

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького**

*кафедра біотехнології
та радіології*

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

*до виконання лабораторних робіт
з дисциплін “Радіобіологія” для студентів денної та заочної
форм навчання за освітньою програмою
“Технологія виробництва і переробки продукції
тваринництва”*

Львів - 2025

УДК 504.4:544:546.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Радіобіологія” для студентів денної та заочної форм навчання за освітньою програмою “Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва” розроблено на основі освітньої та робочої програм, затверджено на засіданні кафедри, протокол №22 від 25.02.2025 року та засіданні навчально-методичної комісії спеціальності 204 “Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва” біолого-технологічного факультету, протокол №6 від 28.02. 2025 року.

Укладачі: д.с.-г.н., професор Буцяк В.І., асистент Кіт Н.П.

Рецензент:

Гутий Б.В. доктор ветеринарних наук, професор, завідувач кафедри гігієни, санітарії та загальної ветеринарної профілактики імені Михайла Демчука

© Буцяк В.І., Кіт Н.П., 2025.

ВСТУП

Радіобіологія – наука про дію йонізуючого випромінювання на живі організми та їх угруповання. Вона передбачає вивчення механізмів взаємодії йонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти всіх рівнів організації: макромолекул, фагів, вірусів, найпростіших, клітин, тканин і органів, багатоклітинних рослинних і тваринних організмів, людини, популяцій, біоценозів, біосфери в цілому. Закономірності біологічної дії йонізуючого випромінювання використовуються для обґрунтування заходів щодо забезпечення радіаційної безпеки та розробки засобів захисту від радіаційного ураження і шляхів пострадіаційного відновлення, дослідження шляхів міграції і біологічної дії інкорпорованих організмами радіонуклідів.

Радіобіологія, є самостійною комплексною науковою дисципліною і має тісні зв'язки з рядом теоретичних і прикладних галузей знань: фізикою, біохімією, молекулярною біологією, цитологією, гістологією, генетикою, фізіологією тощо. Одночасно радіобіологія є теоретичним фундаментом для розвитку радіаційної біохімії, радіаційної цитології, радіаційної генетики, радіаційної екології, космічної радіобіології, сільськогосподарської радіології, радіаційної токсикології.

Специфікою радіобіології як самостійного наукового напрямку є вивчення взаємодії популяцій живих організмів і забрудненого радіоактивними ізотопами навколишнім середовищем, що забезпечує можливості росту, розвитку та виживання організмів, умови формування структури і динаміки популяцій та угруповань організмів.

Основними напрямками сільськогосподарської радіобіології є:

- організація та проведення радіологічного контролю у сфері агропромислового комплексу;
- проведення спеціальних заходів щодо ведення тваринницької галузі в умовах радіонуклідного забруднення зовнішнього середовища;
- застосування контрзаходів, які забезпечать безпечне проживання на територіях забруднених радіонуклідами та виробництво продукції сільського господарства, що відповідає радіологічним стандартам;
- проведення комплексу заходів із діагностики, лікування та профілактики радіаційного ураження сільськогосподарських тварин;
- ознайомлення з основами і методами радіоізотопних досліджень та радіаційної біотехнології у сільському господарстві.

Лабораторна робота № 1

Тема: “Техніка безпеки при роботі в радіологічній лабораторії”

Мета роботи. Оптимізація прийомів і технологічних процесів щодо роботи з джерелами радіації на рівні, який мінімізує навантаження на людину.

Завдання. Встановити контрольований рівень випромінювання та концентрації радіоактивних речовин на робочих місцях або в навколишньому середовищі нижче, ніж гранично допустимі дози.

Теоретичні відомості

Усі роботи з використанням відкритих джерел радіації поділяються на 3 класи. Клас робіт залежить від активності радіоактивних речовин на робочому місці, пов'язаної з радіотоксичністю нукліду і встановлюється органами Держсанепідемслужби МОЗ України, відповідно до табл. 1.

Таблиця 1. Клас робіт залежно від групи радіотоксичності ізотопу

Група радіотоксичності	Мінімально значима активність на робочому місці, мкКі	Активність на робочому місці, мкКі		
		Клас робіт		
		I	II	III
A	0,1	$> 10^4$	$10-10^4$	0,1-10
B	1	$> 10^5$	10^2-10^5	1- 10^2
B	10	$> 10^6$	10^3-10^6	10^2-10^3
Г	100	$> 10^7$	10^4-10^7	10^3-10^4

Згідно з ОСПУ (Основні санітарні правила України) радіоактивні речовини за токсичністю, розділяються на 4 групи:

- група А – елементи з особливо високою радіотоксичністю (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{210}Po);

- група Б – елементи з високою радіотоксичністю (^{22}Na , ^{45}Ca , ^{60}Co , ^{131}I , ^{238}U);

- група В – елементи з середньою радіотоксичністю (^{31}Si , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{40}K);

- група Г – елементи з низькою радіотоксичністю (^3H , ^{14}C , ^{17}N , ^{69}Zn).

За внутрішнього планування радіологічної лабораторії слід передбачити їх зонування: перша зона “чиста” – це приміщення куди забороняється вносити радіоактивні речовини у будь-якому

агрегатному стані. Друга зона “умовно чиста” – тут розміщують вимірювально-розрахункове обладнання. Третя зона – “брудна” – це приміщення, де готують, розфасовують і зберігають радіоактивні препарати.

Робота з радіоактивними речовинами вимагає організованості, дисципліни та суворого дотримання правил поводження з ними, що зводяться до наступного: відкривати без потреби контейнер, де знаходяться радіоактивні препарати категорично забороняється; переносити радіоактивні речовини необхідно тільки в захисних контейнерах і витягати їх з них забороняється; при виконанні робіт робоче місце має бути на відстані не менше 0,5 м від контейнера; неможна залишати контейнер відкритим, заглядати в нього, опиратися на нього; час тривалості роботи з радіоактивними речовинами регламентується у відповідності до доз опромінення.

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

- категорія А (персонал) – особи, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами йонізуючого випромінювання;
- категорія Б – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами йонізуючого випромінювання, але в зв'язку з розташуванням робочих місць у приміщеннях з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримати додаткове опромінення;
- категорія В – усе населення України.

Числові значення лімітів доз встановлюються на рівнях, що виключають можливість виникнення не стохастичних ефектів опромінення і одночасно гарантують настільки низьку імовірність виникнення стохастичних ефектів опромінення, що вона є прийнятною як для окремих осіб, так і для суспільства в цілому.

Ліміт дози – основний радіаційно-гігієнічний норматив, метою якого є обмеження опромінення осіб категорій А, Б і В від усіх індустриальних джерел йонізуючого випромінювання у ситуаціях практичної діяльності (табл. 2). Оцінка допустимих рівнів зовнішнього і внутрішнього опромінення на організм людини проводиться не тільки за рівнем опромінення всього організму, але й за станом критичних органів, які в умовах нерівномірного опромінення організму призводять до суттєвої шкоди здоров'ю людини або її нащадків.

У порядку зменшення радіочутливості виділяють три групи критичних органів:

- усе тіло, гонади, червоний кістковий мозок;

- м'язи, щитоподібна залоза, легені, печінка, селезінка, шлунково-кишковий тракт, кришталик ока та інші;
- кісткова тканина, шкіряний покрив, передпліччя, ступні.

Таблиця 2. Ліміти річної ефективної та еквівалентної дози опромінення осіб, мЗв/рік

Ліміт доз	Категорія осіб		
	А	Б	В
Ліміт ефективної дози	20	2	1
Ліміти еквівалентної дози зовнішнього опромінення для:			
- кришталика ока	150	15	15
- шкіри	500	50	50
- кистей та стоп	500	50	-

Рівень радіоактивної безпеки залежить від виду радіоактивного джерела (закритий чи відкритий), його фізичного і хімічного стану, енергії випромінювання, періоду напіврозпаду ізотопу, величини радіоактивності на робочому місці. Закритим називається джерело випромінювання, при використанні якого радіоактивні речовини не потрапляють у довкілля. Вони становлять небезпеку тільки як джерело зовнішнього опромінення.

Відкритим називається джерело випромінювання, при використанні якого можливе попадання радіоактивних речовин у навколишнє простір (порошки, розчини, гази). При роботі з радіоактивними речовинами у відкритому вигляді, окрім захисту від зовнішнього опромінення, необхідно забезпечити повний захист людини від попадання радіоактивних речовин в організм.

Всі джерела йонізуючого випромінювання в неробочому стані повинні бути опечатані. При роботі з джерелами йонізуючого випромінювання необхідно використовувати всі засоби, що не допускають розбризкування, розливів розчинів, розсипання порошків, попадання радіоактивних речовин на шкіру рук, до органів дихання і травлення. Не допускати присутність осіб, які не зайняті роботою з радіоактивним джерелом у приміщення, в якому в даний час проводиться ця робота. Працюючи з джерелом йонізуючого випромінювання необхідно використовувати засоби індивідуального захисту шкіри рук, органів дихання. При розливі розчину або розсипання порошку, які містять радіоактивний ізотоп, необхідно вимкнути витяжну систему, зібрати все в контейнер для твердих і

рідких відходів, при цьому роботи проводяться в гумових рукавичках і респіраторі. Для видалення розчинів використовують фільтрувальний папір, збору порошку – кальку.

Для проведення дезактивації робочого місця використовують дезактивуючі розчини, комплексоутворюючі сполуки, органічні розчинники або миючі засоби: **1)** 0,1% розчин трилону Б, що містить 0,2% цитринової кислоти, 0,3% дезактивуючого розчину; **2)** 5% розчин цитринової кислоти і 0,1 М розчин нітратної кислоти; **3)** 40 г їдкого натрію розчинити в 1 л води, додати 0,1% розчину трилону Б; **4)** 40 г розчину марганцевокислого калію розвести в 1 л води. При забрудненні радіоактивними речовинами окремих ділянок столів, підлоги необхідно провести їх дезактивацію. Після чого цю поверхню обробляють миючими засобами, витирають насухо, на поверхні проводять радіометричний контроль.

