б – МКС-07 “Пошук”; в – “Белла”; г – РКС-01 СТОПА-ТВ.

Рисунок 7.1 – Прилади для вимірювання зовнішнього гамма-випромінювання

Багатьма приладами, що нині випускаються, крім вимірювання дози або її потужності, вимірюють й інтенсивність випромінювання, поверхневе забруднення, питому активність радіонуклідів.

Одним із видів радіометричних приладів є спектрометр (рис. 7.2), – це прилад, що формує спектр залежності інтенсивності заряджених частинок або гамма-квантів від енергії, яку вони

випускають (енергетичний спектр проби), що дає можливість визначити активність одного, декількох або багатьох радіонуклідів у пробі за одним спектрометричним дослідженням.

Усі методи вимірювання радіоактивності можна виразити так:

$$A = kN,$$

де A – активність препарату, Бк;

N – швидкість лічби або кількість імпульсів, зареєстрованих протягом певного часу (імпл/с); k – коефіцієнт градування (Бк / Імп с-1).



a – гамма-спектрометр СЕГ-001м “АКІ-С”; б – бета-спектрометр СЕБ-01-150

Рисунок 7.2 – Зовнішній вигляд спектрометра

Майже всі радіометричні методи є відносними. Сутність відносного методу полягає в тому, що активність зразка проби визначають через порівняння зі зразковим препаратом, який є ідентичним даному зразку проби (за товщиною шару в мг/см², розмірами і енергетичним спектром) і які вимірюються в однакових умовах. За допомогою такого зразкового препарату градуують вимірювальну установку, тобто визначають коефіцієнт перерахунку k , який зв’яже активність препарату з певним спектром випромінювання і швидкість лічби його на цій установці.

7.2. Апаратура для β -, α -, γ - радіометрії

Енергія β -частинок, які утворюються за радіоактивного розпаду ядер одного типу, не є однаковою, а вимірюється від 0 до деякої

величини $E_{\text{макс}}$. За максимальної енергії або певного максимального пробігу β -частинок у речовині можна ідентифікувати нукліди.

Послаблення β -випромінювання у речовині характеризується шаром речовини (зазвичай у $\text{мг}/\text{см}^2$), який послаблює потік β -частинок удвічі. Ця величина має назву “шару напівпослаблення”.

Для вимірювання радіоактивності проб β -випромінювачів необхідно мати відповідну вимірювальну установку, яка звичайно складається з детектора β -частинок, пристрою реєстрації імпульсів, джерела електромережі.

У ролі детектора β -частинок зазвичай використовують циліндричні (СБМ-20, СТС-6) і торцеві (СБТ-13, СБТ-15, МСТ-17 та ін.) лічильники Гейгера-Мюллера, сцинтиляційні пластмаси або сцинтиляційні рідини та іонізаційні камери, іноді – напівпровідникові детектори.

Для градування апаратури використовуються готові зразкові препарати, або останні можуть бути вироблені зі зразкових радіоактивних розчинів (ЗРР), що виготовляються на основі таких радіонуклідів: ^{14}C , ^{22}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{42}K , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{65}Zn , ^{88}Y , ^{90}Sr , ^{109}Cd , ^{131}I , ^{137}Cs та ін.

Особливості α -радіоактивності пов'язані з тим, що α -випромінювання є моноенергетичним, а пробіг α -частинок у речовині є дуже малим (у $\text{мг}/\text{см}^2$). Це призводить до того, що зразки проби для вимірювання α -радіоактивності повинні тонкошаровими (товщина шару – менша за $1 \text{ мг}/\text{см}^2$).

Для вимірювання товстошарових препаратів проб характерним є те, що швидкість лічби за інших однакових умов (ефективність установки, площа джерела та ін.) залежить лише від масової активності зразка.

Для вимірювання α -активності зазвичай використовують сцинтиляційні лічильники. Такі лічильники складаються зі сцинтилятора (сірчистий цинк, активований сріблом чи іншим металом, який нанесено тонким шаром на прозору підложку проби – скло або органічне скло). Світлові спалахи, що виникають у сцинтиляторі під впливом α -частинок, перетворюються фотоелектронним помножувачем (ФЕП) на електричні імпульси, які реєструють звичайні лічильні прилади.

Для вимірювання α -активності (наприклад ^{222}Rn) також використовуються трекові дозиметри – прилади, що реєструють кількість треків, які залишають α -частинки на спеціальному полімерному матеріалі. Такі дозиметри, в основному, призначені для вимірювання активності певного радіонукліда.

У радіоактивних нуклідів γ -переходи характеризуються випусканням моноенергетичних γ -квантів з відомими квантовими виходами і часом життя збуджених рівнів – періодами напіврозпаду. Вимірюючи енергію та інтенсивність γ -квантів, а також оцінюючи період напіврозпаду їх окремих моноенергетичних груп, можна однозначно ідентифікувати радіонукліди в зразку проби і достатньо точно визначати абсолютні значення їх активності. Ці задачі вирішують γ -спектрометричні методи аналізу з використанням сцинтиляційних або напівпровідникових детекторів.

Найбільш широко використовуються сцинтиляційні детектори на основі монокристалу NaI (Tl) і напівпровідникові Ge-Li (Ge) детектори. Перевага перших – найвища ефективність реєстрації γ -квантів, зумовлена високою щільністю речовини $\rho = 3,67 \text{ г}/\text{см}^3$, більшим атомним номером $Z_{\text{ef}} = 51$ і можливістю використання кристалів великих розмірів – $150 \times 150 \text{ мм}$ і більше, включаючи кристали з колодязем. Недосконалість сцинтиляційних детекторів полягає у незадовільному енергетичному дозволянні, наприклад 8–12 % (50–80 кеВ) для ^{137}Cs ($E_{\gamma} = 0,667 \text{ МеВ}$), яке зумовлене низькою величиною квантового виходу фотоелектронів (імовірність утворення фотоелектрона при попаданні на фотокатод фотопомножувача світлового кванта) і статистичною природою утворення вторинних електронів.

Позитивна особливість Ge-Li (Ge) детекторів полягає у високому енергетичному дозволянні (4–7 кеВ для γ -квантів ^{60}Co із $E_{\gamma} = 1,332 \text{ МеВ}$), яке обумовлюється майже повним збиранням вільних електронів, що утворюються внаслідок взаємодії γ -квантів.

7.3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою і принципом роботи дозиметра ДКС-04 (рис. 7.3).



Рисунок 7.3 – Зовнішній вигляд дозиметра ДКС-04

2. Увімкнути дозиметр, поставивши перемикач у положення “Питание”. Переконайтеся, що напруга акумуляторів живлення не нижча за мінімально допустиме значення, для чого натиснути кнопку “Контроль питания – доза”, при цьому повинен спрацювати світловий індикатор.

3. Встановити перемикач у положення “Поиск”. Даний режим виконується для локалізації джерела іонізуючого випромінювання.

4. Обчислити потужність експозиційної дози P_x в мілірентгенах за годину (ампер на кілограм) від контрольного джерела за формулами

$$P_x = nK_1 \text{ або } P_x = nK_2,$$

де n – показник цифрового табло дозиметра;

$$K_1 = 1 \text{ мР/год}; K_2 = 7,16 \cdot 10^{-11} \text{ А/кг.}$$

Вимірювання потужності експозиційної дози можна проводити за будь-якого положення перемикача, оскільки накопичення та вимірювання значень експозиційної дози відбувається з моменту вмикання дозиметра.

Для виведення значення накопиченої дози слід натиснути кнопку “Доза”. При цьому на цифровому табло зникає крапка після цифри. При переключенні перемикача у положення “Порог” дозиметр переводиться в режим сигналізації про накопичення експозиційної дози з інтервалом 1 мР ($2,58 \cdot 10^{-7}$ Кл/кг). При накопиченні експозиційної дози, що дорівнює 4098 мР ($1,03 \cdot 10^{-3}$ Кл/кг), вмикається сигналізація – безперервний звуковий та світловий сигнали.

5. Обчислити експозиційну дозу в мР (Кл/кг) за формулою:

$$D_x = nK_3 \text{ або } D_x = nK_4,$$

де n – показник цифрового табло дозиметра;

$$K_3 = 1 \text{ мР}; K_4 = 2,58 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/кг.}$$

Дайте письмові відповіді на запитання:

1. Що таке дозиметр, радіометр? У чому полягає принцип роботи α -радіометра?
2. Якими приладами вимірюють зовнішнє γ -випромінювання? Дати характеристику γ -радіометра.
3. Охарактеризувати механізм дії спектрометра.
4. Зазначити послідовність дій дослідника в процесі роботи з дозиметром ДК-02.
5. Як обчислити потужність експозиційної дози P_x під час роботи з приладом ДКС-04?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

ТЕМА: Вимірювання радіаційного фону території

8.1. Основні поняття і визначення

Рівень радіації, який вимірюється дозиметрами, називають потужністю еквівалента дози або іноді *фоном*. Радіаційний фон зумовлений іонізуючими випромінюваннями, які викликані радіоактивним розпадом нуклідів, що існують у навколишньому

середовищі, і космічним випромінюванням. Розрізняють природний і технологічно підсилений радіаційний фон. Природний радіаційний фон зумовлений лише природними радіаційними факторами, технологічно підсилений радіаційний фон – як природними факторами, так і факторами, пов'язаними з деякими технологічними процесами.

У природному радіаційному фоні розрізняють дві компоненти: радіонуклідну і космічну. В біосфері Землі існує близько 60 природних радіонуклідів, які можна розділити на дві категорії: первинні і космічні. Первинні радіонукліди знаходяться в основному в земній корі. Найбільший вклад у природний радіаційний фон вносять три радіонукліди: ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K . Розподіл цих ізотопів всередині Землі визначається їх фізичними властивостями. Всі три ізотопи – метали, що легко окислюються. Їх окисли мають порівняно малу густину, тому вони частіше зустрічаються в земній корі, ніж в мантії або металічному ядрі. Ймовірно, що приблизно половина радіоактивних речовин Землі знаходиться поблизу поверхні в шарі товщиною близько 65 км. Таке зосередження радіоактивних ізотопів у поверхневому шарі збільшує випромінювання, що діє на все живе, а також робить доступним видобуток урану і торію для використання їх людиною.

Радіоактивні випромінювання сильно послаблюються, проходячи через земні породи, тому вважається, що дія на живі організми суттєва тільки для тих радіоактивних елементів, глибина залягання яких не перевищує 10 км. Більшість кислих гірських порід, таких як граніти, більш радіоактивні, ніж лужні базальти. У вапняків рівень радіації особливо низький.

Природні радіоактивні елементи відіграють велику роль в тепловому балансі Землі. В тридцяти кілометровій товщі земної кори виділяється $7,14 \times 10^{20}$ Дж теплової енергії за рік, а всією планетою – $17,89 \times 10^{20}$ Дж. Це майже дорівнює річній витраті теплоти Землею.

Вклад урану і торію в природний радіаційний фон не обмежується лише розпадом ядер цих елементів. ^{238}U і ^{232}Th є родоначальниками двох радіоактивних родин, в кожній з яких при розпаді одного радіоактивного елемента утворюється інший радіоактивний елемент. В результаті ряду радіоактивних розпадів, що супроводжуються альфа-, бета- і гама-випромінюваннями, утворюються стабільні ізотопи свинцю. Родоначальник родини має найбільший період напіврозпаду, всі інші члени родини – набагато менші періоди

напіврозпаду. Період напіврозпаду ^{238}U дорівнює $4,5 \times 10^9$ років, ^{232}Th – $1,4 \times 10^{10}$ років.

Характерним для обох родин є утворення ізотопів радію, ядра яких, розпадаючись, утворюють ядра радону. В родині урану утворюється ^{222}Rn , в родині торію – ^{220}Rn (торон). Радон і торон радіоактивні благородні гази. Вони альфа-активні і мають періоди напіврозпаду: радон – 3,825 діб, торон – 54,4 с. Радон і торон частково виходять з ґрунту і гірських порід і знаходяться в повітрі. Певна його частина виділяється з будівельних матеріалів і концентрується усередині приміщень. Джерелом радону може бути вода. Продуктами розпаду радону і торону є ядра важких елементів: свинцю, вісмуту, паладію, які самі є радіоактивними. Радон і його дочірні продукти формують $\frac{3}{4}$ річної індивідуальної дози, яку отримує людина від земних джерел радіації, і $\frac{1}{2}$ від всіх джерел природної радіації. В Україні норма вмісту радону у повітрі приміщень складає 50 Бк/м³ для новозбудованих будинків і 100 Бк/м³ – для старих будівель. За звітом ВООЗ при концентрації радону в 100 Бк на один кубічний метр у приміщенні кількість захворювань на рак легень збільшується до 16%. У будинок радон може потрапити зі стін і фундаменту будівель, якщо будівельні матеріали не відповідають вимогам; разом з водопровідною водою (особливо, якщо вода з артезіанських свердловин); з природним газом. Для зниження шкідливого впливу радону необхідні такі заходи: удосконалення системи вентиляції; регулярне провітрювання житла; обов'язкова вентиляція у підвальному чи цокольному приміщеннях; перевірка якості будівельних матеріалів, що використовуються для ремонту чи будівництва; герметизація підлоги та щілини у стінах.

^{40}K має період напіврозпаду $1,3 \times 10^9$ років і є типовим бета-випромінювачем. При бета-розпаді ядра ^{40}K випромінюється γ -фотон з енергією 1,46 МеВ. Калій дуже широко розповсюджений в природі (1,1% за кількістю атомів). Він зустрічається у вигляді сполук, які є складовими частинами багатьох поширених сілікатів.

Крім названих вище елементів земної кори, значну радіоактивність має ^{87}Rb . Цей ізотоп є бета-активним і має період напіврозпаду $6,2 \times 10^{10}$ р. Рубідій має хімічні властивості, подібні до калію, і поширений в тих же середовищах, що і калій – ґрунті і гідросфері. Там питома активність рубідію і калію дорівнює декільком сотням Бк/кг. Завдяки відсутності гама-випромінювання рубідій на дає внеску

в зовнішній радіаційний фон, але викликає внутрішнє опромінення організму.

Одними з основних радіонуклідів, які обумовлюють радіоактивність навколишнього середовища, є ^{14}C і ^3H . Це космогенні радіонукліди, які утворюються в атмосфері при дії первинної компоненти космічного випромінювання, що являє собою потік протонів і α -частинок високих енергій (від 0,1 до 10 ГеВ). Період напіврозпаду ^{14}C дорівнює 5570 років, а ^3H – 12,62 роки. Ці радіонукліди бета-активні. Вони попадають у живі організми через повітря та їжу і спричинюють їх внутрішнє опромінення бета-частинками. Проте вони не впливають на радіаційний фон, оскільки розпад їх ядер не супроводжується гама-випромінюванням. Космічні промені у вигляді вторинної компоненти досягають поверхні Землі у вигляді потоку нейтронів і мюонів

Природний радіаційний фон є тією частиною дози, яка зумовлена іонізуючими випромінюваннями, що поширюються у повітрі і діють на живі організми. Це в основному гама-випромінювання, тому що альфа- і бета-випромінювання добре поглинаються речовиною, навіть повітрям. На поверхні Землі космічне випромінювання і природні радіонукліди мають приблизно однаковий внесок в дозу зовнішнього опромінення. Для людини нормальний фон γ -випромінювання становить $\approx 0,1$ мкЗв/год, а максимально допустимий фон γ -випромінювання $\approx 0,3$ мкЗв/год. Повна річна доза опромінення людей в районах з природним фоном складає приблизно 2 мЗв з урахуванням внутрішнього опромінення.

Радіаційний фон може бути підвищеним через наявність в навколишньому середовищі радіонуклідів, отриманих штучним шляхом в результаті виробничої діяльності людини, в такому разі його називають технологічно підвищеним. Причинами підвищення радіаційного фону є глобальні радіоактивні випадіння при випробуваннях ядерної зброї, аваріях на атомних електростанціях, накопичення і зберігання радіоактивних відходів тощо. Радіаційне забруднення навколишнього середовища може відбутись і в результаті діяльності, не пов'язаної з безпосереднім використанням радіоактивних речовин. Так, кам'яне вугілля містить значну кількість урану, торію, радію. При спалюванні вугілля відбувається концентрування радіоактивних речовин. Розрахунки свідчать, що

забруднення внаслідок роботи теплових електростанцій більше, ніж при нормальній роботі атомних.

8.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою та принципом роботи радіометра гамма-бета-випромінювань РКС-01 «СТОРА». Радіометр є приладом з цифровою індикацією. При вимірюванні необхідно знімати показання цифрового індикатора з урахуванням положень перемикачів діапазону і виду випромінювання, що вимірюється.

2. Увімкнути радіометр короткочасним натисканням кнопки РЕЖИМ. Про увімкнення радіометра свідчать інформація, що висвічується на рідкокристалічному цифровому індикаторі (ЦРІ), мигання світло діода під цифровим індикатором та звукова сигналізація зареєстрованих гамма-квантів. Для вимкнення радіометра необхідно повторно натиснути та утримувати протягом 4 с кнопку РЕЖИМ.

3. Вимірювання потужності гамма-фону проводиться в режимі, що вмикається пріоритетно з моменту увімкнення радіометра. На ЦРІ вже через 10 с будуть висвічуватись результати вимірювань, які відразу дають можливість оперативної оцінки рівня випромінювання. До отримання достовірної статистично обробленої інформації ЦРІ буде мигати. Час статистичної обробки буде залежати від інтенсивності випромінювання, але не буде перевищувати 70 с. Одиниці вимірювання виражені в мкЗв/год. Для вимірювання потужності фотонного випромінювання необхідно радіометр орієнтувати метрологічною міткою «+» у напрямку до об'єкта, що обстежується.

4. Вимірювання та індикація поверхневої густини потоку частинок бета-випромінювання проводиться в наступному режимі, що перемикається короткочасним натисканням кнопки РЕЖИМ. Радіометр необхідно зорієнтувати вікном детектора паралельно до обстежуваної поверхні і розташувати на мінімальній відстані від неї. Для автоматичного врахування гамма-фону детектора та поверхні, що обстежується, необхідно здійснювати два вимірювання: перше – з закритим за допомогою накривки-фільтра вікном детектора в режимі вимірювання фотонного випромінювання, друге – з відкритим вікном детектора в режимі вимірювання поверхневої густини бета-випромінювання. Результатом буде різниця між другим

та першим вимірюваннями, що вираховується автоматично. Одиниці вимірювання виражені в 10^3 част./($\text{см}^2 \times \text{хв}$).

5. Кожна зареєстрована бета-частинка та гамма-квант будуть супроводжуватись звуковим сигналом. Інтервали та під діапазони вимірювань будуть установлюватись автоматично, залежно від інтенсивності випромінювання. Результатом вимірювань треба вважати середнє арифметичне з 5 останніх вимірювань після припинення мигання ЦРІ.

6. Виміряти потужність фотонного випромінювання і поверхневу густину бета-випромінювання у навчальному корпусі та на прилеглий території. Результати вимірювань занести у таблицю.

Об'єкт обстеження	Потужність фотонного випромінювання, мкЗв/год		Поверхнева густина бета-випромінювання, 10^3 част./ $\text{см}^2 \times \text{хв}$	
	Результат вимірювання	Середнє значення	Результат вимірювання	Середнє значення
1. Стіна аудиторії у приміщенні навчального корпусу	1.		1.	
	2.		2.	
	3.		3.	
	4.		4.	
	5.		5.	
2. Асфальтове покриття перед навчальним корпусом	1.		1.	
	2.		2.	
	3.		3.	
	4.		4.	
	5.		5.	

7. На карті-схемі обстеженої території позначити об'єкти (точки) вимірювань потужності фотонного випромінювання з урахуванням кольорової індикації рівнів радіаційного гамма-фону:

Потужність еквівалентної дози (ПЕД), мкЗв/год	Рівень безпеки	Колір
0,01–0,2	Низький	Зелений
0,21–0,30	Припустимий	Жовтий
0,31–0,60	Підвищений	Оранжевий
Від 0,61	Небезпечний	Червоний
Від 10,0	Дуже небезпечний	Фіолетовий
570 (разова доза)	Смертельний	Коричневий

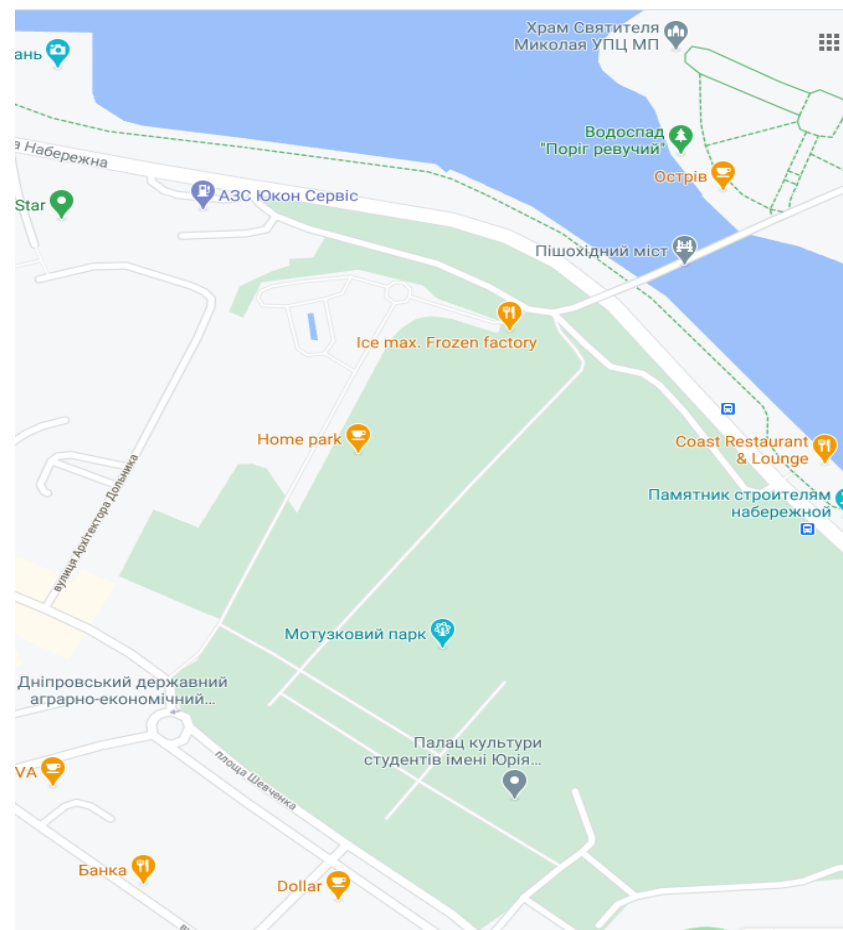


Рисунок 8.1 – Карта-схема обстеженої території біля навчального корпусу Дніпровського державного аграрно-економічного університету

Дайте письмові відповіді на запитання:

1. Як потужність експозиційної дози пов'язана з активністю γ -випромінюючих ізотопів?
2. Яким є порядок роботи з радіометром РКС-01 «СТОРА»?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

ТЕМА: Розрахунок і оцінка еквівалентної дози опромінення внаслідок надходження радіонуклідів в організм

9.1. Основні поняття і визначення

Існує два різних шляхи, якими випромінювання досягає тканин організму та діє на них. Перший шлях – *зовнішнє опромінення* від джерела, розміщеного поза організмом людини. У цьому випадку зовнішнє радіаційне ураження зумовлено глибоким проникненням гамма- і рентгенівських променів, нейтронів та неглибоким проникненням в організм людини β -частинок. Другий шлях – *внутрішнє опромінення*, обумовлене радіоактивною речовиною, що потрапила всередину організму з їжею, водою, повітрям.

Найбільшою небезпекою при цьому буде концентрація в організмі ізотопів, що випромінюють α -частинки, які мають найвищу іонізуючу здатність.

Заходи захисту від зовнішнього опромінення базуються на комбінаціях трьох чинників: зменшення часу перебування у зоні дії випромінювання, збільшення відстані до джерела та екранування джерела випромінювання.

При внутрішньому опроміненні основні заходи захисту спрямовані на зменшення надходження радіоактивних речовин з продуктами харчування і водою в організм людини, а також прискорення їх виведення із організму. Для цього потрібно організувати постійний радіаційний контроль за продуктами харчування і водою, проведення дезактивації продуктів і води. Прискорення виведення із організму радіоактивних речовин проводиться за допомогою радіопротекторів і сечогінних речовин.

Можливі кілька способів розрахунку й оцінки поглиненої дози для конкретної людини і певної популяції в цілому. Найбільш простим і точним способом є оцінка поглиненої дози випромінювання за показаннями індивідуального дозиметра (конденсаторного, плівкового чи термомінесцентного), який завжди мають при собі.

Інший, більш складний спосіб, – це оцінка поглиненої дози, отриманої внаслідок зовнішнього опромінення за даними зовнішньої

дозиметрії фону γ - і β -випромінювання на території роботи і відпочинку людей.

Спосіб розрахунку поглинених доз за зовнішнього опромінення передбачає оцінку середніх значень потужності поглиненої дози γ -випромінювання (P), $Gp/год$; на території та час перебування на цій території (t), $год$:

$$D_{з.о.} = P \cdot t. \quad (9.1)$$

Для врахування екранування дози будинками і спорудами вводять коефіцієнт екранування – $K_{екр}$ – співвідношення потужності поглинених доз випромінювання всередині приміщення і поза ним. У розрахунках середніх показників рекомендується припускати, що $K_{екр} = 0,4$. Знаючи потужність поглиненої дози на різних ділянках території, час перебування на вулиці та в приміщенні і коефіцієнти екранування, можна в разі зовнішнього опромінення оцінити поглинену дозу випромінювання для кожної групи людей.

Будинки і споруди на території перебування людей можуть частково екранувати і знижувати поглинену дозу при зовнішньому випромінюванні.

9.1.1. Надходження радіонуклідів у організм

Еквівалентну дозу при надходженні радіонуклідів в організм оцінюють за допомогою моделювання. Для цього використовують прийняті Міжнародною комісією радіаційного захисту (МКРЗ) дозові ціни радіонуклідів (ДЦ) (табл. 9.1).

Таблиця 9.1

Дозові ціни деяких радіонуклідів (згідно з публікацією МКРЗ № 60)

Радіонуклід	Шлях потрапляння до організму людини радіонукліда, Зв/Бк		Радіонуклід	Шлях потрапляння до організму людини радіонукліда, Зв/Бк	
	під час проковтування (травний)	у процесі дихання (інгаляційний)		під час проковтування (травний)	у процесі дихання (інгаляційний)
⁹⁰ Sr	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-7}$	¹⁴¹ Ce	$1 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$
⁹⁵ Zr	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-9}$	¹⁴⁴ Ce	$1 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$
¹³¹ I	$2 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	²³⁸ Pu	$7 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-5}$
¹³⁴ Cs	$2 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	²⁴¹ Pu	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
¹³⁷ Cs	$2 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	⁴⁰ K	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$

Дозова ціна радіонукліда (Зв/Бк) – це поглинена доза внаслідок надходження в організм при диханні (інгаляційний шлях) чи при проковтуванні (травний шлях) певного радіонукліда активністю 1 Бк. Як бачимо, для більшості радіонуклідів дозова ціна при інгаляційному шляху їх надходження до організму є більшою, ніж при травному.

9.1.2. Інгаляційна доза

Розрахунок і оцінка інгаляційної еквівалентної дози випромінювання потребують наявності значень активності радіонукліда у вдихуваному повітрі за весь період життя на забрудненій території або роботи в таких умовах. Якщо це аварія, то на різних її етапах важливо оцінювати активність радіонукліда в повітрі, приміщеннях і на вулиці.

Потрібно також знати об'єм споживаного людиною (дорослим, дитиною) повітря в різних ситуаціях: на роботі, під час відпочинку (табл. 9.2). Це дає змогу оцінювати об'єм річного надходження радіонукліда в організм людини.

Таблиця 9.2

Середня добова кількість вдихуваного людиною повітря за різних умов

Умови	Кількість вдихуваного повітря, м ³ /добу				
	чоловіком	жінкою	дитиною 10 років	дитиною 10 років	немовлям
Стан спокою	3,6(8)	2,3(8)	2,3(8)	1,3(14)	0,69(3)
Легка праця	9,6(8)	9,1(8)	6,24(8)	2,5(10)	0,09(1)
Професійна діяльність	9,6(8)	9,1(8)	6,24(8)	–	–
Усього на добу	23	21	5	3,8	0,8
У середньому за рік життя	9200	8400	6000	1520	

Знаючи $ДЦ_i$ – дозову ціну певного (i -го) радіонукліда у вдихуваному повітрі та його річне надходження інгаляційним шляхом (PH_i) (табл. 9.1), дозу $D_{інг}$ обчислюють

$$D_{інг} = ДЦ_i \cdot PH_i . \quad (9.2)$$

Потім підсумовують еквівалентні дози від усіх радіонуклідів, що є у вдихуваному повітрі.

9.1.3. Травна доза

Існують три методи оцінки дози надходження радіонуклідів травним шляхом (з їжею, питною водою).

I метод. Дози випромінювання конкретних осіб можуть бути розраховані за показником активності ^{137}Cs , що надходить в організм з продуктами харчування; за показниками ЛВЛ (лічильник випромінювань людини). Але даний метод не надає відомостей про активність, наприклад ^{90}Sr , ^{239}Pu тощо, а активність ^{137}Cs може істотно змінюватися протягом доби.

II метод. Цей метод ґрунтується на середніх оцінках активності радіонуклідів у продуктах харчування людини й у воді, за якими, з огляду на раціон, оцінюють річне надходження радіонуклідів в організм. Обчислюють дозу випромінювання за формулою:

$$D_{екв} = R_i \cdot \sum A_j \cdot C_j \quad (9.3)$$

де $D_{екв}$ – індивідуальна річна еквівалентна доза від i -того радіонукліда, мЗв/рік;

R_i – дозова ціна певного (i -го) радіонукліда в разі перорального надходження, Зв/Бк;

A_j – активність i -го радіонукліда в j -му продукті харчування, Бк/кг;

C_j – річний об'єм вживання j -того продукту, кг/рік.

