

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
САДІВНИЦТВА

Факультет плодовоовочівництва, екології та захисту рослин

Кафедра біології

ПРАКТИКУМ З РАДІОБІОЛОГІЇ

Методичні вказівки до виконання практичних занять з радіобіології студентами початкового рівня вищої освіти (молодший бакалавр) спеціальності 203 – «Садівництво та виноградарство» та 203 – «Захист і карантин рослин»



Умань–2021

Методичні вказівки підготував:

О.І. Заболотний – к. с.-г. н., доцент кафедри біології

Розглянуто і затверджено на засіданні кафедри біології (протокол від «26» серпня 2021 року № 1).

Схвалено науково-методичною комісією факультету плодоовочівництва, екології та захисту рослин

Протокол від «31» серпня 2021 року № 1

Рецензент: доктор с.-г. наук, професор, завідувач кафедри овочівництва Уманського національного університету садівництва Улянич О.І.

Заболотний О. І.

Практикум з радіобіології. Методичні вказівки до виконання практичних занять з радіобіології студентами початкового рівня вищої освіти (молодший бакалавр) спеціальності 203 – «Садівництво та виноградарство» та 202 «Захист і карантин рослин». Умань, 2021. 80 с.

ЗМІСТ

Передмова	4
Практичне заняття № 1. Влаштування, обладнання та організація робіт в радіологічних лабораторіях	5
Практичне заняття № 2. Збирання, видалення і знешкодження радіоактивних відходів. Дезактивація робочих приміщень і обладнання в лабораторіях	9
Практичне заняття № 3. Заходи і засоби індивідуального захисту при роботі з радіоактивними речовинами	14
Практичне заняття № 4. Методи виявлення іонізуючих випромінювань	17
Практичне заняття № 5. Методи визначення радіоактивності	20
Практичне заняття № 6. Фізичні основи радіобіології.	25
Практичне заняття № 7. Радіоактивність, види та одиниці вимірювання радіоактивного випромінювання.	28
Практичне заняття № 8. Види іонізуючого випромінювання.	33
Практичне заняття № 9. Принципи радіометрії іонізуючих випромінювань.	40
Практичне заняття № 10. Визначення поверхневого забруднення дозиметром ТЕРРА-П	47
Практичне заняття № 11. Порядок відбору і підготовки проб води, ґрунту, рослин та продуктів харчування для радіометрії.	51
Практичне заняття № 12. Радіохімічні методи визначення вмісту радіонуклідів в ґрунтах і рослинах.	54
Практичне заняття № 13. Прогнозування можливого радіонуклідного забруднення продукції рослинництва.	58
Практичне заняття № 14. Визначення радіонуклідного забруднення продукції рослинництва.	65
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	71
ДОДАТКИ	72

Передмова

Радіобіологія, або радіаційна біологія, - це наука про дію іонізуючих випромінювань на живі організми та їх угруповання. Останніми десятиліттями об'єктами вивчення радіобіології стали не тільки живі організми і їх угруповання, але й біологічно важливі молекули, клітини й популяції клітин, окремі процеси метаболізму. І з'явилося нове визначення радіобіології - це наука про дію іонізуючих випромінювань на живі системи всіх рівнів організації. Це формулювання не є альтернативним першому - вони обидва правильні.

Основним завданням радіобіології є вивчення закономірностей дії іонізуючих випромінювань на живий організм з метою пошуку можливостей щодо керування його реакціями на цей фактор. Воно передбачає вивчення механізмів взаємодії випромінювань з речовинами клітин і тканин, чутливості живих організмів до іонізуючих випромінювань, розробку засобів їх захисту від радіаційного ураження і шляхів після радіаційного відновлення, дослідження шляхів міграції і біологічної дії інкорпорованих організмами радіоактивних речовин.

Вивчення наслідків забруднення екосистем радіоактивними речовинами можна слід розглядати як новий абіотичний фактор середовища існування організмів, що впливає на популяції та угруповання живих організмів з відносно сталим значенням протягом тривалого часу. Саме ці проблеми є домінуючими у розвитку радіобіології.

Специфікою радіобіології як самостійного наукового напрямку є вивчення взаємодії популяції з радіоактивним навколишнім середовищем, що забезпечує можливості розвитку, виживання і визрівання організмів, умови формування структури і динаміки популяцій та угруповань організмів. Нині основні завдання радіобіології можуть бути сформульовані наступним чином:

- ретельне вивчення різних джерел надходження радіоактивних речовин у навколишнє середовище з метою зменшення їх потоків;
- спостереження за міграцією радіонуклідів трофічними ланцюгами, у тому числі, що спрямовані до людини;
- вивчення реакції живих організмів на хронічне іонізуюче випромінювання в процесі тривалого розвитку в радіаційній екосистемі;
- вивчення спільного впливу звичайних факторів середовища існування та радіоактивного забруднення на живі організми;
- визначення загальних закономірностей радіаційного добору і механізмів радіаційної адаптації, які сприяють виживанню і відтворенню популяцій в умовах радіаційного забруднення.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

ВЛАШТУВАННЯ, ОБЛАДНАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ В РАДІОЛОГІЧНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями облаштування, обладнання та організацією роботи і радіобіологічних лабораторіях.

При роботі з відкритими джерелами іонізуючого випромінювання існує можливість надходження радіоактивних речовин у навколишнє середовище, а отже, може мати місце як зовнішнє, так і внутрішнє опромінення. Тому робота з такими джерелами потребує особливої уваги й радіаційного контролю.

З цією метою при роботі з відкритими джерелами іонізуючого випромінювання ОСПУ передбачено комплекс заходів безпеки. Вони спрямовані на запобігання забрудненню повітря робочої зони, поверхонь у виробничих приміщеннях, шкіряних покривів, спецодягу персоналу, а також об'єктів навколишнього середовища.

При визначенні класу робіт враховують два основних показники радіаційної небезпеки: ефективну річну індивідуальну дозу опромінення персоналу категорії А та сумарну активність радіонукліда (радіонуклідів) на робочому місці (таблиця 1).

1. Значення активності радіонуклідів на робочому місці (кБк) для різних класів робіт

Група радіаційної небезпеки	Мінімально значима активність, кБк	Клас робіт.		
		1	2	3
А	1	Понад 10^5	Від 100 до 10^5	Від 1 до 100
Б	10	Понад 10^6	Від 10^3 до 10^6	Від 10 до 10^3
В	100	Понад 10^7	Від 10^4 до 10^7	Від 100 до 10^4
Г	1000	Понад 10^8	Від 10^5 до 10^8	Від 10^3 до 10^5

При використанні радіонуклідів різних груп радіаційної небезпеки їхню сумарну радіоактивність (З) стосовно групи А радіаційної небезпеки визначають за такою формулою: $Z = CA + 0,1CB + 0,01CV + 0,001CG$ де СА, СБ, СВ, СГ – сумарна активність радіонуклідів груп А, Б, В, та Г.

Роботи 3-го класу можуть проводитись у звичайних хімічних лабораторіях (в одному приміщенні). Такі приміщення можуть мати однозональне планування, але повинні бути обладнані приливно-витяжною вентиляцією. Роботи, при яких можливе надходження радіонуклідів у повітря, слід здійснювати у витяжних шафах.

Роботи 2-го класу виконують у приміщеннях, ізольованих від інших, або в окремій будівлі. Такі приміщення повинні мати санітарний шлюз, санітарний пропускник (душова кімната), витяжні шафи (бокси), спеціально обладнану ремонтну зону, а також пункт радіаційного контролю. Планування приміщень II класу робіт може бути одно- або двозональним. При двозональному плануванні відокремлюють зону технологічного устаткування від зони обслуговування.

Роботи 1-го класу повинні проводитись або в окремій будівлі, або в ізольованій частині будівлі з окремим входом через санітарний пропускник. У свою чергу виробничі приміщення 1-го класу робіт поділяють на три зони.

Перша зона - приміщення, де знаходяться технологічне обладнання й комунікації, які не обслуговуються і є джерелами радіоактивного забруднення.

Друга зона - приміщення періодичного перебування персоналу. Тут виконують роботи, пов'язані з ремонтом забрудненого обладнання, вивантаженням та навантаженням радіоактивних матеріалів, а також можуть тимчасово зберігатися радіоактивні речовини.

Третя зона - це приміщення, де постійно знаходиться персонал протягом робочої зміни, а також адміністративні, службові та інші допоміжні приміщення (складські приміщення нерадіоактивних матеріалів, майстерні з ремонту чистого обладнання), функціонування яких не пов'язано з безпосередньою роботою із джерелами іонізуючого випромінювання. Площу

приміщень для робіт першого і другого класів планують із розрахунку не менше 10 м² на одного працюючого.

Радіаційна безпека персоналу та населення при роботі з джерелами іонізуючого випромінювання забезпечується системою послідовних бар'єрів, якими є герметичні місткості, стінки боксів і камер, системи вентиляції, конструкції приміщень тощо.

Відповідно до ОСПУ поверхні робочих приміщень та обладнання, призначених для робіт із джерелами іонізуючих випромінювань у відкритому вигляді, повинні бути покриті міцними, термо- і вологостійкими, стійкими проти дії хімічних речовин - кислот та лугів - матеріалами, а також мати слабосорбуючу поверхню. Всі поверхні виробничих приміщень повинні бути максимально гладкими, без тріщин і нерівностей, а місця з'єднань - заокругленими.

Захист від зовнішнього опромінення персоналу забезпечується використанням дистанційного та автоматизованого обслуговування, захистом обладнання установок із великою кількістю радіоактивної речовини, засобів індивідуального захисту, дотриманням регламентованих значень потужностей доз опромінення, виведенням радіонуклідів з організму за допомогою лікувально-профілактичного харчування.

Усі особи, які працюють чи відвідують ділянки робіт із відкритими радіоактивними джерелами, забезпечуються основним комплектом засобів індивідуального захисту залежно від виду і класу робіт: комбінезоном чи костюмом, шапочкою, спецбілизною, шкарпетками, легким взуттям або черевиками, рукавичками, паперовим рушником і носовичком одноразового використання.

До додаткових засобів захисту органів зору, обличчя, рук і тіла належать окуляри закритого та відкритого типів, ручні, наголовні й універсальні щитки, пластикові рукавички, фартух, напівхалати, нарукавники, екрани для захисту окремих органів, спецвзуття тощо.

В усіх приміщеннях із постійним перебуванням персоналу, призначених для робіт із джерелами іонізуючих випромінювань у відкритому вигляді, обов'язковим є щоденне вологе прибирання. Прибирання з дезактивацією стін, підлоги, дверей і зовнішніх поверхонь устаткування слід проводити не рідше одного разу на місяць. У разі розлиття радіоактивного розчину необхідно ретельно зібрати його в спеціальний герметичний контейнер і видалити з дотриманням норм та правил безпеки. Місце пролиття розчину після цього дезактивують.

При розпорошенні радіоактивного препарату з метою запобігання поширенню радіоактивних речовин слід вимкнути вентиляцію і вжити заходів щодо збирання, видалення та дезактивації. Для дезактивації використовують спеціальні мийні засоби, склад яких наведено у відповідних додатках ОСПУ.

Питання для самоконтролю:

1. Що потрібно враховувати при визначенні класу робіт з радіоактивними речовинам ?
2. На які зхони поділяються виробничі приміщення 1-го класу робіт ?
3. Які існують вимоги поверхні робочих приміщень та обладнання до Відповідно до ОСПУ ?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

ЗБИРАННЯ, ВИДАЛЕННЯ І ЗНЕШКОДЖЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ. ДЕЗАКТИВАЦІЯ РОБОЧИХ ПРИМІЩЕНЬ І ОБЛАДНАННЯ В ЛАБОРАТОРІЯХ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями збирання, видалення і знешкодження радіоактивних відходів а також з дезактивацією робочих приміщень і обладнання в лабораторіях

Радіоактивні відходи (РАВ) – матеріальні об'єкти і субстанції, активність радіонуклідів чи радіоактивне забруднення яких перевищує рівні, встановлені діючими нормативами, за умови, що використання цих об'єктів і субстанцій не передбачається.

ОСПУ-2001 встановлюють класифікацію РАВ, що використовує критерій величини періоду піврозпаду радіонуклідів, які є у складі цих відходів:

- короткоіснуючі, у складі яких немає радіонуклідів з періодами піврозпаду, що перевищують 10 років;
- середньоіснуючі, що містять радіонукліди з періодом піврозпаду від 10 до 100 років включно;
- довгоіснуючі, які мають радіонукліди з періодами піврозпаду понад 100 років.

Залежно від агрегатного складу РАВ поділяються на рідкі, тверді і газоподібні.

До рідких РАВ належать розчини неорганічних речовин, пульпи фільтроматеріалів, органічні речовини (масла, розчинники та ін.).

До твердих РАВ належать будь-які об'єкти або речовини у твердому стані (у тому числі деталі машин, механізмів, матеріали, вироби, біологічні об'єкти, переведені у твердий стан рідкі РАВ тощо).

Рідкі РАВ за питомою активністю діляться на такі категорії: низькоактивні, середньоактивні, високоактивні, інтервали значень питомої активності для яких наведені в таблиці 2.

2. Класифікація категорій рідких радіоактивних відходів

Категорія РАВ	Інтервал значень питомої активності, Бк/кг		
	β -, γ - випромінюючі радіонукліди	α - випромінюючі радіонукліди	Трансуранові α -випромінюючі радіонукліди
Низькоактивні	Менше 10^3	Менше 10^2	Менше 10^1
Середньоактивні	Від 10^3 до 10^7	Від 10^2 до 10^6	Від 10^1 до 10^5
Високоактивні	Понад 10^7	Понад 10^6	Понад 10^5

Тверді відходи вважаються радіоактивними, якщо питома активність їх для джерел α -випромінювання більша 1 кБк/кг (для трансуранових елементів – 0,1 кБк/кг); 10 кБк/кг для джерел β - і γ -випромінювання.

Забороняється видалення рідких РАВ у навколишнє середовище, у тому числі:

- у ставки, озера і водойми, призначені для розведення риби і водоплавної птиці, а також у струмки й інші водойми, вода з яких може надходити до зазначених ставків, озер, водойм;

- у поглинаючі ями, колодязі, на поля зрошення, поля фільтрації, у системи підземного зрошення.

Допускається скидання рідких РАВ у господарсько-побутову каналізацію за одночасного дотримання таких умов:

- після попереднього розведення концентрація радіонуклідів у новоутворених розчинах не більш, ніж у 10 разів перевищує відповідні припустимі концентрації у воді і при цьому забезпечується подальше десятиразове розведення нерадіоактивними стічними водами у колекторі установи;

- сумарне скидання радіоактивних речовин протягом року не перевищить установленого значення припустимого скидання для даної установи;

- відповідності якісного і кількісного хімічного складу рідких відходів існуючим нормативним вимогам, що регламентують умови скидання стічних вод;

- перебування радіоактивних речовин у хімічній формі, що виключає можливість їхньої сорбції й осідання у системі каналізації.

При малих кількостях рідких РАВ (менше 200 л), а також при неможливості їх розведення відходи належить збирати в спеціальні ємкості для наступної відправки на пункт захоронення РАВ або спеціалізовані комбінати.

Тверді й рідкі РАВ, що підлягають захороненню, і які містять короткоживучі нукліди з періодом піврозпаду до 15 діб, витримують протягом часу, що забезпечує зниження питомої активності до значень, які вказані вище. Потім тверді РАВ видаляють із звичайним сміттям на організовані відвали, а рідкі – в комунально-побутову каналізацію.

Термін витримки РАВ, що містять велику кількість органічних речовин (піддослідні тварини, рослини, окремі їх частини і т.п.) не має перевищувати 5 діб у разі, якщо незабезпечене зберігання (витримка) в холодильних пристроях або спеціальних розчинах.

Транспортують РАВ в пункти захоронення на спеціальних машинах. Дані про збір, витримку, знешкодження РАВ в лабораторії заносять у спеціальний журнал. Для їх довготривалого зберігання використовують спеціальні сейфи стаціонарного і нестаціонарного типів.