Після закінчення роботи необхідно прибрати робоче місце і обробити робочі поверхні та інструменти дезактивуючими розчинами. Необхідно регулярно перевіряти робоче місце за допомогою дозиметричних приладів.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте основні принципи радіаційної безпеки людини.
2. Назвіть категорії осіб, які опромінюються.
3. Вкажіть вимоги до лабораторій, де працюють з джерелами радіації.
4. Обґрунтуйте поняття про гранично допустиму дозу.
5. Охарактеризуйте ефекти часу, кількості, відстані та екрану.
6. Що означає “Шар половинного ослаблення опромінення”?
7. Як здійснюється дезактивація приміщень, де працюють з радіоактивними речовинами?
8. Вкажіть індивідуальні засоби захисту при роботі з радіоактивними речовинами з врахуванням їх класу.
9. Охарактеризуйте вимоги щодо облаштування радіологічних лабораторій.
10. Йонізуюче опромінення це:
 - потік теплової енергії;
 - потік корпускулярних частинок, фотонів, квантів;
 - потік нейтронів.

Лабораторна робота №2

Тема: “Відбір проб – об’єктів контролю для радіологічного дослідження ”

Мета роботи. Навчитися встановлювати місця відбору та опанувати методами відбору проб для радіологічного дослідження.

Завдання. Провести відбір проб води, ґрунту, рослин, зерна, коренебульбоплодів, зеленої маси трав, грубих кормів (сіно, солома), молока і молочних продуктів, м’яса і субпродуктів, риби, яєць, меду.

Теоретичні відомості

Одне з основних завдань радіологічних підрозділів – здійснення контролю за радіоактивним забрудненням об’єктів навколишнього середовища. Головною формою такого контролю є визначення концентрації радіонуклідів в об’єктах довкілля, що мають пряме відношення до життєдіяльності тварин та людей.

На підставі радіометричних, спектрометричних і хімічних досліджень приймаються рішення про можливість їх практичного використання. Для отримання зіставних результатів всі операції радіометричної експертизи, починаючи з відбору проб і кінчаючи статистичною обробкою результатів досліджень, виконуються відповідно до єдиних для всіх радіологічних служб методичних вказівок.

Визначення сумарної β -активності проводять для оперативного контролю за забрудненістю досліджуваних об’єктів. Визначення ^{210}Po та ^{239}Pu проводиться в районах зі збільшеним вмістом цих елементів в кормах; ^{90}Y , ^{95}Zr , ^{103}Ru і ^{106}Ru , ^{131}J , ^{140}Ba , ^{141}Ce і ^{144}Ce – у випадках “свіжих” опадів радіоактивних речовин при забрудненні сільськогосподарських угідь продуктами ядерного поділу в результаті аварій на підприємствах атомно-енергетичного циклу; вміст ^3H оцінюють у продуктах і сировині тваринного походження, зернофуражі, що завезені закордону; ^{134}Cs і ^{137}Cs , ^{89}Sr і ^{90}Sr , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{238}U визначають у ґрунтах, грубих, соковитих, концентрованих кормах, коренеплодах, продуктах тваринництва. ^{103}Ru і ^{106}Ru , ^{210}Po , ^{239}Pu оцінюють в сіні, траві, силосі, кістках та м’язах; ^{90}Y , ^{141}Ce і ^{144}Ce – у сіні, траві; ^{95}Zr , ^{131}J , ^{140}Ba – у траві та молоці. У воді, як правило, оцінюють лише сумарну β -активність.

У табл. 3 наведені оптимальні терміни та норми відбору проб, що дозволяють отримати найповнішу інформацію про ступінь їх радіоактивного забруднення.

Таблиця 3. Терміни і норми відбору проб різних об'єктів для оцінки радіоактивності та вмісту радіонуклідів.

Найменування об'єкту	Термін відбору проб	Маса проб для:	
		визначення сумарної β -активності	радіохімічного аналізу
Грунт	Весна, літо, осінь	150-300 г	1,5-2,0 кг
Трава	Весна, літо, осінь (1-2 рази на місяць)	150-300 г	4,0-5,0 кг
Зерно	Літо	100-200 г	2,0-3,0 кг
Грубі корми	Осінь	100-200 г	2,0-3,0 кг
Силос, сінаж	За згодовування	100-200 г	4,0-5,0 кг
Коренебульбо-плоди	Осінь	150-300 г	3,0-6,0 кг
Молоко	Раз на місяць	100-800 мл	5,0-6,0 л
Вода	Весна, літо, осінь	800-1000 мл	20,0 л
Птиця	За надходженням	100-200 г	1 тушка
Яйце	Те ж	3-6 шт	10 шт
Мед	Те ж	150-300 г	0,5-1,0 кг
Вовна	Те ж	20-40 г	0,2-0,5 кг

Корми, що експортуються чи імпортуються, продукти тваринництва і рослинництва досліджуються у міру їх надходження. Проба повинна бути типовою для об'єкту, а маса (об'єм) – достатньою для того, щоб після концентрації отримати таку кількість золи, яка необхідна для визначення сумарної β -активності та проведення радіохімічного аналізу.

Середню пробу формують з 8-10 “точкових проб”. Кожну відібрану середню пробу зважують, поміщають в чисту тару (скляна банка, пляшка, поліетиленовий мішок, паперовий пакет тощо), упаковують в ящик, опечатують. До тари прикріплюють етикетку, де указують назву проби, місце і дату відбору, її масу, а у разі висушування проби указують масу сирової і сухої проб.

Окрім того, при відборі проби складається акт у двох екземплярах, в якому вказують необхідні відомості:

1. Ким узяті проби (установа, посада, прізвище тощо).
2. Місце і дата відбору проби.
3. Назва продукту.
4. Опис узятих проб, номери проб і їх маса.
5. Куди прямують проби. Мета дослідження.
6. Підписи особи, що проводила відбирання, і представника господарства.

Відбирання проб сіяних трав і трав з природних угідь (1-2 кг) проводять двічі на місяць у перший рік радіоактивного забруднення та один раз на місяць у наступні роки. Проби сіна, сінажу, соломи, коренебульбоплодів і концентратів відбирають при їх закладці на зиму, а також при дослідженні кормів раціону. Проби води з річок, озер, ставків та інших водних джерел беруть у місцях водопою 1 раз на місяць у весняний, літній і осінній періоди. Контрольні проби молока відбирають не рідше 2 разів на місяць в перший рік радіоактивного забруднення території, а в подальші роки – 1 раз на місяць.

М'ясо, внутрішні органи, кістки тварин відбирають безпосередньо в контрольних господарствах в період забою, але не рідше 4 рази на рік (взимку, навесні перед вигоном на пасовищі або початком згодовування зелених кормів, в середині літа і восени перед переходом на зимово-стійлове утримання). Проби м'яса птиці (1 тушка) і яєць (10 штук) беруть щомісячно в період масового забою і здачі яєць в торгову мережу. Рибу відбирають цілими екземплярами одночасно з пробами води в період масового вилову, мед – перед здачею на заготівельні бази або в державну (кооперативну) торгову мережу.

Результати визначення радіоактивності обробляють математично: визначають середню арифметичну величину вимірювань (M), величину її погрішності ($\pm \delta$), достовірність різниці між середніми арифметичними по роках (t – критерій Стюдента).

1. Відбір проб води

Рівень природної радіоактивності води може значно коливатися залежно від характеру водоймищ і ступеня їх мінералізації. Але, як правило, сумарна активність її не перевищує 1,85 Бк/л ($5 \cdot 10^{-11}$ Кі/л). Проби води з річок відбирають в декількох пунктах у обох берегів і

посередині річки на глибині 0,5 м, а якщо глибина річки перевищує 2-3 м, то проби води беруть також на глибині 0,5 м від дна.

Місце відбору встановлюють за типом водойми і його призначення. Виділяють прості та змішані проби. Прості проби характеризують якість води в даному пункті відбору, відбираються в певний час у необхідному об'ємі. Змішані проби об'єднують декілька простих проб. Вони характеризують якість води за певний період часу або певної ділянки досліджуваного об'єкта.

Залежно від мети відбору проб, вони можуть бути разовими та регулярними. Разовий відбір проб застосовується у випадках, коли:

- вимірювані параметри несуттєво змінюються в часі, а також з глибиною і акваторією водойми;
- попередньо відомі закономірності зміни параметрів, що визначаються;
- є потреба лише у найбільш загальних даних про якість води у водоймі.

Регулярний відбір – це такий відбір проб, за якого кожна проба відбирається в часовій та просторовій взаємозалежності з іншими.

Для невеликої водойми повинно бути не менше трьох точок відбору, проби води з річок відбирають з декількох ділянок, обов'язково біля правого, лівого берегів та посередині на глибині 0,5 м. Об'єм проби не повинен бути меншим 1 л. При глибині 2-3 м відбирають проби поверхневої води на відстані 2-3 м від берега. При глибині більше 3 м відбирають проби води на відстані 1,5 м від донних осадів. У великих водойм проби води відбирають по сітці станцій. Відстань між станціями не повинно перевищувати 1 км.

Проби поверхневої води відбирають та ретельно обполіскують відібраною водою пластикові каністри (10-20 л). Для відбору проб на різній глибині використовують спеціальні пристрої – батометри різних типів: горизонтальні, перекидні та автоматичні.

Батометр опускають у воду та на необхідній глибині, потягнувши за мотузку набирають воду. Після заповнення склянки мотузку опускають та пробка автоматично закривається. Піднявши батометр, металічну пробку замінюють ватною. На пляшках з пробами води роблять надпис, в якому вказують назву та місцезнаходження джерела, дату та час відбору проби, метеорологічні умови (температура повітря, опади), мету дослідження, посаду та підпис особи, яка відбирала проби.

За умови невисокого радіоактивного забруднення води, її гігієнічна оцінка здійснюється на підставі порівняння з природнім

радіоактивним фоном. А за високих концентрацій радіонуклідів у воді сумарна β - і γ -активність порівнюється з максимально допустимими нормами. Коли водойма забруднена декількома радіонуклідами, то необхідно провести радіохімічний аналіз і одержані результати досліджень щодо кожного ізотопу порівняти з середньорічними допустимими концентраціями, передбаченими нормами радіаційної безпеки.

Для зберігання проб використовують поліетиленовий та скляний посуд. Перед використанням посуд мийуть концентрованою кислотою та споліскують водопровідною водою. Основні вимоги до посуду – це його міцність, стійкість до розчинення і щільність закривання.

2. Відбір проб ґрунту

Природна радіоактивність ґрунту визначається в основному ізотопом ^{40}K , а також ізотопами урану, радію, торію, рубідію та інших, внаслідок різного хімічного складу ґрунтів вона коливається в межах $(0,2-2,0) \times 10^{-8} \text{ Кі/кг}$ $[(0,74-7,40) \cdot 10^2 \text{ Бк/кг}]$ сирової маси, що відповідає $0,3-3,5 \text{ Кі/км}^2$ $[(1,00-12,75) \cdot 10^{10} \text{ Бк/км}^2]$ випромінюванню при товщині узятого зразка 5 см.