III метод. Цей метод розрахунку використовують, якщо немає регулярних даних про активність радіонуклідів у продуктах харчування і у воді.

У цьому випадку розраховують активність радіонуклідів у продуктах харчування, виходячи з даних про щільність забруднення сільськогосподарських угідь, коефіцієнтів переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини і активність радіонукліду у отриманій продукції. Далі використовують формулу 7.3.

Після розрахунку внеску кожного виду продукту в надходження певного радіонукліда в організм і формування еквівалентної дози внутрішнього опромінення людини, проводять розрахунок сумарної еквівалентної дози опромінення внаслідок вживання продуктів, забруднених радіонуклідами за формулою:

$$\sum D_{екв} = d_{1i} + d_{2i} + d_{3i} + d_{ni}, \quad (9.4)$$

де $\sum D_{екв}$ – сумарна індивідуальна річна еквівалентна доза від надходження радіонукліда з продуктами харчування, мЗв/рік;

$d_{1i} - d_{ni}$ – річні ефективні еквівалентні дози, сформовані надходженням радіонукліда з i -м (окремим) продуктом харчування, мЗв/рік.

Як і в разі оцінки інгаляційної еквівалентної дози, підсумовують еквівалентні дози від усіх радіонуклідів, що є в продуктах харчування.

Для оцінки загальної небезпеки радіоекологічної ситуації для великих популяцій введено поняття колективної еквівалентної дози випромінювання.

Визначення її просте. Усю популяцію населення N , що проживає на забрудненій радіонуклідами території, можна поділити на декілька (k) груп із чисельністю населення в групі N_k , кожна з яких характеризується середньою дозою випромінювання D_k . Колективна еквівалентна доза випромінювання для популяції становить суму добутків $N_k \cdot D_k$ (люд.Зв, або люд.бер). Формула оцінки колективної дози:

$$D_k = \sum N_k \cdot D_k, \quad (9.5)$$

Зрозуміло, що для малих популяцій цю дозу оцінювати нецільно. Це поняття використовується для популяції в 1000 або 10000 чоловік.

9.1.4. Дозиметричні одиниці у радіобіології

У табл. 9.3 наведено співвідношення між системними і поза-системними дозиметричними одиницями.

За Міжнародною системою одиниць (СІ) одиниця активності (А) радіонукліда – це 1 Бк (беккерель). 1 Бк – це активність радіонукліда, за якої відбувається розпад одного ядра радіоактивного елемента за одну секунду [1 Бк = 1 розп/с]. Похідні одиниці: питома активність, Бк/кг (Ки/кг), об'ємна активність, Бк/л, Бк/м³, Бк/км³, поверхнева активність (щільність), Бк/м², Бк/км².

Таблиця 9.3

Співвідношення між системними та позасистемними дозиметричними одиницями

Величина, її позначення	Одиниця, її позначення		Співвідношення між одиницями
	СІ	Позасистемна	
Активність радіонукліда, A	Беккерель (Бк)	Кюрі (Ки)	Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
Поглинена доза, $D_{п}$	Грей (Гр)	Рад (рад)	1 рад = 0,01 Гр
Потужність поглиненої дози, $P_{п}$	Грей за секунду (Гр/с)	Рад за секунду (рад/с)	1 рад/с = 0,01 Гр/с
Еквівалентна доза, H	Зіверт (Зв)	Бер (бер)	1 бер = 0,01 Зв
Потужність еквівалентної дози, P_{ε}	Зіверт за секунду (Зв/с)	Бер за секунду (бер/с)	1 бер/с = 0,01 Зв/с

9.2. Порядок виконання роботи

1. Пригадати будову та принцип роботи радіометра гамма-бета-випромінювань РКС-01 «СТОРА».
2. Визначити потужність експозиційної дози γ -фону в аудиторії.
3. Обчислити дозу опромінення, яку отримують студенти за 1 рік навчання.

Дати письмові відповіді на запитання:

1. У яких одиницях вимірюються питома активність, об'ємна активність, поверхнева активність (щільність)?
2. Якими шляхами радіонукліди можуть потрапляти до організму людини?
3. Що таке внутрішнє та зовнішнє опромінення?

РОЗДІЛ 2

ОСНОВИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ РАДІОЕКОЛОГІЇ

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 10

ТЕМА: Радіаційно-гігієнічна оцінка території та прогнозування радіоактивного забруднення продукції рослинництва

10.1. Основні поняття і визначення

Постійний радіаційний контроль за станом зовнішнього середовища необхідно здійснювати там, де є може бути забруднення рідкими, твердими або газоподібними відходами закладів, у яких працюють з радіоактивними речовинами (РР). Основним змістом таких робіт є своєчасне й повне виявлення можливих джерел забруднення, кількісна характеристика радіоактивних відходів і якісний показник стану зовнішнього середовища.

Напрями контролю можуть бути різними, їх визначають шляхами надходження радіоактивної речовини (РР) у зовнішнє середовище. Зважаючи на особливості дії РР у зовнішньому середовищі, контролюють не тільки те середовище, у яке безпосередньо надходить радіоактивна речовина, але й те, у яке вона може частково або повністю мігрувати в результаті сорбції, обмінних процесів тощо.

У процесі контролю за територією, що оточує об'єкти, на яких проводять роботи з відкритими РР, виконують дозиметричні заміри над поверхнею землі, відбирають проби ґрунту, наземних рослин і повітря для радіометричних та радіохімічних досліджень (рис. 10.1). Контроль, який здійснюють за цією схемою, дає можливість визначити не лише кількість радіоактивних опадів, а й їх накопичення у ґрунті, рослинах, воді.

На підставі результатів проведених досліджень роблять гігієнічну оцінку об'єкта зовнішнього середовища з урахуванням можливості

негативного впливу радіоактивних речовин на здоров'я людей і вносять пропозиції щодо розробки профілактичних та оздоровчих заходів.

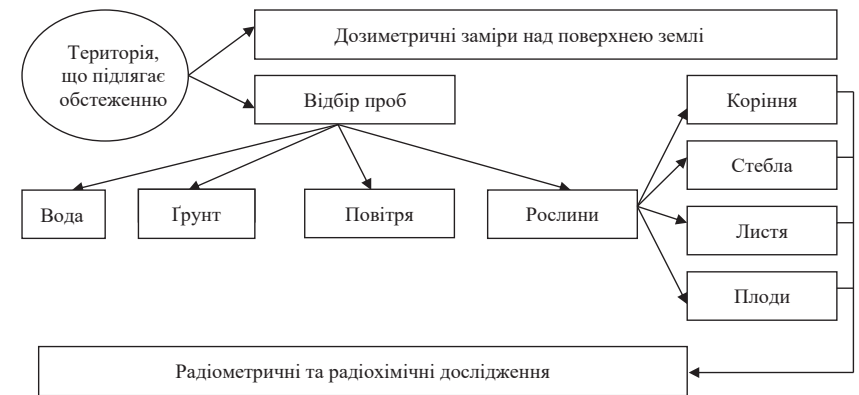


Рисунок 10.1 – Схема обстеження території, що оточує об'єкт

10.1.1. Вказівки щодо відбору проб

Природна радіоактивність води, ґрунту, рослин, харчових продуктів зумовлена наявністю в них природних радіонуклідів (радіоізотопів урану, радію, торію, калію та інших). У них можуть потрапляти й штучні радіонукліди.

Відбір проб водних організмів і донних відкладень проводять у місцях можливого забруднення, а також на 10–20 м вище і в кількох точках нижче за течією річки. Схему обстеження водойми зображено на рис. 10.2.

В озері (ставку) кількість точок відбору проб визначають на місці залежно від розміру водойми і умов перемішування води.

Проби відбирають на глибині до 0,5 м від поверхні в кількості від 1 до 20 л залежно від питомої активності, ступеня мінералізації та завдань дослідження.

Відбір проб проводять за допомогою батометрів у скляний посуд, у який попередньо вносять невелику кількість азотної кислоти, її додають, щоб запобігти випадінню осаду і зменшити адсорбцію РР на стінку посуду.

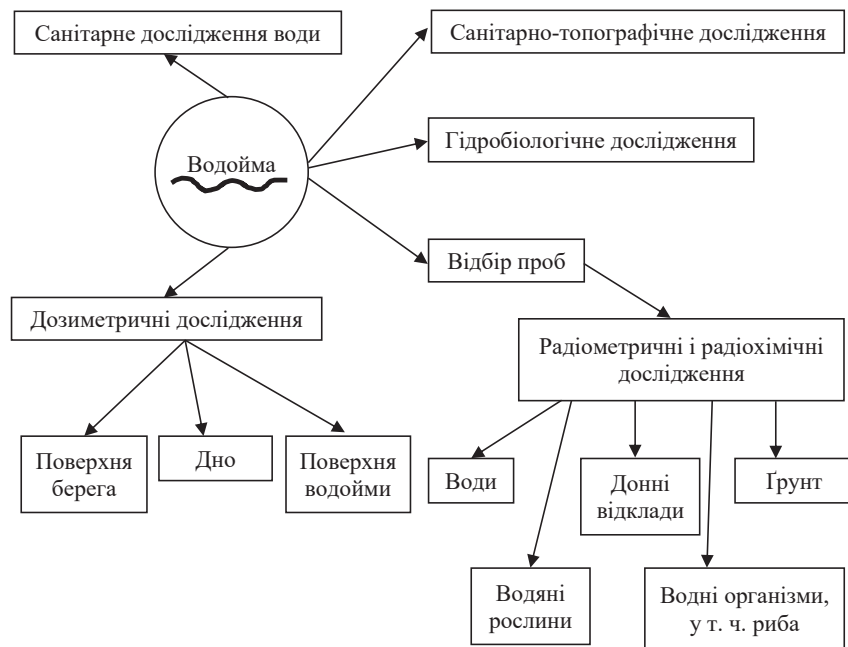


Рисунок 10.2 – Схема обстеження водойми

Планктонні форми водних організмів відбирають, виловлюючи спеціальними сітками, бентос зскрібають лопаткою або шпателем у склянку, нектон виловлюють рибальськими снастями, перифітон збирають руками, причому необхідно захоплювати стебла й коріння.

У процесі збирання й доставки рослин у лабораторію не допускають стикання їх підводних частин з надводними, це дасть можливість запобігти забрудненню останніх сорбованими РР.

Для тривалого зберігання відібрані проби рослинних і тваринних організмів консервують формаліном.

Проби донних відкладень можна збирати зскрібанням верхніх шарів за допомогою скребачки або банки.

Наземну частину трав'яного покриття зрізують ножом, якщо рослини забруднені ґрунтом, нижню частину їх зрізують або обмивають водою.

Проби ґрунту беруть з площі 10×10 см і глибиною 5 см. Якщо потрібно знати, наскільки шкідливою є речовина, що проникла у ґрунт, проби відбирають з глибини 10, 15, 20 см.

10.1.2. Вказівки щодо підготовки проб для радіометричних вимірювань

Той чи інший відібраний продукт для приготування середньої проби старанно перемішують. Проби хліба, овочів, рослин і т. д. попередньо подрібнюють ножом або м'ясорубкою.

У прожарений і зважений на технічних терезах фарфоровий тигель (або чашку) поміщують наважку подрібненого продукту в кількості 200–1000 г (залежно від виду продукту). Взятую наважку або випарюють на водяній бані, або обвуглюють на електричній плитці. Обвуглювання вважається закінченим після припинення скупчування матеріалу і зникнення диму. Потім тигель або чашку переносять у муфельну піч для зоління. Зоління проводять дуже обережно, не допускаючи початкового нагрівання муфеля більше ніж 300°C . У подальшому температуру в муфелі можна довести з 350° до 380°C , але не вище, оскільки за більш високої температури настає сильне спікання золи і може мати місце втрата радіоактивних речовин.

Так, ^{90}Sr за температури 800°C є летким, а втрати цезію відмічаються за температури близько 400°C . Зоління вважається закінченим, коли зола набуває білого або сіро-білого кольору.

Після деякого остигання озолені проби переносять з муфеля в ексикатор, охолоджують до кімнатної температури і зважують. Вагу золи визначають для кожної проби. Готову золу розтирають у порошок у тій же чашці або в тиглі.

Для проведення радіометричних вимірювань на підкладку переносять золу і старанно розрівнюють по всьому заглибленню підкладки. Висота бортів у підкладках, використовуваних для визначення активності, має бути не меншою за 6 мм.

10.1.3. Прогнозування радіоактивного забруднення продукції рослинництва

Радіоактивне забруднення природних ресурсів України в результаті аварії на Чорнобильській АЕС спричинює необхідність проведення комплексу робіт з оцінки та уточнення радіаційної ситуації на землях, які використовуються у сільськогосподарському виробництві.

За результатами обстеження території створюються картограми щодо радіоактивного забруднення полів кожного господарства. На основі картограм щільності забруднення сільськогосподарських угідь їх поділяють на три зони – зі забрудненням до 5 Ки/км^2 , $5\text{--}10$ та $10\text{--}15 \text{ Ки/км}^2$, для кожної зони розроблені певні заходи щодо особливостей ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами територіях.

Дані про типи ґрунтів та їх агрохімічні характеристики заносять у радіологічний паспорт господарства, у якому передбачена попередня (прогнозна) оцінка можливих рівнів забруднення врожаю сільськогосподарських культур на полях сівозмін. Ця оцінка виконується на основі агрохімічних характеристик ґрунту (тип, гранулометричний склад) та щільності його забруднення на кожному полі сівозміни з використанням коефіцієнтів переходу для різних культур на різних ґрунтах, які наведені у матеріалах “Керівництво з ведення сільськогосподарського виробництва на забрудненій території”.

Приклад. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні вівса, придатність його до використання та можливі заходи по зниженню надходження радіонукліда в рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 1350 Бк/кг . Питома маса ґрунту $1,3 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару 25 см , вміст калію 2 мг/100 г .

Розв’язання:

1. Вираховуємо масу забрудненого шару ґрунту на 1 м^2 : перемножуємо показники площі ґрунту, товщини шару і об’ємної маси – $100 \text{ см} \cdot 100 \text{ см} \times 25 \text{ см} \times 1,3 \text{ г/см}^3 = 325000 \text{ г} = 325 \text{ кг}$.

2. Знаходимо вміст ^{137}Cs на 1 м^2 : забруднення 1 кг множимо на визначену масу ґрунту – $1350 \text{ Бк/кг} \times 325 \text{ кг} = 438750 \text{ Бк/м}^2 = 438,8 \text{ кБк/м}^2$.

3. Визначаємо забруднення території в Ки/км^2 : ділимо отримане забруднення на забруднення при 1 Ки ($1 \text{ Ки/км}^2 = 37 \text{ кБк/м}^2$) – $438,8 \text{ кБк/м}^2 : 37 \text{ кБк/м}^2 = 11,85 \text{ Ки/км}^2$.

4. Знаходимо коефіцієнт переходу ^{137}Cs в зерно вівса на дерново-підзолистих ґрунтах за вмісту калію 2 мг/100 г (додаток 1). Він становить 57 Бк/кг за щільності забруднення 1 Ки/км^2 .

5. Визначаємо забруднення зерна вівса: отримане забруднення території $5,48 \text{ Ки/км}^2$ множимо на знайдений коефіцієнт для $1 \text{ Ки} - 11,85 \times 57 \text{ Бк/кг} = 675,5 \text{ Бк/кг}$.

6. Визначаємо придатність отриманої продукції, для чого в додатку 2 знаходимо допустимий рівень забруднення за ^{137}Cs згідно з ДР-2006. Для продовольчого зерна він становить 50 Бк/кг .

Отже, перший висновок: продукція непридатна для використання, тому що її забруднення за ^{137}Cs перевищує допустимий рівень у $13,5$ разів ($675,5 \text{ Бк/кг} : 50 \text{ Бк/кг} = 13,5$).

Далі розпочинаємо дії щодо можливого використання угіддя для вирощування вівса чи іншої продукції, які б відповідали вимогам ДР-2006.

7. Визначаємо необхідний коефіцієнт переходу для отримання придатної продукції, для чого коефіцієнт переходу $57 \text{ (Бк/кг)/Ки/км}^2$ ділимо на $13,5$; $57 : 13,5 = 4,2$.

8. Знаходимо у додатку 1 в колонці для вівса таке або менше за нього значення коефіцієнта переходу за відповідного вмісту калію у ґрунті. Найменший коефіцієнт для вівса становить $5,7$ навіть за максимальної кількості – 20 мг на 100 г калію.

Таким чином, другий висновок: отримати придатне зерно вівса для хліба і хлібопродуктів за даних умов неможливо. Одним із варіантів подальшого вирішення цієї проблеми може бути підбір культури, близької за господарським значенням, але з меншим коефіцієнтом переходу ^{137}Cs . Такою культурою може бути ячмінь.

9. У додатку 1 знаходимо коефіцієнт переходу ^{137}Cs в зерно ячменю на дерново-підзолистих ґрунтах при вмісті калію 2 мг на 100 г . Він становить 10 Бк/кг при 1 Ки/км^2 .

10. Визначаємо можливе забруднення зерна ячменю: отримане забруднення території по ^{137}Cs $11,85 \text{ Ки/км}^2$ (пункт 3) множимо на коефіцієнт переходу для $1 \text{ Ки/км}^2 - 10 \text{ Бк/кг}$: $11,85 \cdot 10 = 118,5 \text{ Бк/кг}$.

Отже, третій висновок: зерно ячменю також є непридатним для використання як продовольче, тому що перевищує рівень забруднення за ^{137}Cs у $2,4$ рази ($118,5 \text{ Бк/кг} : 50 \text{ Бк/кг} = 2,4$).

11. Визначаємо необхідний коефіцієнт переходу для отримання придатного зерна: коефіцієнт $10 \text{ (Бк/кг)/Ки/км}^2$ ділимо на $2,4 - 10 : 2,4 = 4,2$. Знаходимо (додаток 1) за якого вмісту калію на дерново-підзолистих ґрунтах коефіцієнт переходу ^{137}Cs в зерно ячменю буде становити $4,2 \text{ Бк/кг}$ або менше. За вмісту калію 5 мг на 100 г коефіцієнт буде становити $4,1$.

12. Визначаємо дефіцит калію в ґрунті, для чого від необхідних 5 мг віднімаємо 2 мг наявного в ґрунті калію за умовами задачі: $5 - 2 = 3$ мг. Відомо, що для підвищення вмісту калію на 1 мг у 100 г орного шару ґрунту необхідно внести 30 кг калійних добрив за діючою речовиною.

13. Визначаємо необхідну кількість калійних добрив для внесення у ґрунт за діючою речовиною: $30 \text{ кг} \cdot 3 = 90 \text{ кг}$.

14. Визначаємо прогнозоване забруднення зерна ячменю після внесення калійних добрив: очікуваний коефіцієнт переходу 4,1 Бк/кг для 1 Кі/км² множимо на забруднення території – 11,85 Кі/км²: $4,1 \times 11,85 = 48,58$ Бк/кг.

Кінцевий висновок: на даній території можна отримати придатне зерно ячменю після внесення 90 кг калійних добрив, при цьому його забруднення по ¹³⁷Cs буде в 1,03 раза нижче за допустимий рівень ($50:48,58 = 1,03$).

10.2. Порядок виконання роботи

1. Перелічити вимоги до вибору ділянки для радіаційно-гігієнічної оцінки території та до відбору проб.

2. Побудувати схему обстеження сільськогосподарських угідь.

Індивідуальне завдання

Визначити вміст ¹³⁷Cs в X-продукції, придатність його до використання та можливі заходи по зниженню надходження радіонукліда в рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем 1350 Бк/кг. Питома маса ґрунту 1,3 г/см³, товщина забрудненого шару 25 см, вміст калію 2 мг/100 г. У таблиці 10.1 наведено варіанти ситуаційних задач для самостійного розв'язання.

Таблиця 10.1

Вихідні дані

№ з/п	Назва культури	Забрудн. ґрунту, Бк/кг	Питома маса 1 см ³ /г	Товщина забрудн. шару, см	Вміст К, мг/100 г
1	2	3	4	5	6
1	Горох	750	1.3	22	5
2	Кукурудза	900	1.3	23	6

Закінчення таблиці 10.1

1	2	3	4	5	6
3	Овес	798	102	24	3
4	Ячмінь	600	1,3	25	4
5	Озиме жито	560	1,3	24	7
6	Озима пшениця	912	1,2	22	5
7	Томати сорту Лідер	705	1,4	24	2
8	Капуста Брюссельська	627	1,2	25	5
9	Морква сорту Артек	531	1,3	25	4
10	Столовий буряк сорту Раннє диво	544	1,4	24	5
11	Капуста Савойська	717	1,4	21	5
12	Горох	616	1,2	22	3
13	Кукурудза	770	1,4	23	2
14	Овес	575	1,4	23	3
15	Ячмінь	589	1,4	26	4
16	Озиме жито	527	1,4	25	7
17	Яра пшениця	452	1,4	27	8
18	Соя	495	1,4	24	6
19	Гарбуз Стофунтовий	574	1,4	22	2
20	Картопля сорту Світанок	1670	1,4	23	2
21	Картопля сорту Луговська	727	1,3	22	5
22	Столовий буряк сорту Червона куля	463	1,2	24	6
23	Капуста сорту Амагер 611	565	1,2	25	5
24	Перець солодкий	1247	1,2	20	4
25	Редиска Червона з білим кінчиком	760	1,5	23	8
26	Кабачки сорту Грибовські	567	1,2	25	5
27	Огірки сорту Конкурент	515	1,2	22	3
28	Часник	470	1,2	20	4

Запитання для самоконтролю

1. За яких умов рослинницька продукція є придатною чи непридатною для споживання?
2. Яку роль відіграє внесення у ґрунт добрив на забруднених територіях?
3. Як визначити забруднення території в Кі/км²?
4. Як визначається вміст ¹³⁷Cs на 1 м²?

5. Від чого залежить перехід радіонуклідів з ґрунту в рослини?
6. Що собою являє коефіцієнт переходу?
7. Які дозиметричні вимірювання є обов'язковими при контролі за територією, яка оточує об'єкт, де є радіоактивні речовини?
8. З якої ділянки беруть проби ґрунту для радіометричних та радіохімічних досліджень?
9. Чим зумовлена природна радіоактивність води, ґрунту, рослин, продуктів харчування?
10. Як готують озолені проби продуктів харчування?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 11

ТЕМА: Прогнозування радіонуклідного забруднення продукції тваринництва (ситуаційні задачі)

11.1. Основні поняття і визначення

При забрудненні сільськогосподарських угідь радіонуклідами постає проблема прогнозу та мінімізації вмісту радіонуклідів у тваринницькій продукції, у першу чергу в молоці та м'ясі. З цими продуктами харчування в організм людини (у тому числі дітей – критичної групи) надходить 70–90 % радіонуклідів йоду, цезію та стронцію, які викликають внутрішнє опромінення населення.

На сьогодні основним завданням, щодо зменшення дозового навантаження на організм людини, є отримання на забруднених радіонуклідами територіях продукції тваринництва, яка відповідає новим, більш жорстким вимогам радіаційної безпеки – допустимим рівням вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у харчових продуктах і подальше зниження вмісту радіонуклідів до значень контрольних рівнів.

Найбільш вразливими галузями тваринництва, щодо одержання придатної для вживання продукції, є молочне скотарство та вівчарство.

Максимально допустимі рівні щільності забруднення територій, на яких можна одержати молочні продукти, що відповідають вимогам ДР-2006, досить низькі. Для виробництва молока корів з використанням кормів природних угідь допустима щільність забруднення

радіоцезієм торф'яно-болотних ґрунтів 3,7 кБк/м²; торф'яних – 40,7; дерново-підзолистих супіщаних – 74; сірих лісових – 277 кБк/м².

Для виробництва м'яса допустима щільність забруднення названих ґрунтів у два рази вища.

Ведення всіх галузей тваринництва на чорноземах проводиться без обмеження. Вміст радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr як у молоці, так і у м'ясі не перевищує допустимих рівнів, встановлених для дитячого харчування.

Прогноз вмісту радіонуклідів у продуктах тваринництва ($A_{\text{прог}}$) розраховують за формулою

$$A_{\text{прог}} = A_{\text{рац}} \cdot K_{\text{П}} / 100, \quad (11.1)$$

де $A_{\text{рац}}$ – вміст радіонуклідів у добовому раціоні, Бк;

$K_{\text{П}}$ – коефіцієнт переходу радіонукліда з раціону в 1 кг продукту, %.

Значення коефіцієнтів переходу радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr з раціону в продукти тваринництва наведені в табл. 9.1, додаток 3.

Вміст радіонуклідів у кормах добового раціону визначають з урахуванням щільності забруднення території радіонуклідами, яку прийнято виражати в одиницях кБк/м² та Кі/км². У табл. 3, 4, 5 додатка 3 наведені коефіцієнти переходу радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у кормові культури (Бк/кг) при щільності забруднення різних типів ґрунтів 1 кБк/м², а в табл. 3 (додаток 3) – коефіцієнти переходу ^{137}Cs у зерно та солону (Бк/кг) при щільності забруднення території 1 Кі/км² розраховують за формулою

$$A_{\text{корму}} = K_{\text{П}} \cdot H, \quad (11.2)$$

де $A_{\text{корму}}$ – вміст радіонукліда в кормі, Бк/кг;

$K_{\text{П}}$ – коефіцієнт переходу радіонукліда з ґрунту в кормові культури (табл. 2, 3, 4, 5 у додатку 3);

H – щільність забруднення території радіонуклідами, кБк/м², або Кі/км.

11.1.1. Порядок розв'язання задач

Задача: Визначити вміст ^{137}Cs в молоці та м'ясі ВРХ (питома активність дерново-підзолистого ґрунту – 600 Бк/кг, період

утримання – літній пасовищний, сектор – громадський). Зробити висновки і дати рекомендації щодо зменшення вмісту радіонуклідів у кінцевому продукті.

1. Визначаємо щільність забруднення території (Н) радіонуклідами в одиницях системи СІ (кБк/м²). Для цього необхідно вміст ¹³⁷Cs або ⁹⁰Sr (Бк/кг ґрунту) помножити на масу 1 м² орного шару, яка залежить від питомої маси ґрунту та глибини оранки. Для розрахунку використовують опосередковані показники маси орного шару ґрунтів: дерново-підзолистих – 270 кг; сірих лісових – 260 кг; чорноземних – 300 кг; торф'яноболотних – 190 кг. Глибину оранки в середньому приймають за 20 см.

$$H = 600 \text{ Бк/кг} \cdot 270 \text{ кг/м}^2 = 162000 \text{ Бк/м}^2 = 162 \text{ кБк/м}^2.$$

2. Визначаємо забрудненість території в одиницях Кі/км² (1 Кі/км² = 37 кБк/м²), це потрібно для використання даних, які наведені в додатку 3 (табл. 3): 162 кБк/м²: 37 = 4,4 Кі/км², отримуюмо 4,4 кБк/м².

Примітка: Якщо в умовах задачі щільність забруднення визначена в одиницях Кі/км², то необхідно зробити перерахунок в одиниці системи СІ –кБк/м², тобто помножити щільність забруднення в Кі/км² на 37.

3. Складаємо раціон для літнього періоду утримання тварин. Орієнтовне добове споживання сухих кормів домашніми тваринами наведено в табл. 7 (додаток 3).

4. Визначаємо вміст радіонуклідів у кожному окремому виді корму, для цього дані, які наведені в табл. 2 (додаток 3) множимо на визначену щільність забруднення території радіонуклідами в одиницях кБк/м², а дані з табл. 3 (додаток 3) множимо на щільність забруднення території в одиницях Кі/км². Результати розрахунків заносимо у табл. 8 (додаток 3).

5. Визначаємо очікувану концентрацію радіонуклідів у кінцевому продукті, використовуючи табл. 1 (додаток 3) та формулу 9.1.

6. Порівнюємо отримані нами дані з допустимими рівнями вмісту ¹³⁷Cs в молоці та м'ясі (додаток 2). Робимо висновки та даємо конкретні рекомендації. Висновок: *вміст ¹³⁷Cs у молоці корів відповідає вимогам ДР-2006, у м'ясі – перевищує допустимі рівні в 1,15 раза. Для зменшення переходу радіонукліда в молоко*

та м'ясо необхідно ввести в раціон ентеросорбенти (цеолітове борошно марки А або хумоліт), які знижують концентрацію ¹³⁷Cs в молоці та м'ясі в 2,5–3,5 разів. Після введення в раціон ентеросорбентів таке молоко може використовуватися для виготовлення спеціалізованих продуктів дитячого харчування.

11.2. Порядок виконання роботи

1. Визначити вміст ¹³⁷Cs в Х-продукції (питома активність дерново-підзолистого ґрунту 600 Бк/кг, період утримання – літній пасовищний, сектор – громадський). Зробити висновки і дати рекомендації. У таблиці 11.1 наведено варіанти ситуаційних задач для самостійного розв'язання.