Не рідше як один раз на рік комісія, призначена керівником закладу, перевіряє правильність ведення обліку кількості РАВ, зданих на захоронення, а також тих, що знаходяться в закладі. В разі виявлення втрат РАВ негайно повідомляють органи МВС та СБ України, а винні посадові особи притягаються до відповідальності в установленому законом порядку. У всіх приміщеннях з постійним перебуванням персоналу, призначених для робіт із джерелами іонізуючого випромінювання у відкритому вигляді, має проводитися щоденне вологе прибирання.

Періодично, але не рідше одного разу на місяць, робиться генеральне прибирання з дезактивацією стін, підлоги, дверей і зовнішніх поверхонь устаткування. Сухе прибирання виробничих приміщень, за винятком вакуумного, забороняється. У приміщеннях постійного перебування персоналу, де працюють з джерелами у відкритому вигляді, має бути передбачений сталий запас дезактивууючих засобів і миючих розчинів, що добираються з урахуванням властивостей радіонуклідів та їхніх сполук, з якими йде робота, а також характеру поверхонь, що підлягають дезактивації.

Після закінчення робіт кожен працівник має прибрати своє робоче місце і при потребі дезактивувати устаткування, інструмент, робочий посуд.

У разі забруднення радіоактивними речовинами приміщень або їх окремих ділянок негайно приступають до дезактивації. Якщо забруднення відбулося порошковою сухою речовиною, та його збирають злегка вологою ганчіркою, попередньо вимкнувши вентиляцію. Велику кількість розлитих радіоактивних рідин засипають стружкою. Після того, як основна їх кількість буде видалена, залишки забруднення знищують обробкою спеціальними миючими засобами. Дезактивацію забруднених поверхонь проводять за допомогою м'яких щіток, тампонів, змочених миючими засобами, або змивом. Після дезактивації спеціальними миючими засобами поверхню рясно промивають водою і протирають сухою чистою ганчіркою. Потім проводять контроль чистоти поверхні відповідним радіометричним приладом. Використані щітки, тампони збирають у пластикові мішки або в інші ємкості та видаляють як РАВ.

Як миючі засоби можуть використовуватись такі розчини:

- 1) пральний порошок - 10 мл , луг - 10 мл, вода - до 1 л.
- 2) щавелева кислота - 5 г, кухонна сіль - 50 г, миючий засіб ДС-РАС – 10 мл, вода – до 1 л.

Якщо не вдалося ефективно провести дезактивацію вказаними засобами, то для додаткової обробки поверхонь використовують розчин 3.

3) перманганат калію - 40 г, кислота сірчана (питома маса - 1,84) - 5 мл, вода - до 1 л.

Перманганат калію розчиняють в 1 л води при нагріванні до 600С, потім охолоджують до кімнатної температури. В розчин доливають сірчану кислоту і перемішують. Якщо оброблюваний матеріал нестійкий до розчинів, що містять кислоти, для дезактивації використовують лужний розчин 4.

4) їдкий натр -10 г, трилон Б - 10 г, вода - до 1 л. Їдкий натр розчиняють у воді, додають трилон Б, перемішують до повного розчинення.

Для дезактивації цінного обладнання, приладів готують такі розчини:

5) лимонна кислота - 10 г, вода - до 1 л.

6) щавелева кислота - 20 г, вода - до 1 л.

7) натрію гексаметафосфат - 10-20 г, вода - до 1 л. Кислоту або гексаметафосфат натрію розчиняють, перемішуючи, в 1 л води при кімнатній температурі.

При необхідності дезактивації поверхонь з лаково-фарбовим покриттям верхній шар знімають механічним (зчісування) або хімічним (за допомогою спеціальних розчинників) способом. Одяг (фартухи, нарукавники та ін.) з поліхлорвінілу та поліетилену можна дезактивувати в розчині 8.

8) миючий засіб ОП-7 - 4 г, соляна кислота - 20 мл, гексаметафосфат натрію - 4 г, вода - до 1 л.

Питання для самоконтролю:

1. Класифікацію РАВ відповідно до ОСПУ-2001.
2. У які об'єкти навколишнього середовища забороняється видалення рідких РАВ ?
3. За яких умов дозволяється скидання рідких РАВ у господарсько-побутову каналізацію ?
4. Які дії персоналу при забрудненні радіоактивними речовинами приміщень або їх окремих ділянок ?
4. Які розчини можуть використовуватись як миючі засоби ?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

ЗАХОДИ І ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПРИ РОБОТІ З РАДІОАКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

Мета роботи: ознайомитися з класифікацією заходів і засобів індивідуального захисту при роботі з радіоактивними речовинами

Особи, які працюють з відкритими радіоактивними джерелами, забезпечуються засобами індивідуального захисту: халатами, шапочками, рукавицями, пластикатовими наруківниками, фартухами, а при ліквідації аварій - напівхалатами, напівкомбінезонами, пневмокостюмами і додатковим спецвзуттям (гумові чоботи, пластикатові сліди), при роботі з радіоактивними газами, аерозолями, порошками - фільтруючими засобами захисту органів дихання (респіратор, протигаз).

У приміщеннях для роботи з відкритими радіоактивними джерелами забороняється: перебування співробітників без необхідних засобів індивідуального захисту; зберігання харчових продуктів, тютюнових виробів, косметики; робота з піпеткою без груші.

При виході із приміщення, де проводиться робота з радіоактивними речовинами, необхідно зняти спецодяг, рукавиці та інші засоби індивідуального захисту, ретельно вимити руки та перевірити їх чистоту на радіометричному приладі. При негайній обробці шкіри, незалежно від ступеня її забруднення і дезактивуєчої речовини, видалається до 90-98 % нефіксованих радіоактивних речовин, які на ній знаходяться.

При незначному забрудненні (перевищення допустимих рівнів не більше ніж у 2,5 рази) радіоактивними речовинами добре видалаються під час миття теплою проточною водою з 72% господарським милом за допомогою щітки. Щіткою користуються без натиску, щоб не викликати пошкодження шкіри і проникнення радіоактивних речовин всередину організму.

Вода має бути проточною з температурою не вище 35°C, оскільки використання гарячої води погіршує результати очистки. У разі, коли відбулася фіксація радіоактивних речовин в результаті їх реакції з білками шкіри, звичайна обробка за допомогою води і мила не ефективна.

Для видалення остаточної радіоактивності використовують миючі засоби залежно від хімічних властивостей радіоактивних речовин: адсорбенти (каолінова паста та ін.), комплексоутворювачі (трилон Б, тринатрієва сіль, лимонна кислота, унітіол, оксатіол, розчин соди та ін.), слабкі розчини кислот (частіше соляна і лимонна). Ці засоби руйнують зв'язки ізотопу з білками шкіри, сорбують радіоактивні речовини і легко змиваються зі шкіри.

При дезактивації необхідно враховувати хімічні закономірності. Наприклад, забруднення радіоактивним фосфором не треба змивати милом, оскільки при цьому утворюються нерозчинні фосфати. В цьому разі краще користуватись синтетичними миючими засобами, наприклад ОП-10 або 2% розчином соди.

Радіоактивний йод легко видаляється при обробці водою з милом і наступним використанням окислювачів (перманганат калію) та обробкою розчином сульфїту. Використання води і мила ефективно при забрудненні ^{42}K і ^{24}Na . В інших випадках краще користуватись комплексоутворюючими засобами: трилон Б (при забрудненні ^{90}Sr та ^{59}Fe), унітіол та оксатіол (при забрудненні ^{198}Au і ^{203}Hg), каолінове мило (при забрудненні ^{226}Ra). При невеликих забрудненнях шкіряних покривів тулуба необхідно ретельно вимитись під душем з господарським 72% милом.

Дуже забруднені ділянки шкіри спочатку обробляють міцним розчином калію перманганату і 5%-им розчином сірчаноокислого натрію. Потім ретельно миються під душем. Для обтирання оброблених поверхонь шкіри зручно користуватись одноразовими серветками або ватно-марлевими тампонами, котрі потім видаляють як тверді РАВ.

Якщо радіоактивне забруднення супроводжувалось невеликим пошкодженням шкіри, то ранку необхідно декілька разів промити теплою

проточною водою, а потім штучно викликати кровотечу під струменем води. Шкіру лица дезактивують водою з милом, волосся - водою з шампунем, до якого додають 3%-ий розчин лимонної кислоти.

Очі промивають під струменем теплої води з широко розкритими повіками. Для запобігання забруднення слізних каналів струмінь води направляють від внутрішнього кута ока до зовнішнього.

У разі потрапляння радіоактивних речовин до рота необхідно декілька разів прополоскати його теплою водою, а зуби і ясна вичистити зубною щіткою з пастою, після чого прополоскати 3 %-м розчином лимонної кислоти.

Якщо одноразова обробка частин тіла не дала необхідної чистоти, дезактивацію повторюють. Неефективні повторні обробки вказують на фіксацію ізотопу шкірою. Це є сигналом для взяття таких осіб під медичний нагляд.

Індивідуальний контроль за дозами опромінення персоналу проводять один раз на місяць; контроль за рівнем забруднення робочих поверхонь, обладнання, спецодягу працюючих і їх шкіряного покриву - кожний раз після роботи з радіоактивними речовинами; рівень забруднення суміжних приміщень контролюється один раз на квартал, контроль за вмістом радіоактивних речовин у повітрі робочих приміщень - не рідше двох разів на місяць, а в стічних водах - 1 раз на квартал. Дані всіх видів радіаційного контролю реєструються в журналі.

Питання для самоконтролю:

1. Якими засобами індивідуального захисту забезпечуються особи, які працюють з відкритими радіоактивними джерелами ?
2. Які дії співробітників при виході із приміщення, де проводиться робота з радіоактивними речовинами ?
3. Які миючі засоби використовуються для видалення остаточної радіоактивності ?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Мета роботи: ознайомитися з методами виявлення та ідентифікації іонізуючих випромінювань..

Основними методами виявлення іонізуючих випромінювань є:

- 1) іонізаційний,
- 2) сцинтиляційний,
- 3) люмінесцентний,
- 4) фотографічний,
- 5) хімічний,
- 6) калориметричний
- 7) біологічний.

Суть іонізаційного методу полягає в тому, що під дією іонізуючих випромінень відбувається іонізація опромінюваних об'єктів – повітря, води, твердих речовин, біологічних тканин тощо з утворенням позитивно і негативно заряджених іонів. Іони в лічильнику, що знаходиться під напругою, отримують направлений рух, утворюючи іонізаційний струм. Вимірюючи силу струму, можна отримати уяву про кількість (дозу) випромінень, а вимірюючи імпульси струму, можна визначити інтенсивність випромінювання.

Детекторами для виявлення і вимірювання іонізації зазвичай служать іонізаційні камери, пропорційні лічильники, лічильники Гейгера-Мюллера і напівпровідникові лічильники.

Можливості використання цього типу детекторів визначаються їх робочими характеристиками та метою досліджень. За принципом іонізаційного методу працюють прилади дозиметричного контролю: дозиметри (ДКГ-08А "Скаут", ДКГ-01Д "Гарант та ін.); рентгенометри ("Белла", "Прип'ять" та ін.); радіометри ("Тисс", "Бета" та ін.).

Сцинтиляційний метод оснований на реєстрації фотонів видимого світла, що виникають при збудженні атомів деяких речовин – сцинтиляторів під дією випромінювання.

Для виготовлення даного типу детекторів найчастіше використовуються кристали хімічно чистого NaI, активованого талієм (Tl).

Процес виявлення іонізуючого випромінювання відбувається в такій послідовності: γ -квант вибиває з кристала фотон, який потрапляє на фотокатод фотоелектричного помножувач (ФЕП) і, в свою чергу, вибиває з нього фотоелектрон. Фотоелектрон потрапляє на пластину - діод ФЕП і вибиває з неї до 10 електронів.

Цей процес повторюється стільки разів, скільки пластин (діодів) має ФЕП. Так, при шести діодах ФЕП на виході отримують близько 1 млн. електронів. (Наприклад, ФЕП приладу СРП-68-01 має 14 діодів).

За цим принципом працюють: рентгенометри (СРП-68-01, СРП-88); радіометри (РКБ4-1eM, РЖС-05); гамма-спектрометри (АМ-А-02-Ф1,2,3, АИ-1024-9505, АИ-4096, МУЛЬТИРАД-гамма, СКС-99 "СПУТНИК", СЕБ01-70, СЕГ-001 «АКП-С»-63, СЕГ-001м «АКП-С»-63, СЕБ-01-150 та ін.); автоматичні гамма- і бета-лічильники ("Гамма-12", "Бета-2" та ін.).

Люмінесцентні методи виявлення іонізуючого випромінювання оснований на ефектах радіофотолюмінесценції і термолюмінесценції.

При радіофотолюмінесценції під дією іонізуючих випромінень в люмінофорах – фосфатних скельцях (NaI, ZnS, активованих сріблом) утворюються центри фотолюмінісценції. Під час дії на них ультрафіолетових променів виникає видима люмінесценція, інтенсивність якої спочатку пропорційна дозі 10⁻² – 10¹ Гр, при дозі 3,5 – 10² Гр досягає максимуму і при подальшому збільшенні дози – падає.

Під дією ультрафіолетових променів центри люмінесценції руйнуються, що дає можливість проводити вимірювання дози багаторазово. При радіотермолюмінесценції поглинута енергія випромінювання перетворюється в

люмінесценцію лише під дією температури, а її інтенсивність пропорційна дозі випромінювання.

Тому дозиметри даного типу можуть слугувати накопичувачами дози. Для запобігання втрати дози необхідно підібрати фосфатні скельця, які висвітлять її при температурі близько 400°C. За цим принципом працюють дозиметри ДПГ-02, ДПГ-03, ИКСА, DTU та ін.

Фотографічний метод базується на вимірюванні ступеня потемніння фотоемульсії під впливом іонізуючих випромінень. Якщо опромінити фотоплівку в світлонепроникній касеті, то після її проявлення можна виявити помітне почорніння. Його ступінь в деякому діапазоні доз пропорційна експозиційній дозі. Опромінені плівки типу РМ-5-1, РМ-5-3 і РМ-5-4 дозволяють реєструвати γ -випромінювання в діапазоні експозиційних доз 0,02-2,0 Р, 0,3-12 Р, 0,01-50,0 Р відповідно.

Перевагами фотографічного методу є можливість його масового використання для індивідуального контролю, документальна реєстрація отриманої дози та неприйнятність до ударів і різких змін температури.

Недоліки даного методу – низька чутливість до малих доз, неможливість спостереження за ходом накопичення дози безпосередньо в процесі опромінення, залежність результатів вимірювань від умов проявлення плівки.

Хімічний метод базується на тому, що під дією іонізуючих випромінень деякі речовини можуть перетворюватись на інші. Наприклад, при опроміненні хлороформу утворюється соляна кислота. Якщо взяти хлороформ, додати до нього індикатор соляної кислоти, то при наявності іонізуючих випромінень його забарвлення починає змінюватись. Тому на корпус такого дозиметра можна наклеїти візуальну шкалу зміни забарвлення в залежності від дози опромінення. Нині зазвичай користуються так званими “сухими” (“сліпими”) феросульфатними дозиметрами, для яких використовують насичений повітрям розчин FeSO_4 в розбавленій H_2SO_4 в діапазоні вимірювання дози 20-400 Гр. Для більш високих доз (103-105 Гр) використовують церієвий дозиметр (0,1 М розчин $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)$ в 0,4 М H_2SO_4).

Калориметричний метод оснований на тому, що під дією іонізуючих випромінень в опромінюваних об'єктах підвищується температура. Наприклад, при опроміненні біологічного об'єкта дозою 1000 Р, температура його тіла підвищується не менш як на 0,001оС. Цей метод використовується для вимірювання надзвичайно високих потужностей дози.

Біологічний метод дещо відрізняється від вищезгаданих, так як в його основі лежать біологічні зміни в клітинах, тканинах, органах живих організмів, що зумовлені дією іонізуючих випромінювань. Найбільш розповсюдженим є метод визначення кількості клітин з абераціями хромосом у лімфоцитах периферичної крові людини.