Проби ґрунту відбираються методом «конверта», тобто в п'яти точках (кути і центр квадрата із стороною 100 м) вибирається шар розміром 15×15 см на глибину 5 см. Контрольні точки відбору проб повинні бути віддалені від доріг не менше чим на 200 м. Остаточна проба (1 кг) складається з п'яти добре перемішаних зразків із заздалегідь видаленою рослинністю.

3. Відбір проб рослин

Проби рослин відбираються на ділянках, що й проби ґрунтів. Для отримання об'єднаної (середньої) проби рослин природної вологості рекомендується відбирати не менше 8-10 точкових проб. Надземну частину трав'яного покриву зрізують гострим ножом або ножицями, щоб не засмічувати ґрунтом, укладають в поліетиленовий пакет або крафт-папір, вкладають етикетку.

З посівів сільськогосподарських культур слід брати проби по діагоналі поля або ламаної кривої, з скірт – на висоті 1,0-1,5 м від землі і з глибини не менше 0,5 м, з буртів – з глибини 0,3-0,5 м.

Об'єднану пробу складають з 8-10 точкових проб, узятих з наземної частини рослин або роздільно стебел і листя, плодів, зерна, корене-, бульбоплодів. Загальна маса точкових проб повинна бути не менше 2 кг повністю використаних для формування середньої проби.

4. Відбір проб зерна

Точкові проби зерна з автомобілів відбирають механічним пробовідбірником або щупом. З автомобілів з довжиною кузова до 3,5 м їх відбирають в чотирьох точках, 3,5-4,5 м – в шести точках, від 4,5 і більш – у восьми точках на відстані 0,5-1,0 м від переднього і заднього бортів і близько 0,5 м від бічних бортів.

Механічним пробовідбірником точкові проби відбирають по всій глибині насипу зерна, ручним щупом – з верхнього і нижнього шарів, торкаючись щупом дна. У автопоїздах проби відбирають з кожного кузова (причепа).

Загальна маса точкових проб повинна бути не менше 2 кг. Якщо загальна маса буде менша вказаної, відбирають додаткові точкові проби в тих же місцях в середньому шарі насипу. Точкові проби зерна з мішків відбирають з кожного другого мішка, якщо мішків у партії до 10 шт. включно; з 5 мішків плюс 5% від кількості мішків в партії, якщо їх більше 10 і до 100 шт. включно. Якщо кількість мішків в партії понад 100 – проби відбирають з 10 мішків плюс 2,5% від кількості мішків у партії. Із мішків точкові проби відбирають щупом в трьох доступних точках. Щуп вводять у напрямку до середньої частини мішка жолобком вниз, потім повертають його на 180° і виймають. Отвір, що утворився, закривають хрестоподібними рухами вістря щупа, зрушуючи нитки мішка.

Загальна маса точкових проб – не менше 2 кг. Об'єднану пробу отримують як сукупність точкових проб, які зсипаються в чисту міцну тару, що виключає зміну якості зерна. При використанні механічного відбірника проб усі точкові проби зерна змішуються в процесі відбору проб із утворенням об'єднаної проби.

5. Відбір проб коренебульбоплодів

Проби відбирають від однорідної партії. Однорідна партія корене- або бульбоплодів – це будь-яка кількість одного сортового типу, заготовленого з одного поля та зберігається в однакових умовах.

Точкові проби відбирають по діагоналі бічної поверхні бурту, насипу, куп або середньої лінії кузова автомобіля, причепа, вагону, баржі через рівні відстані на глибині 20-30 см. Точкові проби масою по 1,0-1,5 кг сполучають в об'єднану пробу. Середню пробу для аналізу виділяють з об'єднаної, маса її повинна бути 1,0-1,5 кг. Для цього об'єднану пробу сортують по величині бульбо- або коренеплодів на три групи: великі, середні і дрібні. Від кожної групи відбирають по 20% і об'єднують їх.

6. Відбір проб трави і зеленої маси сільськогосподарських культур

Проби трави з пасовищ або сінокосів відбирають безпосередньо перед випасом тварин або скошуванням на корм, для чого на вибраній ділянці виділяють 8-10 облікових майданчиків площею 1-2 м², розташовуючи їх по діагоналі. Травостій скошують (зрізують) на висоті 3-5 см. Від зеленої маси, перед безпосереднім згодовування твариною або для приготування силосу, сінажу, точкові проби беруть вручну не менше чим з 10 різних місць порціями по 400-500 г. Отриману зі всіх облікових майданчиків або точкових проб зелену масу ретельно перемішують і розподіляють рівним шаром, отримуючи таким чином об'єднану пробу.

З об'єднаної проби зеленої маси відбирають середню пробу для аналізу, маса якої повинна бути 1,5-2,0 кг. Для цього траву беруть порціями по 150-200 г з 10 різних місць. Відбирання проб силосу і сінажу проводять в період згодовування з різних ділянок траншеї. Маса середньої проби повинна складати 1,5-2,0 кг.

7. Відбір проб грубих кормів (сіно, солома)

Точкові проби з партії сіна або соломи, що зберігаються в скиртах, відбирають по периметру скирт на рівних відстанях один від одного на висоті 1,0-1,5 м від поверхні землі зі всіх доступних сторін з глибини не менше 0,5 м. З точкових проб складають об'єднану пробу масою не менше 2 кг. Для цього точкові проби сіна укладають тонким шаром (3-4 см) і обережно перемішують, не допускаючи ломки рослин і утворення січки.

З об'єднаної проби сіно відбирає середню пробу для аналізу, для чого не менше ніж із 10 різних місць за всією площею і товщиною шару відбирають пучки сіна масою 60-120 г. Відібрану середню пробу масою не менше 1 кг упаковують в щільний папір, паперовий або поліетиленовий пакет, вкладають етикетку.

Методи відбору проб продуктів рослинництва, не згаданих вище, аналогічні описаним. Так, методи відбору всіх видів круп, бобів, насіння аналогічні методам відбору проб зерна; яблука, помідори, баклажани відбираються згідно методам відбору коренеплодів тощо. З невеликих партій продуктів (ягоди, зелень) точкові проби беруть в 4-5 місцях. Об'єднана проба по масі або об'єму не повинна перевищувати триразової кількості, необхідної для вимірювання на відповідному приладі.

8. Відбір проб молока і молочних продуктів

Відбирання проб проводять на фермах, молочних пунктах, молокозаводах, холодокомбінатах і ринках. Пробу рідких продуктів (молоко, вершки, сметана) з невеликої ємкості (бідон, фляга тощо) відбирають після перемішування, з великих (цистерна, чан) – з різної глибини ємкості кухлем із подовженою ручкою або спеціальним підбирачем проб. Величина середньої проби складає 0,2-1,0 л і залежить від маси всієї партії продукції. Масло, сир і тверді сири відбирають на молокозаводах і холодокомбінатах. Залежно від маси виготовленої продукції для проби відбирають 0,5 кг сиру і 0,3 кг масла.

9. Відбір проб м'яса і субпродуктів

Проби м'ясної продукції відбирають на забійних пунктах, м'ясокомбінатах і ринках. Проби м'яса (без жиру) від туш або половини туш відбирають шматками по 30-50 г в частині 4-5-ого шийного хребця, лопатки. Стегна та товстих частин спинних м'язів. Загальна маса проби повинна складати 0,2-0,3 кг Для спеціального лабораторного дослідження відбирають також кістки в кількості 0,3-0,5 кг (хребет і 2-3-тє ребро). Проби внутрішніх органів тварин – печінка, нирки, селезінка, легені – відбирають масою 0,1-0,2 кг; щитоподібна залоза аналізується цілком.

Проби м'яса птахів відбирають в кількості 1/4 тушки (кури, індички, гуски) або цілком (курчата). Кількість зразків продукції, що відбираються для лабораторного аналізу, залежить від величини партії і складає при масі 1-500 кг – один зразок, 0,5-3,0 т – два, 3,0-5,0 т – три, 5,0-10,0 т – п'ять, 10,0-20,0 т – шість, від 20 т і більше – десять зразків.

10. Відбір проб риби

Відбір проб проводять на рибокомбінатах, холодокомбінатах, ринках, а також при масовому вилові – безпосередньо в рибгоспах. Дрібну рибу беруть цілою, з великої – тільки середню частину. Дослідженню підлягають всі види риби. Маса середньої проби складає 0,3-0,5 кг Кількість проб визначається величиною партії.

Проби молока, м'яса, риби при тривалому транспортуванні консервують 4-5%-м розчином формаліну.

11. Відбір проб меду

Відбір проб проводять на пасіках, ринках, складах, базах господарств і споживкооперації. Відбір проби меду проводять трубчастим алюмінієвим пробовідбірником, якщо мед рідкий, або щупом для масла, якщо мед щільний, з різних шарів продукції. У

закристалізованого меду проби відбирають конічним щупом, занурюючи його під нахилом.

При дослідженні сотового меду з однієї рамки вирізують частину стільників площею 25 см². Якщо сотовий мед шматковий, пробу беруть по 150-300 г із кожної упаковки. Після видалення воскових кришечок зразки меду кладуть на сітчастий фільтр з діаметром осередків не більше 1 мм, вкладений у стакан і поміщають в термостат за температури 40-45°C. Маса середньої проби повинна складати 0,2-0,3 кг.

12. Відбір проб яєць

Відбір проб проводять на птахофабриках і ринках. Величина проби – 5-10 шт. з однієї птахоферми, 3 шт. – від кожної тисячі упакованої партії і 2 шт. – від партії ринкового продажу.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте суть і значення радіометрії.
2. Вкажіть класифікацію дозиметрів.
3. Вкажіть основні правила відбору проб для радіологічного аналізу.
4. Вкажіть основні джерела природного радіаційного фону.
5. Охарактеризуйте природну радіацію як складову довкілля.
6. Вкажіть два підходи до вивчення ролі природної радіоактивності в життєдіяльності тварин та рослин.
7. Охарактеризуйте можливу роль природної радіоактивності в еволюції видів і формуванні біорізноманіття.
8. Дія радіації на організм. Радіочутливість. Критичні органи за променевого ураження.
9. Застосування йонізуючого опромінення у медицині. Радіотерапія. Ядерна медицина.
10. Радіометрія це наука, що:
 - вивчає фізичні і хімічні явища в природі;
 - здійснює моніторинг радіаційного забруднення навколишнього середовища;
 - вивчає будову атома.

Лабораторна робота № 3.