Таблиця 11.1

Вихідні дані

№	Вид тварин	Продукція	Тип ґрунту*	Щільність забруднення, кБк/м ²		Питома активність ґрунту, Бк/кг		Період утримання
				¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ВРХ	Молоко, м'ясо	1	185	–	–	–	Пасовищний
2	ВРХ	Молоко, м'ясо	1	–	7,4	–	–	Літній стойловий
3	ВРХ	Молоко, м'ясо	2	259	–	–	–	Пасовищний
4	ВРХ	Молоко, м'ясо	1	–	–	760	–	Зимовий стійловий
5	Свині	М'ясо	1	185	–	–	–	Зимовий
6	Вівці	М'ясо	1	–	–	800	–	Зимовий стійловий
7	ВРХ	Молоко, м'ясо	2	–	–	900	–	Зимовий стійловий
8	Кури	М'ясо, яйця	1	370	–	–	–	Літній
9	ВРХ	Молоко, м'ясо	1	–	–	390	–	Пасовищний
10	Кури	М'ясо	1	111	–	–	–	Літній
11	Свині	М'ясо	3	200	–	–	–	Зимовий
12	Вівці	М'ясо	1	–	–	900	–	Літній
13	Свині	М'ясо	1	–	–	450	–	Літній

Закінчення таблиці 11.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	Вівці	М'ясо	1	–	–	600	–	Зимовий
15	Свині	М'ясо	2	–	–	590	–	Зимовий
16	Вівці	М'ясо	3	–	–	500	–	Літній
17	ВРХ	Молоко, м'ясо	1	–	–	150	–	Зимовий стійловий
18	Кози	Молоко	3	–	–	200	–	Літній
19	ВРХ	Молоко, м'ясо	1	–	–	–	400	Пасовищний
20	Кози	Молоко	1	–	–	950	–	Літній
21	Вівці	М'ясо	3	–	–	370	–	Зимовий
22	Свині	М'ясо	2	230	–	–	–	Літній
23	ВРХ	Молоко, м'ясо	3	–	–	200	–	Зимовий стійловий
24	Кози	Молоко	3	–	–	950	–	Літній
25	ВРХ	Молоко, м'ясо	2	–	–	180	–	Зимовий стійловий
26	ВРХ	Молоко, м'ясо	1	–	–	1300	–	Зимовий стійловий
27	Вівці	М'ясо	1	–	90	–	–	Літній
28	Коні	М'ясо	1	–	111	–	–	Літній

*1 – Дерново-підзолистий; 2 – сірий лісовий; 3 – торф'яно-болотний, 4 – чорноземний

2. Зробити висновки.

3. Дати рекомендації щодо зменшення вмісту радіонуклідів у кінцевому продукті.

Запитання для самоконтролю

1. Визначити максимально допустимі рівні щільності забруднення територій, на яких є можливість одержати молочні продукти, що відповідають вимогам ДР-2006.
2. Як розрахувати прогнозний вміст радіонуклідів у продуктах тваринництва?
3. Як визначити вміст радіонуклідів у кормах добового раціону?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 12

ТЕМА: Ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення

12.1. Основні поняття і визначення

Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС значні території України потрапили в зону радіоактивного забруднення, забруднення території були зумовлені динамікою радіоактивних викидів, специфікою фізико-хімічних процесів у зруйнованому реакторі, метеорологічними умовами в період осідання радіонуклідів на конкретну територію, характером підстиляючої поверхні. Це призвело до значної нерівномірності забруднення і утворення декількох основних «слідів враження» території: західного, північного, південного, та північно-східного. Найбільш складний характер забруднення спостерігається на площі двох перших «слідів», які охопили практично все Полісся, де зосереджено біля 40 % площі лісів країни. Лісові насадження України значною мірою захистили населені пункти і сільськогосподарські угіддя регіону від радіоактивного забруднення. Вони відіграли роль своєрідних фільтрів-накопичувачів радіонуклідів. У лісових екосистемах акумулювалася значна кількість радіоактивних елементів.

У зону західного та південного «слідів» радіоактивного забруднення попали ліси Київської, Житомирської, Рівненської, Волинської, Черкаської, Вінницької, Одеської, Тернопільської, Хмельницької та Луганської областей (табл. 12.1).

Радіоактивне забруднення лісів призвело до обмеження використання продукції лісового господарства, змін в організації і технологіях проведення лісгосподарських робіт, а деякі лісові господарства (Чорнобильське, Новошепелицьке) були взагалі ліквідовані. В цілому по Україні площа лісів, де заборонена заготівля деревини складає 40,8 тис. га. Практично в усіх лісах зони Полісся, Київської, Житомирської та Рівненської областей заборонена промислова заготівля дикорослих грибів, ягід і лікарських рослин.

Таблиця 12.1

**Щільності і забруднення лісових насаджень цезієм-134,
цезієм-137 в розрізі обласних державних лісгосподарських
об'єднань України**

Об'єднання	Площа лісів, тис. га	В т. ч. за щільністю забруднення (Кі/км ²)							
		До 1,0	1,1–2,0	2,1–5	5,1–10	10,1–15	15,1–40	40,1–80	> 80
Вінницяліс	216,2	185,1	23,8	6,8	0,5	–	–	–	–
Волиньліс	178,4	136,2	36,9	5,3	–	–	–	–	–
Житомирліс	732,3	292,4	182,5	158,3	50,3	16,4	27,0	4,8	0,6
Київліс	372,3	178	129,3	38,2	13,0	5,5	4,2	2,6	1,5
Рівне ліс	671,5	293,6	215,3	151,6	10,7	0,3	–	–	–
Суми ліс	121,9	109,4	8,0	4,5	–	–	–	–	–
Черкасиліс	215,0	176,0	31,1	7,3	0,6	0,04	–	–	–
Чернігівліс	348,6	273,8	47,4	23,1	3,3	0,9	0,06	–	–
Донецькліс	16,0	13,1	2,9	–	–	–	–	–	–
Дніпропетровськліс	19,5	19,5	–	–	–	–	–	–	–
Кіровоградліс	26,0	25,3	0,7	–	–	–	–	–	–
Кримліс	19,8	19,8	–	–	–	–	–	–	–
Луганськліс	26,3	25,3	0,9	0,1	–	–	–	–	–
Миколаївліс	6,6	6,6	–	–	–	–	–	–	–
Одесаліс	44,8	42,1	2,7	–	–	–	–	–	–
Тернопільліс	64,8	56,4	7,5	0,9	–	–	–	–	–
Харківліс	56,4	56,4	–	–	–	–	–	–	–
Хмельницький ліс	50,0	46,1	3,1	0,8	–	–	–	–	–
Всього по Україні	3186,4	1955,1	692,1	396,9	78,4	23,1	31,3	7,4	2,1

В основу зонування лісів, які забруднені радіонуклідами, покладено існуюче зонування відповідно до Закону України «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи». За даними про радіоактивне забруднення лісових площ і продукції лісового господарства радіо цезієм ліси поділяються на три основних зони з відповідними підзонами (табл. 12.2).

Зона 1 – ліси зі щільністю забруднення ґрунту від 15,01 Кі/км² і вище. Основою для її виділення є необхідність регламентації тривалості робочого дня при проведенні лісозахисних робіт.

Підзона 1а – ліси зі щільністю забруднення ґрунту від 15,01 до 30,00 Кі/км². Основою для її виділення є необхідність регламентації тривалості робочого дня при проведенні поточних робіт із захисту лісу.

Підзона 1б – ліси зі щільністю забруднення ґрунту вище 30,00 Кі/км². Основою для її виділення є необхідність розробки спеціального режиму праці при виконанні термінових робіт із захисту лісу.

Таблиця 12.2

Зонування лісів за щільністю забруднення ґрунту радіоцезієм

Зона	Підзона	Щільність забруднення ґрунту цезієм, Кі/км ²	Регламентуючі заходи
1	а	15,01–30,0	Контроль за тривалістю робочого дня при проведенні лісозахисних термінових робіт
	б	Більше 30,0	Розробка спеціального режиму ведення протипожежних, лісозахисних робіт
2	а	5,01–7,00	Обмеження використання паливної і тонкомірної деревини
	б	7,01–10,00	Обмеження використання деревини для будівництва, зберігання харчових продуктів і виробів побутового призначення
	в	10,01–15,00	Обмеження використання деревини з різною метою
3	а	1,01–2,00	Обмеження використання грибів та деяких лікарських рослин (вересових, брусничних, гречкових)
	б	2,01–5,00	Обмеження використання лікарських і ягідних рослин, сіна лісових сінокосів

Зона 2 – ліси зі щільністю забруднення від 5,01 до 15,00 Кі/км². Основою для її виділення є необхідність регламентації лісової продукції.

Підзона 2а – ліси зі щільністю забруднення від 5,01 до 7,00 Кі/км². Основою її виділення є необхідність контролю паливної деревини та тонкомірної деревинної сировини.

Підзона 2б – ліси зі щільністю забруднення ґрунту від 7,01 до 10,00 Кі/км² Основою її виділення є необхідність контролю будівельного лісу, виробів з деревини побутового призначення, а також виробів, які використовуються для зберігання харчових продуктів.

Підзона 2в – ліси зі щільністю забруднення ґрунту від 10,01 до 15 Кі/км². Основою для її виділення є необхідність контролю всієї лісової продукції.

Зона 3 – ліси зі щільністю забруднення ґрунту від 1,01 до 5,00 Кі/км². Основою для її виділення є необхідність регламентувати використання недеревинної продукції лісу і деякої продукції сільськогосподарства.

Підзона 3а – ліси зі щільністю забруднення ґрунту від 1,01 до 2,00 Кі/км². Потребує жорсткого контролю за використанням дикорослих їстівних грибів, ягідних та лікарських рослин.

Підзона 3б – ліси зі щільністю забруднення ґрунту від 2,01 до 5 Кі/км². Основою для її виділення є необхідність контролю за використанням лікарських рослин, сіна з лісових сінокосів, хвої.

У цілому лісгосподарські підприємства України залежно від інтенсивності радіоактивного забруднення та можливості використання продукції лісового господарства можна розділити на такі групи:

1 група – держлісгоспи, на території яких не виявлені насадження, щільність забруднення ґрунту радіо цезієм не перевищує 1,00 Кі/км².

2 група – держлісгоспи лісостепової та степової зон України, де виявлено ділянки лісу зі щільністю забруднення ґрунту радіо цезієм до 10,00 Кі/км². Внаслідок наявності багатих сірих і темно-сірих лісових ґрунтів і опідзолених чорноземів в таких лісах не прогнозується значне накопичення радіонуклідів в продукції лісового господарства. На цій території слід проводити контроль за забрудненням недеревинної продукції лісу.

3 група – держлісгоспи поліських областей, де наявні ділянки лісу зі щільністю забруднення ґрунту до 5,00 Кі/км². у цих лісах не прогнозується значного забруднення продукції лісового господарства, але повинен здійснюватися радіаційний контроль усіх сфер виробництва.

4 група – держлісгоспи поліських областей де щільність забруднення ґрунту більше 5,00 Кі/км². Тут необхідно вести радіаційний контроль всієї лісової продукції.

Уся система лісокористування в умовах радіоактивного забруднення повинна забезпечувати: 1) безпечні умови праці, які в свою чергу зумовлені тривалістю перебування працюючого в цій чи іншій зоні і додержанням санітарно-гігієнічних вимог; 2) безумовним виконанням вимог, щодо одержання продукції лісового господарства, яка не перевищує допустимих рівнів.

12.2. Порядок виконання роботи

1. Виписати вихідні дані відповідно до варіанта (табл.12.3).

Таблиця 12.3

Вихідні дані										
№ точки	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Щільність забруднення ґрунту цезієм, Кі/км ²										
1	10,2	18,4	2,2	3,8	15,6	29,1	15,9	2,1	3,2	5,0
2	0,1	20,5	10,0	15,2	2,1	0,2	2,5	4,8	16,2	25
3	12,6	2,5	10,5	12	8,5	5,2	8,5	20,8	5,6	8,2
4	5,6	2,1	8,6	0,2	7,2	3,0	7,3	10,2	5,0	7,8
5	6,3	8,2	2,3	1,5	0,8	0,9	1,3	12,5	17,0	2,3
Варіант										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Щільність забруднення ґрунту цезієм, Кі/км ²										
6	0,2	0,5	0,6	0,8	0,2	1,6	4,5	1,8	1,9	5,3
7	31,2	32,5	36,5	30,0	31,0	35,2	34,6	32,4	31,1	32,3
8	12,6	15,8	12,3	4,8	5,9	17,8	12,9	25,2	1,2	3,6
9	0,2	0,1	0,33	0,8	0,9	0,5	0,8	0,7	0,1	0,3
10	5,0	3,0	6,1	3,9	3,8	5,0	7,5	7,3	8,5	9,3

2. На планшет нанести результати дозиметричного обстеження лісового масиву та виділити основні зони, підзони забруднення території цезієм.

3. Оцінити ситуацію, яка склалася на території лісу та охарактеризувати регламентуючі заходи, які доцільно проводити.

4. Зробити висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Як проводять зонування лісів, території яких були забруднені цезієм внаслідок аварії на ЧАЕС?
2. Які регламентуючі заходи необхідно проводити в кожній зоні та підзоні забруднених лісових територій?
3. З яких міркувань та за якими основними критеріями виділені зони та підзони радіоактивного забруднення лісів?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 13

ТЕМА: Прогноз вмісту радіонуклідів у лісовій продукції

13.1. Основні поняття і визначення

Після Чорнобильської аварії 1986 року, коли основна кількість радіоактивного пилу і аерозолів осіла в кронах дерев, поступово відбулося переміщення радіонуклідів на поверхню ґрунту і розпочалася їх міграція в глибину ґрунтового профілю. Нині радіаційна обстановка лісу в основному визначається вмістом радіонуклідів в ґрунті.

Інтенсивне надходження радіонуклідів з ґрунту в рослини визначається як біологічними особливостями виду, так і агрохімічними та фізичними властивостями ґрунту: механічним і мінералогічним складом, кислотністю, вмістом органічної речовини, вологістю, ступенем насичення основами, ємністю катіонного поглинання. Експериментальні дані показують, що основна кількість радіонуклідів зосереджена в лісовій підстилці та верхньому 0–10 см шарі ґрунту.

Процеси перерозподілу та накопичення радіонуклідів компонентами лісових екосистем і різних насаджень мають деякі особливості. На інтенсивність накопичення цезію-137 в деревній рослинності впливають такі фактори: форми надходження радіонуклідів, агрохімічні властивості ґрунту, метеорологічні умови вегетаційного періоду, види насаджень та їх характеристики (вік, склад, щільність, тип місцезнаходження). Щільність забруднення ґрунту

радіонуклідами є основним показником, який визначає величину накопичення радіонуклідів в тканинах і органах дерев.

Найбільшим вмістом радіоцезію характеризуються молоді фізіологічно активні частини дерева (хвоя, листя, однорічні пагони, внутрішня кора), а найменшим – деревина.

Накопичення радіоцезію різними видами дикорослої лікарської сировини залежить від комплексу факторів: щільності забруднення ґрунту радіонуклідом, біологічних властивостей видів нагромадження цезію-137 із ґрунту, ґрунтових умов тощо.

Загальними закономірностями радіоактивного забруднення згаданої сировини є:

- більш ніж 30-кратні міжвидові розбіжності в інтенсивності накопичення цезію-137 лікарськими рослинами різних видів в одному типі умов місцезростання;

- значне варіювання в накопиченні радіоцезію рослинами різних систематичних груп. Найбільше накопичують радіоцезій: представники родин плаунових, вересових, брусничних, гречкових. Посередньо: рослини з родини лілійних, губоцвітих, айстрових, звіробійних. Мінімально: рослини з родини кипарисових, валеріанових, ароїдних.

У трав'янистих видах найбільша концентрація Cs-137 спостерігається у кореневій системі. Далі в міру зменшення розташовуються квіти, плоди, листя, стебла. Спостерігається значне накопичення Cs-137 в рослинах, корені яких розміщені у верхніх шарах ґрунту, де концентрація радіонуклідів максимальна. Той самий вид в бідних та більш вологих умовах місцезростання забруднений радіоцезієм у більшій кількості, ніж у багатших та сухіших умовах.

Важливе значення при плануванні заготівлі дикорослої лікарської сировини має використання коефіцієнтів переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини (табл. 13.1).

Гриби є важливою складовою побічної продукції лісу. У зв'язку з особливостями біології їх плоді тіла акумулюють значні кількості Cs-137, що робить цей харчовий продукт критичним з радіоекологічної точки зору. Питома активність радіонуклідів у всіх видах грибів залежить від щільності радіоактивного забруднення ґрунту та від виду грибів. У борах за інтенсивністю накопичення

Cs-137 у плодівих тілах, види грибів утворюють наступний спадний ряд: польський гриб – сиріжка – підберезники – зеленушки – білі гриби – лисички; у суборах: польські гриби – підберезники – сиріжки – білі гриби – підосичники – лисички; у сугрудках: підберезники – сиріжки – білі гриби – лисички. Коефіцієнти переходу цезію з ґрунту в гриби показано в табл. 13.2.

Таблиця 13.1

Середні значення коефіцієнтів переходу (Кп, (Бк/кг)/(кБк/м²)) Cs-137 з ґрунту до лікарської сировини

№ з/п	Вид лікарської сировини	ТУМ	Кп
1	2	3	4
1	Чорниця, листя	B4	151
		B3	78
		C3	3
2	Плавун булавовидний, спори	A2	158
		B3	147
3	Чага, плодове тіло	B4	126
4	Багно болотне, пагони	B4	140
5	Чорниці, ягоди сухі	B3	120
6	Сосна звичайна, бруньки	B3	47
7	Золототисячник зонтичний, трава	B3–B4	41
8	Фіалка триколірна, трава	A2	40
		B3	28
		C3	2
9	Мучиця, листя	A1–2	26
		B3	5
10	Звіробій звичайний, трава	B3	17
		C2	15
11	Конвалія звичайна, суцвіття	C2–3	10
12	Крушина ламка, кора	B3–4	16
13	Материнка звичайна, трава	C2	10
14	Чебрець звичайний, трава	CA1–2	9
15	Валеріана лікарська, кореневища	C4–5	1
16	Брусниця, листя	B4	150
		B3	99
		A2	141
		C3	3

Закінчення таблиці 13.1

1	2	3	4
17	Чистотіл звичайний, трава	A3	77
		B3	55
		C3	24
18	Пижмо звичайне, суцвіття	A2	14
19	Хвощ польовий, трава	B3	33
20	Бузина чорна, суцвіття	B3	23
21	Кропива дводомна, трава	B4	19
		B3	9
		C3	3
22	Дуб черешчатий, кора	B3	26
		C3	7
23	Спориш, трава	B2–3	4
24	Перстач білий, трава	C2–3	6
25	Конвалія звичайна, трава	C2–3	7
26	Цмін піщаний, суцвіття	A1–2	9
27	Наперстянка великоквіткова, трава	2–3	4
28	Черета трироздільна, трава	B3	1
29	Татарське зілля, кореневища	C4–5	1

Таблиця 13.2

Значення коефіцієнтів переходу (Кп, (Бк/кг)/(кБк/м²)) Cs-137 з ґрунту в гриби

Вид грибів	Коефіцієнт переходу (Кп, (Бк/кг)/(кБк/м ²))		Вид грибів	Коефіцієнт переходу (Кп, (Бк/кг)/(кБк/м ²))	
	Поліся	Лісостеп		Поліся	Лісостеп
Білі гриби	14,1	0,2	Свинушки	83,6	4,2
Маслюки	31,1	4,1	Опеньки	–	0,6
Грузді	23,8	0,6	Рядовки	18,2	10,1
Сиріжки	35,1	0,4	Лисички	18,2	–
Польські гриби	65,0	5,1	Печериці	–	0,1
Підберезовики	16,2	–	Рижики	–	3,6

Заготівля продукції грибів дозволяється в лісах при щільності радіоактивного забруднення ґрунту до 3 Кі/км² Cs-137. В Українському Поліссі забороняється заготовляти польські гриби та свинушки.

Основні ягідні види Українського Полісся, що належать до родини брусничних (чорниця, брусниця, буяхи, журавлина) характеризуються найінтенсивнішим нагромадженням Cs-137. Менш інтенсивно накопичують даний радіонуклід інші ягідні види – малина, суниця, горобина, калина (табл. 13.3).

Таблиця 13.3

Середні коефіцієнти переходу Cs-137 з ґрунту у свіжі лісові ягоди в різних типах умов місцезростання

№ з/п	Вид ягідних рослин	ТУМ	Кп, (Бк/кг)/(кБк/м ²)
1	Чорниця	В3	11
		С2	2,0
		С3	2,4
2	Брусниця	А2	12,1
		В3	8,3
3	Буяхи	В3	9,4
4	Малина звичайна	В3–С3	6,6
5	Суниця лісові	В2–3	5,8
6	Горобина звичайна	В3–4	1,0
7	Калина звичайна	В3–4	0,3

Накопичення Cs-137 у свіжих ягодах різних видів істотно вище в бідніших і вологих умовах порівняно з багатими і сухими. Ягоди чорниць у свіжих та вологих суборах рекомендується заготовляти при щільності забруднення ґрунту Cs-137 до 2 Кі/км², а в свіжих та вологих сугрудках – до 15 Кі/км², ягоди брусниць у свіжих борах та сирих суборах – 1 Кі/км², а у вологих борах та суборах – до 2 Кі/км².

На Поліссі України сільське населення заготовляє сіно переважно на природних дісових сінокосах, де також випасає худобу. Радіоактивне забруднення кормових видів на цих угіддях значно вище, ніж на сільськогосподарських площах. На природних луках Полісся інтенсивність накопичення цезію-117 основними кормовими видами обумовлюється бідністю ґрунтів торфових та болотистих лук, наявністю шару дернини, з якої перехід радіонуклідів до зеленої маси перевищує в кілька разів відповідний показник із ґрунту. Середні коефіцієнти переходу цезію у кормові рослини лісових земель наведено в табл. 13.4.

Таблиця 13.4

Середні значення коефіцієнтів переходу (Кп, (Бк/кг)/(кБк/м²)) Cs-137 з ґрунту до головних кормових видів рослин лісів та лісових лук Українського Полісся

Кормовий вид	ТУМ	Кп·10 ⁻³	Кормовий вид	ТУМ	Кп·10 ⁻³
Молінія голуба	В3–4	130	Перлівка поникла	В2	14
Верес звичайний	В2–3	100	Польовиця собача	В2–3	13
Пахучий колосок	В2	44	Осока трясушко-видна	В2–3 С2–3	13
Тонконіг вузьколистий	В2	30	Костриця овеча	А2–В2	9,6
Щучка дерниста	В3–4 С3–4	20	Бір розлогий	С2–3	7,4
Куничник наземний	В2 В3	19	Осока гірська	С2–3	6,3
Осока верескова	В2	18	Конюшина альпійська	С2–3	6,2
Грястиця збірна	С2–3	5,5	Куничник пісковий	С2–3	3,1

Важливе значення при плануванні заготівлі лісової продукції має використання прогнозних розрахунків забруднення радіонуклідів. Прогнозують рівні забруднення за допомогою номограм (залежно від рівня забруднення продукції від різних типів умов місцезростання та щільності забруднення ґрунту) та за допомогою величини коефіцієнта переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини, який знаходять за фактичними даними забруднення продукції і характеристик забруднення ґрунту та умов місцезростання.

Прогнозний вміст радіонуклідів у лісовій продукції можна розрахувати за формулою:

$$ПА = ЩзКп, \text{ Бк/кг},$$

де ПА – питома активність сировини, Бк/кг; Кп – коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в лісову сировину, (Бк/кг)/(кБк/м²); Щз – щільність забруднення ґрунту, кБк/м².

Заготівля сировини дозволяється за умови, що визначений прогнозний (фактичний) рівень забруднення сировини менший показників тимчасово-допустимих рівнів.

13.2. Порядок виконання роботи

1. Виписати вихідні дані згідно з варіантом (табл. 13.5). Спрогнозувати рівень забруднення запропонованої лісової продукції у виділених в попередній роботі підзонах.

Таблиця 13.5

Вихідні дані

№ з/п	Вид продукції			
	Лісові ягоди	Лікарські рослини	Кормові рослини	Гриби
0	Чорниці В3	Чорниці, листя	Верес звичайний	Гриби білі
1	Чорниці С2	Брусниці, листя	Осока гірська	Маслюки
2	Чорниці С3	Конвалія, судвіття	Конюшина альпійська	Сироїжки
3	Брусниці А2	Фіалка, трава	Костриця овеча	Гриби польські
4	Брусниці В3	Звіробій звичайний	Осока трясуцковидна	Опеньки
5	Буяхи В3	Валеріана, корінь	Молінія голуба	Рижики
6	Суниці В2–3	Спориш, трава	Куничник наземний	Лисички
7	Малина В–3	Череда, трава	Польовиця собача	Підберезовики
8	Чорниці С2	Материнка, трава	Бір розлогий	Грузді
9	Калина В3	Чистотіл звичайний	Щучка дерниста	Гриби білі

2. Порівняти отримані результати та характеризувати причини таких рівнів забруднення різних видів лісової продукції.

3. Одержані прогнозні рівні забруднення лісової продукції з ДР та визначити величину перевищення.

4. Результати розрахунків звести у таблицю 13.6.

5. Зробити висновки щодо можливості використання продукції лісу.

6. Розробити та запропонувати систему організаційних, технологічних заходів зниження вмісту Cs-137 в продукції лісу.

7. Зробити висновки щодо радіоекологічної обстановки у лісах України.

Таблиця 13.6

Прогнозний вміст Cs-137 у продукції лісу (Бк/кг) при різній щільності забруднення ґрунту, Кі/км²

Тип продукції, (Кп/ТДР)	Щільність забруднення ґрунту цезієм-137, Кі/км ²						
	1	2	5	7	10	15	30
Лісові ягоди (, 500 Бк/кг)							
Перевищення ТДР, раз							
Гриби (, 500 Бк/кг)							
Перевищення ТДР, раз							
Лікарська сировина (, 600 Бк/кг)							
Перевищення ТДР, раз							
Кормові рослини ()							
Перевищення ТДР, раз							

Запитання для самоконтролю:

1. Назвіть основні фактори, які впливають на нагромадження радіонуклідів лісовою продукцією.
2. Як можна спрогнозувати рівень забруднення лісової продукції?
3. Які особливості забруднення деревинної продукції лісу?
4. Охарактеризуйте особливості радіоактивного забруднення грибів.
5. Від чого залежить питома активність радіонуклідів у всіх видах грибів?
6. Які основні вимоги встановлені при заготівлі лікарських рослин у лісах, що забруднені радіонуклідами?
7. Назвіть величини допустимого вмісту цезію-137 у грибах, кормових рослинах, лісових ягодах, лікарських рослинах.
8. Які заходи необхідно проводити, щоб зменшити рівень радіоактивного забруднення лісової продукції?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 14

ТЕМА: Особливості ведення рибництва та рибальства на водоймах в умовах радіоактивного забруднення

14.1. Основні поняття і визначення

Внаслідок аварії на ЧАЕС у квітні 1986 р. в атмосферу потрапила велика кількість радіонуклідів. Частина з них випала в акваторії та на території водойм України. Основним шляхом надходження радіонуклідів до водойм є горизонтальна міграція.

Серед низки радіонуклідів, що потрапили до водойм, біологічно найшкідливішими є довго живучі ізотопи цезію та стронцію. Внаслідок того, що вода добре поглинає гамма промені, зовнішнє опромінення гідробіонтів ймовірно не спричинить статистично достовірних змін на рівні організму та вищих рівнях організації гідробіонтів. Вагомий вплив на живі організми мають поглинуті ними з їжею чи водою радіонукліди, які створюють ефективну дозу.

Розглянемо основні закономірності перерозподілу радіонуклідів у компонентах водних біоценозів (вода, донні відкладення, водна рослинність, водні тварини).

Вода. У водойми радіонукліди потрапляють переважно повітряним шляхом та з поверхневим стоком. Два основних радіонукліди – цезій та стронцій – по-різному себе поведуть у водоймах. Ізотопи цезію, як одновалентні, швидко включаються у міграцію харчовими ланцюгами, поглинаються донними відкладеннями (переважно частинками мулу) і за течією мігрують переважно в період раптового підняття води. З 1989 року спостерігали поступове зниження концентрації цезію-137 у воді внаслідок процесів адсорбції донними відкладеннями, замуленням поверхневих, найзабрудненіших шарів донних відкладень, перерозподілу серед компонентів біоценозу.

Обернена залежність притаманна стронцію-90. Зі збільшенням відстані від місця аварії, підвищувалася дисперсність часточок палива, а отже і їх розчинність. Це спричинило появу відносно високих концентрацій цього ізотопу у воді Канівського та Кременчуцького водосховищ у 1986 році. Протягом двох наступних років об'ємна активність води за стронцієм-90 знизилася у 10–40 разів.

За останні роки частка доступного для міграції харчовими ланцюгами стронцію-90 збільшилася з 36–32 % до 80–94 % залежно від водойми. Зі збільшенням відстані від місця аварії збільшується частка доступного для міграції трофічними ланцюгами стронцію-90.

На даний час слід зробити висновок, що вода залишається забрудненою радіонуклідами лише у тому випадку, коли в ній багато частинок мулу або одноклітинних водоростей, які не осіли на дно.

Донні відкладення. Значна кількість радіонуклідів відкладається у мулі. За короткий проміжок часу у ньому накопичується така кількість радіоізотопів, яка від сотень до десятків тисяч разів більша, ніж їх міститься у воді. Отже мул є природним очищувачем ценозу водойм від радіонуклідів, оскільки процеси десорбції не переважають кількох відсотків. Для забруднення донних відкладень характерна значна плямистість. Забруднення відкладень залежить від типу донних відкладень та протікання процесів замулення. Ще одним важливим механізмом збільшення щільності забруднення донних відкладень є осідання радіонуклідів при змішуванні води з різними гідрохімічними властивостями. Це характерно насамперед для гирлових ділянок приток (притоки водосховищ дніпровського каскаду, гирлові ділянки Прип'яті, Тетерева і значно в меншій мірі – Дніпра).

Розподіл вмісту радіонуклідів у ряду: мул – замулені піски – піски можливо представити як (10–70) – 6–1.

Швидкість процесів первинного перерозподілу радіонуклідів між водою та донними відкладеннями наближається до одиниці після досягнутої певної рівноваги.

Водна рослинність. Під час аварії забруднення рослин відбувається двома шляхами: повітряним та водним. Радіоактивні опади на 80–90 % потрапляють у рослини через листя і на 10–20 % через корені. Поглинання залежить від розміру розчиненої частинки радіоізоотопу. Чим міцніше адсорбовані радіонукліди частинками ґрунту, тим важче вони поглинаються рослинами. У водних екосистемах представниками першої ланки трофічного ланцюга є вищі водні рослини та водорості, які зв'язують радіонукліди та їх концентрують.