Питання для самоконтролю:

1. Коротко охарактеризувати іонізаційний метод виявлення іонізуючого опромінення.
2. Коротко охарактеризувати сцинтиляційний метод виявлення іонізуючого опромінення.
3. Коротко охарактеризувати люмінесцентний метод виявлення іонізуючого опромінення.
4. Коротко охарактеризувати фотографічний метод виявлення іонізуючого опромінення.
5. Коротко охарактеризувати хімічний метод виявлення іонізуючого опромінення.
6. Коротко охарактеризувати калориметричний метод виявлення іонізуючого опромінення.
7. Коротко охарактеризувати біологічний метод виявлення іонізуючого опромінення.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ РАДІОАКТИВНОСТІ

Мета роботи: ознайомитися з методами визначення радіоактивності.

Для визначення радіоактивності використовують три основні методи радіометрії: 1) абсолютний; 2) розрахунковий; 3) відносний.

Абсолютний метод базується на використанні прямого рахунку всієї кількості часток ядер, що розпадаються в умовах геометрії, близької до 4π . При цьому активність зразка виражається не в імпульсах, а в одиницях радіоактивності – Кі і Бк. Для цього методу оцінки радіоактивності використовують такі 4π -лічильники, в які розміщують зразки: газопротічний типу СА-4БФЛ або рідинні сцинтилятори типу ЖС-1 чи ЖС-7. Даний метод поки що не має широкого практичного використання через високу вартість 4π -лічильників і велику складність підготовки зразків. Але він є практично єдиним методом для вимірювання еталонних зразків.

Розрахунковий метод базується на реєстрації імпульсів, що надходять від детектора на блок реєстрації і подальшій математичній обробці отриманих цифрових показників. При цьому істинну радіоактивність визначають за формулою:

$$A_{i\delta} = \frac{N_{0i\delta + \delta} - N_{\delta}}{\omega k \rho q r \gamma t} \times 2.22 \cdot 10^{12}$$

де $N_{0nr} = N_{nr} + \phi - N\phi$ – швидкість лічби від проби без фону;

ω – поправка на геометричні умови вимірювання;

k – поправка на поглинання випромінень в шарі повітря і вікні (стінці) лічильника;

ρ – поправка на самопоглинання в шарі препарату;

q – поправка на зворотне розсіювання від кювети; r – поправка на схему розпаду;

γ – поправка на γ -випромінювання при змішаному β - і γ -випромінюванні;
 m – вага препарату, мг;

$2,22 \cdot 10^{12}$ – перехідний коефіцієнт від числа розпадів за хвилину в Кі.

Відносний метод базується на порівнянні швидкості рахунку від препарату з відомою активністю (еталону) зі швидкістю рахунку від препарату невідомої активності (вимірюваного зразку). При цьому активність розраховують із такої пропорції:

$$A_{em} : N_{0em} = A_{np} : N_{0np} \text{ звідси } A_{np} = A_{em} \cdot N_{0np} : N_{0em}$$

У цьому методі головним є правильний підбір еталону, вартість якого у деяких випадках значно вища, ніж найдорожчий спектрометр. Тому еталони не може мати й лабораторія самого високого класу. Ними забезпечують спеціальні заводи по еталонуванню радіометричної апаратури.

На заводі еталонів проводиться еталонування-паспортизація всіх приладів, призначених для експертної оцінки вмісту радіонуклідів. В залежності від завдань лабораторіями замовляються коефіцієнти зв'язку для проб, що вимірюються. Для кожного виду зразку дані коефіцієнти визначається шляхом ділення A_{em} на N_{0em} . $A_{em} : N_{0em} = K_{зв}$. Після цього активність проби розраховують за формулою:

$$A_{np} = K_{зв} N_{0np}$$

Паспортизація проводиться не рідше одного разу на рік, так як період піврозпаду найбільш значимих радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr становить, відповідно, 30 та 20 років. Похибка за рік не перевищує 3%. Для визначення природної радіоактивності еталоном може служити радіонуклід, що найбільше накопичується живими організмами – ^{40}K . Тому використання хімічно чистої солі KCl , активність якої становить $3,87 \times 10^{-7}$ Кі/кг, дозволяє вимірювати природну радіоактивність в продукції сільськогосподарського виробництва без еталонування. До відносного методу відносяться також експрес-методи визначення сумарної β -активності:

1) Методи визначення питомої масової сумарної β -активності.

а) Метод "тонких" зразків. "Тонким" вважається зразок такої товщини, при якій поглинання випущених β -частинок незначне. Швидкість лічби детектором β -частинок, випущених зразком, n_{ef} (кількість імпульсів, зареєстрованих за одиницю часу) пов'язана з питомою масовою сумарною активністю наступним чином:

$$q = \frac{n_{\dot{\alpha}\delta}}{d\Omega \cdot \varepsilon \cdot K_i \cdot m}$$

де: m – маса зразка;

K_p – коефіцієнт поглинання β -випромінювання в речовині зразка;

$d\Omega$ – коефіцієнт, який враховує, що лише частина випущеного випромінювання потрапляє до детектору;

ε – ефективність реєстрації випромінювання детектором.

$$\varepsilon = N_z / N$$

N_z та N_n – кількість зареєстрованих частинок та тих, що потрапили до детектору.

Слід зазначити, що швидкість лічби детектора визначається не тільки β -випромінюванням зразка, але й фоновим (в основному космічним). Швидкість лічби фонового випромінювання вимірюється без зразка, а різниця загальної швидкості лічби та фонові є швидкість лічби n_{ef} , пов'язану з активністю зразка.

Загальним недоліком метода "тонких" зразків є низька чутливість внаслідок використання зразків з невеликою масою і малою активністю, що визначає низьку швидкість лічби β -випромінювання зразка і досить тривалий час вимірювань.

б) Метод "товстих" зразків. Застосовуючи метод "товстих" зразків питому масову сумарну β -активність визначають в зразках такої товщини, що її подальше збільшення не призводить до збільшення виходу β -частинок зі зразка. Наприклад, відомо, що пробіг β -частинок в біологічній тканині становить до 10 мм. Якщо взяти розмелений зразок біологічної тканини з активностями: 7 мм – 70 Бк; 8 мм – 80 Бк; 9 мм – 90 Бк; 10 мм – 100 Бк; 11 мм – 100 Бк; 12 мм – 100

Бк, то товстим шаром буде зразок товщиною 10 мм. Сумарна швидкість лічби в такому випадку не залежить від товщини зразка, а прямо залежить від його питомої масової активності і не залежить від маси і щільності зразка:

$$q = K_T \cdot n$$

Такий підхід дозволяє вимірювати зразки без зважування. Коефіцієнт K_T визначається при вимірюванні зразків з відомою питомою активністю і різний для різних радіонуклідів та їх сумішей. Тому при вимірюванні питомої масової сумарної β -активності необхідно мати інформацію про радіонуклідний склад проби і використовувати відповідний коефіцієнт.

Перевагами методу є, як вказувалося, є можливість вимірювання без зважування проби і відносно невеликий час вимірювання, який залежить від активності зразка.

2) Касетний метод. Підвищує лічильну здатність приладу та швидкість вимірювання зразку за рахунок збільшення кількості детекторів.

3) Кюветний метод. Дозволяє покращити геометричні умови вимірювання до 4π за рахунок того, що в абсолютному методі проба знаходиться в детекторі, а в даному випадку детектор знаходиться в пробі.

4) Визначення сумарної β -активності по зольному залишку. Використовується при низькій концентрації радіоактивних речовин в зразку. Розрахунок проводиться за формулою:

$$A_{np} = N_{0np} K_{зв} M$$

де M – коефіцієнт зольності, що визначається діленням маси золи в грамах на масу сирого зразку в грамах.

Питання для самоконтролю:

1. Коротко охарактеризувати абсолютний метод виявлення радіоактивності.
2. Коротко охарактеризувати розрахунковий метод виявлення радіоактивності.
3. Коротко охарактеризувати відносний метод виявлення радіоактивності.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РАДІОБІОЛОГІЇ

Мета роботи: ознайомитися з структурною будовою атома, його складовими елементами.

Будова атома. З грецької слово «атом» перекладається як неподільний. Проте, відкриття носія негативного електричного заряду – електрона, дозволило Джозефу Томсону висунути модель внутрішньої будови атома.

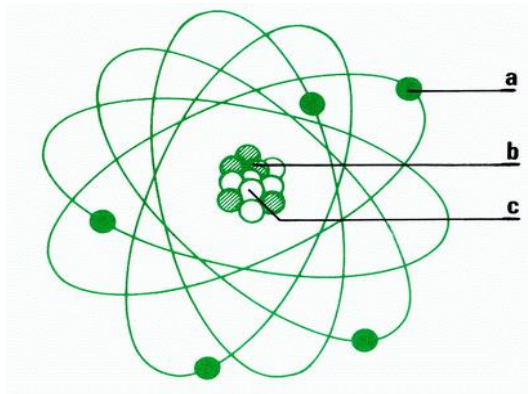


Схема будови атома:

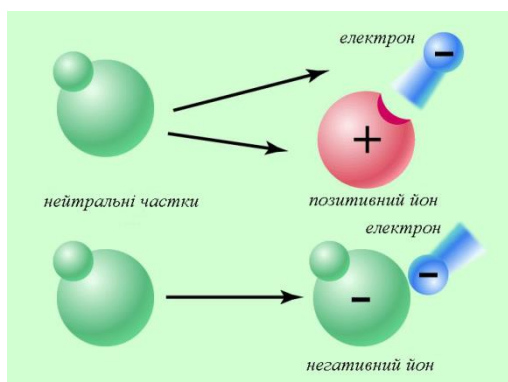
a – електрон;

b – протон;

c – нейтрон.

Атом – найдрібніша частинка хімічного елементу, що зберігає всі його властивості. За своєю структурою атом є складною системою:

- центр атома – позитивно заряджене ядро (10^{-13} см);
- негативно заряджені електрони, що обертаються навколо ядра на різних орбітах;
- негативний заряд електронів відповідає позитивному заряду ядра тому атом загалом є електрично-нейтральним;



Утворення позитивних і негативних іонів з нейтральних частинок

Будь-який атом складається з трьох типів елементарних частинок:

- протони;

- нейтрони;
- електрони.

Протон (походить від грецького слова *protos* – перший) – стійка елементарна заряджена частинка з абсолютною масою спокою $1,6726 \times 10^{-27}$ кг. Кількість протонів у ядрі стала і дорівнює порядковому або атомному номеру елемента у Періодичній таблиці Менделєєва. Протон входить до складу будь-якого ядра і несе позитивний заряд (+).

Нейтрон (походить від латинського слова *neutron* – ні те ні інше) – електрично нейтральна частинка з масою спокою $1,6749 \times 10^{-27}$ кг. У ядрі нейтрон стабільний, а поза ним – нестійкий і розпадається на протон, електрон та позитрон. Так як нейтрон не має заряду, він не відхиляється у магнітному полі та не відштовхується від ядра атома. Тому він має високу проникну здатність, що є небезпечним фактором біологічної дії іонізуючого нейтронного випромінювання. Нейтрон відсутній лише в ядрі легкого водню, яке складається лише з одного протона.

Загальна назва протонів і нейтронів – нуклони (від латинського *nucleus* – ядро). Нуклони створюють компактні ядра і знаходяться у постійному русі, між ними виникають сили тяжіння але на дуже малих відстаннях – $1,1 \times 10^{-13}$ см.

Електрон – стабільна елементарна частинка, носій найменшої маси та найменшого електричного заряду в природі. Абсолютна його маса становить $9,31 \times 10^{-31}$ кг. Маса електрона приблизно в 1840 разів менша від маси протона, а заряд чисельно дорівнює заряду протона зі знаком (–). Електрон входить до складу атома і рухається по стаціонарних орбітах навколо ядра, не випромінюючи електромагнітних хвиль і тому що має чітко визначену величину енергії для кожної орбіталі. При переході електрона з однієї орбіти на іншу його енергія змінюється з виділенням електромагнітного випромінювання певної частоти у вигляді фотона.

Кожна елементарна частинка у вільному стані характеризується такими показниками:

- маса;

- електричний заряд;
- стійкість.

Протон і електрон належать до стійких і стабільних частинок. Нейтрон є стабільним лише тоді, коли знаходиться в ядрі.

Масу ядер і елементарних частинок виражають в атомних одиницях маси (А.О.М.). За атомну одиницю маси (фізичну) прийнято 1/12 маси ізотопу атома ^{12}C . Одна атомна одиниця маси дорівнює $1,67 \times 10^{-27}$ кг. Маса атома (99,9%) зосереджена у центрі атома – ядрі.

Ядро одного й того ж хімічного елемента завжди має однакове число протонів, хоча число нейтронів може бути різним:

1. У ядрі атома кальцію ($^{20}_{40}\text{Ca}$) міститься 40 нуклонів, з них 20 протонів і 20 нейтронів.
2. У ядрі атома урану ($^{238}_{92}\text{U}$) міститься 238 нуклонів, з них 92 протонів і 146 нейтронів.

Атоми, що мають ядра з однаковим числом протонів, але з різним числом нейтронів є різновидністю того самого хімічного елемента і називаються ізотопами цього хімічного елемента.

Ядра всіх ізоотопів хімічних елементів прийнято називати нуклідами.

Радіонукліди – це радіоактивні атоми з певним масовим числом і атомним номером, тобто із визначеним енергетичним станом атомного ядра.

Питання для самоконтролю:

1. Що таке атом, основні його складові ?
2. Охарактеризувати властивості електрона.
3. Охарактеризувати властивості протона.
4. Охарактеризувати властивості нейтрона.
5. Що таке атомна маса, ізоотоп, нуклід ?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7





РАДІОАКТИВНІСТЬ, ВИДИ ТА ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи: ознайомитися з поняттям радіоактивності, її видами та одиницями вимірювання.

Радіоактивність – це штучне перетворення ядра атома нестійкого ізотопу одного хімічного елементу з основного стану в ізотоп іншого елементу, що супроводжується виділенням енергії шляхом втрати атомом елементарних частинок або ядер.

Схема радіоактивного розпаду ядер

Вид випромінювання		Нуклід	Період напіврозпаду
	○	Уран-238	4,47 млрд років
α	↓		
	○	Торій -234	24,1 доба
β	↓		
	○	Протоактиній-234	1,17 хвилин
β	↓		
	○	Уран-234	245 000 років
α	↓		
	○	Торій-230	8 000 років
α	↓		
	○	Радій-226	1 600 років
α	↓		
	○	Радон-222	3,823 доби
α	↓		
	○	Полоній-218	3,05 годин
α	↓		
	○	Свинець-214	26,8 хвилин
β	↓		
	○	Вісмут-214	19,7 хвилин
β	↓		
	○	Полоній-214	0,000164 секунди
α	↓		

		Свинець-210	22,3 роки
β	↓		
		Вісмут-210	5,01 доби
β	↓		
		Полоній-210	138,4 доби
α	↓		
		Свинець-206	Стабільний

Перетворення або розпад радіоактивних ядер супроводжується іонізуючим випромінюванням. У результаті радіоактивного розпаду виромінюються:

γ -кванти (γ -розпад);

електрони (β^- – розпад);

позитрони (β^+ – розпад);

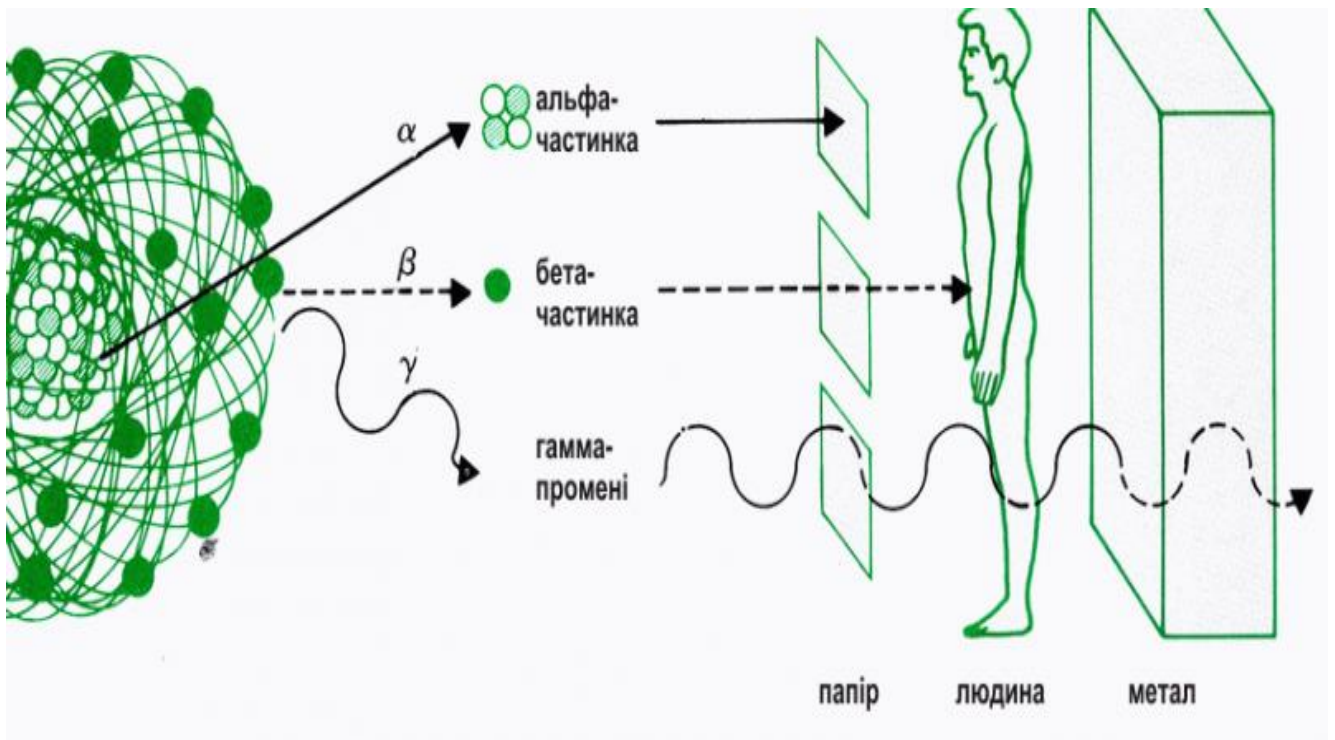
α -частинки (α – розпад).