Тема: “Підготовка проб для радіометричних та радіохімічних досліджень”

Мета роботи. Оволодіти методиками підготовки проб зеленої маси трави, грубих кормів (сіно, солома), силосу, сінажу, коренебульбоплодів, комбікорму, молока, м'яса для радіохімічного аналізу.

Завдання. Ознайомитися з методикою визначення об'ємної та питомої радіоактивності.

Теоретичні відомості

Відбір зразків продукції включає такі етапи: виділення однорідної партії, визначення числа необхідних зразків для проведення радіаційного контролю, складання об'єднаного зразка і формування з нього середнього зразка. Відбір зразків проводять з однорідної партії продукції. Однорідність її встановлюють шляхом прямого вимірювання рівня γ -випромінювання за допомогою професіонального переносного радіометра або дозиметра (типу СРП-88Н, ДБГ-01Н, ДРГ-01Т чи іншого приладу, чутливість якого не нижче ніж у вказаних) за чинними методиками.

Партію продукції вважають однорідною за рівнем радіоактивного забруднення, якщо результати вимірювань у різних точках різняться не більше, ніж у тричі. Однорідні партії розділяють на три групи за рівнем радіоактивного забруднення: з низьким – менше 50%, середнім від 51% до 150%, та високим – вище 150% від чинного нормативу.

Кожну з вказаних груп досліджують як окрему партію. Радіологічні дослідження проб проводять у суворій відповідності з чинними “Основними санітарними правилами роботи з радіоактивними речовинами” і правилами техніки безпеки. При відборі і транспортуванні зразків дотримуються умов, які виключають взаємне забруднення зразків, а також забруднення транспортного засобу і навколишнього середовища.

Маса середнього зразка, надісланого на дослідження, залежить від величини радіоактивного забруднення підконтрольного матеріалу, що передбачено методологією та регламентується чинними вказівками і нормативно-правовими актами щодо методів досліджень.

Використані при відборі проб інструменти та тара для перевезення підлягають дезактивації поверхнево-активними

комплексоутворюючими речовинами або спиртом з наступним дозиметричним та радіометричним контролем. Тару та ємкість, які не підлягають дезактивації до рівнів допустимого забруднення (НРБУ-97), відносять до радіоактивних відходів та знищують в установленому порядку. Відібрані проби зберігають у лабораторії та обробляють їх в окремій кімнаті. Для приготування середньої проби матеріал ретельно перемішують, за потреби подрібнюють. Якщо радіонуклідів у пробі недостатньо для аналізу, то їх слід сконцентрувати (табл. 4). Методи, що використовуються для цієї мети, різні, залежно від характеру досліджуваного матеріалу.

Висушування до постійної маси сухого залишку проводять у муфельній печі за температури 400-450°C, чашки з обвугленим матеріалом поміщають в охолоджені печі і починають повільно підвищувати температуру до 410-450°C, щоб уникнути спікання проби. Процес вважають закінченим, якщо попел білого або світло-сірого кольору. Проби остигають у муфельній печі до температури 200-150°C, потім їх поміщають в ексикатор, де охолоджують до кімнатної температури, після чого зважують. Визначення маси отриманого попелу проводять шляхом віднімання від маси тигля із золою масу порожнього тигля.

Для визначення сумарної β -активності не потрібно великої кількості золи, тому достатньо наважки сирого матеріалу в кількості 150-200 г: для зерна – 30-50 г; шерсті – 25-30 г; фекалій – 30-50 г; сечі, молока, крові – по 100-150 мл. Якщо у попередніх дослідженнях виявлено у частини проб підвищений рівень радіації, то такі проби підлягають радіометричному дослідженню.

Для радіохімічного аналізу маса однієї сирої проби становить від 2-х до 3-х кг. Кістки беруть у меншій кількості: від 100 до 300 г на одну пробу. При визначенні йоду-131 в молоці користуються різними прийомами: якщо визначення проводиться в зольному залишку, то на одну пробу витрачається 3 л молока, якщо ж йод визначають у свіжому молоці, то мінімальна порція молока повинна скласти 100 мл.

Проби трави, м'яса, риби, кісток, овочів, коренеплодів подрібнюють, висушують в сушильній шафі за температури 80-100°C. Воду, молоко та інші рідкі проби випарюють на плиті або газовому пальнику в порцеляновій чашці, поступово додаючи в чашку відміряний об'єм рідини. У молоко перед випарюванням слід додати трохи ацетатної або іншої кислоти, що викликає коагуляцію білка, зменшує спучування за нагрівання і, таким чином, запобігає можливі

втрати. Випарювання проб рідин рекомендується проводити за постійного нагляду.

Таблиця 4. Приблизний вихід попелу із деяких видів проб.

Проби	Вихід попелу, %
1. Зелені корми, харчова зелень	2,0
2. Сіно	4,2 - 5,0
3. Солома	5,0 - 7,0
4. Овочі	0,7 - 1,2
5. Коренебульбоплоди	1,0 - 1,2
6. Зерно	3,0 - 4,0
7. Молоко	0,7 - 1,2
8. М'ясо	1,0 - 1,5
9. Яйце: жовток	1,1 - 1,5
білок	0,6 - 0,8
шкорлупа	0,7 - 10,0
10. Кістки	35,0 - 50,0
11. Шерсть	7,0

Для дослідження проб на сумарну β -активність спалювання проводять за температури не вище 600°C , тому що більш висока температура призводить до втрати калію, випромінювання якого, в основному, визначає природну радіоактивність. Окрім того, швидке нагрівання і високі рівні температури призводять до сплавлення ряду проб зі стінками тигля та утворення нерозчинного, який важко відокремлюється від посуду осаду (проби сечі та деяких коренеплодів).

Для аналізу на стронцій-90 озолення проводять за температури $900-1000^{\circ}\text{C}$, оскільки він термостабільний. За озоленні проби для аналізу на цезій температура не повинна бути вищою 400°C , тому що за більш високих значень відбувається сублімація цезію з переходом у газоподібний стан. Такий процес спостерігається, наприклад, за горіння природних торфовищ, коли цезій переходить до складу смогу.

Тривалість озолення різна і залежить від кількості та виду органічних сполук у пробі. Тому воно може тривати від 2-4 годин (сіно, молоко) до 4-5 і більше днів (кістки, м'ясо, овочі). Критерієм остаточного озолення є постійна маса зольного залишку після двох-трьох послідовних нагрівань. Зважування проводять після повного охолодження проби.

Зовнішньою ознакою повного озолення є білий і світло-сірий колір та постійна маса золи. Однак, при озоленні в муфельній печі деякі проби за стабілізації своєї маси набувають іншого забарвлення: кров – цегляно-червонуватого відтінку, печінка, шерсть – чорного і темно-сірого кольору.

Отриманий зольний залишок зважують разом з посудом, розраховують масу золи і визначають коефіцієнт зольності (M) як відношення маси золи (M_2) до маси взятої на аналіз сирови, тобто натуральної, проби (M_1). Масу золи і сирови проби необхідно виражати в ідентичних одиницях виміру (г, кг).

$$M = \frac{M_2}{M_1}$$

Для рідин (молоко, вода, кров, сеча тощо) кінцевий розрахунок питомої активності проводять на одиницю об'єму. Тому для них розрахунок коефіцієнту проводять за такою формулою:

$$M = \frac{M_2}{V}, \text{ де}$$

V – об'єм проби, мл.

В пробах ґрунту, питому активність яких розраховують на одиницю площі (км^2), коефіцієнт зольності визначають так:

$$M = \frac{(M_2 \times 10^7)}{S}, \text{ де}$$

M_2 – маса золи від усієї проби, г; S – площа відбору проб, см^2 ; 10^7 – множник для перерахунку площі на км^2 .

Якщо пробу ґрунту не піддають озоленню, а лише висушують до постійної маси, то для розрахунку питомої активності вводять коефіцієнт концентрації, який обчислюють за тією ж формулою, що й коефіцієнт озолення.

Далі золу розтирають, зважують на стандартній алюмінієвій підставці по 200 або 300 мг.

Підготовка радіометру до роботи згідно інструкції до приладу.

Попіл масою 200-300 мг на стандартній алюмінієвій пластині поміщають в радіометр, визначають швидкість рахунку (N імп/хв) і розраховують сумарну питому радіоактивність попелу, а потім через коефіцієнт озолення – сирови проби. Сумарна (β -активність відображає питому радіоактивність, обумовлену сумішшю (β -випромінюючих ізотопів невідомого складу, її визначення дозволяє впродовж дня визначити рівень забруднення об'єкта радіоактивними речовинами.

Визначивши β -активність, її необхідно порівняти з розрахованою активністю проби за рахунок ^{40}K . ^{40}K , що входить до складу досліджуваних об'єктів (0,0119%), створює питому радіоактивність приблизно $n \times 10^{-9}$ Кі/кг сирової проби.

Використовуючи показник радіометрії еталону та препарату, а також дані про еталон ^{40}K , можна розрахувати питому радіоактивність досліджуваної проби.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте будову атома.
2. Поясніть процес збудження атома та їх йонізацію
3. Вкажіть сили, що забезпечують стійкість атома
4. Охарактеризуйте радіоактивні ізотопи.
5. Дайте визначення природної та штучної радіації.
6. Напишіть формулу закону радіації.
7. Охарактеризуйте період напіврозпаду.
8. Що таке пряма і непряма радіація ?
9. Охарактеризуйте інкорпоровані радіонукліди та вкажіть її шляхи надходження в організм.
10. Радіостійкість – це властивість рослин переносити...
 - критичні дози опромінення;
 - малі дози опромінення;
 - летальні та сублетальні дози опромінення.

Лабораторна робота №4

Тема: “Статистична обробка результатів вимірювань”

Мета роботи. Освоєння основних прийомів статистичної обробки результатів багаторазових вимірювань.

Завдання. Ознайомитися з методикою визначення абсолютної та відносної похибок вимірювальних приладів.

Теоретичні відомості

Кількісний вираз тієї чи іншої властивості досліджуваного об'єкта (фізичної величини) характеризується певним числовим значенням. Ще до вимірювання відомо, що це значення існує. Істинне значення фізичної величини – це значення, що ідеально відображає властивості даного об'єкта як у кількісному, так й в якісному відношенні. Воно об'єктивне і не залежить ні від нашої свідомості, ні від технічних

засобів вимірювання, що застосовують при його експериментальному визначенні. У результаті експериментального визначення значення фізичної величини отримують значення, відмінні від істинного.