**Коефіцієнти накопичення радіонуклідів
з води складовими біоценозу**

Складові біоценозу	Коефіцієнт накопичення
Вода	1
Пісок	5–35
Замулений пісок	72–580
Мул	100–10000
Жорстка водна рослинність	40–80
Занурена водна рослинність	30–72
Вільноплаваючі	150–2500
Моллюски	40–1000
Раки	10–200
Зообентос	250–1550
Зоопланктон	80–7400
Риби	42–110

Коефіцієнти накопичення радіонуклідів зелених нитчастих водоростей і занурених водних рослин одного порядку, а повітряно-водних (очерет, рогаза) – значно менші. Із збільшенням відстані від місця аварії у водних рослин підвищується частка стронцію-90 в загальній активності.

Водні тварини. Донні та придонні тварини поглинають нукліди з коефіцієнтом накопичення від сотень до тисяч. Це пов'язано з тим, що вони не тільки живуть, але і живляться на дуже радіоактивних донних відкладеннях. Так, зареєстровані коефіцієнти накопичення для ракоподібних становлять 10–200, молюсків – 40–1000, зообентосу – 250–1550, зоопланктону – 80–7400.

Риби. Радіоізотопи цезію-134, цезію-137 розподіляються у м'язах та внутрішніх органах рівномірно. Стронцій-90 переважно концентрується у кістковій тканині. У різному віці у риб неоднакова потреба у стабільних елементах – аналогах, що зумовлює вікову різницю у накопиченні радіонуклідів. Статеві незрілі хижі риби накопичують менше цезію і стронцію, ніж статеві зрілі, «мирні» – менше цезію і більше стронцію. Хижі риби накопичують більше радіонуклідів ніж «мирні» переважно за рахунок цезію. Стронцій більше накопичують промислові групи «мирних» риб, тому що живлення хижих риб не прив'язане до мулу.

У водосховищах зниження вмісту цезію у рибах таке: щука – сом – окунь – судак – лин – карась – сазан – чехоня – плітка – лящ – плоскирка – рослиноїдні. У ставкових господарствах: короп – товстолобики (гібрид – строкатий – білий) – білий амур. Для стронцію такий ряд виглядає так: карась – плітка – лящ – лин – чехоня – короп – білізна – рослиноїдні – окунь – судак – щука – сом. Серед об'єктів ставкового рибництва: короп – білий амур – товстолобик. Спостерігається чітка сезонна зміна вмісту цезію в тушках риб (після нерестове підвищення рівнів цезію).

Отже, рівень забруднення складових водної екосистеми та розподіл між ними радіонуклідів різноманітний і залежить насамперед від кількості та складу радіонуклідів, які надійшли у водойму. Перерозподіл радіонуклідів між донними відкладеннями та гідробіонтами можна охарактеризувати коефіцієнтом накопичення радіонуклідів з води (табл. 14.1).

Для того, щоб зменшити рівень забруднення рибної продукції в Україні розроблено низку заходів, які розглянемо детальніше.

14.2. Заходи щодо зниження вмісту радіонуклідів у рибній продукції, що одержана з внутрішніх водойм України

Внутрішні водойми України поділено на два основні типи. До першої групи належать: водосховища, річки та водойми, які використовуються переважно для рибальства. До другої групи – водойми рибогосподарського та комплексного призначення з профілюючим напрямком використання – рибництвом.

Заходи щодо зниження радіонуклідів в рибній продукції можна поділити на три групи:

14.2.1. Заходи первинної дозиметрії:

- оцінка радіаційної обстановки на водоймі або промисловій ділянці (встановлення районів найнебезпечніших для ведення лову риб; визначення строків післянерестових ловів риби, встановлення річних максимумів вмісту радіонуклідів у основних промислових видах риб);
- організація та проведення первинного дозиметричного контролю рибної продукції.

14.2.2. Адміністративні заходи:

- заборона рибництва та рибальства на всій акваторії, або її частині, яка знаходиться на території, де неможливе постійне проживання населення;
- заборона реалізації окремих розмірно-вікових груп або видів риб;
- перепрофілювання напрямів використання водойм.

14.2.3. Меліоративно-інтенсифікаційні заходи:

- поліпшення умов відтворення природної кормової бази і пов'язане з цим підвищення рибопродуктивності (процес розбавлення);
- підвищення концентрації у воді та ґрунті обмінних катіонів (калію, кальцію);
- зменшення доступності для первинних продуцентів та обмінної фіксації внаслідок реакції радіонуклідів з добривами, що вносяться;
- внесення протягом одного вегетаційного періоду калійних, фосфорних та азотних добрив знижує вміст радіонуклідів у тушках риби на 40–60 %;
- внесення вапна у кисле середовище (запобігає надходженню стронцію у рибу, покращує гідрохімічний режим водойми, спричиняє підвищення рибопродуктивності);
- внесення карбонатів калію та натрію у нейтральне середовище;
- застосування органічних добрив (переважно на піщаних донних відкладеннях);
- внесення торфу;
- внесення адсорбційних матеріалів (асканіт, бентоніт, вермикуліт, флогопіт, гумбрин, гідромусковіт, гідроген).

14.3. Порядок виконання роботи

1. Виписати вихідні дані відповідно до варіанта (табл. 14.2).
2. Використовуючи коефіцієнти накопичення, оцінити рівень забруднення основних складових біоценозу.
3. Зробити висновки, щодо забруднення складових водної екосистеми та оцінити можливість споживання риби з даної водойми.

Вихідні дані

Варіант									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вміст цезію у воді, Бк/л									
10,2	5,8	4,2	12,8	23,2	2,5	9,7	4,2	5,1	9,2
Тип дна*									
а	б	б	а	а	в	в	б	а	в
Тип риби**									
1	2	1	2	2	1	1	1	1	2

Примітки. *Тип дна: а – пісок; б – мул; в – замулений пісок. ** Тип риби: 1 – хижі риби, 2 – «мирні» риби.

4. Запропонувати ряд заходів, які будуть спрямовані на зменшення радіонуклідів у рибній продукції та обґрунтувати їх.
5. Зробити висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Назвіть основні шляхи міграції радіонуклідів у водні об'єкти.
2. На які основні типи поділяються внутрішні водойми України?
3. Як розподіляються радіонукліди в основних складових водної екосистеми?
4. Назвіть групи заходів, які рекомендуються для зниження вмісту радіонуклідів у рибній продукції.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 15
ТЕМА: Визначення сумарної
ефективної дози опромінення населення

15.1. Основні поняття і визначення

На території радіоактивного забруднення одним із ведучих факторів, що визначають екологічні умови проживання людей є рівень радіаційного опромінення населення. Згідно прийнятих на даний час норм однією з основних фізичних величин, яка визначає вплив іонізаційного випромінювання на людину є ефективна доза опромінення, а на населення на певній території – колективна ефективна доза.

З метою вивчення та розробки заходів по радіаційному захисту населення в 1928 році була створена Міжнародна комісія з радіаційного захисту (МКРЗ). В 1958 році нею була рекомендована гранично допустима ефективна доза (надалі – доза) – 5 бер/рік. Дана сумарна норма опромінення, на думку експертів забезпечує захист населення і дозволяє здійснювати необхідну практичну діяльність.

Сумарна доза опромінення складається із доз зовнішнього та внутрішнього опромінення.

Зовнішнє опромінення обумовлене радіаційним фоном території, космічними та іншими зовнішніми джерелами. Внутрішнє опромінення визначається кількістю радіонуклідів, що надходять в організм людини з їжею, водою і повітрям. На забруднених радіонуклідами територіях доза опромінення населення помітно зростає.

В Україні проблема значного додаткового опромінення виникла після катастрофи на ЧАЕС. У зв'язку з цим у грудні 1991 року Верховна Рада прийняла закони України «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок чорнобильської катастрофи» та «Про правовий режим території, що зазнала радіаційного 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 році;

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

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

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

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 мЗв (0,1 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 даних, представлених в табл. 15.1.

Таблиця 15.1

**Розрахунок зовнішнього опромінення населення
в залежності від щільності забруднення ґрунту**

Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Цезій			Стронцій		Плутоній	
	Доза опромінення, мбер			Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Доза опромінення, мбер	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Доза опромінення, мбер
	Місто	СМТ	Село				
1	2	3	4	5	6	7	8
0,1	0,6	0,9	1,3	0,01	0,2	0,005	0,3
0,2	1,02	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	12,0	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	10

Основну ж дозу опромінення люди отримують за рахунок внутрішнього опромінення в результаті споживання забрудненої їжі. При цьому розрахунки внутрішнього опромінення (табл. 15.2) визначаються за надходженням радіонуклідів в перерахунок на основі продукти – молоко та картоплю. 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 радіо цезію 1 нКі/л забезпечує дозу 30 мбер/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 даними, які представлені в таблиці 15.2.

Однак, крім цезію, внутрішнє опромінення організму викликається і радіоізотопами стронцію та плутонію. При цьому вважається, що при щільності забруднення території стронцієм 1 Кі/км² ефективна доза внутрішнього опромінення складає 20 мбер (за умови відсутності показників забруднення території стронцієм береться консервативна доза 10 мбер), а така сама концентрація в ґрунті плутонію

відповідає ефективній дозі внутрішнього опромінення 60 мбер (за умови відсутності даних про забруднення плутонієм береться консервативна доза 1 мбер).

Таблиця 15.2

**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
10,0	200	300	300
20	400	600	600
50	1000	1500	1500
100	2000	3000	3000

Річну сумарну ефективну дозу опромінення населення можна визначити за формулою:

$$P = P_{\text{зовн}} + P_{\text{внутр}}, \text{ мбер},$$

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

$$P_{\text{зовн}} = P_{\text{Cs}} + P_{\text{Sr}} + P_{\text{Pu}}, \text{ мбер},$$

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

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

$$P_{\text{внутр}} = P_{\text{молока}} + P_{\text{картоплі}}, \text{ мбер},$$

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

15.2. Порядок виконання роботи

1. Виписати вихідні дані згідно варіанту (табл. 15.3)

Таблиця 15.3

Вихідні дані

Показники	Варіант									
	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	30	10	100	70	80	30	40	50	1	5
Картопля	50	50	100	15	0,5	10	10	20	80	18

2. Розрахувати додаткове зовнішнє та внутрішнє опромінення населення, яке проживає на радіаційно забруднених землях.

3. Розрахувати сумарну ефективну дозу опромінення міського та сільського населення, результати представити в табличній формі (табл. 15.4)

Таблиця 15.4

Визначення прогнозної сумарної ефективної дози опромінення населення

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

4. Визначити, до якої зони слід віднести міську та сільську територію, розробити рекомендації, направлені на зменшення додаткового опромінення населення, яке проживає на цих територіях.

5. Зробити висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Чим викликана зовнішня додаткова доза опромінення?
2. Чим викликана внутрішня додаткова доза опромінення?
3. Охарактеризуйте зони радіоактивного забруднення, які були виділені на забруднених територіях внаслідок катастрофи на ЧАЕС.
4. На основі яких положень побудовано прогнози номограми розрахунку внутрішнього та зовнішнього опромінення населення?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 16

ТЕМА: Побудова камерних моделей міграції радіонуклідів у природних екосистемах

16.1. Основні поняття і визначення

Для опису перенесення, переходу і міграції радіонуклідів в екосистемах часто використовують метод камерних моделей. У камерних моделях весь ланцюг перенесення радіонуклідів для простоти поділяють на камери (box – коробка). У математичних моделях взаємодію між камерами задають за допомогою коефіцієнтів. За способами взаємодії між камерами моделі можна поділити на стаціонарні та динамічні. Стаціонарні камерні моделі (рис. 16.1) будують на основі постулату про наявність сталої статистичної рівноваги в системі «екосистема – організм – середовище». При цьому розподіл активності радіонуклідів у кожній з виділених камер вважають рівномірним. За відомими значеннями K_n радіонуклідів між камерами чи за відомою кількістю стабільного аналогу радіонукліда в певній камері розраховують питому активність у ній радіонуклідів. Стабільними аналогами радіонуклідів є елементи, які за своїми метаболічними

характеристиками в екосистемі подібні до радіонуклідів (стабільним аналогом Sr є Ca, аналогом Cs – K).

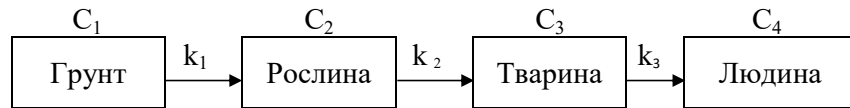


Рисунок 16.1 – Стаціонарна камерна модель

У стаціонарних моделях:

k_1, k_2, k_3 – прямі коефіцієнти перенесення радіонуклідів між камерами;

C_1, C_2, C_3, C_4 – концентрації радіонуклідів у камерах 1, 2, 3, 4 відповідно.

Через стаціонарну камерну модель можна обчислити активність радіонуклідів в інших камерах:

$$C_2 = k_1 \cdot C_1; \quad (16.1)$$

$$C_3 = k_2 \cdot C_2 = k_1 \cdot k_2 \cdot C_1; \quad (16.2)$$

$$C_4 = k_3 \cdot C_3 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot C_1. \quad (16.3)$$

Крім простих стаціонарних камерних моделей, широко використовують динамічні камерні моделі (рис. 16.2), які ґрунтуються на двох основних припущеннях.

1. Екосистему можна поділити на кілька взаємодіючих камер, між якими з часом відбувається міграція радіонуклідів. Радіонукліди, що надійшли в камеру, миттєво переміщуються в усіх частинах камери однаково в будь-який момент часу;

2. Втрати радіонуклідів камерою є пропорційними активності радіонуклідів у камері. Перенесення радіонуклідів з однієї камери до іншої відбувається за законами кінетики, його описують системою простих диференціальних рівнянь. При цьому коефіцієнт пропорційності між питомою активністю у камері і надходженням радіонуклідів із цієї камери до будь-якої іншої (коефіцієнт перенесення радіонукліда між камерами) є сталим. На рис. 16.2 наведено відповідну екосистему (динамічна камерна модель), де $C_1, C_2, C_3,$

C_4 – динамічні питомі активності радіонуклідів у камерах моделі; k_1, k_2, k_3 – прямі коефіцієнти перенесення радіонуклідів між камерами; $^{-}k_1, ^{-}k_2, ^{-}k_3$ – зворотні коефіцієнти.

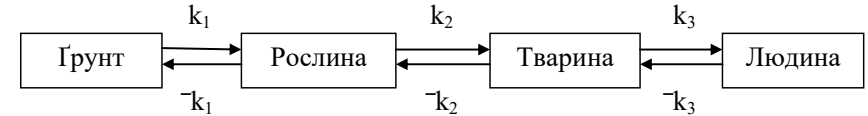


Рисунок 16.2 – Динамічна камерна модель екосистеми

Напишемо для цієї камери систему з чотирьох диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dC_1}{dt} &= K_2 C_2 - K_1 C_1; \\ \frac{dC_2}{dt} &= K_1^{-} C_1 - K_2 C_2 - K_2^{-} C_2 + K_3^{-} C_3; \\ \frac{dC_3}{dt} &= K_2 C_2 + K_4^{-} C_4 - K_3^{-} C_3 - K_3 C_3; \\ \frac{dC_4}{dt} &= K_3 C_3 - K_4 C_4, \end{aligned} \quad (16.4)$$

де $d(dC_1, dC_2, \dots)$ – символ диференціювання; t – час.

Якщо роз’язати систему диференціальних рівнянь (16.4), то можна отримати графіки значень C_1, C_2, C_3, C_4 за часом для будь-яких значень коефіцієнтів перенесення від моменту надходження радіонуклідів до “камери 1–грунт” і до будь-якого моменту часу. Якщо спостерігається постійне надходження радіонуклідів до “камери–грунт”, то досить додати в систему рівнянь ще одне рівняння

$$\frac{dC_0}{dt} = K_0 C_0, \quad (16.5)$$

де C_0 – активність радіонуклідів у джерелі на момент початку викиду, Бк;

K_0 – коефіцієнт переходу радіонуклідів від джерела в “камеру 1 – грунт”. При цьому до першого рівняння системи (16.4) потрібно додати ще один член: $+ K_0 C_0$. Практично для будь-якої складної

і розгалуженої екосистеми може бути складено і розв’язано відповідну систему рівнянь (наприклад, за допомогою програмного продукту MAPLE 5, MAPLE 6 і т. ін.).

Метод камерних моделей є найпростішим й адекватним математичним способом опису радіоекологічних процесів в екосистемах різної складності.

16.2. Приклади камерних моделей

16.2.1. Оцінка і прогноз розподілу радіонуклідів у типовій для ландшафтів України екосистемі схилів

Проблема радіаційної безпеки населення й охорони навколишнього середовища від забруднень радіоактивними речовинами є ключовою при реалізації програми розвитку, в основі якої – використання атомної енергії. Це стало більше очевидним після аварії на Чорнобильській АЕС. Крім того, у багатьох сферах практичної діяльності людини використовуються джерела іонізуючих випромінювань. Постійно розширюється їхнє застосування в промисловості, сільському господарстві, медицині, наукових дослідженнях. Розширюється коло осіб, професійно пов’язаних з полями іонізуючих випромінювань. В умовах широкого застосування ядерної енергії перед фахівцями стоїть завдання щодо відповідальності в підготовці в до радіаційної безпеки, вивчення критеріїв оцінки радіоактивного випромінювання як шкідливого фактора впливу на людей і об’єкти навколишнього середовища, в одержанні потрібних знань із радіоекології, які дозволять у практичній діяльності організувати роботу й керувати підлеглими так, щоб гарантувати безпеку, зберегти здоров’я і працездатність людини в умовах радіоактивного забруднення навколишнього середовища, сировини і продуктів харчування.

Унаслідок цих обставин дуже важливим є оцінка й прогнозування доз радіоактивного опромінення людини для подальшого вивчення та оцінки ризиків, пов’язаних з аваріями на радіаційно-небезпечних виробництвах.

Моделювання екологічних процесів за допомогою методу камерних моделей активно розвивається в сучасній радіоекології. Цикл досліджень з моделювання розподілу радіонуклідів у трофічних ланцюгах України був виконаний у лабораторії В. Б. Георгієвського в Інституті

атомної енергії ім. І. В. Курчатова (м. Москва). Активне використання цього методу дозволило змоделювати параметри радіоекологічної ємності різного типу екосистем. За допомогою цього методу, маючи обмежені дані щодо моніторингу дослідження, можна робити детальний прогноз величини та динаміки забруднення різних елементів екосистем і ландшафтів не тільки для радіонуклідів, але і для інших поллютантів. Також метод був використаний для дослідження радіоекологічних процесів одного із сіл у Волинській області (рис. 16.3).

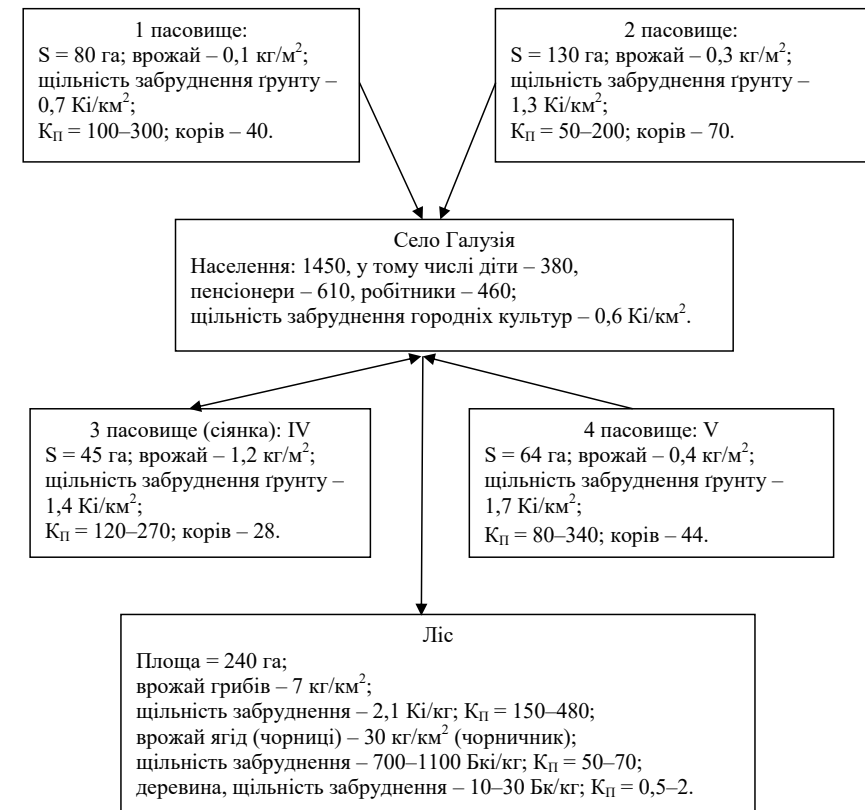


Рисунок 16.3 – Принципова блок-схема основних складових екосистеми с. Галузія Маневецького району Волинської області. Оцінка і прогноз розподілу радіонуклідів у типовій схилівій екосистемі

Ландшафти північної частини України разом із басейнами річок Дніпро і Десна являють собою схилі екосистеми. Тому важливо оцінити й дослідити поведінку радіонуклідів у таких екосистемах, які характерні для півночі України. У роботі був використаний метод камерних моделей переходу радіонуклідів з однієї камери в іншу, оскільки він є найпростішим та адекватним математичним методом опису радіоекологічних процесів в екосистемах різної складності. Розподіл активності радіонуклідів у кожній з камер вважатимемо рівномірним.

Для дослідження було обрано типову екосистему, що складається з дев'яти камер: ліс, узлісся, лука, тераса, заплава, вода озера, біота озера, донні відклади озера, людина (рис. 16.4).

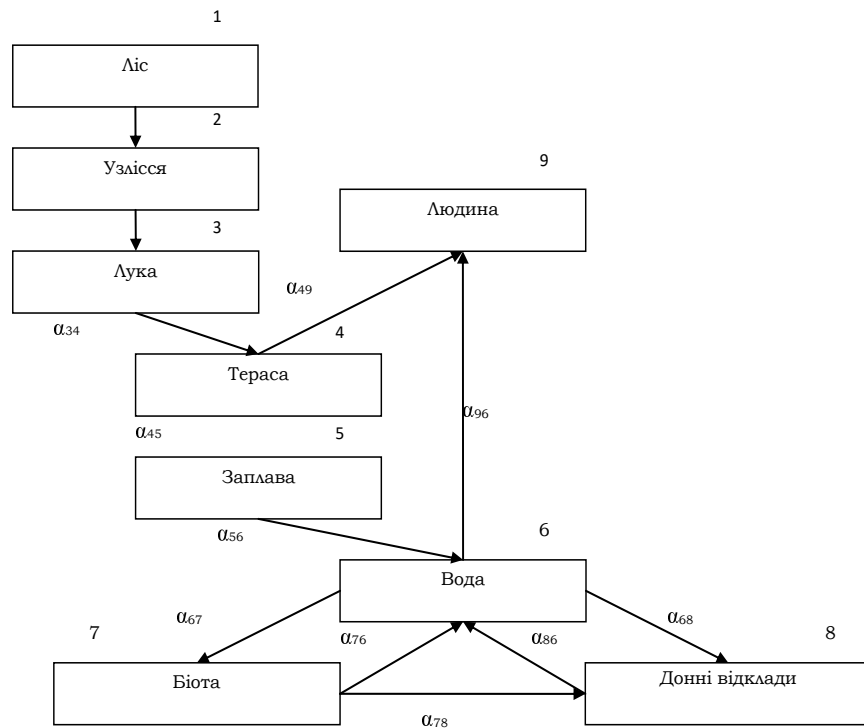


Рисунок 16.4 – Блок-схема типової екосистеми схилу

Взаємодія між камерами задається за допомогою коефіцієнтів переходу радіонуклідів з однієї камери в іншу за одиницю часу (за одну годину), наприклад α_{67} – коефіцієнт переходу радіонуклідів із камери 6 (вода) в камеру 7 (біота). Дані коефіцієнти вибрані за натурними дослідженнями та залежать від крутизни схилу, характеру покриття (дерева, трава тощо), типу ґрунту (чорнозем, дерново-підзолистий, сірий лісовий), об'єму стоку, температури повітря, напрямку і сили вітру та інших метеорологічних параметрів.

Розраховані за натурними даними значення коефіцієнтів наведено в табл. 16.1.

Таблиця 16.1

Значення коефіцієнтів переходу радіонуклідів із камери в камеру

Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів		
	Мінімальні	Середні	Максимальні
a_{ij}			
a_{12}	0,01	0,03	0,05
a_{23}	0,05	0,1	0,15
a_{24}	0,1	0,15	0,2
a_{45}	0,1	0,2	0,3
a_{56}	0,2	0,3	0,4
a_{67}	0,3	0,5	0,7
a_{78}	0,03	0,05	0,07
a_{68}	0,4	0,6	0,8
a_{86}	0,04	0,07	0,1
a_{76}	0,03	0,05	0,07
a_{49}	0,2	0,4	0,6
a_{69}	0,05	0,1	0,15

Для аналізу переходу радіонуклідів із камери в камеру в даному прикладі були вибрані середні значення коефіцієнтів. Перенесення радіонуклідів з однієї камери до іншої відбувається за законами кінетики першого порядку, його описують системою простих диференціальних рівнянь.

Напишемо систему з дев'яти простих диференціальних рівнянь першого порядку зі сталими коефіцієнтами з урахуванням коефіцієнтів переходу радіонуклідів із поправкою на їх розпад:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx(t)}{dt} = -0,06x(t), \\ \frac{dy(t)}{dt} = 0,03x(t) - 0,13y(t), \\ \frac{dz(t)}{dt} = 0,1y(t) - 0,18z(t), \\ \frac{dk(t)}{dt} = 0,15z(t) - 0,63k(t), \\ \frac{dl(t)}{dt} = 0,2k(t) - 0,33l(t), \\ \frac{dn(t)}{dt} = 0,3l(t) + 0,05o(t) + 0,07p(t) - 1,23n(t), \\ \frac{do(t)}{dt} = 0,5n(t) - 0,13o(t), \\ \frac{dp(t)}{dt} = 0,05o(t) + 0,6n(t) - 0,1p(t), \\ \frac{dm(t)}{dt} = 0,4k(t) + 0,1n(t) + 0,03m(t), \end{array} \right. \quad (16.6)$$

де змінні $x, y, z, k, l, n, o, p, m$ – динамічні питомі активності радіонуклідів у камерах: ліс, узлісся, луг, тераса, заплава, вода, біота, донні відклади та людина; t – час.

Розв'язавши систему цих рівнянь, отримаємо їх у графічному вигляді (рис. 16.5 і 16.6).

Охарактеризуємо розв'язок даної системи. Для камери 1-ліс характерний, і це зрозуміло, плавний викид радіонуклідів вниз по схилу. Для інших камер даної моделі побудуємо таблицю зі значенням максимальної питомої активності радіонуклідів у певний момент часу (табл. 16.2).

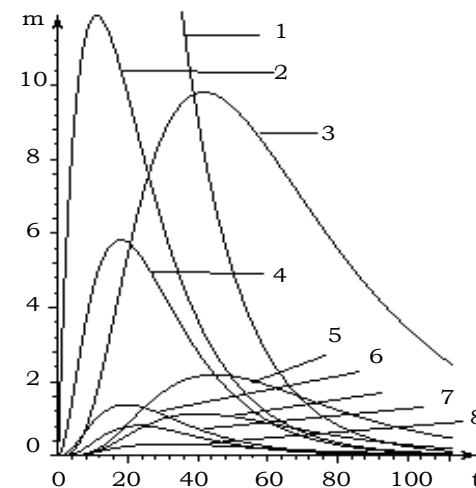
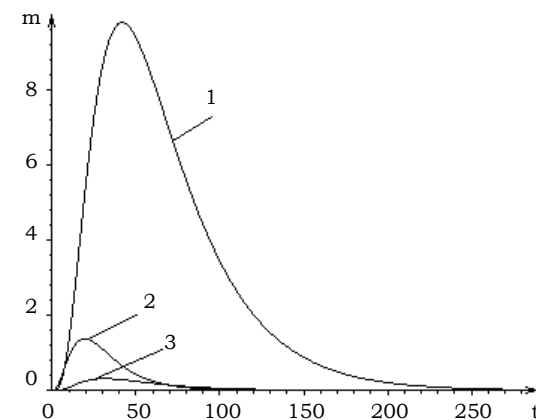


Рисунок 16.5 – Розподіл радіонуклідів для камер екосистеми схилу

1 – ліс; 2 – узлісся; 3 – луг; 4 – тераса; 5 – заплава; 6 – вода; 7 – біота;
8 – донні відклади



1 – людина; 2 – тераса; 3 – вода

Рисунок 16.6 – Розподіл радіонуклідів для окремих камер

Таблиця 16.2

**Накопичення радіонуклідів у камерах
(у відсотках від загального запасу в екосистемі)**

Камера	Максимальна активність радіонуклідів (%)	Час (рік)
Узлісся	12	12
Луг	6	20
Тераса	1,4	20
Заплава	0,82	24
Вода	0,32	30
Біота	1,16	44
Донні відклади	2,3	48
Людина	10	50

Як видно з табл. 16.2, найбільше накопичення та концентрація радіонуклідів спостерігається в камері “ліс” (12% від усього запасу в даній екосистемі на 12-й рік після припустимої аварії) та в камері “людина” (10% на 50-й рік), а найменше в камері “вода” (0,32% на 30-й рік).

Оскільки природокористування людини в даному прикладі зводиться найбільшою мірою до води та аграрної тераси, то доцільно окремо розглянути графіки рівнянь розв’язків системи саме для камер: людина, тераса, вода (рис. 16.6). Найшвидше акумулює в собі радіонукліди людина, у меншій мірі – тераса, а потім – вода. І хоча людина швидше накопичує радіонукліди, доза на 20-й рік після аварії ще дуже мала (40% від можливої), що є дуже важливим, бо пік можна чекати на 50-й рік після аварії.