α -випромінювання – потік позитивно заряджених частинок (ядер атомів гелію), що рухаються зі швидкістю близько 200 000 км/с. ці частинки мають велику масу і значну енергію. Проникаюча здатність частинок у твердому та рідкому середовищі становить соті долі міліметра.

β -випромінювання – потік негативно заряджених часток (електронів). β -промені в електричному полі відхиляються до позитивного полюсу. Їх швидкість наближається до швидкості світла. ці частинки мають незначну масу але володіють великою проникаючою здатністю. У повітрі вони можуть долати відстань від 10 см до кількох метрів, а у м'яких тканинах максимальна проникаюча здатність цих частинок сягає лише кількох сантиметрів.

γ -випромінювання являє собою короткохвильове електромагнітне випромінювання. Ці промені не здатні відхилитися ні в електричному ні у магнітному полях.

γ -промені за своїми властивостями близькі до рентгенівських, але мають значно вищу швидкість та енергію. Вони поширюються зі швидкістю світла. Характерною особливістю γ -променів є велика проникаюча здатність: у повітрі – до 100 м, у м'яких тканинах – 10–80 см.



Проникаюча здатність випромінювань залежно від їх типу

Інтенсивність ядерних перетворень (розпадів) характеризується їх числом за певний проміжок часу. У кожного радіоактивного ізотопу (радіонукліда) розпад – це час, впродовж якого число ядер за одиницю часу буде постійною величиною. Для характеристики радіонуклідів використовують показник *періоду напіврозпаду* радіонукліда.

Період даного радіонукліда у результаті самовільних ядерних перетворень (напіврозпад) зменшується у 2 рази. Радіоактивний розпад не може бути прискореним або зупиненим.

Активність – це міра кількості радіоактивної речовини, яка характеризує число радіоактивних перетворень за певний проміжок часу.

Одиниці активності:

- кюрі (Ки) – $3,7 \cdot 10^{10}$ ядерних перетворень за 1 секунду;
- пікокюрі (1пКи = 10^{-12} Ки);
- нанокюрі (1 нКи = 10^{-9} Ки);
- мікрокюрі (1 мКи = 10^{-6} Ки);
- мілікюрі (1 мКи = 10^{-3} Ки);

- кілокюрі (1 кКі = 10^3 Кі);
- мегакюрі (1 МКі = 10^6 Кі);
- беккерель (Бк) – одне ядерне перетворення за секунду (система СІ);
- кілобеккерель (1кБк = 10^3 Бк);
- мегабеккерель (1 МБк = 10^6 Бк).

Співвідношення між вказаними одиницями вимірювання радіоактивності складає: 1Бк = 27 пКі.

Концентрація радіоактивних речовин виражається в одиницях активності в перерахунку на одиницю маси (пКі/кг; мкКі/кг; кБк/кг) або на одиницю об'єму (пКі/м³; мкКі/дм³; кБк/л).

Для характеристики міграції ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs використовують стронцієві та цезієві одиниці (відповідно с.о. та ц.о.).

Співвідношення між одиницями активності

Показник	Одиниці активності		Співвідношення між одиницями активності
	Одиниця СІ і її позначення	Позасистемна одиниця і її позначення	
Активність (А)	Бк (Беккерель)	Кі (Кюрі)	1 Бк = 1 розпад/с = $2,0703 \times 10^{-10}$ Кі 1 Кі = $3,7 \times 10^{10}$ розпад/с = $3,7 \times 10^{10}$ Бек
Поглинена доза (D)	Гр (Грей)	Рад	1 Гр = 1 Дж/кг = 100 Рад; 1 Рад = 0,01 Гр
Потужність поглиненої дози (D)	Гр/с	Рад/с	1 Гр/с = 1 Дж/(кг×сек) = 100 рад /с 1 Рад/с = 0,01 Гр/с = 0,01 Дж/(кг×с)
Еквівалентна доза (H)	Зв (Зіверт)	Бер	$1 \text{ Зв} = \frac{1 \text{ Гр}}{\text{К}} = \frac{1 \text{ Дж/кг}}{\text{К}} = \frac{100 \text{ Рад}}{\text{К}} = 100 \text{ Бер}$ $1 \text{ Бер} = \frac{1 \text{ рад}}{\text{К}} = \frac{1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/гк}}{\text{К}} =$ $= \frac{1 \cdot 10^{-2} \text{ Гр}}{\text{К}} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}$
Потужність еквівалентної дози (H)	Зв/с	Бер/с	1 Зв/с = 100 Бер/с 1 Бер/с = 0,01 Зв/сек
Експозиційна доза (X)	Кл/кг	Р (Рентген)	1 Кл/кг = $3,88 \cdot 10^3$ Р

Потужність експозиційної дози (X)	Кл/(кг·с)	Р/с	$1 \text{ Кл}/(\text{кг}\cdot\text{сек}) = 3,88 \times 10^3 \text{ Р}/\text{сек}$ $1 \text{ Р}/\text{сек} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл}/(\text{кг}\times\text{сек})$
-----------------------------------	-----------	-----	--

Питання для самоконтролю:

1. Дати визначення радіоактивності.
2. Охарактеризувати α -випромінювання.
3. Охарактеризувати β -випромінювання.
4. Охарактеризувати γ - випромінювання.
5. Що таке період напіврозпаду.
6. Основні одиниці активності, що визначають концентрацію радіоактивних речовин.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8

ВИДИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи: ознайомитися з різницею між видами іонізуючого випромінювання.

Іонізуюче випромінювання – це випромінювання, при взаємодії якого з речовиною утворюються позитивно та негативно заряджені іони. До іонізуючого випромінювання належать усі типи випромінювань. Дозою іонізуючого випромінювання є спеціальні одиниці виміру – Рентгени.

Експозиційна доза – характеризує іонізуючу здатність випромінювання у повітрі, тобто потенційні можливості іонізуючого випромінювання. За одиницю дози у системі СІ прийнятий Кулон, поділений на кілограм (Кл/кг) – це така доза випромінювання, при якій в 1 кг сухого повітря виникає така кількість іонів, що мають заряд 1 кулон електрики кожного знаку. Позасистемною одиницею експозиційної дози є рентген (Р) – одна з найпоширеніших одиниць вимірювання радіоактивності.

Поглинута доза – характеризує енергію іонізуючого випромінювання (незалежно від виду випромінювання), яка поглинута одиницею маси опроміненого середовища. Одиниця вимірювання поглинутої дози в системі СІ – грей (Гр), позасистемна одиниця – рад. При підрахунках експозиційну дозу прирівнюють до поглинутої $1\text{Р}=1\text{рад}$, проте для точних розрахунків необхідно враховувати, що 1 Р відповідає поглинуту дозу у повітрі – 0,87 рад, у воді та живій тканині – 0,93 рад.

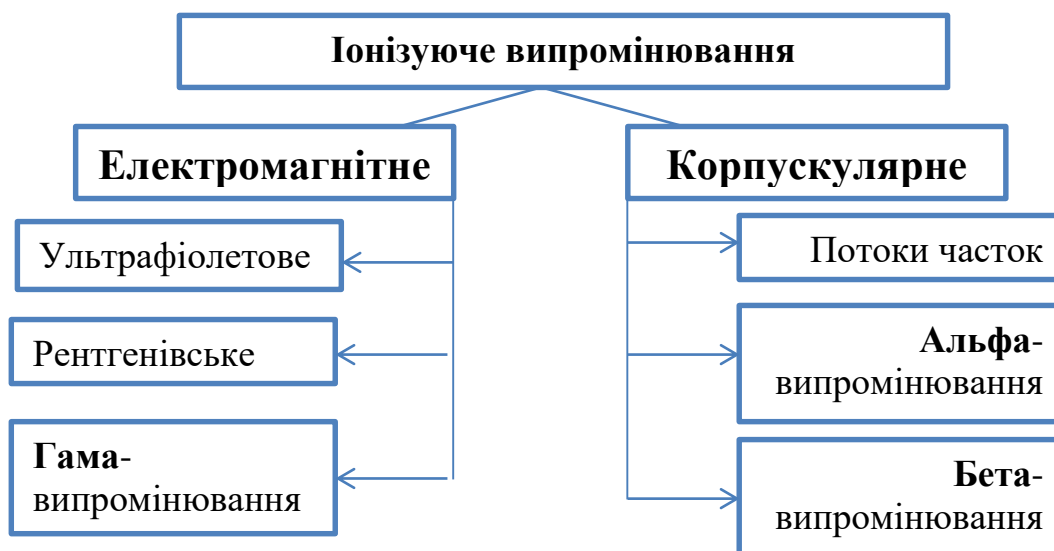
Біологічний ефект іонізуючого випромінювання надзвичайно сильний і не може бути порівняним з дією будь-якого іншого виду енергії. Однократна смертельна доза іонізуючого випромінювання для людини становить 5 Гр, тобто відповідає поглиненій енергії випромінювання 5 Дж/кг. Така кількість

теплової енергії витрачається на нагрівання склянки води до 1000 C^0 або на нагрівання тіла людини не більше, ніж на $0,0010\text{ C}^0$.

У цілому розрізняють два види іонізуючого випромінювання:

1. Електромагнітне випромінювання (ультрафіолетове, рентгенівське і γ -випромінювання). Фотонне випромінювання має квантову природу, воно випромінюється ядрами атомів певними порціями – квантами. Квант не має маси спокою та електричного заряду; частота його електромагнітних коливань має довжину хвилі 10^{-12} – 10^{-8} см; має постійну швидкість руху у вакуумі, що рівна швидкості світла.

2. Корпускулярне випромінювання (α - і β -частинки, нейтрони, протони). Корпускулярне випромінювання характеризується масою спокою, наявністю або відсутністю заряду та швидкістю руху у вакуумі.



Види іонізуючого випромінювання

Електромагнітне випромінювання – це сукупність змінного електричного і магнітного полів, що поширюються у просторі у вигляді хвиль.

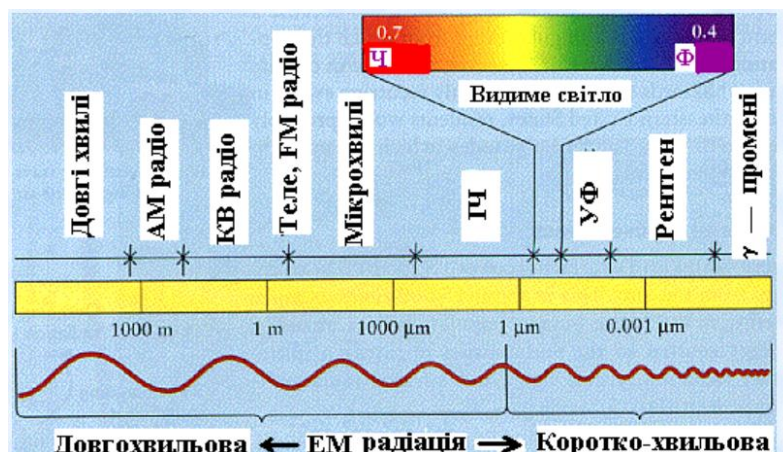
Електромагнітні випромінювання характеризуються наступними параметрами: напруженістю електричного і магнітного полів, частотою коливань (ν), довжиною хвилі (λ).

До іонізуючого електромагнітного випромінювання належать:

а) ультрафіолетові промені ($\lambda = 400$ – 500 нм);

б) рентгенівські промені ($\lambda = 50\text{--}0,1$ нм);

в) гамма-випромінювання ($\lambda = 0,01$ нм);



Види електромагнітної радіації

а) Ультрафіолетове випромінювання – це найбільша короткохвильова частина спектра сонячного світла, генерується атомами чи молекулами внаслідок зміни стану електронів на зовнішніх оболонках.

б) Рентгенівське випромінювання – це електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 50–0,1 нм, для генерації цього виду випромінювання використовують рентгенівські апарати.

Рентгенівські промені виникають за умов гальмування швидких електронів у певних речовинах (переважно металах), де індукується електричний перехід внутрішніх електронів атома після їх збудження електронами, іонами або фотонами. Використовується вольфрам або молібден. Чим вища напруга на променевій трубці, в якій прискорюються електрони, тим менша довжина хвилі і більша енергія фотонів рентгенівського випромінювання. Короткохвильове рентгенівське випромінювання належить до «жорсткого» випромінювання, а довгохвильове – до «м'якого».

в) Гамма-випромінювання – це короткохвильове електромагнітне випромінювання, що виникає у разі заміни електричного стану атомних ядер, що утворюються внаслідок радіоактивного розпаду.

Як джерело даного типу випромінювання використовують радіоактивні ізотопи кобальту (^{60}Co) та цезію (^{137}Cs).

Для дослідження тривої дії γ -променів на рослини використовують гамма-поля. Це польові ділянки, обладнані джерелом γ -випромінювання, яке створює поле випромінювання по місцю вирощування рослин. Гамма-поле використовується у дослідженнях з вивчення радіаційної генетики, а також для вивчення наслідків хронічного опромінення штучних і природних біоценозів.

Гальмівне випромінювання – електромагнітне випромінювання заряджених частинок при зіткненні з іншими частинками. Заряджена частинка, що рухається рівномірно, не випромінює електромагнітних хвиль. Створені нею електричне і магнітне поля залишаються близькими і не відриваються від частинки, утворюючи незалежну хвилю. Випромінювання з'являється тоді, коли заряджена частинка рухається із прискоренням. Однією з причин прискореного руху може бути зіткнення з іншою частинкою, в результаті якого міняється траєкторія руху. Таке випромінювання називають гальмівним, бо воно забирає із собою частину енергії зарядженої частинки, додатково гальмуючи її. Зокрема гальмівне випромінювання виникає при зіткненні пучка електронів з речовиною електрода. Спектр гальмівного випромінювання неперервний, а його максимальна частота визначається енергією зарядженої частинки. Якщо електрон прискорити в потенціалі в десятки кіловольтів, то при гальмуванні такого електрона виникнуть електромагнітні хвилі в рентгенівському діапазоні.

Синхротронне випромінювання – випромінювання електромагнітних хвиль релятивістськими зарядженими частинками, що рухаються криволінійною траєкторією. Синхротронне випромінювання виникає в синхротронах, накопичувальних кільцях прискорювачів, при русі заряджених частинок через ондулятор. Частота такого випромінювання може охоплювати дуже широкий спектральний діапазон, від радіохвиль, до рентгенівського випромінювання. Завдяки синхротронному випромінюванню прискорювачі заряджених частинок стали використовуватися як потужні джерела світла,

особливо в тих частотних діапазонах, де створення інших джерел, наприклад, лазерів, пов'язано з труднощами.