Абсолютною похибкою вимірювання Δ називають відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Вона може бути визначена різницею між результатом вимірювання x і істинним значенням вимірюваної величини Θ :

$$\Delta = |X - \Theta|$$

Відносною похибкою вимірювання називається величина виражена у відносних одиницях чи у відсотках.

$$\delta = \frac{\Delta}{\Theta} = \frac{|x - \theta|}{\theta},$$

При експериментальному визначенні значення фізичної величини і повторенні експерименту, як правило, отримують результати спостереження, що мають різні значення. У будь-якій серії вимірювань результати окремих вимірювань завжди різні, що викликане багатьма причинами. Проблема полягає в тому, щоб визначити, яка оцінка найкраща для вимірюваної величини, і на яку похибку можна сподіватись у подальших вимірюваннях при збереженні умов вимірювання.

Аналізуючи похибки тієї чи іншої величини щодо істинного значення, можна виділити два види складових похибок вимірювання: випадкові і систематичні.

Поява випадкових похибок має випадковий характер, а самі похибки та їхній розподіл можуть бути описані методами математичної статистики і теорії ймовірностей. Серед результатів вимірювання зустрічаються такі, що значно відрізняються від середнього значення вимірюваної в даному експерименті величини (результати, що різко відрізняються). Вони викликані або різкими змінами умов вимірювання, або помилками дослідника (оператора). Проблема полягає в тому, щоб встановити чи варто віднести результати, що викликають сумніви до грубих помилок і виключити їх з результатів спостережень, чи вони є закономірними з визначеною ймовірністю.

Систематичні похибки сталі для всієї серії спостережень або є деякими функціями часу. Систематична похибка може бути усунута шляхом введення поправок. Результати вимірювання після введення поправок називають виправленими. Питання про введення виправлень ускладнюється в тих випадках, коли сама поправка визначається з

деякою похибкою. У цьому випадку введення поправки, може виявитися недоцільним, тому що це не призводить до підвищення точності вимірювання.

Систематичні похибки поділяються на сталі і змінні. Сталими систематичними похибками називаються такі похибки вимірювання, що залишаються незмінними впродовж усієї серії вимірювань. Наприклад, похибки пов'язані з калібруванням апаратури, або обумовлені похибками визначення характеристик еталонів.

Змінними систематичними похибками називають похибки вимірювання, що змінюються в процесі вимірювання (наприклад, температурний дрейф вимірювальної апаратури). Їх у свою чергу поділяють на прогресуючі і періодичні. Якщо при вимірюванні систематична похибка монотонно спадає або зростає, її називають прогресуючою, якщо вона є періодичною функцією часу, то – періодичною.

Похибка методу вимірювання – це складова похибки вимірювання, що виникає внаслідок недосконалості методу вимірювання. Вона може бути результатом помилки в теоретичному підході, закладеному в методі або при виконаних спрощеннях. Похибки методу виникають також при екстраполяції властивості, виміряної на обмеженій частині деякого об'єкта, на весь об'єкт, якщо останній не має однорідності вимірюваної властивості.

Детальніше розглянемо випадкові похибки. На практиці випадкова величина, як правило, представлена вибіркою об'єму n ($x_1, x_2, \dots, x_n$), на основі якої необхідно оцінити, як вид розподілу, так і його параметри. Оцінюваними параметрами є, в першу чергу, математичне сподівання і дисперсія (середнє квадратичне відхилення).

Незмщеною, обґрунтованою та ефективною оцінкою математичного сподівання є вибіркоче середнє результатів спостереження $\bar{x}$, що визначається як відношення суми вимірювань рівнозважених (визначених з однаковою достовірністю) (x_i) на кількість вимірювань (n):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Можна визначити область максимуму розподілу P_i в межах $\pm \sigma x$ від істинного значення Θ , в якій з певною вірогідністю будуть знаходитись x_i .

Мірою відхилення результату окремого вимірювання x_i від істинного значення Θ є величина, що має назву вибіркове середнє квадратичне відхилення σ_x

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} .$$

Цю величину вважають абсолютною випадковою погрішністю визначення величини x_i , як оцінки істинного значення Θ . Відносну випадкову погрішність величини x_i , визначають як:

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{x}$$

У випадку нормального закону розподілу (закон розподілу Гаусса) випадкової величини x_i , погрішність визначення її середнього значення $\bar{x}$ визначають для n вимірювань як:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Відносну погрішність величини $\bar{x}$ визначають як:

$$\delta_{\bar{x}} = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}$$

Наприклад, якщо за допомогою дозиметра отримується сім значень ($n=7$) вимірювань потужності поглиненої дози ($x_1=12$; $x_2=14$; $x_3=13$; $x_4=15$; $x_5=10$; $x_6=11$; $x_7=16$ мкГр/год.), то вибіркове середнє результатів спостереження $\bar{x}$ буде дорівнювати:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{12 + 14 + 13 + 15 + 10 + 11 + 16}{7} = \frac{91}{7} = 13$$

а величина вибіркового середнього квадратичного відхилення:

$$\begin{aligned}\sigma x &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \\ &= \sqrt{\frac{(12-13)^2 + (14-13)^2 + (13-13)^2 + (15-13)^2 + (10-13)^2 + (11-13)^2 + (11-13)^2 + (16-13)^2}{7-1}} = \\ &= \sqrt{\frac{1+1+0+4+9+4+9}{6}} = \sqrt{\frac{28}{6}} \approx 2,2\end{aligned}$$

Отже, оцінку значення вимірної величини потужності поглиненої дози можна записати як $x = 13,0 \pm 2,2$ мкГр/год.

Частіше при представленні експериментальних результатів як абсолютної випадкової погрішності визначення приводять величини $x_i \pm 2\sigma x$, що при великих вибірках ($n \rightarrow \infty$) відповідає $P=95\%$: $x=13,0 \pm 4,4$ мкГр/год. (зазвичай вказується скільки наводиться σx : σ , 2σ або 3σ). При цьому відносна випадкова погрішність вимірювання потужності поглиненої дози дорівнюватиме $x = 4,4/13,0 = 0,34 = 34\%$.

Слід звернути особливу увагу на те, що прилад за допомогою якого здійснюються вимірювання, повинен бути сертифікований і атестований відповідно до існуючих правил. Погрішність визначення величини, яка вимірюється, не може бути меншою ніж погрішність самого приладу. Тобто, якщо власна (в сертифікаті) відносна погрішність дозиметра при вимірюванні поглиненої дози (для $P = 95\%$) складає 50% або вища отриманої випадкової погрішності вимірювання, то наведені вище результати слід рахувати як $x = 13,0 \pm 6,5$ мкГр/год.

Якщо ж погрішність приладу нижча (наприклад 20%) отриманої погрішності вимірювання, то вона наводиться як $x = 13,0 \pm 4,4$ мкГр/год.

Кількість радіоактивних ядер, що розпались у зразку, та число зареєстрованих в детекторі за певний проміжок часу – величина випадкова. Це означає, що якщо за один і той самий проміжок часу, значно менший за період піврозпаду радіонукліду, багаторазово визначати кількість розпадів, то для кожного інтервалу часу воно буде випадковим і різним.

Коли збільшується число вимірювань розмах даних вимірювань все більше буде наближатися до певного середнього значення, що наближається до постійної величини, яка визначає активність зразка. Проте таке наближення стає достовірним лише при дуже великій кількості вимірювань одного зразка – більше 1000 вимірів, що реально

неможливо. В цьому випадку застосовується метод приблизного визначення істинної активності і визначення ступеню її надійності.

Так, якщо за $t = 100$ секунд радіометром було зареєстровано 100 імпульсів то абсолютна випадкова погрішність визначення складе $\sqrt{100} = 10$, що відповідає відносній погрішності $\sigma N = 10,0\%$. Якщо збільшити час вимірювання у 10 разів, то за $t = 1000$ секунд буде зареєстровано приблизно у 10 разів більше імпульсів (біля 1000), при цьому абсолютна випадкова погрішність їх визначення складе $\sqrt{1000} = 31,6$, що відповідає відносній погрішності $\sigma N = 3,0\%$. Цей приклад наглядно демонструє збільшення точності вимірювань зі збільшенням числа зареєстрованих часток.

Грунтуючись на необхідній точності вимірювань можна оцінити мінімально необхідну для цього кількість зареєстрованих імпульсів.

Контрольні питання

1. Що таке йонізуюча радіація? Яка її фізична природа?
2. Що таке ізотопи? Які з них є радіонуклідами?
3. Що таке доза опромінення? Від чого вона залежить?
4. Які природні джерела йонізуючої радіації вам відомі?
5. Назвіть штучні джерела йонізуючого випромінювання.
6. Що таке первинний ядерно-паливний цикл і які його основні технологічні етапи?
7. Які компоненти містяться у відходах після різних етапів ядерно-паливного циклу?
8. Які типи промислових реакторів використовуються у атомній енергетиці?
9. Чому відпрацьоване паливо, що утворюється в процесі роботи реакторів атомних станцій, є екологічно небезпечним?
10. Дезактивація ґрунту це:
 - внесенню органічних добрив;
 - здійснення заходів по зниженню радіаційного забруднення;
 - внесення мінеральних добрив.

Лабораторна робота № 5

Тема: “Робота з приладами індивідуального дозиметричного контролю”

Мета роботи. Опанувати методиками щодо експлуатації приладів індивідуального дозиметричного контролю.

Завдання. 1. Опрацювати методику та провести радіаційний контроль за допомогою фотодозиметру ІФКУ.

2. Опрацювати методику та провести радіаційний контроль за допомогою дозиметра ЗД-6.

3. Опрацювати методику та провести радіаційний контроль за допомогою індивідуального дозиметра КІД-2.

4. Опрацювати методику дозиметричного контролю за допомогою приладу ДКС-04.

Теоретичні відомості

Радіометрія – розділ прикладної ядерної фізики, радіоекології, радіобіології, що розробляє теорію і практику вимірювання радіації та ідентифікації радіоактивних ізотопів. З цією метою розробляються і використовуються радіометри таких груп:

1. Прилади для визначення радіаційного забруднення води, ґрунту, рослинних і харчових продуктів методом “прямого” вимірювання. Здійснюється визначення радіаційного забруднення безпосередньо на певній місцевості.

2. Прилади для визначення радіаційного забруднення засобів транспорту, одягу.

3. Прилади для проведення спеціальних досліджень у біології, медицині.

4. Прилади для проведення аналізу радіоактивного складу проб спектрометричними (оптичних спектрів) методами.