Отже, найбільше накопичення радіонуклідів для людини може становити 10% на 50-й рік після аварії. Разом з тим приблизно на 45-й рік після аварії буде відбуватися спад активності радіонуклідів у воді, їх найменше значення буде 0,32% на 35-й рік.

Якщо спостерігати за аграрною терасою, то спад активності її радіонуклідів відбуватиметься після 20-го року, коли максимальна активність радіонуклідів для тераси буде становити 1,4%.

З цього прикладу можна зробити такі висновки:

1. Показано, що запропонований метод камерних моделей ефективно застосовується при аналізі процесів розподілу радіонуклідів у типових для України екосистемах.

2. Обґрунтований експериментально вибір значень параметрів зв’язку між камерами в екосистемі схилу дозволяє адекватно описати поведінку радіонуклідів.

3. Встановлено, що при реальних середніх значеннях параметрів зв’язку між камерами модель дозволяє оцінити та спрогнозувати динаміку розподілу радіонуклідів і встановити значення піків забруднення та часу від можливої аварії на радіаційно-небезпечному виробництві.

16.3. Порядок виконання роботи

1. Побудувати камерну модель переносу радіонуклідів між компонентами екосистеми, яка зображена на рис. 10.3.

2. Визначити коефіцієнти переходу певного радіонукліда між камерами.

3. Записати диференціальні рівняння камерної моделі.

4. Зробити висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Що таке камерна модель?
2. Що собою являє камерна модель міграції радіонуклідів у прісноводній (морській, наземній, лучній) екосистемі?
3. Що таке стаціонарна і динамічна камерні моделі?
4. Від чого залежить міграція радіонуклідів у водній екосистемі?
5. Які фактори визначають міграційні процеси радіонуклідів у наземній екосистемі?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 17

ТЕМА: Оцінка і прогноз розподілу радіонуклідів і дози в типовій екосистемі схилів, характерних для ландшафтів України

17.1. Шляхи надходження радіонуклідів в екосистему

Радіоактивні викиди і випадіння можуть потрапляти в атмосферу і переміщуватися з потоками повітря. Частинки аерозолів і пилу, що містять радіонукліди, формують радіоактивну хмару і з вітром рухаються в просторі.

Переміщення радіонуклідів унаслідок атмосферних процесів відбувається значно швидше, ніж на поверхні землі, й визначається швидкістю вітру, яка досягає більше 10 км/год. Завдяки вітровому перенесенню відбувається дифузія радіонуклідів в атмосфері і зрештою їх вміст у повітрі суттєво знижується. Середня швидкість вітру – найважливіший параметр дисперсії, що визначає напрямок переміщення і кількість повітря, яке “розбавляє” радіонукліди. Інші важливі чинники, від яких також залежить випадання радіонуклідів з атмосфери, – це опади, що вимивають радіонукліди з хмари, атмосферні умови, наприклад шторм, структура ландшафту чи шорсткість (рельєфність) земної поверхні. Для радіоактивної хмари ступінь радіонуклідного забруднення за напрямком вітру в будь-якій точці залежить від потужності викиду (кількості аерозолів, зокрема пилу і радіонуклідів) в одиницях об'єму за одиницю часу.

Чим більше швидкість вітру, нестабільність атмосфери, дисперсія розсіювання радіонуклідів, відстань від джерела, тим менші концентрація радіонуклідів в атмосфері та ступінь випадання їх на поверхню ґрунту чи води. Найпростіше оцінювати рівень випадань залежно від відстані до джерела за формулою

$$A_x = C / X^2, \quad (17.1)$$

де A_x – щільність випадань на відстані (X) від джерела, Бк(Кі)/км²;

C – константа загального об'єму випадань.

Радіонукліди, що випали з атмосфери на поверхню ґрунту, потрапляють із *поверхневим стоком* на відповідні водозбірні площі струмків, рік та інших водоймищ. Поверхневий стік радіонуклідів залежить

від характеру ландшафту, типу і шорсткості поверхні, щільності рослинного покриву, пори року, характеру і кількості опадів.

Фізико-хімічні властивості міграції радіонуклідів у ландшафтах (їх рухливість і водорозчинність) відіграють визначальну роль у здійсненні поверхневого стоку, але ці питання стосуються біогео- та агрохімії і розглядаються у спеціальній літературі.

Крім поверхневого стоку, потрібно враховувати *вторинне вітрове підймання (або дефляцію)* радіонуклідів, що осіли на поверхню ґрунту. У разі високої вітрової активності на прибережних територіях можливе потрапляння радіонуклідів у водяні екосистеми і в органи дихання людини внаслідок дефляції (осадження) чи вторинного вітровоного підймання, пов'язаних із пилоутворенням. Утворення пилу може бути зумовлене дією вітру, рухом транспорту, будівельними і сільськогосподарськими роботами. Вторинне вітрове підймання радіонуклідів у повітря оцінюють за допомогою *коефіцієнтів вітровоного підймання, або дефляції*, K_v (м⁻¹):

$$K_v = C_n / C_s, \quad (17.2)$$

де C_n – об'ємна активність радіонуклідів у повітрі, Бк/м³;

C_s – поверхнева активність радіонуклідів на поверхні ґрунту, Бк/м².

Після потрапляння радіонуклідів в екосистему повітряним шляхом чи поверхневим стоком вони залучаються до участі у житті екосистеми і підкоряються дії її внутрішніх законів. Усі радіонукліди, що потрапили в екосистему, так чи інакше беруть участь у кругообігу речовин, зумовленому трофічною структурою цієї екосистеми, – від сталих елементів середовища (вода, повітря, ґрунт) до популяцій організмів різних трофічних рівнів.

17.2. Коефіцієнти накопичення і переходу радіонуклідів в екосистемах

Для характеристики перетворень і міграції радіонуклідів в екосистемах у радіоекології прийнято застосовувати *коефіцієнти накопичення і переходу*. Цей коефіцієнт (K_n) демонструє, у скільки разів більшою чи меншою може бути активність певного радіонукліда в елементах екосистеми (C_1 – Бк/кг, зокрема, сухої маси рослин) порівняно з навколишнім середовищем (C_2 – Бк/кг ґрунту, де ростуть

ці рослини), і щодо цього є специфічною для радіоекології характеристикою екосистем і біоценозів. *Коефіцієнт накопичення* (K_n) – термін, зазвичай уживаний для організмів, що мешкають на поверхні, у глибині ґрунту, у воді. *Коефіцієнт переходу* ($K_{п}$) застосовують також для наземних організмів чи мешканців водоймищ, коли йдеться про міграцію радіонуклідів трофічними ланцюгами. Ці коефіцієнти відбивають частку радіонуклідів, що потрапляють від одного елемента екосистеми до іншого. Для системи ґрунт–рослина – це відношення активності радіонукліда на 1 кг повітряно-сухої біомаси рослин (C_1) до його вмісту в 1 кг повітряно-сухого ґрунту (C_2), на якому ці рослини вирощено, Бк/кг. У найпростішому випадку ці коефіцієнти обчислюють за формулою:

$$K_n = C_1 / C_2, \quad (17.3)$$

Для характеристики випадання радіонуклідів на ґрунт прийнято застосовувати поняття про поверхневу активність (щільність випадання) радіонуклідів, вимірювану в кілобеккерелях (кюрі) на км² (Кі/км²) ґрунту.

Відомо, що відразу після випадання радіонукліди зосереджені тільки в поверхневому шарі ґрунту, а згодом повільно мігрують у глибину ґрунтового шару, у зону розміщення коренів рослин.

За найпоширенішими методиками розрахунку $K_{п}$ для спектрометричного чи радіохімічного дослідження беруть ґрунт 20-сантиметрового шару, добре його перемішують, а потім вимірюють питому активність радіонуклідів у ньому. Такий спосіб є зручним для сільськогосподарських рослин (зернові і кормові культури), але непридатним для чагарників і деревних порід, де глибина залягання коренів може сягати кількох метрів.

У практичній радіоекології використовують інше визначення коефіцієнта переходу:

$$K_{п} = C_1 / C_3, \quad (17.4)$$

де C_1 – питома активність радіонуклідів в 1 кг повітряно-сухої маси рослин, Бк/кг;

C_3 – поверхнева активність радіонуклідів в 1 м² ґрунту, кБк/м².

$K_{п}$ дає змогу усереднити ситуацію для великих територій.

У практичній радіоекології застосовують також *коефіцієнт виносу* (K_B) радіонуклідів із біомасою. Для його обчислення можна скористатися такою формулою:

$$K_B = CB / A, \quad (17.5)$$

де C – питома активність (концентрація) радіонукліда в 1 кг біомаси рослин Бк/кг;

B – врожай із 1 км² площі, кг;

A – поверхнева активність (щільність) радіонуклідів, що викинуті на територію, Бк/км².

Коефіцієнти накопичення, як уже зазначалося, відбивають частку радіонуклідів, що переходять в одиницю біомаси з одиниці об'єму середовища проживання і використовуються найчастіше в радіоекології водних екосистем за формулою (17.4).

Тут C_1 – питома активність радіонукліда в 1 кг біомаси, Бк/кг; C_2 – об'ємна активність радіонукліда 1 л води, Бк/л.

Коефіцієнт виносу радіонуклідів у цьому випадку можна визначити за формулою (17.5), де під B розуміють біомасу гідробіонтів в одиниці об'єму середовища їхнього проживання, а під A – активність радіонуклідів, що потрапили в цю саму одиницю об'єму середовища. При розрахунку K_n і $K_{п}$ часто постає питання: як розраховувати масу біоти – виходячи з маси сухої речовини чи маси свіжовзятої проби? Різні автори використовують різні способи розрахунку, і кожний обстоє перевагу обраного ним способу. Напевно, прийнятними є обидва способи розрахунку $K_{п}$ і K_n , але обов'язково треба вказувати, який саме спосіб застосовувався в тому чи іншому випадку. Використовуючи суху масу біоти, бажано вказувати, який відсоток маси свіжовзятої проби вона становить.

17.3. Порядок виконання роботи

Приклад. На пасовищі, яке не орють, поверхнева активність радіонуклідів унаслідок аварії на ЧАЕС становила $18,5 \cdot 10^{10}$ Бк/км² (5 Кі/км²) ¹³⁷Cs. У перші роки після аварії весь ¹³⁷Cs був зосереджений у 2–5 см ґрунту, а корені кормових трав сягали 20 см у глибину. Наступного року після аварії, коли повітряним забрудненням трави можна було нехтувати, питома активність ¹³⁷Cs у біомасі рослин

становила, наприклад $3,7 \text{ Бк/кг}$ ($1 \cdot 10^{-10} \text{ Кі/кг}$), а в 5-сантиметровому шарі ґрунту – $7,4 \cdot 10^2 \text{ Бк/кг}$ ($2 \cdot 10^{-8} \text{ Кі/кг}$). Звідти за формулою (17.3):

$$K_n = 3,7 \text{ Бк/кг} / 7,4 \cdot 10^2 \text{ Бк/кг} = 0,005.$$

На 10-й рік після аварії можна було очікувати, що $^{137}\text{Сз}$ розподілиться в шарі ґрунту на глибину 20 см, а біомаса коренів, які беруть участь у накопиченні радіонуклідів у рослинах, збільшиться приблизно в 4 рази. Середня активність радіонуклідів у ґрунті за цей час також могла зменшитися приблизно в 4 рази. У цьому випадку $K_{\text{П}}$ мав би таке саме значення – 0,005. У цьому розрахунку враховували лише довгоіснуючі радіонукліди, що дало змогу нехтувати їхнім розпадом. Не брали до уваги також можливості зміни рухливості і розчинності радіонуклідів у ґрунті. Якщо обчислити $K_{\text{П}}$ за формулою (17.4), то в перші роки після аварії він становив

$$K_{\text{П}} = 3,7 \text{ Бк/кг} / 18,5 \text{ кБк/м}^2 = 0,2.$$

Через 10 років після аварії внаслідок збільшення кореневої маси, що бере участь у накопиченні радіонуклідів, активність $^{137}\text{Сз}$ у надземній біомасі мала зрости в 4 рази. Проте з урахуванням розведення активності у ґрунтовому шарі (також приблизно в 4 рази) зміни $K_{\text{П}}$ не очікувалося. Таким чином, із наведеного спрощеного прикладу видно, що обидва варіанти коефіцієнтів переходу K_n і $K_{\text{П}}$ аналогічні, проте між ними немає простого математичного співвідношення. Це пов'язано, зокрема, із труднощами розрахунку питомої активності радіонуклідів у ґрунті через відмінності в питомій щільності різних типів ґрунтів. Правомірно використовувати обидва варіанти розрахунку залежно від завдань дослідження. Поряд з цим треба враховувати, що один із цих коефіцієнтів не замінює інший. Практично це означає необхідність оцінювати обидва значення коефіцієнта переходу. Коефіцієнт K_n дає змогу оцінити частку активності радіонуклідів, що переходять із 1 кг ґрунту в 1 кг біомаси рослин, а $K_{\text{П}}$ – розрахувати частку активності радіонуклідів, що переходять у 1 кг біомаси рослин від $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/км}^2$ (1 Кі/км^2) активності радіонуклідів, які випали на поверхню цієї території.

Завдання

1. Визначте коефіцієнт вторинного повітряного піднімання радіонуклідів, якщо рівень забруднення повітря стронцієм становить 5 Бк/м^3 , а рівень забруднення ґрунту – $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/км}^2$ (Кі/км^2).

2. Визначте поверхневий стік $^{137}\text{Сз}$, якщо з площі 50 га із рівнем забруднення $18,5 \text{ Бк/км}^2$ (5 Кі/км^2) до річки потрапляє 10 кБк/рік цього радіонукліда.

Запитання для самоконтролю:

1. Що таке повітряний шлях надходження радіонуклідів до екосистем? Назвіть його основні закономірності.
2. Від чого залежить розподіл радіонуклідів, що надходять до екосистем повітряним шляхом?
3. Що таке коефіцієнт вторинного повітряного піднімання радіонуклідів?
4. Від чого залежить значення коефіцієнта вторинного повітряного піднімання радіонуклідів?
5. Що таке поверхневий стік радіонуклідів на поверхні ґрунту?
6. Назвіть основні шляхи надходження радіонуклідів в екосистему.
7. Як визначають коефіцієнт накопичення радіонуклідів у різних типах екосистем? Що таке коефіцієнт переходу радіонуклідів?

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

А

Аварії на атомних електростанціях (*accidents on nuclear power plants*) – незаплановане неочікуване пошкодження обладнання та(або) приміщень атомної електростанції, при якому відбувається порушення радіаційної безпеки, що може призвести до аварійного опромінення людей, а також радіоактивного забруднення навколишнього середовища.

Аварійний викид (*accidental release*) – потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище внаслідок порушень технологічного процесу або аварії.

Адитивність (*additivity*) – складання (підсумовування) ефектів комбінації та зіставлення факторів хімічної, фізичної та біологічної природи; адитивність може бути повною (якщо вплив агентів являє собою суму ефектів від впливу кожного агента) та неповною (якщо величина впливу менша за суму ефектів від впливу кожного агента, проте більша, ніж від дії будь-якого одного з них).

Активна зона (*active zone*) – основна частина ядерного реактора, в якому відбувається ланцюгова реакція ділення ядер важких елементів.

Активні форми оксигену (*active oxygen forms*) – поділяються на радикали (супероксид, гідропероксид, гідроксид) та нерадикали (гідроген пероксиду, синглетний оксиген). Мають високу реакційну здатність.

Активність джерела випромінювання мінімально значуща (*minimum significant activity of irradiation source*) – мінімально значуща активність (МЗА) на робочому місці, допустима активність радіоактивної речовини на робочому місці, що не потребує спеціального дозволу на право проведення робіт з ними від органів санітарно-епідеміологічної служби.

Активність питома (*activity specific*) – величина, що характеризує активність радіоактивних атомів (ізоотопів) у визначеній масі (масова активність питома) або об'ємі (об'ємна активність питома) речовини. А.п. – відношення радіоактивності речовини до її маси

(об'єму), виражена в одиницях радіоактивності (Бк, Кі) на одиницю маси (г, кг) чи об'єму (мл, л, м³).

Активність радіоізоотопу (*radioactivity*) (**радіоактивність або інтенсивність радіоактивного розпаду**) – характеризує кількість розпадів за одиницю часу. Задається в вигляді $A = dN/dt$, де dN – очікуване число спонтанних ядерних перебудов за інтервал часу dt . Одиниця активності в СІ – Бекерель (Бк) – активність радіонукліда, при якій в ньому за 1 с відбувається 1 акт розпаду (1 Бк = 1 розп/с). Позасистемна одиниця Кюрі (Кі) (1 Кі = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк); таку активність має 1 г радію ²²⁶Ra.

Альфа-випромінювання (**α -випромінювання**) (*alpha irradiation*) – корпускулярне іонізуюче випромінювання, яке складається з альфа-частинок (ядер гелію); α -випромінювання, α -промені корпускулярної природи, що випромінюються при α -розпаді, ядерних перебудовах, при діленні атомних ядер, в ядерних реакціях. Альфа-випромінювання має незначну проникну та велику іонізуючу здатність і високу лінійну передачу енергії, чим зумовлюється його висока відносна біологічна ефективність (зважуючий фактор дорівнює 20).

Альфа-розпад (**α -розпад**) (*alpha decay*) – випромінювання альфа-частинок атомними ядрами в процесі довільного радіоактивного розпаду, який притаманний більшості природних ядер важких хімічних елементів з атомним номером більше 82 (Rb). В результаті альфа-розпаду материнське ядро із зарядом Z і масовим числом A перетворюється в нове дочірнє ядро із зарядом $Z-2$ і масовим числом $A-4$.

Альфа-частинки (*alpha-particles*) – частинки, що випромінюються певними радіоактивними елементами (торій, радій та ін.), багатьма радіоактивними ізоотопами, і являють собою ядра атомів гелію (що складається з двох протонів та двох нейтронів). Вони втрачають енергію при проходженні крізь речовину, а для повної втрати енергії потрібне дуже велика кількість зіткнень. Вони мають визначений пробіг до моменту зупинки (у повітрі при нормальному атмосферному тиску і кімнатній температурі – 2,5–8,5 см). Біологічну дію А.-ч. використовують в медицині, зокрема в альфа-терапії (радіоактивні мазі і пов'язки та ін.).

Анігіляція (*annihilation*) – зникнення античастинок при їх зіткненні, внаслідок перетворення на кванти електромагнітного випромінювання.

Антиоксиданти (*antioxidizers*) – антиокиснювачі, інгібітори окиснення, природні чи синтетичні речовини, що запобігають чи сповільнюють окиснювальні процеси. Володіють і радіопротекторною дією.

Антиоксидантна система (АОС) (*antioxidant system*) – комплекс процесів, які контролюють перебіг окиснювальних процесів у клітинах. АОС умовно поділяють на три частини: 1) ферментативну, до якої належать сполуки, які володіють ферментативною активністю (супероксиддисмутаза, глутатіонпероксидаза, каталаза тощо); 2) неферментативну (каратиноїди, токофероли, аскорбінова кислота та ін.); 3) низькомолекулярні речовини (глутатіон, карнозин, дофамін тощо).

Античастка (*antiparticle*) – елементарна частинка, маса і спіни якої дорівнюють масі і спіну другої частинки, а електричний заряд, магнітний момент та інші характеристики рівні за величиною, але протилежні за знаком (наприклад, електрон і позитрон, протон і антипротон).

Атом (*atom*) – найменша частинка хімічного елемента, що є носієм його хімічних властивостей. Атом складається з позитивно зарядженого ядра та негативно заряджених електронів, що утворюють електронну оболонку навколо нього. Кількість електронів в атомі дорівнює кількості протонів в ядрі (заряд усіх електронів рівний заряду ядра), кількість протонів дорівнює порядку номеру елемента в періодичній системі елементів Д. Менделєєва. В цілому атом електронейтральний. Розмір його 10^{-8} см, розмір ядра – 10^{-13} см.

Атомне ядро (*atomic nucleus*) – позитивно заряджена центральна частина атома, в якій знаходиться практично вся його маса; складається з протонів і нейтронів (нуклонів), зв'язаних ядерними силами.

Атомний номер (*atomic number*), або **зарядове число** (**Z**), – порядковий номер хімічного елемента в періодичній системі Д. Менделєєва; дорівнює кількості протонів атомного ядра, яке дорівнює кількості електронів в оболонці атома.

Атомні електростанції (*nuclear power plants*) – електростанції, що виробляють енергію за рахунок розщеплювання ядерного палива (керованої ядерної реакції). Найважливішою частиною ядерного реактора є тепловидільні елементи – касета стрижнів, які містять діоксид урану, заключений в оболонку з міцного сплаву високоякісної сталі з цирконієм. Існують кілька типів АЕС, на яких використовують різні типи реакторів: водяні, на швидких нейтронах, високотемпературні, водяно-графітові високої потужності (найпоширеніший тип реакторів у країнах колишнього СРСР).

Б

Беккерель, Бк (*Becquerel, Bq*) – одиниця активності радіонукліда в СІ, що дорівнює 1 радіоактивному розпаду за 1 с. $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Кі}$. Названо на честь Антуана Анрі Беккереля (*Becquerel*) (1852–1909), французького фізика, що відкрив (1896) природну радіоактивність солей урану.

Бер, біологічний еквівалент рада (*rad, equivalent man, rem*) – одиниця дози (1 бер) будь-якого виду іонізуючого випромінювання, що діє на біологічну тканину і викликає такий самий біологічний ефект, як доза в 1 рад рентгенівського чи гамма-випромінювання з максимальною енергією спектра 200 кеВ. Являє собою поглинену дозу, помножену на коефіцієнт, що відображає здатність даного виду випромінювання руйнівно діяти на тканини організму. $1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} = 0,01 \text{ зіверта (Зв)}$.

Бета-випромінювання (β-випромінювання) (*beta-irradiation, beta-rays*) – корпускулярне електронне (позитронне) іонізуюче випромінювання з неперервним енергетичним спектром, що виникає при перетворенні ядер або нестабільних частинок, наприклад нейтронів. Характеризується граничною енергією бета-спектра чи середньою енергією спектра. Вільний пробіг бета-частинок у повітрі становить у середньому 30 см. Зважуючий фактор дорівнює 1.

Бета-розпад (β-розпад) (*beta-decay*) – самодовільне перетворення ядер, характерне для ряду природних і штучних радіоактивних хімічних елементів, яке супроводжується випромінювання електронів (e^-) або позитронів (e^+).

Бета-частки (*beta-particles*) – електрони й позитрони, що генерують атомні ядра при їх β -розпаді.

Біологічна дія іонізуючих випромінювань (*biological effect of ionising irradiation*) – зміни в життєдіяльності і структурі живих організмів, спричинені дією іонізуючого випромінювання.

Біологічна дозиметрія (*biological dosimetry*) – визначення дози іонізуючих випромінювань щодо зміни структури і функцій біологічних об'єктів, що виникли в результаті опромінення; методи, що при цьому використовуються, поділяються на цитогенетичні, гематологічні, молекулярно-генетичні, імунобактеріологічні, біохімічні, біофізичні тощо.

В

Важкі ядерні частинки (*heavy nuclear particles*) – протони, нейтрони, В-, к- та μ -мезони, ядра важкого водню (дейтерій), α -частинки (ядра гелію) і важкі іони (ядра інших елементів).

Викид радіоактивний (*radioactive discharge, radioactive release*) – міра ступеня виділення із значного за масштабами джерела радіоактивних речовин, перевищення якого спричинює негативні наслідки в довкіллі чи загрожує здоров'ю людини.

Випромінювання (радіація) (*radiation*) – передача енергії у вигляді електромагнітних коливань різної частоти. Всі тіла безперервно віддають енергію за допомогою випромінювання і одночасно поглинають випромінювання інших тіл. Особливе значення для живих організмів мають короткохвильове випромінювання (див. ультрафіолетові промені), видиме світло, довгохвильове випромінювання. Понад 99% енергії випромінювання Сонця, Землі та атмосфери мають довжини хвиль в інтервалі від 0,17 до 80–100 мкм. Всі організми зазнають впливу різних випромінювань.

Випромінювання електромагнітне (*electromagnetic radiation*) – сукупність змінних взаємоіндукуючих одне одного електричного і магнітного полів, які поширюються в просторі у вигляді електромагнітних хвиль.

Випромінювання корпускулярне (*corpuscular emission, particle emission, corpuscular radiation, particle radiation*) – потік частинок, в яких значення маси спокою відмінне від нуля і які здатні передати

орбітальним електронам атомів достатню для іонізації енергію. До таких частинок належать елементарні частинки (електрони, протони, нейтрони, мезони тощо), ядра різних елементів (гідрогену, гелію тощо).

Випромінювання радіаційного поясу Землі (*irradiation of radiation belt of the Earth*) – один із видів космічного випромінювання – потоки протонів і електронів, захоплених геомагнітним полем Землі, що утворюють в навколосемному космічному просторі області підвищених іонізуючих випромінювань. У центральній зоні внутрішньої області радіаційного поясу Землі, що знаходиться на відстані 2000–3000 км від поверхні Землі, потужність еквівалентної дози іонізуючих випромінювань протонами досягає кількох сотень бер за добу, а електронами – сотень тисяч бер за добу. На відстані близько 22 000 км від поверхні Землі потужність дози становить 10^4 бер-діб⁻¹. При зменшенні висоти кругової орбіти над поверхнею Землі до 400–500 км радіаційна небезпека різко зменшується.

Випромінювання фонове (*background irradiation*) – космічні промені і випромінювання іонізуюче, що генерується радіоактивними речовинами, які містяться в ґрунті і воді і до яких адаптована теперішня біота. Природний фон у різних частинах біосфери неоднаковий.

Вільні радикали (*free radicals*) – частинки (атом чи молекула), що мають неспарений електрон на зовнішній електронній оболонці та мають високу реакційну здатність й у звичайних умовах нестійкі. Вільні радикали, які утворюються в клітині – це радикали оксигену (супероксид та гідроксидний радикал), нітрогену оксид, радикали ненасичених жирних кислот тощо.

Внутрішнє опромінення (*internal exposure*) – опромінення тіла чи органів від джерела іонізуючого випромінювання, що знаходиться всередині нього. Вважається, що руйнівна дія радіонуклідів, які потрапили всередину організму, зумовлена в основному створенням ними поглиненої дози іонізуючих випромінювань (радіотоксичність), а не хімічною токсичністю. Це пов'язано з надзвичайно малою масою радіоактивних речовин при високій їх радіоактивності. Особливістю є вибіркоче накопичення радіонуклідів у критичних органах і дія високоіонізуючих альфа- і бета-випромінювань на внутрішні органи.

Внутрішня конверсія (*internal conversion*) – перетворення ядер, коли вони при переході зі збудженого стану в основний передають свою енергію одному з електронів внутрішніх орбіт (K, L чи навіть M) електронної оболонки.

Вода важка (*heavy water D₂O*) – ізотопний різновид води, в молекулах якої атоми легкого ізотопу гідрогену (протію) заміщені атомами дейтерію. Співвідношення в природних водах H:D у середньому 6900:1. Сповільнювач нейтронів і теплоносій в ядерних реакторах, ізотопний індикатор, розчинник; використовується для отримання дейтерію.

Воднева бомба (*Hydrogenous bomb, H-bomb*) – термоядерна бомба, бомба великої руйнівної сили з термоядерним зарядом. Принцип роботи В.б. оснований на використанні енергії, що виділяється при перебігу реакції синтезу легких ядер у більш важкі, яка відбувається при високих температурах.

Г

Гальмівне випромінювання (*braking irradiation*) – електромагнітне випромінювання, що виникає при розсіюванні (гальмуванні) швидкої зарядженої частинки в кулонівському полі атомних ядер і електронів. Є суттєвим для легких часточок електронів і позитронів. Спектр Г.в. неперервний, максимальна енергія дорівнює початковій енергії зарядженої частинки. Приклад: гальмівне рентгенівське випромінювання в рентгенівській трубці.

Гамма-випромінювання (**γ-випромінювання**) (*gamma-irradiation*) – короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі < 0,1 нм, що виникає при розпаді радіоактивних ядер, переході ядер із збудженого стану в основний, при взаємодії швидких заряджених часток із речовиною, анігіляції електронно-позитронних пар тощо.

Гамма-квант (-квант) (*gamma-quant, photon*) – фотон (квант електромагнітного поля) великої енергії (більше 10⁵ eВ). Г.-к. виникають при квантових переходах в атомних ядрах, перетвореннях елементарних часточок, радіоактивних розпадах тощо.

Гамма-промені (*gamma-rays, gamma-irradiation*) – електромагнітне випромінювання ультракоротких хвиль, що генерується

атомними ядрами, які радіоактивно розпадаються або при анігіляції; володіють потужною мутагенною та іншими пошкоджувальними впливами (променева хвороба та ін.).

Гарячі частки (*hot particles*) – часточки твердофазних радіоактивних викидів із високою питомою радіоактивністю. Їх величина і форма сильно варіюють (2–20 мкм). Найбільш значуща концентрація Г. ч. в місцях випробувань ядерних вибухів або при аварії на атомних підприємствах. Особливо небезпечне їх потрапляння в організм людини і тварин.

Гостра променева хвороба (ГПХ) (*acute radiation sickness*) – за особливостями періодизації і клінічної черговості патологічних процесів, що розвиваються в опроміненому організмі, виділяють три основні форми ГПХ: церебральну, кишкову і кістково-мозкову. При церебральній формі ГПХ тварина гине в момент опромінення в дозі кількох сотень Гр або протягом кількох годин після нього майже без прояву будь-яких ознак хвороби. Кишкова форма ГПХ виникає після разового опромінення в дозах від 10 Гр і більше. Дози опромінення (до 10 Гр) призводять до кістково-мозкової форми хвороби, коли ураження зазнають в основному кровотворні тканини. В розвитку і перебігу ГПХ виділяють чотири періоди: 1) початковий, або період первинних реакцій; 2) латентний, або скритий (період вдаваного благополуччя); 3) період виражених клінічних ознак, або період розквіту хвороби; 4) період реабілітації з повним або частковим одужанням.