Спектр синхротронного випромінювання безперервний, розтягнутий на широкий інтервал електромагнітних хвиль. Взаємодія синхротронного випромінювання з речовиною характеризується високою ефективністю.

3. Корпускулярне випромінювання.

Корпускулярне випромінювання – сюди відносяться альфа-випромінювання (ядра атомів гелію), бета-випромінювання (електрони β^- і позитрони β^+), протони (p), нейтрони (n^0) та інші.

а) Альфа випромінювання – це випромінювання, що складаються з α -частинок і утворюються під час альфа-розпаду радіоактивних ізотопів. **α -частинки** – це ядра атомів гелію, що складаються з 4 нуклонів – двох протонів та двох нейтронів. Основним джерелом альфа-променів є важкі радіоактивні елементи ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , ізотопи U. Відомо більше 25 природних і 100 штучних радіоактивних ізотопів, розпад яких супроводжується випромінюванням α -частинок.

б) Бета-випромінювання – це потік прискорених електронів (β^- -частинок) або античастинок електрона (позитронів), які утворюються під час розпаду відповідних радіоактивних ізотопів. Бета-випромінювання мають складний безперервний спектр. Форма розподілу β^- -частинок за їхньою енергією залежить від типу їх розпаду, хоча в цілому подібна для різних радіоізотопів, що зазнають радіоактивного перетворення.

в) Протони. До іонізуючого випромінювання належить потік прискорених протонів (ядер атомів водню з масовим числом 1). Потоки протонів генеруються в прискорювачах заряджених частинок – синхрофізотронах та протонних синхротронах. До джерел швидких протонів належить значна частина ядерних реакцій – космічні потоки, а також ядра дейтерію та тритію (ізотопи водню).

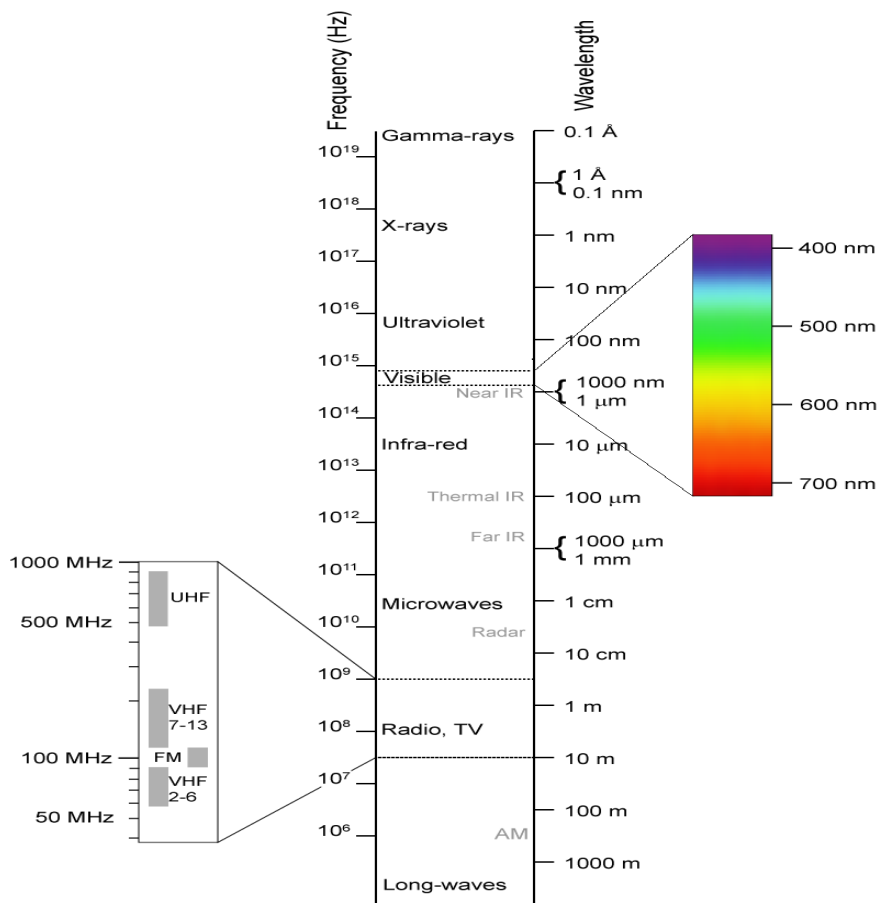
г) Мезони – це нестабільні елементарні частинки, маса яких більш за масу електрона, але менша від маси протона. Мезони є електрично нейтральними.

Розрізняють Пі-мезони (піони) – кванти ядерного поля та К-мезони (каони). Завдяки піонам відбувається зв'язок нуклонів у ядрах атомів. Час існування мезонів менший за мільйонну частку секунди.

Також до корпускулярного випромінювання належать нестабільні елементарні частинки (швидкі ядра хімічних елементів, мюони та оже-електрони). Для їх отримання використовують різноманітні прискорювачі руху.

За характером траєкторії прискорюваних заряджених частинок розрізняють:

- лінійні прискорювачі (траєкторії частинок близькі до прямої лінії);
- циклічні прискорювачі (траєкторії частинок нагадують коло або спіраль);
- циклотрони, синхротрони, синхрофазотрони, бетатрони;
- резонансні (частинки рухаються у резонансі зі змінами поля);
- нерезонансні (напрямок поля за час прискорення частинок є незмінним).



Діапазони різного електромагнітного випромінювання

Вид хвилі

Радіо- та ТВ хвилі
ультракороткі
надвисокі частоти
інфрачервоні
видимі
ультрафіолетові
рентгенівські
гамма-випромінювання
космічні промені

Radio- and TVwaves
Microwaves
Longwaves
Intra-red
Visible
Ultraviolet
X-rays
Gamma-rays
cosmic rays

Питання для самоконтролю:

1. Дати визначення іонізуючого випромінювання, експозиційної та поглинутої дози.
2. Охарактеризувати електромагнітне випромінювання.
3. Охарактеризувати корпускулярне випромінювання.
4. Види електромагнітного випромінювання.
5. Види корпускулярного випромінювання.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9

ПРИНЦИПИ РАДІОМЕТРІЇ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Мета роботи: зрозуміти докорінну різницю між методами реєстрації, тобто виявлення присутності іонізуючого випромінювання, та методами уже кількісного визначення цього випромінювання, ознайомитися з трьома основними методами визначення кількості жорсткого випромінювання. Мати уявлення про сучасну класифікацію, будову та призначення радіометричних та дозиметричних приладів.

Радіометрія – розділ прикладної ядерної фізики і радіобіології, що розробляє теорію і практику вимірювання радіоактивності і ідентифікації радіоактивних ізотопів.

Для радіометрії випромінювань використовують радіометри – прилади, призначені для вимірювання активності або концентрації радіонуклідів в різних середовищах за кількістю часток або квантів, зареєстрованих детектором за одиницю часу. За допомогою радіометрів вимірюють об'ємну, питому або масову активність різних радіоактивних речовин.

Слід зазначити, що застосовуючи будь-які лічильники, ми не можемо з упевненістю стверджувати, що виміряли активність даної проби. Адже вимірюємо, фіксуємо ми, чи то в камері іонізаційного детектора, чи то в люмінесцентному шарі сцинтиляційного лічильника усього лише імпульси в секунду, тобто кількість частинок іонізуючого випромінювання, що зреагували

Реальну активність препарату, проби біоматеріалу в радіобіології визначають трьома способами: **абсолютним, розрахунковим і відносним.**

1) **Абсолютний** спосіб – це визначення активності спеціальними детекторами, що мають чотирипійну геометрію (куля), пробу розташовують всередині кулеподібного детектора, щоб детектор з усіх боків оточував саму

пробу. У цьому випадку, у якому б напрямку частинка не летіла, вона неодмінно потрапить на детектор, і зчитується повне число іонізаційних частинок атомів, що розпадаються, а самий рахунок, завдяки вищесказаному, йде вже не в імпульсах у секунду, а в одиницях активності.

Для подібних прямих досліджень слугують газо-проточні лічильники, або сцинтиляційні, у яких проба розчиняється в рідкому сцинтиляті (люмінофорі).

2) Розрахунковий спосіб – застосовується для виміру α - β -випромінювачів. Суть методу полягає в тому, що виміри проводять звичайним датчиком, а результат, одержуваний в імпульсах у секунду перераховують, вводючи ряд поправочних коефіцієнтів, відповідно до формули:

$$A = \frac{N}{\omega \cdot \varepsilon \cdot k \cdot \rho \cdot q \cdot r \cdot \gamma \cdot m \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} = \text{Ки} / \text{кг}$$

де: А – абсолютна активність;

N – швидкість лічби за відрахуванням фона (імп\сек);

ω – поправка на геометрію датчика;

ε – поправка на вирішення детектора;

k – поправка на поглинання в повітрі і вікні датчика;

ρ – поправка на самопоглинання в товщі проби;

q – поправка на обернене розсіювання;

r – поправка на схему розпаду;

γ – поправка на гамма-складову при змішаному випромінюванні;

m – наважка проби в мг;

$2,22 \times 10^{12}$ – коефіцієнт переведення імп/сек у Ки.

Пояснення перемінних:

схема розпаду ^{45}Ca дає 100 % бета-випромінювання, відповідно $r=1$;

^{40}K – 12 % ядер розпадається по типу електронного захоплення, а значить бета-частинок є 88 %, тоді $r = 0,88$.

3) Відносний або порівняльний спосіб. Заснований на порівнянні активності досліджуваної проби й активності стандартного препарату. У

основному застосовується в практиці цей метод, тому що він має достатню вірогідність при простоті й оперативності.

При цьому необхідною умовою є достатній збіг схеми розпаду, енергії і виду випромінювання ізотопів досліджуваної проби й еталона.

Ізотопи еталони повинні бути такими, що довго живуть. При визначенні сумарної бета-активності в об'єктах радіаційного ветнагляду, у вигляді еталона застосовують ^{40}K , ^{90}Sr , ^{90}Y , ^{234}Th .

Необхідно обов'язково дотримуватись однаковості по всіх параметрах, приведених у коефіцієнтах (товщина прошарку проби, метал підложки і т.д.)

Що стосується всього спектру існуючої дозиметричної та радіометричної апаратури, то відповідно до видів дозиметричного контролю апаратура ділиться на **шість** груп.

До **першої** групи відносяться прилади, призначені для виміру потужності дози гамма-променів і потоків нейтронів. Для виміру потужності дози гамма-променів від 0,5 мкР/с і вище використовуються мікрорентгенометри – переносні прилади з живленням від мережі перемінного току (типу "Кактус") і батарейним живленням. Датчиками в них є іонізаційні камери, стінки яких виготовлені з плексигласу. Це рентгенометри типу РМ-1 і КРМ-1, датчиками яких є малі іонізаційні камери різноманітних обсягів, із стінками різноманітної товщини.

Для виміру малих потужностей доз гамма-випромінювання від природного фону і вище використовуються прилади типу "Постріл" із газонаповненим лічильником, або прилад "Свет-3" із сцинтиляційним лічильником.

Промисловість випускає два типи приладів для реєстрації повільних (теплових) і швидких нейтронів при гамма-фоні до 200 мкР/год (мережевий "Ефір-1" і переносний "Ефір-2").

До **другої** групи відносяться прилади з датчиками виміру потоків альфа- і бета-частинок із забруднених поверхонь. Прилад типу "Тисс", укомплектовані сигнальним пристроєм із перемінним порогом спрацьовування сигналізації.

Існують прилади, що слугують для сигналізації про перевищення припустимих рівнів забруднення тіла і спецодягу бета- і гамма-активними речовинами. Установка СУ–1 такого типу має 12 каналів і 12 датчиків у вигляді груп бета-лічильників у кожусі, що захищає від зовнішнього гамма-випромінення.

До **третьої** групи приладів відносяться установки для виміру забруднення повітря радіоактивними газами і радіоактивними аерозолями. Для виміру значних концентрацій альфа- і бета-активних газів у повітрі застосовуються іонізаційні камери, сполучені з чутливими електрометрами. Найбільше точні виміри концентрації бета-активних газів у повітрі роблять за допомогою бета-лічильників, поміщених у замкнутому обсязі, наповненому забрудненим повітрям.

Методом виміру концентрацій у повітрі альфа- і бета- активних аерозолів є або їхнє уловлювання за допомогою мембранних фільтрів, при прокачуванні через елемент, що фільтрує, (паперовий, картонний, азбестовий), або їхньому осадженні на електроді-мішені, методом електроосадження. Останній метод використовують у електрофільтрах.

До **четвертої** групи відносяться радіометричні пристрої з датчиками у вигляді газонаповнених або сцинтиляційних лічильників, що слугують для виміру абсолютної активності проб води і харчових продуктів.

До **п'ятої** групи відносяться комплекти апаратури для виміру індивідуальних доз гамма-випромінення і нейтронів. До групи приладів індивідуального дозиметричного контролю відносять апарати типу КІД–1, КІД–2, ДК–0,2 , ДП–23–А, ДП–22–В, ДП–24 і інші. Для виміру доз гамма-променів застосовуються:

- 1) малі іонізаційні камери з повітро-еквівалентного матеріалу. Дози гамма-променів визначаються по спаду потенціалу центрального електроду камери в діапазоні від 0,02 до 20 Р для енергій гамма-квантів від 0,1 до 2 МЕВ;
- 2) кишенькові дозиметри на три діапазони до: 0,2 Р (КД–0,2), 5Р (КД–5) і 50Р (КД–50).

3) індивідуальні люмінесцентні дозиметри (ІЛК), що використовують вспышечні (спалахуючі) кристалофосфори. Ці фосфори мають властивість накопичувати енергію впливу іонізуючого випромінювання, причому строго пропорційно дозі, і достатньо тривалий час зберігати цю енергію, а потім швидко визволяти, але вже у видимім спектрі, під дією імпульсу інфрачервоного світла.

4) індивідуальний фотоплівковий контроль (ІФК) застосовується досить широко для визначення безпеки при роботі з гамма-випромінюванням і заснований на взаємодії радіоактивного випромінювання з фотоемульсією рентгенівської плівки. Під впливом випромінювання фотоплівка чорніє пропорційно дозі випромінювання.

До **шостої** групи відносяться установки для виміру зовнішнього випромінювання від людей і виміру активності видихуваного повітря, такі як СІЧ. Крім того, існують установки, для визначення рівня радіоактивних речовин в організмі по активності видихуваного повітря.

За способом експлуатації радіометри поділяються на стаціонарні (лабораторні) і переносні, по виду реєстрованих випромінювань – на універсальні і призначені для реєстрації одного виду іонізованих випромінювань, по типу застосованих детекторів – на сцинтиляційні і газорозрядні.

В загальному вигляді робоча блок-схема радіометрів складається із блоку живлення, детектора випромінювань, імпульсного підсилювача, перерахункового і реєструючого приладів.

За призначенням радіометри можна розділити на чотири основні групи:

1. Прилади для контролю радіоактивного забруднення води, ґрунту, рослинності і харчових продуктів методом “прямого” вимірювання. Вони дозволяють проводити вимірювання при концентрації менше $3,7 \cdot 10^2$ кБк/л, кБк/кг по радіонуклідах, вказаних в технічних умовах до різних типів радіометрів. Для інспекційного контролю, що проводиться безпосередньо на місцевості, застосовують радіометри: КРБ–1, МКС–О1Р та прилад СРП–68.

Масовий вибірковий контроль продукції сільськогосподарського виробництва і лабораторний контроль, що здійснюється в спеціалізованих приміщеннях, можна проводити радіометрами ДП-100 і його модифікаціями – ДП-100-М, ДП-100-АД-М; “Бета”, РКБ4-1еМ, КРК-1, РЖС-05, УИМК-2 та ін.

2. Прилади для контролю радіоактивних забруднень поверхні транспортних засобів, особистого одягу, шкіряних покривів персоналу і обмеженої частини населення: КРБ-1, СЗБ-04, “Тисс”, КРА-1, РЗБ-05 та ін.