Всі ці прилади ділять на стаціонарні (лабораторні) і переносні; за видом реєстрації – універсальні і призначені для реєстрації одного виду радіації за типом детекторів, що використовуються – сцинтиляційні (принцип роботи заснований на збудженні зарядженими частинками) і газорозрядні. Основні методи виявлення і вимірювання радіації є наступні: фотографічний, хімічний, сцинтиляційний, люмінесцентний, йонізаційний, калориметричний.

Фотографічний метод базується на впливі йонізуючого випромінювання на світлочутливий шар фотоплівки, щільність

потемніння якої пропорційна дозі опромінення. Хімічний метод ґрунтується на здатності йонізуючого випромінювання спричиняти хімічні зміни деяких речовин, що супроводжуються появою нового забарвлення розчину цих речовин.

Сцинтиляційний метод використовує явище світіння деяких речовин під впливом йонізуючого випромінювання. Кількість спалахів пропорційна інтенсивності випромінювання.

Йонізаційний метод використовує явище йонізації атомів речовин під впливом йонізуючого випромінювання, внаслідок чого електрично нейтральні речовини розпадаються з утворенням йонів. Цей метод найчастіше використовують у дозиметричних приладах. Основними елементами цих приладів є приймальний пристрій, підсилювач йонізуючого струму, вимірювальний прилад, перетворювач струму, джерело живлення. Цей метод базується на використанні властивості радіації йонізувати середовище, в якому вона розповсюджується (тобто розщеплювати нейтральні молекули або атоми на позитивні та негативні йони). Якщо на газ у замкненому об'ємі (йонізаційна камера) діяти електричний струм, йони, що утворюються за опромінення набудуть упорядкованого руху: позитивно заряджені рухаються до аноду, а негативно – до катоду. У результаті між електродами (анодом і катодом) виникає так званий йонізаційний струм, величина якого прямо пропорційна потужності дози йонізуючого випромінювання.

Калориметричний метод базується на вимірюванні тепла, що виділяється в речовині при поглинанні опромінення.

Прилади дозиметричного контролю призначені для вимірювання потужності йонізуючого випромінювання (рівня радіації) і ступеня радіоактивного забруднення різних предметів. На основі радіометричних досліджень визначаються заходи і дії за умов визначеного рівня забруднення. Залежно від завдання прилади радіаційного і хімічного контролю поділяють на такі:

- визначення потужності доз гама-випромінювання здійснюється дозиметрами типу ДРГ-01Т або ДП-5Б (ДП-5В);

- вимірювачі потужності дози, з допомогою яких вимірюються рівні радіації (ДП-3Б, ВДП-21с, ВДП-21Б);

- вимірювачі потужності мікродіапозонних доз за допомогою комбінованих приладів (ДП-5А, Б, В; ВДП-12);

- вимірювачі поглинання дози (ІД-1, ІД-11) – це прилади індивідуального дозиметричного контролю, за допомогою яких

виявляють дозу, яку одержала людина чи тварина (персонально) за відповідний період;

- дозиметри для певного одного виду випромінювання (ДК-02, ДКП-50, ДП-22В, ДП-24);

- газосигналізатори автоматичні, за допомогою яких проводять автоматичний контроль навколишнього середовища з метою виявлення отруйних парів, радіаційних речовин, аерозолів (ГСА-12, АСП, ГСП-11, ГС-СОМ);

- декадно-розрахунковий пристрій, призначений для вимірювання кількості електричних імпульсів при виявленні ступеня зараженості радіаційними ізотопами води, продуктів харчування, повітря, проб ґрунту тощо (ДП-100, ДП-100 АДМ).

Всі ці прилади повинні проходити перевірку в спеціальних контрольних державних лабораторіях чи установах.

Завдання 1. Порядок роботи з фотодозиметром ІФК-2

1. В темній кімнаті нарізати з фотоплівки відповідної марки прямокутники необхідних розмірів. Видати касети працюючим, зробивши відповідну відмітку в журналі.

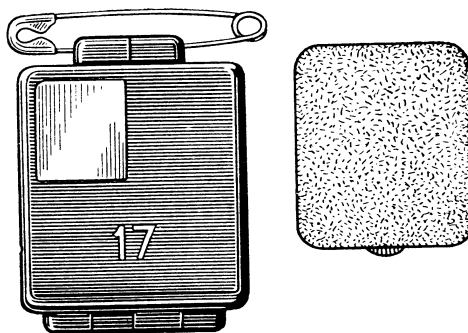


Рис.1. Фотодозиметр ІФК-2

2. Опромінити контрольні плівки, що взяті з тієї ж партії, що й робочі, експозиційними дозами 0,1 і 1,0 Р джерелом γ -випромінювання ^{60}Co на пристрої для перевірки за ГОСТ 1251 Р-67 або іншим еталонним джерелом.

3. Одночасно обробити робочі й контрольні плівки за рекомендаціями заводу-виробника щодо рентгенівських плівок. Перед обробкою плівок приготувати кювети з проявником, фіксажем та водою.

4. Обробку плівок потрібно проводити у такому режимі: проявлення впродовж 7,5-8,5 хв.; промивка водою 1-2 хв.; фіксування впродовж 18-22 хв.; температура розчинів 19-21°C.

5. Після калібрування вимірювального пульта визначити експозиційну дозу, яка зареєстрована робочими плівками, для цього оброблену плівку вставити у вікно на передній панелі пульта і зняти показники вимірювального приладу.

Завдання 2. Порядок роботи з дозиметром ЗД-6

1. Ознайомитись з будовою та принципом роботи приладу та зарядного пристрою ЗД-6.

2. Зарядити дозиметр: а) відгвинтити захисну оправу дозиметра; б) повернути ручку зарядного пристрою проти годинної стрілки до кінця; в) вставити дозиметр в зарядно-контактне гніздо ЗД-6;



Рис.2. Зарядний пристрій ЗД-6

г) за допомогою дзеркала направити джерело світла; д) натиснути на дозиметр і, дивлячись в окуляр, повертати ручку ЗД-6 за ходом годинникової стрілки, поки зображення нитки на шкалі дозиметра не встановиться на "0"; е) витягнувши дозиметр, доторкнутись металевою паличною до його контакту, щоб зняти заряд з діафрагми; з) загвинтити захисну оправу дозиметра.

3. Встановити дозиметр на віддаль 20 см від тієї точки, де буде розміщене контрольне γ -джерело. Тривалість опромінення 30 хв.

4. Визначити експозиційну дозу і обчислити її потужність.

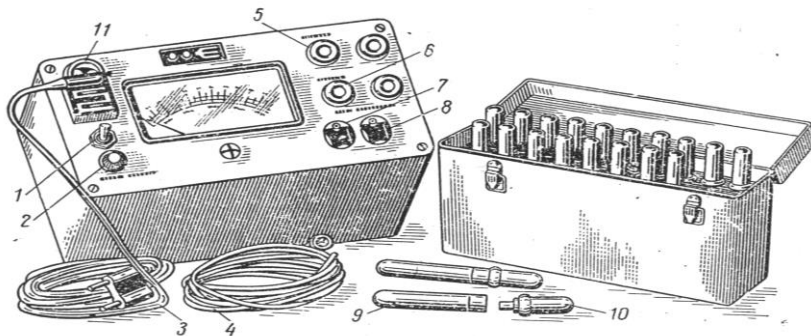


Рис.3. Індивідуальний дозиметр „КІД-2”

(1- тумблер; 2 – ручка „уст.шкали”; 3 – шнур мережевий; 4 – шнур батарейний; 5 – гніздо „випромінювання”; 6 – гніздо „заряд”; 7 – „чутливість 0,05 Р” (R_7); 8 – чутливість 1Р (R_6); 9 – дозиметр 0,05 Р; 10 – дозиметр 1Р; 11 – запобіжник)

Завдання 3. Порядок роботи з індивідуальними дозиметрами КІД-2

1. Ознайомитись з будовою дозиметра КІД-2 (рис.3) і зарядно-вимірювального пульта.

2. Відгвинтити захисні ковпачки дозиметра, зарядити камери, по черзі вставляючи їх в гніздо “Заряд” зарядно-вимірювального пульта. Перевірити заряд на камерах, вставляючи їх послідовно в гніздо “Вимірювання”. Знову зарядити обидві камери дозиметра.

3. Провести опромінення приладу в умовах, аналогічних для ДКС-02.

4. Визначити експозиційну дозу, що була отримана впродовж заданого проміжку часу. Обчислити потужність експозиційної дози, що була утворена контрольним джерелом.

Завдання 4. Порядок роботи з приладом ДКС-04

1. Ознайомитись із будовою і принципом роботи дозиметра ДКС-04.

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



Рис.4. Дозиметр ДКС-04

3. Встановити перемикач у положення “Поиск”. Даний режим використовується для локалізації джерела йонізуючого випромінювання.

4. Обчислити потужність експозиційної дози R_x у амперах на кілограм (мілірентгенах за годину) від контрольного джерела за формулою:

$$R_x = nK_1; (R_x = nK_2), \text{ де:}$$

n – показник цифрового табло дозиметра;

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

Вимірювання потужності експозиційної дози можна проводити при будь-якому положенні перемикача, оскільки накопичення та

вимірювання значень експозиційної дози відбувається з моменту вмикання дозиметра.

Для дослідження накопиченої експозиційної дози слід натиснути кнопку “Доза”. При цьому на цифровому табло зникає крапка після третьої цифри. При переводі перемикача в положення “Порог” дозиметр переводиться в режим сигналізації про накопичення експозиційної дози з інтервалом 1 мР ($2,58 \cdot 10^{-7}$ Кл/кг).

При накопиченні експозиційної дози, що дорівнює 4098 мР ($1,03 \cdot 10^{-3}$ Кл/кг), вмикається сигналізація у вигляді безперервного звукового та світлового сигналів.

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

$$Dx = nK_3; (Dx = nK_4), \text{ де:}$$

n - показники цифрового табло дозиметра;

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

Контрольні питання

1. Вкажіть групи радіонуклідів за їх радіотоксичністю за внутрішнього опромінення.

2. Дайте визначення радіочутливості.

3. Вкажіть рівні радіочутливість та групи критичних органів.

4. Вкажіть основні джерела радіації (відкриті та закриті).

5. Охарактеризуйте радіочутливість живих систем на мікро- та макрорівнях.

6. Вкажіть фізичні, хімічні, біологічні фактори, що впливають на радіаційний ефект.

7. Охарактеризуйте стохастичні, детерміністичні радіобіологічні ефекти та гормезис.

8. Види йонізуючих випромінювань. Механізми взаємодії електромагнітних випромінювань із речовиною.