Гостре опромінення (*acute irradiation*) – опромінення протягом короткого періоду.

Гранично допустима доза (ГДД) (*maximum permissible dose*): 1) максимальна кількість шкідливого агента, вплив якого ще не призводить до негативних наслідків в організмі чи екосистемі; 2) величина річної ефективної чи еквівалентної дози техногенного опромінення, яка не повинна збільшуватися в умовах нормальної роботи. Є основним дозовим порогом для осіб категорії А.

Гранично допустимий викид (ГДВ) – об'єм чи кількість шкідливої речовини, що потрапляє в навколишнє середовище за одиницю часу, перевищення якого спричиняє виникнення негативних наслідків у довкіллі чи загрожує здоров'ю людини.

Гранично допустимий рівень (ГДР) (*maximum permissible level*) – вплив на людину факторів навколишнього середовища періодично або на протязі усього життя (прямо чи опосередковано – через екосистеми), що не викликає соматичних чи психофізичних захворювань, а також зміни стану здоров'я, які виходять за межі діапазону пристосувальних реакцій.

Грей (Гр) (*Gray, Gy*) – одиниця вимірювання поглиненої дози іонізуючих випромінювань в СІ, при якій в 1 кг маси речовини поглинається 1 Дж енергії випромінювання (1 Гр = 1 Дж/кг = 100 рад).

Д

Детектори бета-випромінювань (*beta-irradiation detectors*) – прилади для визначення бета-часток та вимірювання їх потоків. Зазвичай використовуються лічильники Гейгера – Мюллера, іонізаційні камери, сцинтиляційні лічильники, товстошарові фотопластинки та фотоплівки.

Детектори гама-випромінювань (*gamma-irradiation detectors*) – прилади для визначення гама-променів і вимірювання енергії їх потоків. Зазвичай використовуються лічильники Гейгера – Мюллера, іонізаційні камери, сцинтиляційні лічильники та ін.

Детектори іонізуючих випромінювань рідинні (*liquid detectors of ionising radiation*) – прилади, в яких використовують водні розчини. Під впливом іонізуючого випромінювання між розчиненими у воді речовинами і продуктами радіолізу води відбуваються хімічні реакції, інтенсивність яких пов'язана з дозою випромінювання.

Детектори іонізуючих-випромінювань трекові (*track detectors of ionising radiation*) – прилади, в яких як реєструючу речовину використовують парогазову суміш, твердотільні діелектрики та ін.

Детектори іонізуючих випромінювань фотографічні (*photographic detectors of ionising radiation*) – прилади, принцип дії яких оснований на властивості іонізуючих випромінювань впливати на чуттєвий шар фотоматеріалів аналогічно видимому світлу. За ступенем почорніння проявленої фотоплівки роблять висновок про поглинену дозу.

Детектори іонізуючих-випромінювань хімічні (*chemical detectors of ionising radiation*) – прилади, в яких результат впливу іонізуючих випромінювань оцінюють за радіаційно-хімічним виходом, тобто

кількістю характерних перетворень (знов утворених атомів, іонів і т. д.) на 100 еВ поглиненої дози.

Детермінований ефект випромінювання (*deterministic radiation effect*) – біологічний ефект, що клінічно виявляється, коли передбачається існування порогу, нижче якого ефект відсутній, а вище – залежить від дози.

Джерела іонізуючого випромінювання природні (*sources of ionising radiation natural*) – джерела випромінювання, що існують у природних умовах включаючи космічне випромінювання і земні джерела випромінювання.

Джерела радіоактивного забруднення (штучні) (*sources of radioactive contamination of environment*) – виробництва, що продукують джерела іонізуючих випромінювань або працюють із ними, зокрема підприємства ядерного паливного циклу (підприємства з видобутку й переробки уранової руди, збагачення урану, ядерні реактори різних типів, радіохімічне виробництво з переробки відпрацьованого ядерного палива, об'єкти використання радіонуклідів у народному господарстві).

Довжина пробігу (R_p) (*track length, path length, path*) – характеризує ступінь поглинання електронів середовищем, що визначається товщиною шару речовини, в якій електрони повністю поглинаються.

Доза (*dose*) – у протирадіаційному захисті узагальнена назва ефективної, еквівалентної чи поглиненої дози (опромінення).

Доза випромінювання (*irradiation dose*) – енергія іонізуючого випромінювання, що поглинається речовиною, розрахована на одиницю маси.

Доза гранично допустима – див. гранично допустима доза (ГДД).

Доза ефективна (E) (*effective dose*) – величина, яка використовується для оцінки ступеня ризику виникнення віддалених наслідків опромінення всього тіла людини та окремих органів і тканин з урахуванням їх радіочутливості. Одиниці дози: у системі СІ – Зіверт (Зв), у позасистемній – бер: 1 Зв = 100 бер.

“Доза-ефект крива” (*dose-effect curve*) – графічна крива, що показує зв'язок між біологічним ефектом і дозою опромінення залежно від впливу радіації.

Доза індивідуальна (*individual dose*) – радіаційне навантаження, яке людина отримує за певний проміжок часу. Може відрізнятися для різних індивідів.

Доза колективна (*population dose*) – характеристика загального радіаційного навантаження на окремі групи населення (колективи), що є сумою всіх окремих еквівалентних доз, яку можна обчислити за значенням середнього радіаційного навантаження і кількістю індивідів.

Доза летальна, ЛД (летальна доза) (*lethal dose*) – мінімальна кількість шкідливого агента (радіації), достатнього для смерті організму. Найбільш часто в дослідженнях використовується визначення ЛД₅₀ або ЛД₁₀₀, тобто величини фактора або агента, здатні призвести до загибелі 50 % або 100 % піддослідних тварин.

Доза накопичена (*cumulative dose*) – сумарна доза, ефективна доза іонізуючих випромінювань, накопичена протягом певного інтервалу часу, як правило, за 1 рік чи за життя (Д₇₀). Використовується для прогнозування біологічного впливу іонізуючих випромінювань на людину. Так, Д₇₀ людини за рахунок природного радіаційного фону не перевищує, як правило, 0,1 Зв (10 бер), а за рахунок усіх основних джерел опромінення – 0,5 Зв (50 бер).

Доза напівлетальна, ЛД_{50/30} (*half-lethal dose*) – доза, що викликає загибель 50 % опромінених організмів протягом 30 діб після впливу радіації.

Доза опромінення, радіаційна доза (*exposure dose*) – міра впливу іонізуючого випромінювання – середня енергія, передана випромінюванням одиниці маси речовини. Основна дозиметрична величина дорівнює відношенню середньої енергії, що передана іонізуючим випромінюванням речовині в елементарному об'ємі, до маси речовини в цьому об'ємі.

Доза поглинена (*adsorbed dose*) – фундаментальна дозиметрична величина, що визначається як $D = dE/dm$, де D – поглинена доза, dE – середня енергія, передана іонізуючим випромінюванням речовині, що знаходиться в елементарному об'ємі, dm – маса речовини в цьому елементарному об'ємі; енергія може бути усереднена щодо будь-якого об'єму, і в такому випадку середня доза буде рівною повній енергії, переданій об'єму, поділена на масу цього об'єму.

В одиницях СІ вимірюється в джоулях, поділених на кілограм (Дж/кг) і має назву греї (Гр).

Доза рентгенівського і гамма-випромінювання експозиційна (*exposition dose of gamma-irradiation of X-rays*) – кількісна характеристика полів випромінювання з енергією квантів вище 3 MeV, що відображає здатність випромінювань іонізувати повітря в умовах електронної рівноваги. Одиниця Д.р. і г.в.е. – кулон на кілограм (Кл/кг), яка означає, що спряжена корпускулярна емісія (тобто електрони) на 1 кг сухого атмосферного повітря продукує іони, що несуть заряд в 1 Кл електричності кожного знаку. Широко відома і позасистемна одиниця рентген (Р): $1 \text{ Р} = 2,57976 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Доза сублетальна (*sublethal dose*) – доза забруднювача навколишнього середовища, що значно порушує життєві функції (обмін речовин, ріст, розвиток, розмноження, харчування) і викликає канцерогенний, мутагенний, тератогенний та інші ефекти, але не призводить до загибелі організму.

Дозиметр (*dosimeter, quantometer, radiation monitor, radiacmeter*) – прилад для вимірювання дози іонізуючого випромінювання за певний проміжок часу.

Дозиметрія (*dosimetry*) – область прикладної ядерної фізики, в якій проводять дослідження і теоретичні виміри тих характеристик іонізуючих випромінювань і їх взаємодій із середовищем, від яких залежать радіаційні ефекти в об'єктах живої і неживої природи, що опромінюються.

Дозиметрія іонізуючих випромінювань (*dosimetry of ionising irradiation*) – розділ радіаційної фізики і вимірювальної техніки, присвячений дослідженням полів іонізуючих випромінювань (фотонних і корпускулярних), ефектів їх взаємодії з речовиною.

Допустиме надходження радіоіотопів (*Permissible entry of radioisotopes*) – кількість радіоіотопів, надходження яких до людини (інгаляційним або харчовим шляхом) не призведе до перевищення допустимого рівня дози опромінення в 1 мЗв/рік.

Дочірній продукт (*daughter product*) – стабільний чи радіоактивний нуклід, що виникає при розпаді вихідного материнського радіонукліда.

Е

Еквівалентна доза (equivalent dose) – доза, поглинена в органі чи тканині, яка помножується на відповідний для даного виду випромінювання коефіцієнт зважування. Одиниці еквівалентної дози: у системі СІ – Зіверт (Зв), у позасистемній – бер: $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$.

Еквідозиметрія (equidosimetry) – підходи визначення еквівалентної дози з урахуванням виду, енергії іонізуючого випромінювання, розподілення поглиненої енергії тощо.

Екрановані (від опромінення) (screened) (screening, shielding) – фізичний спосіб ослаблення дії випромінювання за допомогою absorbуючих енергію матеріалів, які містяться між джерелами випромінювання та об'єктом впливу.

Експозиційна доза (доза випромінювання) (exposition dose) – кількісна характеристика іонізуючої властивості рентгенівського чи γ -випромінювання в повітрі (в діапазоні енергій від десятків кеВ до МеВ), яка вимірюється за кількістю утворених зарядів (пар іонів) у повітрі. Одиницею є СІ – Кл/кг ($1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$).

Електромагнітна хвиля (electromagnetic wave) – відстань між двома найближчими точками, коливання величин напруженості електричного і магнітного полів в яких відбувається в однаковій фазі.

Електрон (e, e⁻) (electron) – стабільна від'ємно заряджена елементарна частинка масою $9 \cdot 10^{-28}$ гр, складова частина атома. Кількість електронів у нейтральному атомі дорівнює атомному номеру, тобто кількості протонів в ядрі. Електронні оболонки атомів визначають оптичні, електричні, магнітні і хімічні властивості атомів і молекул, а також більшість властивостей твердих тіл.

Електронвольт, eВ (electronvolt) – одиниця енергії в ядерно-фізичній шкалі, що використовується для вимірювання енергії іонізуючих випромінювань. 1 eВ відповідає енергії, яку отримує електрон в полі з напруженістю 1 В : $1 \text{ eВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Електронний розпад (electron decay) – зумовлений перетворенням у природних радіоізотопах одного з нейтронів ядра в протон. При цьому ядро випромінює електрон і електронейтральну частинку, яка рухається зі швидкістю світла та не має маси спокою, зокрема антинейтрино ($\bar{\nu}$). Наслідком є утворення ядра, атомний номер якого збільшується на 1.

Елементи радіоактивні (radioactive elements) – хімічні елементи, ізотопи яких радіоактивні (технецій, прометій, полоній і всі наступні за ним елементи в періодичній системі).

Енергетика ядерна (nuclear energetics) – галузь енергетики, що використовує ядерну енергію для електрифікації і теплофікації; область науки і техніки, що розробляє методи і засоби перетворення атомної енергії в електричну і теплову.

Енергія атомна (ядерна) (nuclear energy) – енергія, що виділяється в процесі перетворень ядер атомів, використання якої ґрунтується на ланцюгових реакціях ділення важких ядер і синтезі легких ядер.

Ефект детермінований (determined effect) – ефект, при якому зі збільшенням дози опромінення зростає як частота з'явлення, так і важкість; зазвичай виникає після перевищення якогось дозового порогу; часто розглядається як ранній ефект опромінення, однак як частота, так і важкість детермінованого ефекту може зростати багато років по тому після опромінення.

Ефект оксигенний (oxygen effect) – зміни біологічної дії іонізуючих випромінювань залежно від присутності і кількості оксигену.

Ефекти післярадіаційні (post-irradiation effects) – проявлення наслідків опромінення біологічних об'єктів іонізуючим опроміненням. Їх характер і ступінь вираження залежать від об'єкта, потужності дози і виду випромінювання. Поділяють на соматичні (безпосередньо в самого опроміненого організму) і генетичні (у нащадків).

Ефект радіаційного захвату (radiative absorption effect, radiation capture effect) – при низькій енергії (швидкостей) нейтронів можливе захоплення нейтронів зустрічним ядром. Наслідком цього є утворення збудженого ядра, яке при переході в стабільний стан може випромінювати γ -кванти, протони, α -частинки.

Ефект розведення (dilution effect) – залежність виходу радіаційно-хімічних реакцій від концентрації речовини.

Ефект стохастичний (stochastic radiation effect) – ефект, при якому зі збільшенням дози опромінення зростає тільки частота виявлення, але не тяжкість; до стохастичних ефектів опромінення відносять індукцію злоякісних новоутворень і генетичні зміни у нащадків опроміненої особини.

З

Захват електронний (*electron capture*) – вид радіоактивного перетворення, при якому ядро атома захоплює електрон із своєї електронної оболонки, в результаті чого один із протонів ядра перетворюється в нейтрон. Заряд ядра атома після З.е. зменшується на одиницю, а масове число не змінюється. З.е. зумовлений надлишком протонів у радіонуклідів.

Захист від іонізуючих випромінювань (*protection from ionising irradiation*) – комплекс заходів із застосуванням спеціальних пристроїв і обладнання, що знижує рівень випромінювання до критично допустимої дози (КДД).

Збудження (*excitation*) – процес переходу електронів з одного енергетичного рівня на інший, який більш віддалений від ядра.

Злиття ядер (*nuclear fusion*) – реакція злиття легких ядер у більш важкі, яка проходить при високих температурах. Супроводжується виділенням енергії.

Зона відчуження (*exclusion zone*) – територія навколо Чорнобильської АЕС, а також території, забруднені радіоактивними речовинами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, з яких евакуація населення проведена в 1986 р. Перелік допустимих у Зоні відчуження видів господарської діяльності, порядок її організації і природокористування регламентовані Законами України.

І

Ізобари (*isobars*) – хімічні елементи, з однаковими масовими числами, але з різними атомами номерами.

Ізотони (*isotones*) – хімічні елементи з рівною кількістю нейтронів в ядрі, але різною – протонів.

Ізотопи (*isotopes*) – атоми, які мають однакову кількість протонів в ядрі (однаковий атомний номер) але розрізняються за кількістю нейтронів (масовим числом). У природі більшість хімічних елементів є сумішшю ізотопів. Розрізняють природні і штучні ізотопи, стійкі (стабільні, з якими не відбувається радіоактивних перебудов), і радіоактивні.

Інкорпорування радіоактивних речовин (*incorporation of radioactive substances*) – депонування радіонуклідів, процес накопичення радіонуклідних ізоотопів в організмі шляхом включення їх у структуру органів і тканин, а також участі в метаболізмі. Проникнення в організм радіоактивних речовин.

Іон (*ion*) – електрично заряджена частка, що утворюється при втраті чи приєднанні атомом і молекулою електронів. Іони з позитивним електричним зарядом називають катіонами, а з негативним – аніонами.

Іонізація (*ionisation*) – утворення іонів і вільних електронів (позитронів) з електрично нейтральних атомів і молекул у результаті впливу на них певних фізичних факторів.

Іонізація повітря (*air ionisation*) – утворення в повітрі іонів, що відбувається під впливом хімічних процесів, рентгенівських чи ультра-фіолетових променів, радіоактивних речовин, високих температур і т. д.

Іонізуюча здатність (*ionising ability*) – щільність іонізації, здатність іонізуючих випромінювань розщеплювати атоми на позитивні і негативні іони. Вимірюється кількістю пар іонів, що утворюються на одиницю пробігу в повітрі. Для альфа-випромінювання вона становить 10–20 пар-мм⁻¹, бета-випромінювання – 5–10 пар-мм⁻¹, гамма-випромінювання – 1 пара-см⁻¹, нейтрони – сотні-десятки тисяч пар-мм⁻¹, протони – 46,000 пар на шляху пробігу.

Іонізуючі випромінювання (*ionising radiation*) – випромінювання, що викликають при потраплянні на тканини організмів іонізацію молекул води та інших хімічних речовин і володіють при цьому сильним мутагенним ефектом. Іонізуючі випромінювання поділяють на дві групи: 1) електромагнітні випромінювання (рентгенівські і гамма-промені); 2) корпускулярні випромінювання (бета-промені, швидкі, проміжні, повільні і теплові нейтрони, протони і дейтрони). Застосовуються в генетичних дослідженнях і практичній селекції (мутагенез експериментальний, індукований).

Іонізуючі частки (*ionising particles*) – частки, які викликають іонізацію атомів і молекул.

К

Камера Вільсона (*Willson chamber*) – камера, що містить перенесену пару, в якій заряджена частинка, що пролітає, утворює ланцюжок іонів та нитку туману, що конденсується на ній, – трек, який дозволяє визначати шлях заряджених часток.

Камерні моделі (*box model*) – використовують для опису перенесення (переходу) та міграції радіонуклідів. У цьому разі весь ланцюг перенесення радіонуклідів поділяють на камери, взаємодію між якими задають за допомогою коефіцієнтів.

Канцероген (*carcinogen, cancerogen*) – речовина чи фізичний агент, здатний за певних умов спричинити утворення злоякісної пухлини.

Квант (*quantum*) – 1) кількість електромагнітного випромінювання, яке атом здатний вивільнити чи поглинути в одичному акті; 2) елементарна частинка (фотон).

Коефіцієнт виносу (K_v) (*ejection coefficient*) – характеризує ступінь здатності зменшувати (виносити) кількість радіоізоотопу.

Коефіцієнт затримання (K_z) (*retention coefficient*) – характеризує здатність екосистем затримувати радіоізоотопи.

Коефіцієнт накопичення (K_n) (*dose buildup factor*) – вказує на ступінь накопичення певного радіоізоотопу з ґрунту або води їх мешканцями.

Коефіцієнт переходу (K_n) (*transition coefficient*) – визначає ступінь міграції радіонуклідів трофічними ланцюгами.

Коефіцієнт розмноження (K_p) (*multiplication constant, reproduction constant, K-factor*) – кількість нейтронів, які утворилися при діленні і беруть участь у наступних актах ділення.

Коефіцієнт смертності (*death coefficient*) – 1) відношення кількості особин, що загинули за рік із природних причин, до 1000 особин даного виду; 2) кількість людей, що померли за рік, на 1000 осіб населення.

Зважуючий фактор (коефіцієнт) Q (*factor of radiation quality*) – безрозмірний коефіцієнт, що визначає кількість того чи іншого виду іонізуючого випромінювання за величиною повної лінійної передачі енергії даного випромінювання воді. Збільшення Q підвищує міру негативних біологічних наслідків опромінення. Використовується в радіаційній безпеці. Для рентгенівського, гамма- та бета-випромінювань

$Q = 1$; для протонів та нейтронів $Q = 10$; для альфа-випромінювання та важких ядер віддачі $Q = 20$. Нині замість Q використовується радіаційний зважуючий коефіцієнт.

Космічні промені (*cosmic rays*) – потік елементарних частинок (переважно протонів та ядер гідрогену) високих енергій, що надходить із космічного простору та веде до виникнення в атмосфері Землі вторинного випромінювання, що походить від їх зіткнення з атомними ядрами газів атмосфері або будь-якої іншої речовини. Так само, як іонізуюче випромінювання, К.п. у межах Сонячної системи періодично змінюється, що зумовлено змінами активності Сонця: у період її підвищення спостерігається максимум інтенсивності К.п., і навпаки. Під час короткотривалих хромосферних спалахів на Сонці потік сонячних К.п. може в тисячі разів перевищувати середні значення, що суттєво впливає на екологічні умови.

Космогенні радіоізоотопи (*cosmogeneous radioisotope*) – утворюються внаслідок взаємодії космічних променів з ядрами хімічних елементів земного походження. Найбільша їх кількість утворюється в атмосфері, а також у верхніх шарах ґрунту, оскільки космічні промені інтенсивно поглинаються земною корою.

Критична маса (*critical mass*) – мінімальна кількість речовини, ядра якої здатні ділитися з виділенням енергії в ланцюговій реакції.

Критичний орган (*critical organ*) – найбільш радіочутливий із кількох органів, які опинилися в зоні впливу іонізуючої радіації. Це може бути орган, частина тіла, опромінення якого в даних умовах може спричинити найбільшу шкоду здоров'ю конкретної особи та її нащадкам.

Кюрі (Ki) (*Curie, Ci*) – позасистемна одиниця активності радіоактивних ізоотопів. Це кількість будь-якої радіоактивної речовини, в якій кількість радіоактивних розпадів на секунду становить $3,7 \cdot 10^{10}$, $1 Ki = 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Відповідає радіоактивності $1 \text{ г } ^{226}\text{Ra}$. Зазвичай застосовують одиниці мКи, мкКи, нКи, пКи.

Л

Ланцюгова реакція (*chain reaction*) – будь-який біологічний (фізичний або фізико-хімічний) процес, що складається з серії взаємопов'язаних взаємодій, де продукт (або енергія) кожного етапу

бере участь у наступному етапі, що призводить до підтримання і (або) прискорення ланцюга наступних реакцій.

Лейкози (*leucosis, leukosis*) – група захворювання крові, яка характеризується неконтрольним розмноженням лімфоцитів; найбільш ранні прояви канцерогенної дії радіації.

Летальна мутація (фактор) (*lethal mutation (factor)*) – генна або хромосомна мутація, що викликає передчасну загибель її носія; при цьому, очевидно, домінуюча. Л.м. фатальна для всіх організмів (гомо- та гетерозигот), а рецесивна – тільки для гомозигот.

Лінійна передача енергії (ЛПЕ) (*linear energy transfer, LET*) – середня кількість енергії, яка передається випромінюванням речовини на одиницю пройденого в ній шляху.

Лінійна щільність іонізації (ЛЩІ) (*line density of ionisation*) – характеризує іонізаційну властивість випромінювання.

Лінійні прискорювачі (*linear accelerator*) – пристрої, в яких траєкторія руху частинок близька до прямої лінії.

Лічильник Гейгера – Мюллера (*Geiger-Muller [GM] counter*) – газорозрядний детектор іонізуючих випромінювань (альфа- та бета-частинок, гамма-квантів). При потраплянні іонізуючої частинки в лічильник виникає коронний розряд. Електричні імпульси, що виникають у зовнішньому ланцюгу під час розряду, посилюються та реєструються.

Лічильник сцинтиляційний (*scintillation counter*) – прилад для реєстрації іонізуючих частинок. Він складається зі сцинтилятора, в якому частинки спричинюють спалах люмінесценції, фотоелектронного мультимплікатора, який перетворює спалах світла на імпульс електричного струму, та електронної системи, що реєструє такі імпульси. Використовується для реєстрації гамма-квантів і нейтронів.

Лічильник заряджених частинок (*counter of charged particles*) – прилади для реєстрації заряджених частинок. До них належать лічильники Гейгера – Мюллера, пропорційні, сцинтиляційні тощо.

М

Масове число, А (*mass number*) – загальна кількість протонів і нейтронів в ядрі даного атома.

Медична радіологія (*radiology and nuclear medicine, medical radiology*) – розділ медицини, який вивчає теорію і практику

використання іонізуючого випромінювання для діагностики і лікування захворювань, а також біологічну дію цього випромінювання.

Мезони (*mesons*) – нестабільні елементарні частинки (заряджені чи електронейтральні), які належать до класу сильно взаємодіючих частинок. Існують π -мезони, К-мезони, μ - мезони тощо.

Міграція радіонуклідів (*migration of radionuclides*) – процес переносу радіонуклідів по трофічних ланцюгах у різних типах екосистемах.

Міжнародна асоціація радіаційних досліджень, МАРД (*International Association for Radiation Research, IARR*). Заснована в 1962 р. в Харрогейті.

Мішень (біологічна) (*biological target*): 1) область у біологічному об'єкті, всередині якого іонізуюче випромінювання викликає біологічний ефект; 2) поняття теорії мішені – деяка макромолекулярна або біологічна субстанція, дія на яку іонізуючого випромінювання (фотонів, електронів та ін.) викликає біологічний ефект.

Мутагенність (*mutagenicity*) – здатність того чи іншого чинника (температури, випромінювань, хімічних сполук тощо) спричинювати раптові спадкові зміни організму – мутації.

Мутації (*mutations*) – раптові, природні або викликані штучно спадкові зміни генетичного матеріалу, що призводять до зміни тих чи інших ознак.

Н

Надійність біосистем (*reliability of biosystems*) – параметр, що визначає ймовірність стійкого існування біосистем (виконання ними основних функцій: підтримання необхідної біомаси, постійне відновлення та кондиціонування середовища) в умовах постійного впливу різних факторів та в часі.

Нейтрон, N (${}^1_0\text{n}$) (*neutron*) – електронейтральна елементарна частинка зі спіном $\frac{1}{2}$ і масою, що дорівнює 1,00866 атомних одиниць маси. У вільному стані нестійкий (час життя приблизно 16 хв) і розпадається на протон, електрон і антинейтрино. Разом із фотоном Н. входить до складу атомних ядер.

Нейтрони повільні (теплові) (*low-energy neutrons*) – нейтрони з кінетичною енергією до 100 еВ.

Нейтронна активація (*neutron activation*) – третє джерело штучних радіонуклідів – процес нейтронної активації. Він може мати важливе значення як в ядерних реакторах, так і при ядерних вибухах.

Нейтронна бомба (*neutron bomb*) – малогабаритний ядерний заряд потужністю до 110^4 т тротилового еквіваленту, в якому основна частка енергії виділяється за рахунок реакції синтезу ядер дейтерію і тритію.

Нейтронне випромінювання (*neutron irradiation*) – потік електронейтральних часток (нейтронів), маса яких близька до маси протонів (1838 маси електрона). Цей тип випромінювання виникає при переході збудженого ядра в основний стан.

Некогерентне розсіювання (ефект Комптона) (*incoherent scattering, Compton scattering*) – передача електрону лише частини енергії фотона, в результаті якого електрон вилітає з атома.

Непружне розсіювання – спостерігається при проходженні електронів високої енергії поблизу ядра та призводить до втрати частини своєї енергії на збудження ядра зустрічного атома.

Непряма дія іонізуючого випромінювання – призводить до ушкодження молекул унаслідок взаємодії зі збудженими або іонізованими молекулами.

Нукліди (*nuclids*) – атоми з різною кількістю протонів і (або) нейтронів в ядрі чи різним енергетичним станом ядра. Нині відомо близько 1700 Н., з яких 200 – стабільні, тобто мають стабільне ядро, що визначає їх постійну масу. У решти Н. (близько 1400) ядра перебувають у нестійкому положенні, спонтанно розпадаючись і виділяючи радіоактивне випромінювання.

Нуклони (*nucleons, nucleones*) – загальна назва елементарних частинок, з яких побудоване атомне ядро, тобто протонів і нейтронів; кількість нуклонів в ядрі називається масовим числом даного ядра атома будь-якого елемента.

О

Опромінення (*irradiation, exposure*) – безпосередня дія якого-небудь випромінювання на організм. Вплив на живий організм будь-якими видами випромінювання, що володіють біологічним ефектом. У природних умовах організми піддаються

О. інфрачервоним, видимим і УФ сонячним світлом, а також космічними променями та іонізуючим випромінюванням земного походження. При штучному О. частіше застосовують УФ випромінювання, іонізуюче, ультрависокоочастотне. Розрізняють зовнішнє О. (джерело випромінювання – ртутні лампи, рентгенівські апарати, ядерні реактори, лазери та ін., розташовані поза опроміненою тканиною чи організмом) та внутрішнє О., що виникає при накопиченні (інкорпоруванні) радіоактивних речовин у клітинах. Ступінь О. залежить від дози поглиненого випромінювання. Розрізняють також О. тотальне (всього тіла) і локальне (часткове), гостре (за короткий проміжок часу) та хронічне, чи пролонговане (тривале), однократне та фракціоноване. О. застосовується в біології, в медицині та як лікувальний засіб.

Опромінення внутрішнє (*internal irradiation*) – опромінення від джерел іонізуючого випромінювання, що знаходяться в об'єкті. Продовжується до того часу, поки радіоактивна речовина, що міститься в організмі, не розпадеться чи не буде з нього виведена.

Опромінення зовнішнє (*external irradiation*) – опромінення від джерел іонізуючого випромінювання, що знаходяться поза організмом. Практичне значення мають гамма-, бета-, альфа- та рентгенівські промені, швидкі та повільні нейтрони, що використовуються з медичною та дослідницькою метою.

П

Первинне (сонячне) космічне випромінювання (*primary cosmic radiation*) – складається з рентгенівських променів, ультрафіолетового випромінювання, протонів, нейтронів, α -частинок, електронів, швидких ядер легких елементів; містить частинки з помірною енергією ($\leq 10^{10}$ eV).

Період напіввиведення біологічний (Тб) (*biological half-time*) – час, протягом якого з організму виводиться половина хімічного елемента, що в ньому перебуває, або його ізотопів. П.п.б. визначається хімічними властивостями, біологічним значенням елемента, властивостями тканини, в якій він фіксується, та загальним фізіологічним станом конкретного організму. Він може бути змінним спеціальним раціоном у тварин, лікувальними речовинами та іншими прийомами. П.п.б. різний для різних елементів (Na – 10–15 діб, Sr – 2,5–3 роки).