3. Прилади для проведення спеціальних досліджень у біології та медицині – МСГ-01, гамма-томографи, автоматичні бета- і гамма-лічильники типу “Бета-2”, “Гамма-12” та ін.

4. Прилади для проведення аналізів радіонуклідного складу проб спектрометричними методами: АИ 1024-95-05, АМ-А-02-Ф1 та ін. з автоматизованою обробкою інформації на ЕОМ.

До приладів індивідуального дозиметричного контролю відносяться:

- дозиметр кишеньковий ДК-0,2;
- індивідуальні дозиметри ДКП-50-А;
- індивідуальний дозиметр КІД-1;
- комплект індивідуального фотоконтролю ІФК-2,3;
- комплект ІФКУ;
- комплект термолюмінесцентних дозиметрів КДТ-1;
- дозиметр КДТ-2;
- дозиметр ІКС-А;
- дозиметр-сигналізатор індивідуальний ДУГ-2-01;
- індивідуальний дозиметр типу ДКС-04”Стриж”;
- дозиметр-сигналізатор ДЕГ-07.

До приладів загального дозиметричного контролю відносяться: переносний універсальний рентгенометр-радіометр РУП-1; вимірювач швидкості відліку з автоматичним перемиканням піддіапазонів типу УІМ-2-2.

Питання для самоконтролю:

1. Дати визначення поняття радіометрія.
2. Охарактеризувати абсолютний спосіб визначення активності проби біоматеріалу.
3. Охарактеризувати розрахунковий спосіб визначення активності проби біоматеріалу.
4. Охарактеризувати відносний спосіб визначення активності проби біоматеріалу.
5. Поділ дозиметричної та радіометричної апаратури на групи залежно від виду дозиметричного контролю.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 10

ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОЗИМЕТРОМ ТЕРРА-П

Мета роботи: засвоїти основні поняття, які пов'язані з дозиметричним контролем місцевості; виробити вміння користуватися приладом ТЕРРА-П, визначити рівень радіаційного фону місцевості і порівняти результати з нормативними даними.

Іонізація – це акт поділу електрично нейтрального атома на дві протилежно заряджених частинки: негативний електрон і позитивний іон. Іонізуючим випромінюванням називається будь-яке випромінювання, яке викликає іонізацію середовища.

До природних іонізуючих випромінювань відносять космічне випромінювання, природні джерела Землі, а також їх створюють радіоактивні речовини. Штучними джерелами іонізуючих випромінювань є ядерні реактори, штучні радіоактивні ізотопи, ядерні вибухи, рентгенівське обладнання та ін. Контакт з іонізуючими випромінюваннями є небезпечним для людини. Але при дотриманні відповідних технічних та організаційних вимог шкідливого впливу радіоактивних речовин можна уникнути.

Іонізуюче випромінювання буває електромагнітним (фотонним) і корпускулярним. До електромагнітного випромінювання відноситься гама-випромінювання та рентгенівське випромінювання. Корпускулярне випромінювання – це потік частинок з масою спокою, наближеною до нуля (α - і β -частинки, протони, нейтрони та ін.).

Гамма-випромінювання – це електромагнітне (фотонне) випромінювання з великою проникною і малою іонізуючою здатністю з енергією 0,001–3 МеВ.

Альфа-випромінювання – це потік ядер гелія, що випромінюється речовиною при радіоактивному розпаді ядер з енергією, що не перевищує

кількох мегаелектровольт (MeV). Ці частинки мають високу іонізуючу та низьку проникну здатність.

Бета-частинки - це потік електронів та протонів. Проникна здатність (2,5 см в живих тканинах і в повітрі – до 18 м) бета-частинок вища, а іонізуюча – нижча, ніж у альфа-частинок.

Нейтрони та протони утворюються тільки в зоні ядерного вибуху, їх іонізуюче випромінювання може викликати ураження людей як при внутрішньому, так і при зовнішньому опромінюванні викликають іонізацію речовини та вторинне випромінювання, яке складається із заряджених частинок і гамма-квантів. Проникна здатність залежить від енергії та від складу речовин, що взаємодіють.

Явище самостійного розпаду нестабільного нукліду називається радіоактивним розпадом – радіоактивністю, а сам нуклід – радіонуклідом. Радіоактивність пов'язана з перетвореннями, які відбуваються в ядрах деяких ізотопів, а саме випромінювання і є тим, що називається радіацією.

Радіоактивне забруднення оточуючого середовища діє на людину шляхом зовнішнього та внутрішнього опромінення.

Груповий контроль щодо опромінення застосовується для груп людей, які спільно діють в однакових умовах радіоактивного ураження, з метою отримання даних про працездатність. Індивідуальний контроль щодо опромінення проводиться з метою отримання даних про дози опромінення кожної людини.

Ступінь біологічного впливу іонізуючого випромінювання залежить від поглинання живою тканиною енергії та іонізації молекул, що виникає при цьому.

Під час іонізації в організмі виникає збудження молекул клітин. Це зумовлює розрив молекулярних зв'язків та утворення нових хімічних зв'язків, невластивих здоровій тканині. Під впливом іонізуючого випромінювання в організмі порушуються функції кровотворних органів, зростає крихкість та проникність судин, порушується діяльність шлунково-кишкового тракту,

знижується опірність організму, він виснажується. Нормальні клітини перероджуються в злоякісні, виникають лейкози, променева хвороба.

Одноразове опромінення дозою 25–50 бер (1 Зв=100 бер) зумовлює зворотні зміни крові. При 80–120 бер з'являються початкові ознаки променевої хвороби. Гостра променева хвороба виникає при дозі опромінення 270–300 бер.

Радіаційна безпека – це комплекс заходів та засобів спрямованих на забезпечення захисту від іонізуючого опромінення окремих осіб, їх потомства і людства в цілому, і в той же час створення відповідних умов для необхідної практичної діяльності людини, під час якої люди можуть потрапляти під дію іонізуючих випромінювань.

Захист від іонізуючих випромінювань може здійснюватись шляхом використання наступних принципів:

- використання джерел з мінімальним випромінюванням шляхом переходу на менш активні джерела, зменшення кількості ізотопу;
- скорочення часу роботи з джерелом іонізуючого випромінювання;
- віддалення робочого місця від джерела іонізуючого випромінювання;
- екранування джерела іонізуючого випромінювання.

Дієвим захисним засобом є використання телевізійних систем спостережень, дистанційного керування, маніпуляторів, роботизованих комплексів.

Технологія і техніка виконання експериментів

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями (радіаційна безпека, методи вимірювання радіації, дозиметричний контроль місцевості).

2. Вивчити будову та технічні характеристики приладу ТЕРРА–П.

3. За вказівкою викладача та згідно рекомендацій інструкції до роботи підготуйте прилад ТЕРРА–П до роботи.

4. Користуючись інструктивними матеріалами до роботи, засвоїть порядок роботи з приладом ТЕРРА–П.

5. Виміряйте радіаційний фон навколишнього середовища (потужність еквівалентної та експозиційної доз згідно ходу роботи) та запишіть одержані значення.

Хід роботи

Необхідно визначити потужність польової еквівалентної дози гамма-випромінювання за допомогою дозиметра ТЕРРА–П. Провести виміри у трьох точках приміщення і в одній точці на вулиці (у кожній точці по 3 рази) та обчислити середнє арифметичне значення. Виходячи з отриманих даних, розрахувати, яку дозу отримає людина за усе життя (за 70 років, в берах), та чи відповідає вона допустимим нормам.

Дані приладів занести у таблицю 6.1.

Далі визначають середнє значення показань приладу і знаходимо потужність польової еквівалентної дози гама-випромінювання (I) у [мкЗв/год]:

Дані дозиметричних вимірювань по корпусу №1

№	Місце розташування	Дані приладів		
1	Корпус №1, 3 поверх, коридор			
2	Корпус №1, 2 поверх, аудиторія			
3	Корпус №1, 1 поверх, вестибюль			
4	на вулиці, біля входу у приміщення корпусу №1			

у добу: мкЗв;

у рік: мкЗв;

за 70 років: мкЗв \approx Зв = бер

Висновок.

Питання для самоконтролю:

1. Які випромінювання називають іонізуючими?
2. Як в Україні регламентуються допустимі рівні опромінення?
3. Назвіть основні джерела випромінювань.
4. Які особливості формування радіаційного фону середовища?
5. Що розуміють під внутрішнім та зовнішнім опроміненням?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11

ПОРЯДОК ВІДБОРУ І ПІДГОТОВКИ ПРОБ ВОДИ, ГРУНТУ, РОСЛИН ТА ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ДЛЯ РАДІОМЕТРІЇ

Мета роботи: навчитися робити відбір і підготовку проб води, ґрунту, рослин та продуктів харчування для радіометрії.

• контроль радіоактивного забруднення об'єктів навколишнього середовища передбачає визначення концентрації радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, що мають пряме відношення до життєдіяльності людини: у повітрі, воді, ґрунті, продукції рослинництва і тваринництва.

На основі радіометричних, спектрометричних і хімічних досліджень приймаються рішення про можливість їх практичного використання.

За допомогою радіохімічних і гамма-спектрометричних методів досліджень радіологічні відділи визначають вміст ^3H , ^{14}C , ^{89}Sr і ^{90}Sr , ^{90}Y , ^{95}Zr , ^{103}Ru і ^{106}Ru , ^{131}I , ^{134}Cs і ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{141}Ce і ^{144}Ce , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{232}Th , ^{238}U , ^{239}Pu та ін.

• середню пробу формують з 8–10 «точкових проб». Кожну відібрану середню пробу зважують, поміщають в чисту тару (скляна банка, пляшка, поліетиленовий або паперовий пакет), запаковують в ящик, опечатують. До тари прикріплюють етикетку, де вказують назву проби, місце і дату взяття, її масу, а у випадку висушування проби вказують масу сирої і сухої проб. Крім того, при взятті проби складається акт в двох екземплярах, в якому вказують необхідні дані:

- а) ким взяті проби (установа, посада, прізвище);
- б) місце і дата відбору проби;
- в) назва продукту;
- г) опис взятих проб, номери проб і їх маса;
- д) куди направляються проби; мета дослідження;

е) підписи особи, яка проводила відбір, і представника господарства.

Результати визначення радіоактивності обробляють математично: визначають середню арифметичну величину вимірювань (M), величину її похибки (m), достовірність різниці між середніми арифметичними за роками (P – критерій Стьюдента).

Строки і норми відбору проб різних об'єктів для оцінки радіоактивності і вмісту радіонуклідів

Назва об'єкту	Строки відбору проб	Маса проби	
		для визначення сумарної β -активності	для радіохімічного аналізу
Грунт	Весна, літо, осінь	150–300 г	1,5–2 кг
Трава	Весна, літо, осінь	150–300 г	4–5 кг
Зерно	Літо	100–200 г	2–3 кг
Грубі корми	Осінь	100–200 г	2–3 кг
Силос, сінаж	По мірі згодовування	100–200 г	4–5 кг
Овочі	По мірі надходження	100–200 г	3–6 кг
Корене- і бульбоплоди	Осінь	150–300 г	3–6 кг
Концентровані корми	--	100–200 г	2–3 кг
Молоко	Не рідше 1 разу на місяць	50–100 мл	5–6 л
М'ясо	Весна, літо, осінь, зима	100–200 г	2–3 кг
Кістки	Те саме	100–200 г	0,5 кг
Риба свіжа	По мірі надходження	100–200 г	3 кг
Вода	Весна, літо, осінь	0,5 л	20 л
Птиця	По мірі надходження	100–200 г	1 тушка
Яйця	Те саме	3–6 шт.	10 шт.
Мед	--	150–300 г	0,5–1,0 кг
Шерсть	--	20–40 г	0,2–0,5 кг
Лісова підстилка	Осінь	100–200 г	2–3 кг
Кора	При рубці лісу	100–200 г	2–3 кг
Ягоди, фрукти	По мірі надходження	100–200 г	3–6 кг

Назва	Строки відбору проб	Маса проби	
Гриби свіжі	Те саме	100–200 г	4–5 кг
Гриби сухі	--	50–100 г	2–3 кг

Питання для самоконтролю:

1. Що визначають при контролі радіоактивного забруднення об'єктів навколишнього середовища ?
2. На основі чого приймається рішення про можливість використання продуктів харчування, питної води і т.д. ?
3. Яка послідовність відбору проб води, ґрунту, рослин для радіометрії ?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 12

РАДІОХІМІЧНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ РАДІОНУКЛІДІВ В ГРУНТАХ І РОСЛИНАХ

Мета роботи: навчитися готувати зразки для аналізу на вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs в пробах ґрунту, води, рослин та продукції сільськогосподарського виробництва.

Найбільшу небезпеку як штучні радіоактивні забруднювачі навколишнього середовища, як вже наголошувалося, є довго живучі радіоактивні ізотопи ^{90}Sr і ^{137}Cs , періоди напіврозпаду яких складають 29 і 30 років відповідно. Існують різні прийоми і методи радіохімічного аналізу для оцінки їх вмісту в ґрунтах, рослинах, воді, продукції рослинництва і тваринництва і інших об'єктах. Але кожний з них передбачає наступні основні етапи:

- 1) відділення радіонуклідів від елементів, що становлять пробу;
- 2) розділення радіонуклідів, схожих по своїх хімічних властивостях;
- 3) відділення шуканого радіонукліда;
- 4) перевірка його радіохімічної чистоти;
- 5) оцінка змісту радіонукліда;
- 6) визначення хімічного виходу носія (речовина, що є стабільним ізотопом даного радіонукліда або його хімічним аналогом, що додається в пробу при низьких концентраціях радіонукліда).

Для аналізу змісту ^{90}Sr в ґрунтах і рослинах найчастіше використовується так званий «оксалатний» метод. У цій же пробі можливо визначені ^{137}Cs у вигляді подвійної солі сурм'яно-йодистого цезію.

Хімічний вихід стронцію- і цезію-носія визначають ваговим методом, за допомогою полум'яної атомно-адсорбційної фотометрії і ін.

1. Визначення вмісту ^{90}Sr

Оксалатний метод визначення ^{90}Sr заснований на властивості елементів II і III аналітичні групи при взаємодії з щавлевою кислотою утворювати оксалати –

нерозчинні у воді солі, на відміну від елементів інших груп. При осадженні з кислотного розчину ґрунту або золи проби оксалатів елементів II і III групи, в які входять ^{90}Sr і його дочірній елемент ^{90}Y (ітрій), можна відокремити їх від елементів інших груп. При цьому ^{137}Cs і розчинні оксалати інших металів залишаються в розчині.

Потім ітрій і лантан, що входить до III аналітичної групи елементів, відокремлюють від стронцію, кальцію і інших елементів III групи осадженням їх безвугільним (що не містить CO_2) розчином аміаку у вигляді нерозчинних у воді гідроксидів ітрію і лантану. Для формування осаду гідроксидов перед внесенням аміаку до розчину додають солі марганцю, заліза (III) і перекис водню. Перекис необхідний для перекладу іонів Fe^{3+} і Mn^{2+} в «вищий окислений стан». При цьому з рихлим осадом гідроксидів заліза і марганцю осідатимуть ^{90}Y , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{232}Th і деякі інші радіонукліди, а ^{90}Sr залишиться в розчині.

Таким чином відбувається відділення ^{90}Sr від ^{90}Y , і з цієї миті весь ітрій, що утворився, буде продуктом розпаду ^{90}Sr , виділеного в ході аналізу. Через 14 днів, тобто після закінчення п'яти періодів напіврозпаду ^{90}Y (64 год.), наступить рівновага: кількість того, що розпадається ^{90}Y заповнюватиметься за рахунок розпаду ^{90}Sr . Після цього знов проводять розділення радіонуклідів і по активності ітрію оцінюють активність стронцію в пробі.

Але чому в результаті аналізу робиться висновок про питому активність проби по ^{90}Sr , тоді як з неї виділяється дочірній продукт ^{90}Sr ізотопу ^{90}Y , проводиться його радіометрична оцінка? Вважається, що ^{90}Sr знаходиться в рівноважному по радіоактивності стані з ^{90}Y , а це означає, що рівні їх радіоактивності однакові.