9. Крива “доза-ефект”. Механізми біологічної дії йонізуючого випромінювання.

10. Радіоактивні речовини це:

- сукупність органічних речовин;
- речовини, що здійснюють йонізуюче випромінювання;
- речовини, що характеризуються властивостями металів.

Лабораторна робота 6

Тема: “Дозиметрія йонізуючого випромінювання”

Мета роботи. Опанувати методами щодо визначення потужності дози γ -випромінювання, створеного еталонним джерелом ^{137}Cs через захисні матеріали та визначення потоку β -частинок від еталонного джерела.

Завдання.

1. Визначити потужність дози γ -випромінювання, створеного еталонним джерелом ^{137}Cs через захисні матеріали.
2. Визначити потік β -частинок від еталонного джерела.
3. Дослідити шар половинного послаблення β -випромінювання.
4. Визначити сумарну β -активність проб відносним методом на перерахунковому пристрої ПС-20.
5. Навчитися перераховувати одиниці виміру радіоактивності в системі СІ.

Теоретичні відомості

Йонізуюче випромінювання об'єднує різні за своєю природою види випромінювання, схожість між ними полягає в тому, що всі види випромінювання володіють високою енергією і близькою за своїм характером хімічною дією на речовину, де відбувається поглинання енергії променів та аналогічною дією на живі організми.

Всі види йонізуючого випромінювання поділяють на дві групи: електромагнітні та корпускулярні випромінювання.

Рентгенівське та γ -випромінювання належать до широкого спектру електромагнітного випромінювання і займають положення за радіохвилями, інфрачервоним випромінюванням, видимим світлом і УФ-променями. Всі ці випромінювання різняться довжиною хвилі. Найкоротші за довжиною хвилі та найбільшою частотою електромагнітних коливань у 1 с в цьому спектрі характеризуються рентгенівські та γ -промені. Так, довжина хвилі рентгенівських променів, що випромінюється діагностичним апаратом, у 10000 разів коротше, а γ -променів, що випускаються радіоактивним ^{60}Co , майже в 450 000 разів коротше довжини хвилі променів фіолетового світла. Чим коротше довжина хвилі та більша частота коливань, тим вища енергія випромінювання і їх проникаюча здатність. Виходячи з деяких фізичних явищ, вважають, що рентгенівські та γ -промені випускаються у вигляді згустків енергії – квантів.

Йонізуюче випромінювання корпускулярної природи є пучками електромагнітних ядерних частинок, ядер елементів або йонів. Більшість з них заряджені корпускули: β -частинки (електрони), α -частинки (ядра Гелію), протони (ядра Гідрогену), дейтрони (ядра важкого Гідрогену) та важкі йони – ядра інших елементів. Крім того, до корпускулярного випромінювання відносять також й нейтрони – частинки, які не мають заряду і опосередковано викликають йонізацію. Таким чином, йонізація і збудження – основні процеси, в яких витрачається енергія випромінювання, поглинається опромінюваним об'єктом.

Експериментально встановлено, що кожен вид випромінювання створює різний біологічний ефект. Суть полягає в тому, що через відмінності в просторовому розподілі йонів, характерному для кожного виду та енергії випромінювання, при одній і тій же дозі, але з різною передачею енергії, біологічна дія випромінювання неоднаково. Вона виявляється вищою для йонізуючого випромінювання з великою лінійною передачею енергії, це призводить до необхідності враховувати відносну біологічну ефективність (ВБЕ) або “фактор якості”.

Таблиця 5. Експериментально розраховані величини відносної біологічної ефективності (ВБЕ)

Вид випромінювання	ВБЕ
X-промені, γ -промені	1
β -частинки	1
α -частинки	10
Повільні нейтрони	3
Швидкі нейтрони	10
Важкі йони та ядра	20

Фактор якості визначають відношення поглиненої дози зразкового випромінювання (в радах), за яке беруть випромінювання з лінійної передачею енергії 3 кеВ у шарі води товщиною 1 мм, до дози дослідженого випромінювання (в радах) за умови, що еталонне та аналізоване випромінювання викликає однаковий біологічний ефект. Для розрахунків захисту від випромінювання санітарні правила передбачають відносну біологічну ефективність для різних видів випромінювання. За одиницю прийнята біологічна ефективність рентгенівських променів з енергією 200 кеВ.

Дозу випромінювання з урахуванням поправки на відносну біологічну ефективність виражають в одиницях, званих біологічним еквівалентом рентгену – бер.

Наприклад, при опроміненні γ -променями в дозі 300 Р і швидкими нейтронами в дозі 100 Р сумарна доза складає $(300 \times 1) + (100 \times 10) = 1300$ бер.

Для оцінки ефективності дії радіоактивних ізотопів окрім поглинених доз вимірюють їх активність. За одиницю радіоактивності, яку називають бекерель, беруть одне ядерне перетворення в секунду.

Для характеристики розподілу поглиненої дози в часі використовують величину потужності випромінювання. Потужність дози – це кількість поглиненої енергії випромінювання або число збуджених пар йонів в одиниці маси речовини (рад або рентген).

Для вимірювання активності радіоактивних речовин беруть спеціальну одиниця – кюрі (Ки). 1 Ки означає, що в 1 с розпадається $3,7 \cdot 10^{10}$ атомів.

Завдання 1. Визначити потужність дози γ -випромінювання, створеного еталонним джерелом ^{137}Cs через захисні матеріали

Порядок виконання роботи:

- 1) підготувати рентгенометр до роботи згідно з інструкцією;
- 2) встановити зонд рентгенометра в свинцевий «будиночок»;
- 3) помістити у свинцевий «будиночок» еталонне джерело ^{137}Cs і провести вимірювання потужності дози γ -випромінювання, створеного еталонним джерелом, у мікрорентгенах на годину (мкР/год.) або імпульсах за секунду (імп./с);
- 4) послідовно ввести в проміжок поміж еталонним джерелом та зондом приладу захисні екрани з алюмінію, просвинцьованої гуми та органічного скла і визначити потужність дози, зареєстровану приладом;
- 5) аналогічні вимірювання провести із захисними екранами зі свинцю;
- 6) розрахувати товщину шару половинного послаблення для цього елемента;
- 7) визначити потенційно можливу дозу йонізуючого випромінювання від еталонного джерела за 6-годинний робочий день та при використанні різних захисних екранів;
- 8) дані досліджень запишіть у табл. 6.

Таблиця 6. Дози йонізуючого випромінювання за день з використанням різних захисних екранів

Тип захисного екрану	Потужність дози випромінювання, мкР/год	Доза, отримана впродовж дня, Р
Без захисного екрану		
Алюміній		
Органічне скло		
Свинець		

9) зробити висновки.

Завдання 2. Визначити потік β -частинок від еталонного джерела

Порядок виконання роботи:

- 1) підготувати один із β -радіометрів («ТИСС», «РУСТ», УІМ-2, КРБ-1, МКС-01-Р, МКС-04М) до роботи згідно з інструкцією;
- 2) підготувати еталонне джерело β -випромінювання на стандартній підложці (^{32}P , ^{90}Sr);
- 3) визначити швидкість імпульсів від фону за одну хвилину (N_{ϕ});
- 4) піднести еталон на відстань 1 см до детектора приладу і записати швидкість імпульсів від еталону та фону, в імпульсах за хвилину ($N_{em} + N_{\phi}$);

Таблиця 7. Зміни інтенсивності β -потoku залежно від відстані

Відстань від еталону до лічильника, см	Шв. підрахунку від еталону і фону, ($N_{em} + N_{\phi}$) імп/хв	N_{ϕ} імп/хв	N_{em} імп/хв	Коефіцієнт зміни швидкості підрахунку
1				
5				
10				
20				

- 5) аналогічне вимірювання провести на відстані 5, 10, 20 см;
- 6) ввести в результати вимірювань похибку, виконавши підрахунок імпульсів фону

$$N_{em} = (N_{em} + N_{\phi}) - N_{\phi}$$

- 7) розрахувати зниження інтенсивності потоку β -частинок залежно від відстані еталону від детектора;
- 8) дані розрахунків вносять до табл.7.

Завдання 3. Визначити шар половинного послаблення β -випромінювання

Порядок виконання роботи:

- 1) підготувати радіометри ПС-20, КРБ-1 до роботи згідно з інструкцією;
- 2) визначити швидкість імпульсів електричного струму, які виникають у детекторі від фону N_f (імп/хв). Час вимірювання 3 хвилини;
- 3) на відстані 5 см від детектора розташувати джерело β -частинок (еталон ^{90}Sr) і визначити швидкість підрахунку імпульсів від нього без фону N_{et} (імп/хв). Час вимірювання – 3 хвилини;
- 4) накладати по черзі на еталон (препарат) пластини з фольги, визначаючи після кожної швидкість імпульсів до тих пір, поки значення не наблизиться до показників фону;
- 5) результати досліджень заносять до табл. 8.

Таблиця 8. Результати визначення шару половинного послаблення β -випромінювання

№ вимі- рювання	К-сть пластин	$N_{et} + \phi$ за 3 хв	$N_{et} + \phi$ імп/хв	N_f імп/хв	N_{et} імп/хв
1	0				
2	1				
3	2				

6) за результатами вимірювань накреслити графік: на осі ординат відкладають показники швидкості імпульсів (N_{et}), на осі абсцис – кількість пластин. Визначити кількість пластин, що зменшують інтенсивність β -частинок вдвічі;

7) визначити шар половинного послаблення ($1/2$) в одиницях поверхневої густини ($\text{мг}/\text{см}^2$). Для цього визначити середню масу 1 см^2 (мг) фольги і помножити результат ($\text{мг}/\text{см}^2$) на кількість пластин, що зменшують у два рази інтенсивність потоку β -частинок;

8) провести аналогічні дослідження і розрахунки з пластинами з органічного скла;

9) зробити висновки.

Робота № 4. Визначити сумарну β -активність проб відносним методом на перерахунковому пристрої ПС-20

Порядок виконання роботи:

1) провести вимірювання швидкості імпульсів від фону впродовж 3 хв. Для цього у свинцевий будиночок вставити порожню чашку Дента і провести вимірювання імпульсів від фону. Визначити середнє значення за 1 хв. (N_{ϕ}).

2) провести вимірювання швидкості імпульсів від еталону КСІ ($A_{КСІ} = 3,87 \cdot 10^{-7}$ Кі/кг = 14319 Бк/кг) упродовж 3 хв. Визначити середнє значення за 1 хв. (N_{em}).