Період напіввиведення ефективний (Т_{еф}) (*effektive halfe-time*) – час, протягом якого активність радіонуклідів в організмі або органі зменшується в два рази за рахунок біологічного виведення і радіоактивного розпаду нукліда: $T_{ef} = tT^{1/2} (T_b + t^{1/2})^{-1}$, де $t^{1/2}$ – період напіврозпаду радіонукліда і T_b – період напіввиведення біологічний.

Період напіврозпаду (t_{1/2}) (*radioactive half-life, half-life period*) – час, протягом якого розпадається половина вихідної кількості ядер радіоізоотопу. Для різних радіонуклідів значення $t_{1/2}$ коливаються в широких межах.

Піони (π-мезони) (pions) – частинки, якими обмінюються нуклони, та мають масу, більшу за масу електрона, приблизно в 200 разів та меншу за масу нуклона. Групу піонів становлять заряджені π^+ та π^- , а також нейтральна π^0 частинки.

Поглинена доза (absorbed dose) – кількість енергії, отримана при опроміненні одиниці маси об'єкта. (D) визначається як середня енергія dE, яка передана випромінюванням речовині в деякому елементарному об'ємі, поділена на масу речовини dm в цьому об'ємі: $D = dE \cdot dm^{-1}$. Одиницею виміру в СІ виступає грей (Гр), що дорівнює енергії 1 Дж, поглиненій в 1 кг речовини: 1 Гр = 1 Дж кг⁻¹ = 100 рад; 1 сГр = 1 рад; мГр = 0,1 рад. Є мірою біологічного ризику.

Поділ атомних ядер (fission of atomic nucleus) – 1) розщеплення атомних ядер, розпад атомного ядра на 2 (рідше на 3 або 4) частини. Мимовільний (спонтанний) спостерігається тільки у важких елементів (наприклад, уран). Супроводжується вильотом вторинних нейтронів, гамма-квантів і виділенням енергії. На його основі здійснена ланцюгова ядерна реакція; 2) екзоенергетичний розпад атомного ядра на два або більше шматків. Може відбуватись спонтанно або в результаті захоплення енергетичної частинки, зазвичай нейтрона, в реакторі ядерного поділу.

Поділ спонтанний (spontaneous fission) – мимовільний поділ ядер атомів важких елементів (торію, урану, нептунію), плутонію та ізотопів інших трансуранових (наступних у періодичній системі за ураном) елементів.

Позитрон (e⁺) (positron) – антипод електрона. П. стабільний, але в речовині через анігіляцію з електронами (e⁻) існує дуже короткий проміжок часу. Він утворюється при взаємоперетвореннях вільних

елементарних часток. Належить до класу лептонів і бере участь в електромагнітній, слабкій і гравітаційній взаємодії.

Позитронний розпад (beta-plus decay) – виникає в деяких штучних радіоізоотопах унаслідок того, що в ядрі один із протонів перетворюється в нейтрон з випромінюванням позитрона і нейтрино (ν). Внаслідок цього дочірнє ядро має атомний номер на одиницю менший.

Поле (field) – форма матерії, за допомогою якої відбувається взаємодія між частинками речовини. Характеризується неперервністю у просторі та відсутністю маси спокою.

Порогова доза (threshold dose) – мінімальна кількість речовини, яка дає вимірюваний фізіологічний або психологічний ефект.

Порогова доза променевого ураження (threshold dose of radiation defeat) – мінімальна доза іонізуючого випромінювання, при поглинанні якої можливе виникнення того чи іншого біологічного ефекту у 1–5 % опромінених осіб.

Постійна радіоактивного розпаду (коефіцієнт пропорційності α) (radioactive (decay) constant) – величина, що характеризує вірогідність розпаду. Для певного радіоізоотопу у числовому значенні α дорівнює частці ядер, яка розпадається за одиницю часу.

Потенціал іонізації (ionisation potential) – енергія, яку необхідно передати орбітальному електрону, щоб він залишив межі електронної оболонки атома, тобто утворився іон.

Природна радіоактивність (природні джерела іонізуючого випромінювання) (natural radioactivity) – зумовлена присутністю в земній корі, ґрунті, повітрі, в біоті радіонуклідів природного походження, а також радіонуклідів, які безперервно утворюються під час взаємодії космічного випромінювання з ядрами атомів повітря та земної кори.

Прискорювачі заряджених частинок (charged particle accelerator) – пристрої для одержання іонізуючих випромінювань.

Продукт розпаду (fission product) – нуклід або радіонуклід, який утворюється внаслідок процесу розпаду. П.р. може бути отриманий безпосередньо з радіонукліда або в результаті серії послідовних розпадів через кілька радіонуклідів.

Продукти наведеної активності – з'являються при опроміненні нейтронами елементів конструкції активної зони, теплоносія, а також продуктів ділення ядерного палива.

Продукти ядерного поділу (*nuclear fission products*) – нукліди (радіоактивні або стабільні), які утворюються безпосередньо в результаті реакції ядерного поділу або наступного розпаду первинних часток поділу. Виникають у процесі розщеплення ядер урану або плутонію під дією нейтронів, як правило, α , β - і γ -випромінювачі з періодом напіврозпаду від частки секунди до десятків років.

Променева хвороба (*radiation disease, radiation sickness*) – загальні променеві ураження, що виникають при опроміненні великих ділянок тіла.

Променеве ураження (*irradiation damage*) – патологічні зміни в організмі, органах і тканинах, які розвиваються в результаті дії іонізуючого випромінювання. Ступінь ураження залежить від виду випромінювання, локалізації і об'єму опроміненої ділянки.

Протон (${}^1_1\text{p}$) (*proton*) – стабільна елементарна частинка з масою 1,00758 атомних одиниць маси (1 а. о. м. дорівнює $1,6724 \cdot 10^{-24}$ г, $1/12$ маси ізотопу ${}^{12}\text{C}$), і електричним зарядом +1 (позитивної $4,8 \cdot 10^{-10}$ абсолютної електростатичної одиниці).

Протонне випромінювання (*proton radiation*) – потік ядер атомів гідрогену ${}^1_1\text{H}$ або ${}^1_1\text{P}$, які мають одиничний позитивний заряд як позитрони, але масу у 1836,13 разів більшу.

Пружне розсіювання – зміна траєкторії зарядженої частинки в результаті взаємодії ядер, без втрати нею енергії.

Пряма дія іонізуючого випромінювання – дія що призводить до ушкодження молекул унаслідок поглинання ними енергії випромінювання (частинок або квантів електромагнітного випромінювання).

Р

Рад (rad) – позасистемна одиниця поглиненої дози іонізуючого випромінювання (іонізуючої радіації): 1 рад дорівнює дозі, при якій 1 кг опроміненої речовини поглинає 0,01 Дж енергії ($1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$) і становить 0,01 Гр – одиниці дози іонізуючого випромінювання в Міжнародній системі одиниць (СІ).

Радіаційна аварія (*radiation accident*) – втрата управління джерелом іонізуючого випромінювання, що викликано помилками обладнання, помилковою роботою персоналу, стихійним лихом чи іншими

причинами, які призвели до опромінення людей вище від установлених норм або радіоактивному забрудненню довкілля.

Радіаційна безпека (*radiation safety*) – система заходів, які спрямовані на мінімізацію наслідків опромінення, регламентацію радіаційного впливу у вигляді міжнародних рекомендацій і національних санітарних правил і норм радіаційної безпеки для різних категорій професіоналів і населення.

Радіаційний захист (протипромєневий) (*radiation protection*) – 1) система регламентації впливу іонізуючого випромінювання, спрямована на захист населення і професіональних робітників; 2) вимірювання ступеня послаблення впливу опромінення; 3) хімічні і біологічні засоби послаблення шкідливого впливу іонізуючого випромінювання.

Радіаційний фон (*background radiation*) – інтенсивність випромінювання на певній території, зумовленого наявністю в навколишньому середовищі радіоактивних нуклідів природного та штучного походження.

Радіаційні пояси (*radiation belts*) – області, утворені навколо земної кулі, які заповнені зарядженими космічними частинками, внаслідок взаємодії галактичного і сонячного випромінювання з геомагнітним полем.

Радіація (випромінювання) (*radiation*) – потік електромагнітної та корпускулярної енергії під час ядерних перетворень, випромінювання Сонця, космічного випромінювання.

Радіація іонізуюча (випромінювання іонізуюче) (*ionising radiation*) – електромагнітне чи корпускулярне випромінювання (енергія перевищує величину 10–12 eV) та взаємодія якого із середовища спричинює іонізацію атомів і молекул.

Радіоактивний розпад (*radioactive decay*) – спонтанне перетворення ядер одного хімічного елемента в ядра інших, яке супроводжується проникним випромінюванням.

Радіоактивні відходи (*radwastes, radioactive waste*) – усі радіоактивно заражені матеріали, що не мають подальшого використання. Їх захоронюють так, щоб радіоактивні речовини не потрапили в навколишнє середовище, а радіоактивне випромінювання не досягло живої природи.

Радіоактивні родини (*radioactive families*) – поділяються (за назвою родоначальників) на родини урану (^{238}U), актинію (^{235}U або ^{235}Ac), торію (^{232}Th).

Радіоактивність (*radioactivity*) – здатність деяких ядер атомів самовільно перетворюватись в інші ядра з випромінюванням частинок (чи γ -променів).

Радіовуглецевий метод (*radiocarbon method*) – використовують для визначення віку об'єктів, вік яких менше 5700 років.

Радіоекологія, або радіаційна біогеоценологія (*radioecology or radiation biogeocenology*) – наука про міграцію, поширення та вплив радіонуклідів в екосистемах різного типу.

Радіємність (*radocapacity*) – це максимальна кількість радіонуклідів, що може міститись у певній екосистемі, не порушуючи її основних трофічних властивостей, тобто продуктивності, кондиціонування і надійності.

Радіонукліди (або радіоізотопи) (*radioisotope, radionuclide*) – нестабільні ізотопи, перетворення ядер яких супроводжується випромінюванням. Їх поділяють на природні та штучні.

Радіопротектори (*radioprotectors*) – препарати, що вводяться за певний час до опромінення та переводять організм у стан підвищеної радіорезистентності.

Радіорезистентність (*radiresistence*) – поняття, протилежне за змістом поняттю радіочутливості.

Радіочутливість (*radiosensibility, radiosensitivity*) – відносна сприйнятливості клітин, тканин, органів або організмів до впливу іонізуючого випромінювання, мірою якої служить доза випромінювання, яка викликає певний рівень загибелі опромінених об'єктів: для організмів – доза, яка викликає гибель 50% особин за певний термін спостереження (LD_{50}).

Реактор ядерний (атомний) (*reactor, reactor tank, nuclear reactor*) – установка, в якій здійснюється керована ланцюгова реакція поділу атомних ядер із виділенням і відведенням теплової енергії.

Рекомбінація іонів (деіонізація) (*deionisation*) – процес, при якому вільне місце на орбіті позитивного зарядженого іону заповнюється вільним електроном і атом знову стає електронейтральним.

Рентген (Р) (*r-unit*) – одиниця дози (кількості) рентгенівського випромінювання (позасистемна); 1 Р – доза рентгенівського чи γ -випромінювання, яка спричиняє в 1 cm^3 повітря при нормальному тиску утворення іонів, сумарний електричний заряд одного знаку яких становить одну електростатичну одиницю електрики ($1 \text{ P} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$).

Рентгенівське випромінювання (*roentgen radiation, X-ray radiation*) – короткохвильове електромагнітне випромінювання. Становить собою сукупність гальмівного і характеристичного. Утворюється при гальмуванні в речовині швидких електронів (наприклад, при бомбардуванні металевого електрода в рентгенівській трубці пучком прискорених електродів). Має велику проникну здатність.

Репарація (*reparation*) (лат. *reparo* – відновлення) – процес ліквідації уражень клітин або цілого організму різними чинниками, у тому числі іонізуючою радіацією.

Репарація ДНК (*DNA reparation*) – біохімічні процеси, які призводять до відновлення первісного стану молекули ДНК після розриву в ній міжатомних зв'язків, які викликані впливом фізико-хімічних чинників, у тому числі іонізуючим випромінюванням.

Репродуктивна загибель – втрата клітини до здібності до проліферації. Зазвичай належить до клітин, які здатні до нескінченного ділення.

Речовина (*matter*) – вид матерії, яка має масу спокою. Складається з елементарних частинок (електронів, протонів, нейтронів тощо). Речовина організована в атоми, молекули, іони, радикали та поділяється на просту та складну (хімічні сполуки).

Ризик (канцерогенний, генетичний) (*risk*) – вірогідність появи тих або інших стохастичних або нестохастичних наслідків.

С

Середня тривалість життя ядер радіоізоотопу – величина, зворотна постійній радіоактивного розпаду ($\tau = 1/\lambda$).

Слід радіоактивний – територія, забруднена радіоактивними речовинами по шляху руху радіоактивної хмари, утвореної ядерним вибухом чи викидами радіоактивних речовин підприємств ядерної промисловості та ядерної енергетики.

Соматичний (*somatic*) – який стосується організму, всіх клітин, окрім статевих.

Соматичні ефекти випромінювання (*somatic effect of radiation*) – пошкодження, які проявляються протягом життя, окрім пошкоджень, які передаються спадково.

Сонячне космічне випромінювання (*solar cosmic radiation*) – один із видів космічного випромінювання.

Стимулююча дія (радіації) (*stimulating effect (of radiation)*) – стимуляція іонізуючою радіацією росту та розвитку організмів.

Сцинтилятор (*scintillator*) – речовина, в якій під дією іонізуючого випромінювання виникають світлові спалахи – сцинтиляції.

Сцинтиляція (*scintillation*) – короткочасний світловий спалах, що виникає у сцинтиляторі під дією випромінювання.

Т

Теорія попадань – складова частина теорії мішеней, відповідно до якої попадання в мішень квантів енергії призводить до збудження відповідних атомів, при цьому попадання має місце лише тоді, коли іонізація проходить у безпосередній близькості від місця прояву ефекту.

Теорія мішені (*target theory*) – Згідно з Т.м. у біологічних об'єктах є особливо чутливі структури – «мішені», ураження яких призводить до ураження всього організму. У Т.м. розроблені математичні підходи для пояснення характеру залежності радіобіологічних ефектів від дози опромінення та інших факторів. Т.м. зазнає змін, тому є і ранні формулювання (теорія одного попадання), та більш пізні (теорія багатьох попадань, теорія кількох мішеней).

Термоядерна (воднева) бомба (*thermonuclear (hydrogen) bomb, H-bomb*) – заряд, що містить усі частини ядерної бомби, а також термоядерний заряд.

Ф

Фактор зменшення дози (ФЗД) – кількісний критерій ефективності радіопротектора.

Фон радіаційний природний (*natural background radiation*) – природний радіаційний фон, іонізуючі випромінювання від природних

джерел іонізуючих випромінювань космічного і земного походження (4,1 %).

Фонове опромінення (*background radiation*) – опромінення за рахунок радіаційного фону. Залежно від джерел іонізуючих випромінювань поділяється на зовнішнє і внутрішнє.

Фотоелектричний ефект (фотоэффект) (*photoelectric effect, photoeffect*) – поглинання однією із зовнішніх атомних електронних оболонок всієї енергії фотона, якої достатньо для «відривання» атома електрона від атома.

Фотон (*photon*) – квант електромагнітного поля, нейтральна елементарна частинка з нульовою масою і спіном; квант світла, квант поля електромагнітного випромінювання.

Фракціоноване опромінення (*fractional radiation*) – опромінення, що здійснюється у вигляді серії зазвичай короткохвильових експозицій; використовується для аналізу кумулятивної дії іонізуючих випромінювань.

Х

Характеристичне випромінювання (*characteristic radiation*) – виникає при переході електрона з однієї із зовнішніх орбіт на вакантне місце, що утворилось на внутрішній орбіті, внаслідок поглинання енергії «швидких» електронів або фотонів рентгенівського випромінювання. Має характеристичні (лінійні) спектри.

Хвороба променева гостра (*radiation disease acute*) – типовий варіант радіаційного ураження організму, що виникає в результаті одноразового загального зовнішнього рівномірного іонізуючого випромінювання в дозах, що перевищують 1 Гр.

Хвороба променева (*radiation disease*) – гостре променеве ураження, захворювання, викликане великою (понад 1 Гр) дозою іонізуючого випромінювання.

Хронічна променева хвороба (*chronic radiation sickness*) – виділяють три ступеня важкості хронічної променевої хвороби: легку, середню і важку.

Ш

Штучна радіоактивність (*artificial radioactivity*) – радіоактивність ізотопів, які виникають унаслідок ядерних реакцій.

Штучні джерела іонізуючого випромінювання (*man-made radiation source*) – створені людиною пристрої, які генерують іонізуючі випромінювання та радіоактивних речовин.

Штучні елементи (*artificial elements*) – не притаманні Землі елементи, які утворені шляхом перетворення хімічних елементів унаслідок ядерних реакцій. Нині в ядерних реакціях синтезовано 14 хімічних елементів і всі вони радіоактивні.

Я

Ядерна бомба (*nuclear bomb*) – заряд, дія якого базується на принципі використання енергії поділу ядер U^{235} чи Pu^{239} , ядра яких легко розщеплюються при захопленні повільних нейтронів.

Ядерна зброя (*nuclear weapon*) – атомна зброя, сукупність ядерних боєприпасів, способів їх доставки до мети і засобів управління; належить до зброї масового ураження і має величезну руйнівну силу.

Ядерна ланцюгова реакція (*chain nuclear reaction*) – реакція ділення атомних ядер, що самопідтримується, під дією нейтронів в умовах, коли кожний акт розподілу супроводжується випромінюванням не менше 1 нейтрона, що забезпечує підтримку реакції. При достатньо великих значеннях коефіцієнта розмноження нейтронів Я.л.р. перестає бути керованою і може призвести до ядерного вибуху. Я.л.р. – спосіб створення ядерної енергії.

Ядерне випромінювання (*nuclear irradiation*) – потоки частинок і гамма-квантів, що утворюються при ядерних перетвореннях (ядерних реакціях, радіоактивному розпаді).

Ядерне паливо (*nuclear fuel*) – речовина, яка використовується в ядерних реакторах для здійснення ядерної ланцюгової реакції розподілу і служить для отримання енергії.

Ядерний вибух (*nuclear explosion*) – атомний вибух, викликаний вивільненням ядерної енергії при надзвичайно швидко розвинутій ядерній ланцюговій реакції ділення важких ядер (^{235}U і ^{239}Pu) або при термоядерній реакції синтезу ядер гелію з легших ядер.

Ядерний заряд (*nuclear charge*) – речовина, яка містить запас ядерної енергії, що ініціює заряд та інші пристосування, які забезпечують швидке звільнення енергії для здійснення ядерного вибуху.

Ядерний реактор (*nuclear reactor*) – ядерний реактор, пристрій для здійснення керованої ядерної ланцюгової реакції розподілу.

Ядерний синтез (*nuclear synthesis*) – утворення одного атомного ядра з двох легких ядер із виділенням енергії.

Ядерні сили (*nuclear forces*) – сили, що утримують нуклони (протони і нейтрони) в атомному ядрі і діють лише на відстанях, що не перевищують 10^{-14} – 10^{-15} м.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Gudkov I. V. Vinichuk V. V. Radiobiology&Radioecology. К. : NAUU, 2006. 295 p.
2. Radioecology: Radioactivity & Ecosystems / eds. E. Van der Stricht and R. Kirchmann. Belgium : Printed by Fortempts, 2001. 602 p.
3. Батлук В. А. Радіаційна екологія. Київ : Знання, 2009. 309 с.
4. Ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи, у віддалений період: рекомендації / за ред. Б. С. Прістера. Київ : Атіка-Н, 2007. 196 с.
5. Воробьева В. В. Введение в радиоэкологию. Москва : Логос, 2009. 360 с.
6. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Радіоекологічні та радіобіологічні аспекти зрошуваного землеробства півдня України : монографія. Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2006. 260 с.
7. Гродзинський Д. М. Радіобіологія. Київ : Либідь, 2001. 448 с.
8. Гудков І. М. Радіобіологія : підручник для вищ. навчальних закладів. Київ : НУБіП України, 2016. 485 с.
9. Гудков І. М., Віннічук М. М. Сільськогосподарська радіобіологія. Житомир, 2003. 430 с.
10. Гудков І. М., Гайченко В. А., Кашпаров В. О., Кутлахмедов Ю. О., Гудков Д. І., Лазарєв М. М. Радіоекологія : навч. посіб. Київ : 2010. 417 с.
11. Гудков І. М., Гайченко В. А., Кашпаров В. О. Сільськогосподарська радіоекологія : підручник / за ред. акад. НААН України І. М. Гудкова. К. : Видавництво Ліра-К, 2017. 268 с.
12. Двадцять років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України / за ред. В. І. Балогі. К. : Атіка, 2006. 224 с.
13. Іванов Є. Радіаційна екологія : навчально-методичний посіб. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 217 с.
14. Кіцно В. О., Поліщук С. В., Гудков І. М. Основи радіобіології та радіоекології. Київ : «Хай-Тек Прес», 2008. 320 с.
15. Клименко М. О., Прищепя А. М., Лебедь О. О. Радіоекологія. Практикум. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 404 с.
16. Коваленко Г. Д. Радиоэкология Украины. Харьков : Инжек, 2008. 261 с.
17. Кравець О. П. Радіологічні наслідки радіонуклідного забруднення агроценозів. Київ : Логос, 2008. 240 с.
18. Кудряшов Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующее излучение) / Ю. Б. Кудряшов. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. 448 с.
19. Кутлахмедов О. О., Корогодін В. Л., Кольтовер В. К. Основи радіобіології. Київ : Вища шк., 2003. 319 с.
20. Лапига І. В. Радіоекологія : лабораторний практикум. Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2018. 53 с.
21. Лурье А. А. Сельскохозяйственная радиология и радиоэкология. Москва : МСХА им. К. А. Тимирязева, 2007. 227 с.
22. Моисеев А. В., Иванов В. И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. Москва : Энергоатомиздат. 1990. 354 с.
23. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Київ : МОЗ України, 1998. 135 с.
24. Основи лісової радіоекології / за ред. М. М. Калетника. К. : Держкомгосп України, 1999. 252 с.
25. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. С. Пристер, Н. А. Лоцилов, О. Ф. Немец, В. А. Поярков. Киев : Урожай, 1991. 472 с.
26. Перепелятников Г. П. Основы общей радиоэкологии. Киев : Атика, 2008. 460 с.
27. Пивоваров Ю. П., Михалев В. П. Радиационная экология. Москва : Академа, 2004. 240 с.
28. Практикум з радіобіології та радіоекології / Гайченко В. А., Гудков І. М., Кашпаров В. О. та ін. Київ : Кондор, 2010. 286 с.
29. Прикладная радиоэкология леса / Краснов В. П., Орлов А. А., Бузун В. А. та ін. Житомир : «Полісся», 2007. 679 с.
30. Сапожников Ю. А., Алиев Р. А., Калмыков С. Н. Радиоактивность окружающей среды. Москва : Бином, 2006. 286 с.
31. Сахаров В. К. Радиоэкология. СПб., Москва, Краснодар : Лань, 2006. 320 с.

32. Томілін Ю. А. Радіонукліди у водних системах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення, доза опромінення людини і контрзаходи : монографія / Томілін Ю. А., Л. І. Григор'єва. Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2008. 260 с.
33. Українсько-англо-російський тлумачний словник з радіобіології та радіоекології / В. І. Глазко [та ін.]. Київ : Чорнобильінтерінформ, 2001. 395 с.
34. Фокин А. Д., Лурье А. А., Торшин С. П. Сельскохозяйственная радиология. Москва : Дрофа, 2005. 368 с.
35. Шугуров О. О., Ананьева Т. В. Практикум з радіобіології : навч. посіб. Дніпро: РВВ ДНУ, 2015. 64 с.
36. Ярмоненко С. П. Радиобиология человека и животных. Москва : Высш. шк., 2004. 452 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

Середньобагаторічні значення КП ¹³⁷Cs для різних культур залежно від вмісту обмінного калію в ґрунті, (Бк/кг)/(Кі/км²)

Вміст обмінного К, мг/100 г	Зернові та зернобобові (зерно)											люпин жовтий		
	куку-рудза	пшениця озима	ячмінь	три-ті-кале	пшениця яра	просо	жито	овес	боби	гречка	соя		горох	вика
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,5	33	44	41	67	56	70	81	230	330	420	340	370	48	2400
1	17	22	20	34	28	35	40	110	160	210	180	190	24	1200
2	8,3	11	10	17	14	18	20	57	82	100	86	94	12	600
3	4,4	5,8	5,4	8,8	7,4	9,2	11	30	43	55	45	49	63	320
4	4,1	5,5	5,1	8,4	7,0	8,8	10	29	41	52	43	47	60	300
5	3,3	4,4	4,1	6,7	5,6	7,0	8,1	23	33	42	34	37	48	240
7	2,3	3,1	2,9	4,7	3,9	4,9	5,7	16	23	29	24	26	33	170
9	1,8	2,4	2,2	3,7	3,1	3,8	4,4	13	18	23	19	21	26	130
11	1,5	2	1,9	3,1	2,6	3,2	3,7	11	15	19	16	17	22	110
13	1,3	1,7	1,6	2,6	2,2	2,7	3,2	8,9	13	16	13	15	19	95
15	1,1	1,5	1,4	2,3	1,9	2,4	2,8	7,8	11	14	12	13	16	83
20	0,82	1,1	1,0	1,7	1,4	1,8	2,0	5,7	8,2	10	8,6	9,4	12	61

Продовження Додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Чорноземні														
15	0,46	0,62	0,57	0,94	0,78	0,98	1,1	3,3	4,6	5,9	4,8	5,2	6,7	34
20	0,33	0,44	0,41	0,67	0,56	0,70	0,81	8,8	2,3	3,3	4,2	3,4	4,8	24
25	0,26	0,35	0,33	0,54	0,45	0,56	0,65	1,8	2,7	3,3	2,8	3,0	3,8	19
30	0,23	0,31	0,29	0,40	0,39	0,49	0,57	1,6	2,3	2,9	2,4	2,6	3,3	17
25	0,10	0,13	0,12	0,20	0,17	0,21	0,24	0,69	0,98	1,3	1,0	1,1	1,4	7,3
40	0,10	0,13	0,12	0,20	0,17	0,21	0,24	0,69	0,98	1,3	1,0	1,1	1,4	7,3
45	0,07	0,09	0,08	0,13	0,11	0,14	0,16	0,46	0,65	0,84	0,69	0,75	0,95	4,8
50	0,07	0,09	0,08	0,13	0,11	0,14	0,16	0,46	0,65	0,84	0,69	0,75	0,95	4,8
60	0,07	0,075	0,07	0,11	0,10	0,12	0,14	0,31	0,55	0,10	0,58	0,64	0,81	4,1
70	0,05	0,06	0,06	0,09	0,08	0,10	0,11	0,32	0,46	0,59	0,48	0,52	0,67	3,4
80	0,04	0,06	0,05	0,09	0,07	0,09	0,11	0,30	0,42	0,54	0,44	0,49	0,62	3,2
90	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06	0,08	0,09	0,25	0,36	0,46	0,38	0,41	0,52	2,7
100	0,03	0,04	0,04	0,07	0,06	0,07	0,08	0,23	0,33	0,42	0,34	0,37	0,48	2,4

Продовження Додатку 1

Вміст обмінного К, мг/100 г	Овочеві														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Дерново-підзолисті															
0,5	4,8	12	15	11	11	15	19	26	22	19	22	22	22	33	
1	2,4	6,1	7,4	5,6	5,6	7,4	9,3	13	11,1	9,25	11,1	11,1	11,1	16,7	
2	1,20	3,1	3,7	2,8	2,8	3,7	4,6	6,5	5,6	4,6	5,6	5,6	5,6	8,3	
3	0,63	1,6	2,0	1,5	1,5	2,0	2,4	3,4	2,9	2,4	2,9	2,9	2,9	4,4	
4	0,60	1,5	1,9	1,4	1,4	1,9	2,3	3,2	2,8	2,3	2,8	2,8	2,8	4,2	
5	0,48	1,2	1,5	1,1	1,1	1,5	1,9	2,6	2,2	1,9	2,2	2,2	2,2	3,3	
7	0,34	0,85	1,0	0,78	0,78	1,0	1,3	4,8	1,6	1,3	1,6	1,6	1,6	2,3	
9	0,26	0,67	0,81	0,61	0,61	0,81	1,0	1,4	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	1,8	
11	0,23	0,56	0,69	0,52	0,52	0,69	0,85	1,2	1,8	0,85	1,8	1,8	1,8	1,5	
13	0,19	0,48	0,58	0,43	0,43	0,58	0,72	1,0	0,87	0,72	0,87	0,87	0,87	1,3	
15	0,16	0,41	0,50	0,38	0,38	0,50	0,63	0,89	0,75	0,63	0,75	0,75	0,75	1,1	
20	0,12	0,39	0,37	0,28	0,28	0,37	0,46	0,65	0,56	0,46	0,56	0,56	0,56	0,83	
Чорноземні															
15	0,07	0,18	0,21	0,16	0,16	0,21	0,26	0,36	0,31	0,26	0,31	0,31	0,31	0,047	
20	0,05	0,12	0,15	0,11	0,11	0,15	0,19	0,26	0,22	0,19	0,22	0,22	0,22	0,33	
25	0,04	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12	0,15	0,21	0,18	0,15	0,18	0,18	0,18	0,27	