Проте, слід пам'ятати, що ця рівновага непостійна і може порушуватися. У живих організмах, наприклад, обмін ^{90}Sr і ^{90}Y відбувається по-різному. У зразках свіжо зрізаних рослин, свіжого молока, м'яса і кісток такої рівноваги нема і встановлюється вона не раніше, чим через 14 діб після припинення біологічних процесів. Вказані проби можна піддавати радіохімічному аналізу тільки після

цього терміну. У зразках ґрунту, сіна, соломи і інших описана рівновага між радіонуклідами ^{90}Sr і ^{90}Y зберігається, і підготовлені зольні залишки їх проб можуть бути відразу використані для проведення аналізу.

2. Визначення вмісту ^{137}Cs

Цезій – хімічний елемент I аналітичної групи. Природний цезій складається з одного стабільного ізотопу ^{133}Cs . Штучним шляхом одержані 15 його радіоактивних ізотопів, з яких найбільш стійкими є ^{134}Cs і ^{137}Cs з періодами напіврозпаду, відповідно, 2,062 роки і 30 років, ядра яких при β -розпаді випромінюють β -частинки і γ -кванти.

Цезій є рідкісним елементом. Його участь у фізіолого-біохімічних процесах не відома. Але, будучи хімічним аналогом калія і утворюючи добре розчинні у воді хлориди, нітрати, сульфати, карбонати та інші з'єднання. Він активно поступає в рослини як через коріння, так і наземні органи. Володіючи великою рухливістю, цезій швидко і достатньо рівномірно розподіляється між різними органами рослини. З кормами цезій поступає в організм тварин, з продуктами харчування рослинного і тваринного походження – в організм людини, де добре всмоктується в шлунково-кишковому тракті, розноситься кров'ю по організму і порівняно швидко виводиться з нього.

З радіоактивних ізотопів цезію найбільшу біологічну небезпеку представляє його довго живучий ізотоп ^{137}Cs . І хоча по ступеню радіотоксичності ^{137}Cs відноситься до групи В (середня радіотоксичність), він залучаючись разом з калієм в процеси метаболізму, беручи участь разом з ним в регуляції синтезу і функцій багатьох білків, ферментів, гормонів, може обумовлювати істотне внутрішнє опромінювання критичних органів. Саме тому оцінка вмісту ^{137}Cs в різних об'єктах представляється дуже важливою.

Виділення ^{137}Cs при проведенні радіохімічного аналізу можливо декількома методами. Найбільш поширеним серед них є сурмяно-йодидний метод визначення ^{137}Cs з попередньою концентрацією його у вигляді ферро-ціаниду цезію нікелю.

Метод заснований на концентрації ^{137}Cs з носієм у кислотному розчинів проби золи у вигляді комплексного з'єднання подвійної солі ферроціаниду

Визначенню заважає присутність окислювачів, тому при проведенні аналізу необхідно стежити за кислотністю розчинів.

Цей метод дозволяє виділити ^{137}Cs в радіохімічно чистому вигляді з порівняно невеликих об'ємів розчинів проби золи з високим вмістом солей. Істотною перевагою методу є можливість виділення з одної наважки ґрунту або золи рослинного матеріалу і ^{90}Sr , і ^{137}Cs . Це дозволяє істотно прискорити радіохімічний аналіз і провести його з обмеженою кількістю золи проб, що вельми важливо при дослідницькій роботі або аналізі матеріалу з невеликим виходом радіонуклідів.

Черговість визначення радіонуклідів істотного значення не має. В даному випадку рекомендується проводити визначення ^{137}Cs з фільтрату, одержаного при визначенні ^{90}Sr методом оксалатного осадження, тобто при аналізі зразків ґрунту після завершення операцій визначення змісту ^{90}Sr у ґрунті.

Питання для самоконтролю:

1. Основні етапи методів радіохімічного аналізу.
2. На чому базується оксалатний метод визначення ^{90}Sr ?
3. Який ізотоп цезію є найбільш небезпечним ?
4. На чому базується сурмяно-йодидний метод визначення ^{137}Cs ?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 13

ПРОГНОЗУВАННЯ МОЖЛИВОГО РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА

Мета роботи: навчитися вирішувати ситуаційні задачі з прогнозування можливого радіонуклідного забруднення продукції рослинництва.

Приклад розв'язку задач

Умова: Визначити вміст ^{137}Cs в зерні вівса, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонукліду у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 624 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,3 г/см³, товщина забрудненого шару – 25 см, вміст калію – 2 мг/100 г.

Вирішення:

1. Вираховуємо масу забрудненого шару ґрунту на 1 м² для чого перемножуємо показники площі ґрунту, товщини шару і питомої маси:

$$100 \text{ см} \times 100 \text{ см} \times 25 \text{ см} \times 1,3 \text{ г/см}^3 = 325000 \text{ г} = 325 \text{ кг}$$

2. Знаходимо вміст ^{137}Cs на 1 м², для чого забруднення 1 кг множимо на визначену масу ґрунту:

$$624 \text{ Бк/кг} \times 325 \text{ кг} = 202800 \text{ Бк} = 202,8 \text{ кБк}$$

3. Визначаємо забруднення території в Кі/км², для чого ділимо отримане забруднення на забруднення при 1 Кі (1 Кі/км² = 37 кБк/м²):

$$202,8 \text{ кБк/м}^2 / 37 \text{ кБк/м}^2 = 5,48 \text{ Кі/км}^2$$

4. Знаходимо коефіцієнт переходу ^{137}Cs в зерно вівса на дерново-підзолистих ґрунтах при вмісті калію 2 мг/100 г (додаток В). Він становить 57 Бк/кг при щільності забруднення 1 Кі/км².

5. Визначаємо забруднення зерна вівса, для цього отримане забруднення території 5,48 Кі/км² множимо на знайдений коефіцієнт для 1 Кі:

$$5,48 \times 57 \text{ Бк/кг} = 312,36 \text{ Бк/кг.}$$

6. Визначаємо придатність отриманої продукції, для цього у додатку знаходимо допустимий рівень забруднення за ^{137}Cs згідно ДР-97. Для хліба і хлібопродуктів він становить 20 Бк/кг.

Перший висновок: отже, продукція непридатна для використання, оскільки її забруднення за ^{137}Cs перевищує допустимий рівень у 15,62 рази ($312,36 \text{ Бк/кг} / 20 \text{ Бк/кг} = 15,62$).

Далі розпочинаємо дії щодо можливого використання угіддя для вирощування вівса чи іншої продукції, яка б відповідала вимогам ДР-97.

7. Визначаємо необхідний коефіцієнт переходу для отримання придатної продукції, для чого коефіцієнт переходу 57 Бк/кг ділимо на 15,62:

$$57 \text{ Бк/кг} / 15,62 = 3,65$$

8. Знаходимо у додатку В в колонці для вівса таке або менше за нього значення коефіцієнта переходу при відповідному вмісті калію в ґрунті. Найменший коефіцієнт для вівса становить 5,7 навіть при максимальній кількості – 20 мг на 100 г калію.

Другий висновок: таким чином, отримати зерно вівса, придатне для виробництва хліба і хлібопродуктів, у даній ситуації неможливо.

Одним з варіантів подальшого вирішення може бути підбір культури, близької за господарським значенням, але з меншим коефіцієнтом переходу ^{137}Cs . Такою культурою може бути ячмінь.

9. У додатку В знаходимо коефіцієнт переходу ^{137}Cs в зерно ячменю на дерново-підзолистих ґрунтах при вмісті калію 2 мг/100 г. Він становить 10 Бк/кг при 1 Кі/км².

10. Визначаємо можливе забруднення зерна ячменю, для цього отримане забруднення території за ^{137}Cs (5,47 Кі/км², пункт 3) множимо на коефіцієнт переходу для 1 Кі/км² – (10 Бк/кг):

$$5,47 \times 10 = 54,7 \text{ Бк/кг.}$$

Третій висновок: отже, зерно ячменю теж непридатне для використання на хлібопродукти, оскільки перевищує рівень забруднення за ^{137}Cs у 2,7 рази ($54,7 \text{ Бк/кг} / 20 \text{ Бк/кг} = 2,7$).

11. Визначаємо необхідний коефіцієнт переходу для отримання придатного зерна, для чого коефіцієнт 10 Бк/кг ділимо на 2,7:

$$10 \text{ Бк/кг} / 2,7 = 3,7$$

12. Знаходимо у додатках при якому вмісті калію на дерново-підзолистих ґрунтах коефіцієнт переходу ^{137}Cs у зерно ячменю буде становити 3,7 Бк/кг або менше. При вмісті калію 7 мг на 100 г коефіцієнт буде становити 2,9.

13. Визначаємо дефіцит калію в ґрунті, для чого від необхідних 7 мг віднімаємо 2 мг наявного в ґрунті калію за умовою задачі:

$$7 - 2 = 5 \text{ мг.}$$

Відомо, що для підвищення вмісту калію на 1 мг у 100 г в орному шарі ґрунту необхідно внести 30 кг калійних добрив за діючою речовиною.

14. Визначаємо необхідну кількість внесення калійних добрив за діючою речовиною: $30 \text{ кг} \times 5 = 150 \text{ кг}$.

15. Визначаємо прогнозоване забруднення зерна ячменю після внесення калійних добрив, для чого очікуваний коефіцієнт переходу 2,9 Бк/кг для 1 Кі/км^2 перемножаємо на забруднення території – $5,47 \text{ Кі/км}^2$

$$2,9 \times 5,47 = 15,9 \text{ Бк/кг}$$

Висновок: на даній території можна отримати придатне зерно ячменю після внесення 150 кг калійних добрив за діючою речовиною; при цьому його забруднення за ^{137}Cs буде в 1,26 раза нижче за допустимий рівень ($20 : 15,9 = 1,26$).

Умова: Визначити вміст ^{137}Cs в огірках сорту Конкурент, придатність їх до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонукліда у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 870 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,3 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 27 см, вміст калію – 3 мг на 100 г.

Вирішення:

1. Вираховуємо масу забрудненого шару ґрунту на 1 м^2 , для чого перемножуємо показники площі ґрунту, товщини шару і питомої маси:

$$100 \text{ см} \cdot 100 \text{ см} \times 27 \text{ см} \times 1,3 \text{ г/см}^3 = 351000 \text{ г} = 351 \text{ кг.}$$

2. Визначаємо вміст ^{137}Cs на 1 м^2 ґрунту, для чого забруднення 1 кг перемножаємо на кількість кілограм у 1 м^2 :

$$870 \text{ Бк/кг} \times 351 \text{ кг} = 305370 \text{ Бк} = 305,37 \text{ кБк.}$$

3. Вираховуємо забруднення території в Ки/км^2 , для чого ділимо отримане забруднення 1 м^2 на забруднення при 1 Ки ($1 \text{ Ки/км}^2 = 37 \text{ кБк/м}^2$):

$$305,37 \text{ кБк/м}^2 / 37 \text{ кБк/м}^2 = 8,25 \text{ Ки/км}^2$$

4. Знаходимо коефіцієнт переходу (**Кп**) ^{137}Cs в огірки сорту «Конкурент» на дерново-підзолистих ґрунтах при вмісті калію 3 мг на 100 г (додаток 1) Він становить $5,4 \text{ Бк/кг}$ при щільності забруднення 1 Ки/км^2 .

5. Визначаємо імовірне забруднення огірків, для чого отримане забруднення території $8,25 \text{ Ки/км}^2$ множимо на знайдений коефіцієнт переходу для 1 Ки :

$$8,25 \times 5,4 \text{ Бк/кг} = 44,55 \text{ Бк/кг.}$$

6. Визначаємо придатність отриманої продукції, для чого в таблиці 4 знаходимо допустимий рівень забруднення огірків за ^{137}Cs (згідно ДР-97). Для овочів він становить 40 Бк/кг .

Отже, отримана продукція огірків непридатна до вживання, оскільки перевищує допустимий рівень вмісту ^{137}Cs в $1,1$ рази ($44,55/40=1,1$).

Далі розпочинаємо дії щодо можливого використання угіддя для вирощування огірків чи іншої продукції, яка б відповідала вимогам ДР-97.

7. Визначаємо необхідний коефіцієнт переходу для отримання придатних для вживання огірків, для чого коефіцієнт, визначений у дії 4 ($5,4 \text{ Бк/кг}$) розділимо на $1,1$:

$$5,4 \text{ Бк/кг} / 1,1 = 4,9.$$

8. Знаходимо, при якому вмісті калію на дерново-підзолистих ґрунтах коефіцієнт переходу ^{137}Cs в огірки буде становити 4,9 Бк/кг або менше (додаток 1). При вмісті калію 5 мг на 100 г коефіцієнт буде становити 4,1.

9. Визначаємо дефіцит калію в ґрунті для чого від необхідних 5мг віднімаємо 3 мг наявних у ґрунті:

$$5-3=2 \text{ мг .}$$

Відомо, що для підвищення вмісту калію на 1 мг на 100 г в орному шарі ґрунту необхідно внести 30 кг калійних добрив за діючою речовиною.

10. Визначаємо необхідну кількість внесення калію, для цього 30кг перемножимо на дефіцит калію 2 мг:

$$30 \text{ кг} \times 2 = 60 \text{ кг калійних добрив за діючою речовиною.}$$

11. Визначаємо прогнозовану забрудненість огірків після внесення калійних добрив, для чого очікуваний коефіцієнт переходу (4,1 Бк/кг для 1 $\text{Ki}/\text{км}^2$) перемножимо на забрудненість території (8,25 $\text{Ki}/\text{км}^2$).

$$4,1 \times 8,25 = 33,8 \text{ Бк/кг}$$

Висновок: на даній території можна отримати придатні за вмістом ^{137}Cs огірки після внесення 60 кг калійних добрив за діючою речовиною, при цьому їх забруднення буде в 1,2 раза нижче за допустимі рівні ($40/33,8=1,2$).

Умова: Визначити вміст ^{137}Cs в картоплі сорту Світанок, придатність її до використання, рекомендації щодо переробки з метою дезактивації та можливі заходи щодо зниження надходження радіонукліда у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 1700 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,3 \text{ г}/\text{см}^3$, товщина забрудненого шару – 25 см, вміст калію – 1 мг/100 г.

Вирішення:

1. Вираховуємо масу забрудненого шару ґрунту на 1 м^2 , для чого перемножуємо показники площі ґрунту, глибини шару і питомої маси:

$$100 \text{ см} \times 100 \text{ см} \times 25 \text{ см} \times 1,3 \text{ г}/\text{см}^3 = 325000 \text{ г} = 325 \text{ кг}$$

2. Знаходимо вміст ^{137}Cs на 1 м^2 , для чого забруднення 1 кг перемножимо на масу забрудненого шару ґрунту:

$$1700 \text{ Бк/кг} \times 325 \text{ кг/м}^2 = 552500 \text{ Бк} = 552,5 \text{ кБк}$$

3. Визначаємо забруднення території в Кі/км^2 , для чого розділимо отримане забруднення на забруднення при 1 Кі ($1 \text{ Кі/км}^2 = 37 \text{ кБк/м}^2$):

$$552,5 \text{ кБк/м}^2 / 37 \text{ кБк/м}^2 = 14,9 \text{ Кі/км}^2$$

4. Знаходимо коефіцієнт переходу ^{137}Cs в картоплю сорту Світанок на дерново-підзолистих ґрунтах при вмісті калію 1 мг/100 г (додаток В). Він становить 44 Бк/кг при щільності забруднення 1 Кі/км^2

5. Визначаємо забруднення бульб картоплі, для цього отримане забруднення території $14,9 \text{ Кі/км}^2$ перемножимо на знайдений коефіцієнт для 1 Кі :

$$14,9 \times 44 \text{ Бк/кг} = 655,6 \text{ Бк/кг}$$

6. Визначаємо придатність отриманої продукції, для чого в додатку 1 знаходимо допустимий рівень вмісту в картоплі ^{137}Cs згідно з ДР-97. Він становить 60 Бк/кг .

Отже, продукція непридатна для використання, оскільки забруднення за ^{137}Cs перевищує допустимий рівень в $10,9$ рази ($655,6 \text{ Бк/кг} / 60 \text{ Бк/кг} = 10,9$).

Далі розпочинаємо дії щодо можливого використання угіддя для вирощування картоплі чи іншої продукції, яка б відповідала вимогам ДР-97.

7. Визначаємо необхідний коефіцієнт переходу для отримання придатної продукції, для чого коефіцієнт переходу 44 Бк/кг розділимо на $10,9$:

$$44 \text{ Бк/кг} / 10,9 = 3,3.$$

8. Знаходимо (додаток 1), при якому вмісті калію в ґрунті буде такий коефіцієнт у даній ситуації або менший. При вмісті калію в ґрунті 15 мг на 100 г коефіцієнт буде $3,0$.

9. Визначаємо дефіцит калію в ґрунті, для чого від необхідних 15 мг віднімаємо 1 мг наявного в ґрунті:

$$15 - 1 = 14 \text{ мг.}$$

Відомо, що для підвищення вмісту калію на 1 мг на 100 г в орному шарі ґрунту необхідно внести 30 кг калійних добрив за діючою речовиною.

10. Визначаємо необхідну кількість внесення калію, для чого 30кг для 1 мг на 100 г множимо на дефіцит калію:

$$30 \text{ кг} \times 14 = 420 \text{ кг.}$$

У перерахунку на мінеральні калійні добрива це становить близько 800–1000 кг/га. Внесення такої кількості добрив недоцільне, нерентабельне і навіть шкідливе.

Одним з варіантів подальшого вирішення задачі може бути підбір іншого сорту або іншої культури, близької за господарським значенням, але з меншим коефіцієнтом переходу ^{137}Cs . Для даної ситуації вони мало підходять. З одного боку, в зв'язку з тим, що через велику норму посадки знайти садивний матеріал у необхідній кількості важко. З іншого – замінити картоплю іншою культурою в умовах України практично неможливо.

Але, отриманий урожай картоплі, забруднення якої перевищує допустимий рівень в 10,9 рази, може бути перероблений на крохмаль. У процесі технологічної переробки добре розчинні у воді радіонукліди видаляються і одержаний продукт – крохмаль у середньому містить ^{137}Cs у 50 разів менше, ніж картопля. Такий крохмаль можна використовувати без обмежень як домішку при виготовленні харчових продуктів у м'ясній та кондитерській промисловості.

Крім цього, картопля може бути використана для виготовлення спирту, який буде практично чистим від ^{137}Cs , оскільки при отриманні спирту радіонукліди залишаються у бродильному середовищі.

Висновок: у заданих умовах забруднення ґрунту за ^{137}Cs картопля може вирощуватись для технічних цілей – одержання крохмалю і спирту.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 14

ВИЗНАЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА

Мета роботи: вирішити ситуаційну задачу з прогнозування можливого радіонуклідного забруднення продукції рослинництва.

Умови:

1. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні гороху, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 750 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,3 г/см³, товщина забрудненого шару – 22 см, вміст калію – 5 мг/100 г.
2. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні кукурудзи, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 900 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,3 г/см³, товщина забрудненого шару – 23 см, вміст калію – 6 мг/100 г.
3. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні вівса, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 798 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,2 г/см³, товщина забрудненого шару – 24 см, вміст калію – 3 мг/100 г.
4. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні ячменю, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 600 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,3 г/см³, товщина забрудненого шару – 25 см, вміст калію – 4 мг/100 г.
5. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні озимого жита, придатність його до

використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 560 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,3 г/см³, товщина забрудненого шару – 24 см, вміст калію – 7 мг/100 г.

6. Визначити вміст ¹³⁷Cs в зерні озимої пшениці, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 912 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,2 г/см³, товщина забрудненого шару – 22 см, вміст калію – 5 мг/100 г.
7. Визначити вміст ¹³⁷Cs в плодах томатів, придатність їх до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів в рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 705 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 24 см, вміст калію – 2 мг/100 г.
8. Визначити вміст ¹³⁷Cs в цибулі ріпчастій, придатність її до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 602 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,3 г/см³, товщина забрудненого шару – 27 см, вміст калію – 9 мг/100 г.
9. Визначити вміст ¹³⁷Cs в бульбах картоплі, придатність їх до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 627 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,2 г/см³, товщина забрудненого шару – 25 см, вміст калію – 5 мг/100 г.
10. Визначити вміст ¹³⁷Cs в коренеплодах моркви, придатність їх до споживання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих ґрунтах зі ступенем забруднення 531 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,3 г/см³, товщина забрудненого шару – 25 см, вміст калію – 4 мг/100 г.

11. Визначити вміст ^{137}Cs в коренеплодах столових буряків, придатність їх до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 544 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 24 см, вміст калію – 5 мг/100 г.
12. Визначити вміст ^{137}Cs в капусті, придатність її до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 717 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 21 см, вміст калію – 5 мг/100 г.
13. Визначити вміст ^{137}Cs в насінні гороху, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легко-суглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 616 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,2 г/см³, товщина забрудненого шару – 22 см, вміст калію – 3 мг/100 г.
14. Визначити вміст ^{137}Cs в насінні сої, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легко-суглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 516 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 23 см, вміст калію – 3 мг/100 г.
15. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні кукурудзи, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легко-суглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 770 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 23 см, вміст калію – 2 мг/100 г.
16. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні вівса, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легко-суглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 575 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 23 см, вміст калію – 3 мг/100 г.

17. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні ячменю, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів в рослини на дерново-підзолистих легко-суглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 589 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 26 см, вміст калію – 4 мг/100 г.
18. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні озимого жита, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легко-суглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 527 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 25 см, вміст калію – 7 мг/100 г.
19. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні озимої пшениці, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легко-суглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 452 Бк/кг. Питома маса ґрунту - 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 27 см, вміст калію – 8 мг/100 г.
20. Визначити вміст ^{137}Cs в плодах томатів, придатність їх до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легко-суглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 495 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 24 см, вміст калію – 6 мг/100 г.
21. Визначити вміст ^{137}Cs в цибулі, придатність її до споживання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 574 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару – 22 см, вміст калію – 2 мг/100 г.
22. Визначити вміст ^{137}Cs в бульбах картоплі сорту Світанок, придатність її до використання, рекомендації стосовно переробки з метою дезактивації та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах зі ступенем забруднення 1670 Бк/кг. Питома маса ґрунту – 1,4 г/см³, товщина забрудненого шару –

23 см, вміст калію – 2 мг/100 г.

23. Визначити вміст ^{137}Cs в бульбах картоплі, придатність їх до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 727 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,3 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 22 см, вміст калію – 5 мг/100 г.
24. Визначити вміст ^{137}Cs в коренеплодах столових буряків, придатність їх до споживання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 463 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,2 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 24 см, вміст калію – 6 мг/100 г.
25. Визначити вміст ^{137}Cs в капусті, придатність її до споживання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 565 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,2 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 25 см, вміст калію – 5 мг/100 г.
26. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні гороху, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 818 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,2 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 20 см, вміст калію – 7 мг/100 г.
27. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні озимого жита, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 760 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,5 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 23 см, вміст калію – 8 мг/100 г.
28. Визначити вміст ^{137}Cs в зерні гречки, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 462

Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,2 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 20 см, вміст калію – 10 мг/100 г.

29. Визначити вміст ^{137}Cs в кабачках сорту Грибовський 37, придатність їх до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 567 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,2 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 25 см, вмісту калію – 5 мг/100 г.
30. Визначити вміст ^{137}Cs в огірках сорту Конкурент, придатність їх до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 515 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,2 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 22 см, вміст калію – 3 мг/100 г.
31. Визначити вміст ^{137}Cs у часнику, придатність його до використання та можливі заходи щодо зниження надходження радіонуклідів у рослини на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зі ступенем забруднення 470 Бк/кг. Питома маса ґрунту – $1,2 \text{ г/см}^3$, товщина забрудненого шару – 20 см, вміст калію – 4 мг/100 г.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайченко В. А., Гудков І. М., Кашпаров В. О., Кічно В. О., Лазарєв М. М. Практикум з радіобіології та радіоекології. Херсон: Олді Плюс, 2014. 278 с.
2. Гудков І. М.. Радіобіологія: Підручник для вищ. навчальних закладів. К.: НУБіП України, 2016. 485 с.
3. Гудков И. Н., Кудяшева А. Г., Москалёв А. А. Радиобиология с основами радиоэкологии. Сыктывкар: Изд-во СГУ, 2015. 512 с.
4. Гудков І. М., Гайченко В. А., Кашпаров В. О., Кутлахмедов Ю. А., Гудков Д. І., Лазарєв М. М. Радіоекологія. Херсон: Олді Плюс, 2013. 467 с.
5. Гродзинський Д. М. Радіобіологія. К.: Либідь, 2000. 448 с.
6. Давиденко В. М. Радіобіологія. Миколаїв: Видав. МДАУ, 2011. 265 с.
7. Дудок К. П., Старикович Л. С., Дацюк Л. О. Радіобіологія: Навчально-методичний посібник. Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 118 с.

Додатки

Довідкові матеріали для вирішення задач

1. Середньобагаторічні значення Кп ¹³⁷Cs для різних культур залежно від вмісту обмінного калію в дерново-підзолистому ґрунті, (Бк/кг)/(Кі/км²)

Вміст обмін. К, мг/100 г	Зернові та зернобобові (зерно)														
	Кукурудза	Пшениця озима	Ячмінь	Тритика ле	Пшениця яра	Просо	Жито	Овес	Боби	Гречка	Соя	Горох	Вика	Люпин жовтий	
0,5	33	44	41	67	56	70	81	230	330	420	340	370	48	240	
1	17	22	20	34	28	35	40	110	160	210	180	190	24	120	
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	2,0	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	

Овочеві

Вміст обмін. К, мг/100 г	Баклажани	Цибуля ріпчаста, зелень	Цибуля батун, перо	Цибуля шніт, перо	Цибуля ріпчаста	Перець Ратунда	Перець солодкий	Кабачки Цукіні	Кабачки Одеські 52	Кабачки Грибовські 37	Гарбуз Мускатний	Гарбуз Великоплідний
0,5	4,8	12	15	11	15	19	26	22	19	22	22	33
1	2,4	6,1	7,4	5,6	7,4	9,3	13	11,1	9,25	11,1	11,1	16,7
2	1,2	3,1	3,7	2,8	3,7	4,6	6,5	5,6	4,6	5,6	5,6	8,3
3	0,63	1,6	2,0	1,5	2,0	2,4	3,4	2,9	2,4	2,9	2,9	4,4
4	0,6	1,5	1,9	1,4	1,9	2,3	3,2	2,8	2,3	2,8	2,8	4,2
5	0,48	1,2	1,5	1,1	1,5	1,9	2,6	2,2	1,9	2,2	2,2	3,3
7	0,34	0,85	1,0	0,78	1,0	1,3	1,8	1,6	1,3	1,6	1,6	2,3
9	0,26	0,67	0,81	0,61	0,81	1,0	1,4	1,2	1,0	1,2	1,2	1,8
11	0,23	0,56	0,69	0,52	0,69	0,85	1,2	1,8	0,85	1,8	1,8	1,5
13	0,19	0,48	0,58	0,43	0,58	0,72	1,0	0,87	0,72	0,87	0,87	1,3
15	0,16	0,41	0,5	0,38	0,5	0,63	0,89	0,75	0,63	0,75	0,75	1,1
20	0,12	0,39	0,37	0,28	0,37	0,46	0,65	0,56	0,46	0,56	0,56	0,83

Вміст обмін. К, мг/100 г	Овочеві											
	Патисони	Часник	Томати					Огірки Конкурент	Огірки Далекосхідні	Фізаліс сунічний	Фізаліс мексиканський	
			Українець тепличний	Світанок	Іскорка	Заказний 280	Лідер					
0,5	33	33	15	30	37	37	44	41	67	33	41	
1	17	17	7,4	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	
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	0,5	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	
Вміст обмін. К, мг/100 г	Овочеві											
	Шпинат	Морква Нантська	Морква Артек	Редиска			Петрушка	Коріандр	Календула	Капуста		
				Заря	Червоний Велет	Червона з білим кінчиком				Амагер 611	Брауншвейзька	Савойська
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	8,5
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	9,3	1,6	1,6	1,6	1,5	1,7

Вміст обмін. К, мг/100 г	Овочеві											
	Капуста							Перець гіркий	Пастернак	Фенхель овочевий	Кріп Грибовський	Цибуля Духмяна
	Червонокочан на	Білосніжка	Брюссельська	Цвітна	Рання	Кольрабі	Гілляста					
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
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
Вміст обмін. К, мг/100 г	Овочеві											
	Салат	Буряк столовий				Чорнушка	Ісол	Щавель	Чабер	Змієголовик	Крес-салат	Гірчиця салатна
		Бордо 237	Носівський	Червона куля	Раннє диво							
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	7,9	7,9	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	8,0

Вміст обмін. К, мг/100 г	Овочеві					
	Картопля, сорти					Топінамбур
	Невська	Незбудка	Луговська	Світанок	Каскад	
0,5	63	63	63	89	44	63
1	32	32	32	44	22	32
2	16	16	16	22	11	16
3	8,3	8,3	8,3	12	5,9	8,3
4	7,9	7,9	7,9	11	5,6	7,9
5	6,3	6,3	6,3	8,9	4,4	6,3
7	4,4	4,4	4,4	6,2	3,1	4,4
9	3,5	3,5	3,5	4,9	2,4	3,5
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

2. Середньобагаторічні значення Кп ^{137}Cs для кормових культур (зелений корм) залежно від вмісту обмінного калію в дерново-підзолистому ґрунті, (Бк/кг)/(Кі/км²)

Вміст обмін. К, мг/100 г	Кукурудза	Тимофійка	Корм збірний	Редька олійна	Капуста	Ріпак озимий	Конюшина червона	Соняшник	Люпин жовтий
0,5	55	84	100	110	160	170	200	220	550
1	28	42	51	55	79	84	99	110	280
2	14	21	26	28	39	42	50	55	140
3	7,2	11	14	15	21	22	26	29	73
4	6,7	11	13	14	20	21	25	28	69
5	5,5	8,4	10	11	16	17	20	22	55
7	3,8	5,9	7,2	7,7	11	12	14	15	39
9	3,0	4,6	5,6	6,1	8,7	9,3	11	12	30
11	2,5	3,9	4,7	5,1	7,2	7,8	9,1	10	25
13	2,1	3,3	4,0	4,3	6,1	6,6	7,7	8,6	22
15	1,9	2,9	3,5	3,7	5,4	5,7	6,7	7,5	19
20	1,4	2,1	2,6	2,8	3,9	4,2	5,0	5,5	14

3. Середньобагаторічні значення Кп ^{137}Cs для технічних культур у стадії господарської стиглості залежно від вмісту обмінного калію в ґрунті, (Бк/кг)/(Кі/км²)

Вміст обмінного К, мг/100 г	Льон, насіння	Льон, соломка	Соняшник	Редька олійна	Буряк цукровий
0,5	67	85	222	207	126
1	33	43	110	100	63
2	17	21	56	52	32
3	8,8	11	29	27	17
4	8,3	11	28	26	16
5	6,7	8,5	22	21	13
7	4,7	6,0	16	15	8,8
9	3,4	4,7	12	11	6,9
11	3,1	3,9	10	9,5	5,8
13	2,6	3,3	8,7	8,1	4,9
15	2,3	2,9	7,6	7,0	4,3
20	1,7	2,1	5,6	5,2	3,2

4. Значення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-97), Бк/кг (Бк/л)

№ п/п	Назва продукту	^{137}Cs	^{90}Sr
1.	Хліб і хлібопродукти	20	5
2.	Картопля	60	20
3.	Овочі (листові, коренеплоди, столова зелень)	40	20
4.	Фрукти	70	10
5.	М'ясо і м'ясні продукти	200	20
6.	Риба і рибні продукти	150	35
7.	Молоко і молочні продукти	100	20
8.	Яйця (шт.)	6	2
9.	Вода	2	2
10.	Молоко згущене і концентроване	300	60
11.	Молоко сухе	500	100
12.	Свіжі дикоростучі ягоди і гриби	500	50
13.	Сушені дикоростучі ягоди і гриби	2500	250
14.	Лікарські рослини	600	200
15.	Спеціальні продукти дитячого харчування	40	5
16.	Інші продукти	600	200