Продовження Додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
30	0,03	0,09	0,10	0,08	0,10	0,13	0,18	0,16	0,13	0,16	0,16	0,23
25	0,014	0,037	0,044	0,033	0,044	0,056	0,078	0,067	0,066	0,067	0,067	0,10
40	0,014	0,037	0,044	0,033	0,044	0,056	0,078	0,067	0,066	0,067	0,067	0,10
45	0,0096	0,024	0,03	0,022	0,03	0,037	0,052	0,044	0,037	0,044	0,044	0,067
50	0,0096	0,024	0,03	0,022	0,03	0,037	0,052	0,044	0,037	0,044	0,044	0,067
60	0,0082	0,021	0,025	0,019	0,025	0,031	0,045	0,038	0,031	0,038	0,038	0,057
70	0,067	0,017	0,21	0,016	0,021	0,026	0,036	0,031	0,026	0,031	0,031	0,047
80	0,062	0,016	0,019	0,014	0,019	0,025	0,034	0,029	0,025	0,029	0,029	0,043
90	0,053	0,013	0,016	0,012	0,016	0,020	0,028	0,024	0,020	0,024	0,024	0,037
100	0,0050	0,012	0,015	0,011	0,015	0,019	0,026	0,022	0,019	0,022	0,022	0,033

146

Вміст об'ємного К, мг/100 г	Патисони	Часник	Томати					Лідер	Отрки Конкурент	Отрки Далекохідні	Фізальс Сунчиний	Фізальс Мекси- канський	
			Українець теплинний	Світанок	Ікорка	Заказний 280	7						8
			4	5	6	7	8						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<i>Дерново-підзолисті</i>													
0,5	33	33	15	30	37	37	44	41	67	33	41		
1	17	17	734	15	19	19	22	20	33	17	20		
2	8,3	8,3	3,7	7,4	9,3	9,3	11	10	17	8,3	10		
3	4,4	4,4	2,0	3,9	4,9	4,9	5,9	5,4	8,8	4,4	5,4		

Продовження Додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	4,2	4,2	1,9	3,7	4,6	4,6	5,6	5,1	8,3	4,2	5,1
5	3,3	3,3	1,5	3,0	3,7	3,7	4,4	4,1	6,7	3,3	4,1
7	2,3	2,3	1,0	2,1	2,6	2,6	3,1	2,9	4,7	2,3	2,9
9	1,8	1,8	0,81	1,6	2,0	2,0	2,4	2,2	3,7	1,8	2,2
11	1,5	1,5	0,68	1,4	1,7	1,7	2,0	1,9	3,1	1,5	1,9
13	1,3	1,3	0,58	1,2	1,4	1,4	1,7	1,6	2,6	1,3	1,6
15	1,1	1,1	0,50	1,0	1,3	1,3	1,5	1,4	2,3	1,1	1,4
20	0,83	0,83	0,37	0,74	0,93	0,93	1,8	1,0	1,7	0,83	1,0

<i>Чорноземні</i>												
15	0,47	0,47	0,21	0,41	0,52	0,52	0,62	0,57	0,93	0,47	0,57	
20	0,33	0,33	0,15	0,30	0,37	0,37	0,44	0,41	0,67	0,33	0,41	
25	0,27	0,27	0,12	0,24	0,30	0,30	0,36	0,33	0,53	0,27	0,33	
30	0,23	0,23	0,10	0,21	0,26	0,26	0,31	0,28	0,47	0,23	0,28	
25	0,10	0,10	0,04	0,09	0,11	0,11	0,13	0,12	0,20	0,10	0,12	
40	0,10	0,10	0,04	0,09	0,11	0,11	0,13	0,12	0,20	0,10	0,12	
45	0,07	0,07	0,03	0,06	0,07	0,07	0,09	0,08	0,13	0,07	0,08	
50	0,07	0,07	0,03	0,06	0,07	0,07	0,09	0,08	0,13	0,07	0,08	
60	0,057	0,057	0,025	0,05	0,063	0,063	0,075	0,069	0,11	0,057	0,069	
70	0,047	0,047	0,021	0,041	0,052	0,052	0,062	0,057	0,093	0,047	0,057	
80	0,043	0,043	0,019	0,038	0,048	0,048	0,058	0,053	0,087	0,043	0,053	
90	0,037	0,037	0,016	0,033	0,041	0,041	0,049	0,045	0,073	0,037	0,045	
100	0,033	0,033	0,015	0,030	0,037	0,037	0,044	0,041	0,067	0,033	0,041	

147

Продовження Додатку 1

Вміст обмінного К, мг/100 г	Шпінат	Морква Нанська	Морква Артек	Редиска			Петрушка	Кориандр	Календула	Капуста		
				Заря	Красни великан	Червона з білим кінчиком				Амаргер 611	Брян-швейська	Савойська
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Дерново-підзолисті</i>												
0,5	41	48	56	56	67	110	37	63	63	63	59	67
1	20	24	28	28	33	54	19	32	32	32	30	33
2	10	12	14	14	17	27	9	16	16	16	15	17
3	5,4	6,3	7,3	7,3	8,8	14	4,9	8,4	8,4	8,4	7,8	8,8
4	5,1	6,0	6,9	6,9	8,3	13	4,6	7,9	7,9	7,9	7,4	8,3
5	4,1	4,8	5,6	5,6	6,7	11	3,7	6,3	6,3	6,3	5,9	6,7
7	2,9	3,4	3,9	3,9	4,7	7,5	2,6	4,4	4,4	4,4	4,1	4,7
9	2,2	2,7	3,1	3,1	3,7	5,9	2,0	3,5	3,5	3,5	3,3	3,7
11	1,9	2,2	2,6	2,6	3,1	4,9	1,7	2,9	2,9	2,9	2,7	3,1
13	1,6	1,9	2,2	2,2	2,6	4,2	1,4	2,5	2,5	2,5	2,4	2,6
15	1,4	1,6	1,9	1,9	2,3	3,7	1,3	2,1	2,1	2,1	2,0	2,3
20	1,0	1,2	1,4	1,4	1,7	2,7	0,3	1,6	1,6	1,6	1,5	1,7

Чорноземні

15	0,57	0,67	0,78	0,78	0,93	1,5	0,52	0,88	0,88	0,88	0,83	0,93
20	0,41	0,48	0,56	0,56	0,67	1,07	0,37	0,63	0,63	0,63	0,59	0,67
25	0,33	0,38	0,44	0,44	0,53	0,86	0,30	0,50	0,50	0,50	0,47	0,53
30	0,28	0,34	0,39	0,39	0,47	0,75	0,26	0,44	0,44	0,44	0,41	0,47

Продовження Додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
25	0,12	0,14	0,17	0,17	0,20	0,32	0,11	0,19	0,19	0,19	0,18	0,20
40	0,12	0,14	0,17	0,17	0,20	0,32	0,11	0,19	0,19	0,19	0,18	0,20
45	0,08	0,10	0,11	0,11	0,13	0,21	0,07	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13
50	0,08	0,10	0,11	0,11	0,13	0,21	0,07	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13
60	0,069	0,082	0,094	0,094	0,11	0,18	0,063	0,11	0,11	0,11	0,10	0,13
70	0,057	0,067	0,078	0,078	0,093	0,15	0,052	0,088	0,088	0,088	0,083	0,093
80	0,053	0,063	0,072	0,072	0,087	0,14	0,048	0,082	0,082	0,082	0,077	0,087
90	0,045	0,053	0,061	0,061	0,073	0,12	0,041	0,070	0,070	0,070	0,065	0,073
100	0,041	0,048	0,056	0,056	0,067	0,11	0,037	0,063	0,063	0,063	0,059	0,067

Овочеві (продовження)

Вміст обмінного К, мг/100 г	Капуста					Перець гіркий	Пастернак	Фенхель	Кріп Грибовський	Пижма Духмяна		
	Червоно-качанна	Білокачанка	Брюссельська	Цвітна	Рання						Кольрабі	Гіляста
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Дерново-підзолисті</i>												
0,5	70	81	130	63	110	120	120	74	78	89	89	100
1	35	41	65	32	54	59	59	37	39	44	44	50
2	18	20	32	16	27	30	30	19	19	22	22	25
3	9,3	11	17	8,3	14	16	16	9,8	10	12	12	13
4	8,8	10	16	7,9	13	15	15	9,3	9,7	11	11	13

Продовження Додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	7,0	8,1	13	6,3	11	12	12	7,4	7,8	8,9	8,9	10
7	4,9	5,7	9,1	4,4	7,5	8,3	8,3	5,2	5,4	6,2	6,2	7,0
9	3,9	4,5	7,1	3,5	5,9	6,5	6,5	4,1	4,3	4,9	4,9	5,5
11	3,2	3,7	6,0	2,9	4,9	5,5	5,5	3,5	3,6	4,1	4,1	4,6
13	2,7	3,2	5,1	2,5	4,2	4,6	4,6	2,9	3,0	3,5	3,5	3,9
15	2,4	2,8	4,4	2,1	3,7	4,0	4,0	2,5	2,6	3,0	3,0	3,4
20	1,8	2,0	3,2	1,6	2,7	3,0	3,0	1,9	1,9	2,2	2,2	2,5

Чорноземні

15	0,98	1,1	1,8	0,89	1,5	1,7	1,7	1,0	1,1	1,2	1,2	1,4
20	0,70	0,81	1,3	0,69	1,1	1,2	1,2	0,74	0,78	0,89	0,89	1,0
25	0,56	0,65	1,0	0,50	0,86	0,95	0,95	0,59	0,62	0,71	0,71	0,8
30	0,49	0,57	0,99	0,44	0,75	0,83	0,83	0,52	0,54	0,62	0,62	0,7
25	0,21	0,24	0,39	0,19	0,32	0,36	0,36	0,22	0,23	0,27	0,27	0,3
40	0,21	0,24	0,39	0,19	0,32	0,36	0,36	0,22	0,23	0,27	0,27	0,3
45	0,14	0,16	0,26	0,13	0,21	0,24	0,24	0,15	0,16	0,18	0,18	0,2
50	0,14	0,16	0,26	0,13	0,21	0,24	0,24	0,15	0,16	0,18	0,18	0,2
60	0,12	0,14	0,22	0,11	0,18	0,20	0,20	0,13	0,13	0,15	0,15	0,17
70	0,10	0,11	0,18	0,089	0,15	0,16	0,16	0,10	0,10	0,12	0,12	0,14
80	0,09	0,11	0,168	0,082	0,14	0,15	0,15	0,096	0,10	0,12	0,12	0,13
90	0,08	0,09	0,14	0,069	0,12	0,13	0,13	0,081	0,0850	0,098	0,098	0,11
100	0,07	0,081	0,13	0,063	0,11	0,12	0,12	0,074	0,078	0,089	0,089	0,10

Продовження додатку 1

Вміст обмінного К, мг/100 г	Сагат	Бордо 237	Буряк столовий				Чорнушка	Ісоп	Шавель	Чабер	Зміє- головник	Крессагат	Гречина сагітна
			Носів- ський	Червона куля	Раннє літво								
					3	4							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<i>Дерново-підзолисті</i>													
0,5	100	110	100	130	140	120	140	140	85	230	240	320	
1	52	54	50	63	69	61	72	72	93	110	120	59	
2	26	27	25	32	34	31	36	36	46	57	59	80	
3	14	14	13	17	18	16	19	19	24	30	31	42	
4	13	13	13	16	17	15	18	18	23	29	30	40	
5	10	11	10	13	14	12	14	14	19	23	24	32	
7	7,3	7,5	7,0	8,8	9,6	8,6	10	10	13	16	17	22	
9	5,7	5,9	5,5	6,9	7,5	6,7	7,39	7,39	10	13	13	18	
11	4,8	4,9	4,6	5,8	6,3	5,6	6,6	6,6	8,5	11	11	15	
13	4,0	4,2	3,9	4,9	5,3	4,8	5,6	5,6	7,2	9,0	9,2	12	
15	3,5	3,7	3,4	4,3	4,7	4,2	4,9	4,9	6,3	7,8	8,1	11	
20	2,6	2,7	2,5	3,2	3,4	3,1	3,6	3,6	4,6	5,7	5,9	8	

Чорноземні

15	1,5	1,5	1,4	1,8	1,9	1,7	2,0	2,0	2,6	3,2	3,3	4,5
20	1,0	1,1	1,0	1,3	1,4	1,2	1,4	1,4	1,9	2,3	2,4	3,2
25	0,83	0,86	0,8	1,0	1,1	0,98	1,2	1,2	1,5	1,8	1,9	2,6
30	0,73	0,75	0,7	0,88	0,96	0,85	1,0	1,0	1,3	1,6	1,7	2,2

Продовження Додатку 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
25	0,31	0,32	0,3	0,38	0,41	0,37	0,43	0,43	0,56	0,69	0,71	0,95
40	0,31	0,32	0,3	0,38	0,41	0,37	0,43	0,43	0,56	0,69	0,71	0,95
45	0,21	0,21	0,2	0,25	0,27	0,24	0,29	0,29	0,37	0,46	0,47	0,64
50	0,21	0,21	0,2	0,25	0,27	0,24	0,29	0,29	0,37	0,46	0,47	0,64
60	0,18	0,18	0,17	0,21	0,23	0,21	0,25	0,25	0,32	0,39	0,40	0,54
70	0,15	0,15	0,14	0,18	0,19	0,17	0,20	0,20	0,26	0,32	0,33	0,45
80	0,14	0,14	0,13	0,16	0,18	0,16	0,19	0,19	0,24	0,30	0,31	0,41
90	0,11	0,12	0,11	0,14	0,15	0,13	0,16	0,16	0,20	0,25	0,26	0,35
100	0,10	0,11	0,10	0,13	0,14	0,12	0,14	0,14	0,19	0,23	0,24	0,32

Овочеві (продовження)												
Вміст обмінного К, мг/100 г	Картопля							Топінамбур				
	Невська		Незабудка		Луговська		Світанок	Каскад			7	
	2	3	4	5	6	7						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Дерново-підзолісті</i>												
0,5	63	63	63	63	63	63	89	89	44	44	63	63
1	32	32	32	32	32	32	44	44	22	22	32	32
2	16	16	16	16	16	16	22	22	11	11	16	16
3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	12	12	5,9	5,9	8,3	8,3
4	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	11	11	5,6	5,6	7,9	7,9
5	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	8,9	8,9	4,4	4,4	6,3	6,3
7	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	6,2	6,2	3,1	3,1	4,4	4,4
9	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,9	4,9	2,4	2,4	3,5	3,5

Закінчення Додатку 1

1	2	3	4	5	6	7
11	2,9	2,9	2,9	4,1	2,0	2,9
13	2,5	2,5	2,5	3,5	1,7	2,5
15	2,1	2,1	2,1	3,0	1,5	2,1
20	1,6	1,6	1,6	2,2	1,8	1,6
<i>Чорноземні</i>						
15	0,89	0,89	0,89	1,2	0,62	0,89
20	0,69	0,69	0,69	0,89	0,44	0,69
25	0,50	0,50	0,50	0,71	0,36	0,50
30	0,44	0,44	0,44	0,62	0,31	0,44
25	0,19	0,19	0,19	0,27	0,13	0,19
40	0,19	0,19	0,19	0,27	0,13	0,19
45	0,13	0,13	0,13	0,18	0,09	0,13
50	0,13	0,13	0,13	0,18	0,09	0,13
60	0,11	0,11	0,11	0,15	0,075	0,11
70	0,089	0,089	0,089	0,12	0,062	0,089
80	0,082	0,082	0,082	0,12	0,058	0,082
90	0,069	0,069	0,069	0,098	0,049	0,069
100	0,063	0,063	0,063	0,089	0,044	0,063

ДОДАТОК 2

Значення допустимих рівнів питомих активностей
радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді

№ з/п	Найменування	Допустимий рівень, Бк/кг	
		^{137}Cs	^{90}Sr
1	2	3	4
1	Зерно, борошно-круп'яні та хлібобулочні вироби		
	1.1. Зерно продовольче, у т. ч. пшениця, жито, овес, ячмінь, просо, гречка, рис, кукурудза, сорго та інших зернових культур.	50	20
	1.2. Борошно, борошняні хлібопекарські суміші, крупа, крохмаль; макаронні вироби, круп'яні вироби, толокно; напівфабрикати зернові, готові продукти у т. ч. сухі сніданки, м'ясо і ін.	30	10
	1.3. Хліб та хлібобулочні вироби, у т. ч. з добавками; продукти борошняні, кондитерські вироби, напівфабрикати з тіста.	20	5
2	Молоко та молочні продукти		
	2.1. Сире товарне молоко для промислової переробки (крім продуктів дитячого харчування), молоко рідке та вершки, сироватка; продукти кисломолочні, десерти кисломолочні та ін.; продукти вироблені на основі молока та вершків (морозиво, торти, напої, десерти та ін.).	100	20
	2.2. Масло вершкове (у т. ч. масло коров'яче, спреди, молочний жир та ін.).	200	40
	2.3. Сири сичужні тверді, сири плавлені.	200	100
	2.4. Молоко та вершки концентровані або згущені.	300	60
	2.5. Продукти молочні сухі, у т. ч. молоко, вершки та ін.; концентрати харчові на основі молока.	500	100
3	М'ясо та м'ясні продукти		
	3.1. М'ясо забійних тварин, птиці (свіже, охолоджене, заморожене) без кісток для промислової переробки, м'ясо, харчові субпродукти (у т. ч. кишки-сирець, кров харчова) забійних тварин та свійської птиці свіжі, заморожені, різних способів обробки; продукти їх переробки, у т. ч. напівфабрикати, ковбаси, консерви м'ясні та м'ясо-рослинні.	200	20
	3.2. М'ясо диких тварин та птиці.	400	40

Продовження Додатку 2

1	2	3	4
4	Риба, нерибні об'єкти промислу та продукти їх переробки		
	4.1. Риба свіжа та морожена, різних способів обробки; риб'ячий жир, ікра (у т. ч. штучна), рибні напівфабрикати, готові рибні продукти (масло, пасти та ін.), рибні пре-серви та консерви.	150	35
	4.2. Нерибні об'єкти промислу (ракоподібні, молюски та ін.), свіжі та заморожені, різних способів обробки; продукти їх переробки, у т. ч. напівфабрикати, консерви.	150	35
	4.3. Сушені або в'ялені риба та нерибні об'єкти промислу (ракоподібні, молюски та ін.).	300	70
	4.4. Морські трави та продукти їх переробки.	200	70
	4.5. Водорості та морські трави сушені.	600	200
5	Яйця птиці та продукти їх переробки		
	5.1. Яйця птиці та рідкі яєчні продукти; напівфабрикати та готові вироби з яєць птиці.	100	30
	5.2. Сушені продукти переробки яєць птиці (яєчний порошок, сухі суміші).	400	100
6	Овочі та продукти їх переробки		
	6.1. Картопля свіжа та продукти переробки, у т. ч. кулінарні вироби, напівфабрикати.	60	20
	6.2. Свіжі овочі (листові, баштанні, коренеплоди), бобові, кукурудза цукрова; продукти переробки, соки, консерви та ін.	40	20
	6.3. Овочеві концентрати (у т. ч. томатна паста, томатні соуси, кетчупи тощо).	120	50
	6.4. Сушені овочі, продукти їх переробки.	240	80
7	Фрукти та ягоди		
	7.1. Фрукти та ягоди свіжі, заморожені, консервовані; соки фруктові та ягідні.	70	10
	7.2. Продукти переробки фруктів та ягід (варення, пасти, джеми, повидло, желе та ін.).	140	20
	7.3. Сухі фрукти та ягоди.	280	40
	7.4. Горіхи та продукти їх переробки.	70	10
8	Цукор, кондитерські вироби шоколад та вироби з нього; гумка жувальна.	50	30
9	Гриби та ягоди дикорослі свіжі, заморожені, консервовані.	500	50
10	Гриби та ягоди дикорослі сушені.	2500	250

Закінчення Додатку 2

1	2	3	4
11	Насіння олійних культур (соняшнику, кунжуту, маку та ін.); продукти їх переробки, за винятком рослинних жирів та олій.	70	10
12	Жири та олії рослинні, продукти, вироблені на їх основі (маргарини, креми та ін.).	100	30
13	Чай байховий, ароматизований, з рослинними домішками, кава зелена, смажена; какао-боби, какао-порошок; сухі розчинні напої на основі чаю, какао, кави та замінників.	200	50
Напої			
14	Вода питна.	2	2
15	15.1. Мінеральна вода.	10	5
	15.2. Безалкогольні та слабоалкогольні напої, у т. ч. на основі рослинної сировини; пиво, квас.	20	20
	15.3. Алкогольні напої (за винятком пива).	50	30
16	Лікарські рослини сушені; фіточаї, мате (парагвайський чай), каркаде та ін.	200	100
17	Тютюн та тютюнові вироби.	120	50
18	Прянощі; спеції та їх суміші; приправи, у т. ч. соуси салатні заправки, майонез.	120	50
19	Харчові добавки (барвники, стабілізатори, ароматизатори, наповнювачі та ін.); оцет, сода харчова; дріжджі; харчові концентрати; супи швидкого приготування.	150	50
20	Сіль кухонна харчова та сольові суміші.	120	30
21	Мед та продукти бджільництва.	200	50

ДОДАТОК 3

Таблиця 1

**Середні значення коефіцієнтів переходу (K_n) радіонуклідів
із добового раціону в продукцію тваринництва
(% від вмісту в раціоні на 1 кг продукту)**

Вид продукції	Радіонукліди	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Молоко корів	1,0	0,13
Молоко кіз	6,0	0,6
Яловичина *	4,0	0,04
Конина	8,0	0,08
Свинина	15	0,10
Баранина	15	0,10
М'ясо куряче	45	0,20
Яйця	3,5	3,2

* Коефіцієнт переходу у м'ясо телят віком до 6 місяців дорівнює 17 %

Таблиця 2

**Коефіцієнти переходу ^{137}Cs в кормові культури (Бк/кг)
при щільності забруднення території 1 Бк/м²**

Культури	Тип ґрунту, рН сольової витяжки			
	Торф'яно-болотні, рН = 4,0–5,0	Дерново-підзолисті, рН = 4,5–5,5	Сірі лісові, рН = 5,6–6,5	Чорно-земні, рН = 6,6–7,5
Сіно природних трав	15,0	4,1	1,8	0,15
Сіно сіяних трав	4,5	2,9	1,4	0,10
Трави з природних пасовищ	4,9	1,0	1,5	0,05
Трави з окультурених пасовищ	1,6	0,7	0,4	0,03
Люцерна	–	0,8	0,2	0,06
Конюшина	1,9	1,6	0,3	0,1
Віко-вівсяна суміш	–	0,7	0,3	0,11
Люпин	–	12,9	6,4	1,1
Ріпак озимий	–	0,46	0,08	0,01
Ячмінь озимий	0,28	0,12	0,04	0,01
Буряк кормовий	0,90	0,40	0,18	0,07
Кукурудза на силос	0,35	0,15	0,09	0,01
Картопля	0,35	0,14	0,08	0,02

Таблиця 3

**Коефіцієнти переходу ^{137}Cs в зерно та солому (Бк/кг)
при щільності забруднення території 1 Ку/км²**

Культура	Тип ґрунтів					
	дерново-підзолисті		сірі лісові		чорноземні	
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
Кукурудза	3,3	2,0	0,56	3,4	0,1	0,6
Пшениця озима	4,4	14,4	0,75	2,3	0,13	1,4
Ячмінь	4,1	9,0	0,7	1,5	0,12	0,3
Пшениця яра	5,6	11,0	0,9	2,0	0,2	0,75
Овес	23,0	36,0	3,9	7,1	0,69	1,1
Соя	34,0	34,0	5,8	5,7	1,0	1,0
Горох	37,0	51,0	6,4	8,7	1,1	1,5
Люпин	240,0	129,0	41,0	22,0	7,3	3,9

Таблиця 4

**Коефіцієнти переходу ^{90}Sr у кормові культури (Бк/кг)
при щільності забруднення території 1 Кі/км²**

Культура	Тип ґрунту, рН сольової витяжки			
	Торф'яно-болотні, рН = 4,0–5,0	Дерново-підзолисті, рН = 4,5–5,5	Сірі лісові, рН = 5,6–6,5	Чорно-земні, рН = 6,6–7,5
Сіно природних трав	28,0	30,0	7,0	3,8
Сіно сіяних трав	15,0	14,0	4,0	2,0
Трави з природних пасовищ	7,2	7,5	1,8	0,9
Трави з окультурених пасовищ	4,2	3,8	1,0	0,5
Люцерна	–	24,0	12,0	4,5
Конюшина	32,0	38,0	7,0	2,7
Люпин	–	124,0	55,0	24,0
Буряк кормовий	0,78	0,32	0,12	0,05
Картопля	0,60	0,5	0,35	0,07
Кукурудза на силос	4,4	6,2	0,90	0,60

Таблиця 5

**Коефіцієнти переходу ^{90}Sr в зерно та солому (Бк/кг)
при щільності забруднення території 1 Ку/км²**

Культура	Тип ґрунтів					
	дерново-підзолисті		сірі лісові		чорноземні	
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
Кукурудза	0,2	3,0	0,05	0,75	0,1	1,5
Пшениця озима	2,4	50,4	0,3	0,96	0,15	2,9
Ячмінь	3,8	36,0	0,5	11,0	0,2	4,0
Пшениця яра	4,0	84,0	0,5	10,0	0,3	6,0
Овес	3,8	76,0	0,5	11,0	0,2	4,0
Горох	7,2	281,0	0,9	32,4	0,4	14,5

Таблиця 6

Добове споживання сухих кормів та води домашніми тваринами

Вид тварини	Споживання сухих кормів (кг/добу)		Споживання води, (л/добу)
	середнє	діапазон	
Молочні корови	16,1	10–25	50–100
М'ясна худоба (500 кг)	7,2	5–10	20–60
Телята (160 кг)	1,9	1,5–3,5	5–15
Молочні кози	1,3	1,0–3,5	5–10
Молочні вівці	1,3	1,0–2,5	5–8
М'ясні вівці (50 кг)	1,1	0,5–3,0	6–10
Свині (110 кг)	2,4	2,0–3,0	6–10
Кури несучки	0,1	0,07–0,15	0,1–0,3
Бройлери	0,07	0,05–0,15	0,1–0,3

Таблиця 7

Прогноз вмісту ^{137}Cs в раціонах, молоці та м'ясі великої рогатої худоби (громадський сектор, випас), при щільності забруднення ґрунту 162 КБк/м²

Корм	Маса, кг	Концентрація ^{137}Cs в 1 кг корму, Бк/кг	Вміст у раціоні ^{137}Cs Бк/раціон	Очікувані концен-трації ^{137}Cs	
				у молоці	у м'ясі
Трави з окультурених пасовищ	50	$0,7 \times 162 = 113$	$113 \times 50 = 5650$	56,5	226
Концентрати (дерть ячмінна)	5	$4,1 \times 4,4 = 18$	$18 \times 5 = 90$	0,9	3,6
Всього:			5740	57,4	229,6

ДОДАТОК 4

НОТАТКИ

Похибкові (поправочні) коефіцієнти (К) для опису радіоактивного розпаду елементів (за І. Н. Верховською)

t/T	К	$e^{-\lambda t}$	t/T	К	$e^{-\lambda t}$	t/T	К	$e^{-\lambda t}$
0,02	1,01	0,985	0,48	1,39	0,717	1,70	3,25	0,308
0,04	1,03	0,972	0,50	1,41	0,707	1,80	3,47	0,288
0,06	1,05	0,959	0,55	1,46	0,683	1,90	3,72	0,268
0,08	1,06	0,946	0,60	1,52	0,659	2,00	4,00	0,250
0,10	1,07	0,933	0,65	1,57	0,637	2,10	4,31	0,233
0,12	1,09	0,920	0,70	1,62	0,615	2,20	4,57	0,218
0,14	1,11	0,907	0,75	1,68	0,594	2,30	4,90	0,203
0,16	1,12	0,894	0,80	1,73	0,574	2,40	5,26	0,190
0,18	1,14	0,882	0,85	1,80	0,555	2,50	5,64	0,177
0,20	1,15	0,870	0,90	1,86	0,536	2,60	6,05	0,165
0,22	1,16	0,858	0,95	1,93	0,518	2,70	6,49	0,154
0,24	1,18	0,846	1,00	2,00	0,500	2,80	6,96	0,144
0,26	1,19	0,835	1,05	1,05	0,483	2,90	7,46	0,134
0,28	1,21	0,823	1,10	1,13	0,467	3,00	8,00	0,125
0,30	1,23	0,712	1,15	2,20	0,451	3,20	9,12	0,109
0,32	1,25	0,801	1,20	2,29	0,435	3,40	10,54	0,095
0,34	1,26	0,790	1,25	2,36	0,420	3,60	12,01	0,083
0,36	1,28	0,779	1,30	2,46	0,406	3,80	13,87	0,072
0,38	1,30	0,769	1,35	2,54	0,392	4,00	16,00	0,062
0,40	1,32	0,758	1,40	2,63	0,379	4,20	18,17	0,054
0,42	1,34	0,748	1,45	2,72	0,366	4,40	21,12	0,047
0,44	1,35	0,737	1,50	2,82	0,354	4,60	24,29	0,041
0,46	1,37	0,727	1,55	3,02	0,330	5,00	32,00	0,031

Навчальне видання

ЧОРНА Валентина Іванівна
АНАНЬЄВА Таміла Володимирівна

**РАДІОБІОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ РАДІОЕКОЛОГІЇ
ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

Дизайн обкладинки – В. Савельєва
Технічне редагування – Т. Шутова
Верстка – Ю. Семенченко

Підписано до друку _____ р. Формат 60 × 84 / 16.
Папір офсетний. Гарнітура Times. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 9,42. Наклад **300**. Замовлення № 0421-343.
Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво та друк: ОЛДІ-ПЛЮС
73034, Україна, м. Херсон, вул. Паровозна, 46а
Свідоцтво ДК № 6532 від 13.12.2018 р.

Тел.: +38 (048) 709-38-69, +38 (098) 559-45-45,
+38 (095) 559-45-45, +38 (093) 559-45-45
Для листування: а/с 20, м. Херсон, Україна, 73021
E-mail: office@oldiplus.ua