Знайти N_{0em} : $N_{0em} = N_{em} - N_{\phi}$

Провести вимірювання проби впродовж 3 хв. Знайти середнє значення

(N_{np}). $N_{0np} = N_{np} - N_{\phi}$

Знайти коефіцієнт зв'язку за формулою: $K_{зв} = A_{em}/N_{0em}$

Розрахувати питому активність за формулою: $A_{np} = (A_{em} \times N_{0np})/N_{0em}$, або $A_{np} = K_{зв} \cdot N_{0np}$

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте чутливість тварин до радіації.
2. Розподіліть представників тваринного світу за радіочутливістю
3. Вкажіть фізичні, хімічні, біологічні фактори, що впливають на радіочутливість живих організмів.
4. Часткове опромінення тварин і опромінення всього їх тіла.
5. Охарактеризуйте тривалу і короткочасну, безперервну та фракціоновану дію радіації.
6. Йонізуюче ушкодження окремих біологічних систем.
7. Опишіть вплив опромінення на формені елементи крові.
8. Охарактеризуйте вплив опромінення на здатність тварин до розмноження та на їх спадковість.
9. Обґрунтуйте канцерогенну дію опромінення.
10. Міграція радіонуклідів це:
 - рух радіонуклідів в організмі за рахунок мігливого війчастого епітелію;
 - процес вторинного перерозподілу радіонуклідів за рахунок фізичних та біологічних факторів;
 - рух радіонуклідів по кровоносній системі тваринного організму.

Лабораторна робота 7

Тема: “Радіовуглецевий метод дослідження зміни продуктивних властивостей рослин”

Мета роботи. Вивчити можливості прикладної радіобіології та радіоекології.

Завдання.

1. Провести оцінку відносної швидкості фотосинтезу рослин під впливом радіоактивних забруднень радіовуглецевим методом.
2. Виміряти радіочутливість рослин.

Теоретичні відомості

Одним із методів оцінки зміни продуктивних властивостей рослин під впливом забруднень є радіовуглецевий метод. Перевага цього методу полягає в його високій чутливості та можливості виконувати досліди з низькими біомаси і низьким рівнем вмісту токсичних речовин у довкіллі. Спостерігаючи варіації швидкості фотосинтезу залежно від концентрації та часу дії токсичних домішок, реєструється інтегральна характеристика, яка відображає фізіологічний стан і біохімічні процеси рослин щодо нарощування біомаси.

Виділяють дві токсикологічні модифікації радіовуглецевого методу. Одна з них включає використання ^{14}C для оцінки швидкості фотосинтезу в монокультурах рослин, інша заснована на виконанні дослідів із природними популяціями рослин *in situ* або за максимального наближення до природних умов. Як в тому, так й в іншому випадку принцип спостережень один і той же: реєстрація відносних (порівняно з контролем) варіації інтенсивності фотосинтезу залежно від концентрації даного токсиканту і часу токсичної дії.

Порядок виконання роботи

Експеримент виконують у люміностатах за температури 20°C і освітленості близько 5000 Лк. Інокулят вихідної культури відбирають у період експоненціальної фази ділення рослин і вносять у колби Ерленмейєра ємністю 50-100 мл (для дрібних форм) або в спеціальні комірки для підрахунку з органічного скла ємністю 5 мл кожна. Щільність вихідної культури в дослідях змінюється залежно від характеру дослідів і виду рослин. Темновий і світловий період триває по 12 годин, а тривалість дослідів коливається від 12 годин до 60 діб.

Досліди завершують підрахунком кількості клітин у камері Горяєва і оцінкою відносної швидкості фотосинтезу. У кожную колбу додати 0,2-0,8 мкКі ^{14}C у вигляді бікарбонату натрію з експозицією на світлі 3-5 год. Суспензію клітин рослин відфільтрувати через мембранні фільтри №3 або №6 залежно від розмірів клітин, фільтри підсушують в ексикаторі до постійної маси і вимірюють радіоактивність на лічильній установці ДП-100 з торцевим лічильником СБТ-7.

Контрольні питання

1. Вкажіть можливі наслідки радіаційного впливу на живі організми.
2. Охарактеризуйте біологічну дію йонізуючого опромінення.
3. Поясніть суть теорії “мішені”.
4. Обґрунтуйте теорію точкового нагріву.
5. Поясніть механізм хімічної ушкоджуючої дії радіації.
6. Охарактеризуйте явище соматичного та мультигенеративного канцерогенезу.
7. Поясніть поняття “апоптоз”.
8. Вкажіть основні шляхи надходження радіонуклідів до організму тварин і людини.
9. Охарактеризуйте механізм захисту організму від проникнення радіонуклідів.
10. Вражаюча дія радіації це:
 - фізичні ушкодження живих систем;
 - хімічні ушкодження живих систем;
 - фізичні, хімічні і біологічні ушкодження живих систем.

Лабораторна робота 8

Тема: “Вплив йонізуючої радіації на інтенсивність поділу клітин та ріст рослин”

Мета роботи. Вивчити вплив йонізуючої радіації на ріст рослин.

Завдання.

1. Оцінити виживання рослин за радіаційного навантаження у пів-летальній дозі LD_{50} .

2. Дослідити вплив γ -опромінення рослин на інтенсивність поділу клітин меристеми та виникнення в них цитогенетичних порушень.

Теоретичні відомості

Як відомо, ефективність поглинання визначається електронною щільністю поглинача, а вона приблизно однакова для всіх клітин тканин і організмів. Отже, пояснення варто шукати не у фізичних, а біологічних особливостях об'єктів, у характері їх структурної й функціональної організації, адаптивних і регенераторних можливостях, у специфічності протікання початкових реакцій посилення й репарації первинних радіаційних ушкоджень, в інтенсивності метаболічних і проліферуючих процесів та в ряді інших унікальних факторів, властивих тільки живому організму.

Оцінити біологічну активність радіації на одній обраній системі порівняно легко. Для цього досить опромінити орган, тканину або цілісний організм у досить широкому діапазоні доз і оцінити величину дози, при якій спостерігається досліджуваний ефект.

Набагато складніше зіставляти радіочутливість різних об'єктів. Таке зіставлення вимагає вибору надійних і адекватних біологічних критеріїв, що піддається строгій кількісній інтерпретації.

Дія рентгенівського опромінення на структури клітин рослин, зокрема водних рослин, несе наслідки різного роду. Ефекти опромінення ми спостерігаємо виходячи з теорії – мішені та теорії доза-ефект. Спільним у цих методах є залежність від того:

- у якому стані перебуває клітина (вихідне);
- у яких термічних режимах перебуває клітина до і після експерименту;
- яка кількість хімічних елементів у клітині та її внутрішніх структурах;
- у якому середовищі (вологість, присутність кисню тощо) перебуває клітина до і після експерименту;
- у якій частині рослини зроблено зріз для експерименту.

Жорстке випромінювання несе в собі радіаційну, рентгенівську та гама-природу, тому доцільним є дослідження змін структурних оболонок у вищих водних рослин.

Завдання 1. Оцінити виживання рослин за радіаційного навантаженням у дозі LD_{50} .

Порядок виконання роботи

1. Попередньо опромінене в дозах від 1 до 14 Гр рентгенівської або γ -радіації насіння гороху висівають в чашки Петрі на зволожений фільтрувальний папір і поміщають до термостату за температури 22-24°C для проростання. На кожній чашці Петрі відмічається поглинена насінням доза.

Таблиця 9. Вплив γ -опромінення на ріст проростків гороху та їх виживання

Доза, Гр	Довжина кореня (пагону), см	% рослин, що загинули
0 (контроль)	9,5	0
1	9,3	0
2	8,8	0
3	8,1	0
4	7,2	2
5	6,2	7
6	5,3	12
7	4,4	22
8	3,6	30
9	3,1	42
10	2,8	54
12	2,7	79
14	2,6	96
16	2,5	100
18	2,5	100
20	2,5	100

2. Через 2-4 доби проростки, первинні корінці яких досягли 2-3 см, пересаджують в умови водної культури:

- у чисті стакани чи банки ємкістю 0,25-0,5 л доверху наливають воду з таким розрахунком, щоб первинні корінці проростків повністю були занурені в неї;

- стакани накриваються кришками з 10-15 отворами для корінців і на них поміщають проростки для подальшого росту;

3. Через тиждень довжину головного кореня і пагону рослин кожного варіанту ретельно вимірюють лінійкою.

4. Окремо враховується кількість проростків, що загинула.

5. Результати вимірювання після розрахунку середніх показників та відсотку рослин, що загинули, заносять до табл. 6.

6. На основі отриманих даних будують криві “доза-ефект” залежності росту (рис. 5 А) і загибелі рослин (рис. 5 Б) від дози опромінення.

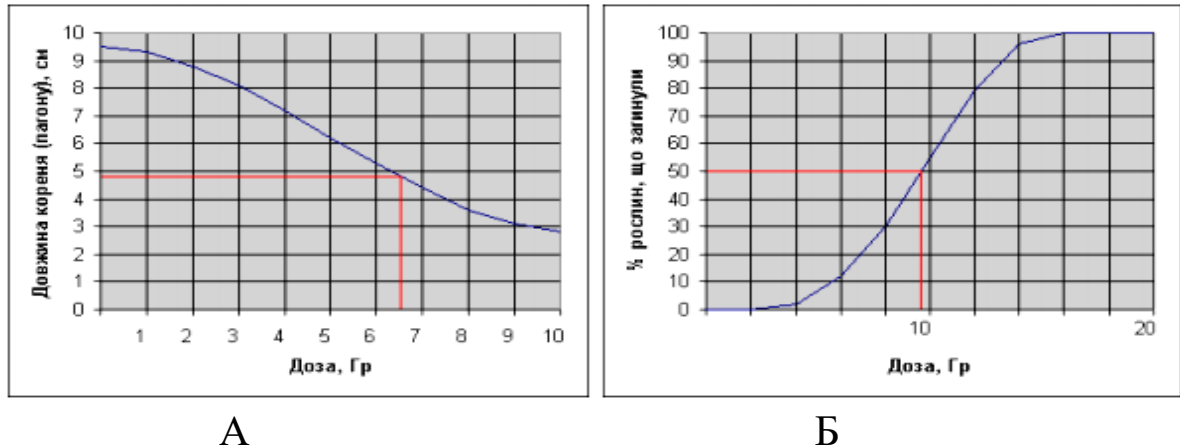


Рис.5. Вплив γ -опромінення на ріст коренів (А) та на виживання проростків (Б) гороху.

Як критерій радіаційного ураження на кривій рис.2 А оцінюють ефективну дозу, яка гальмує ріст кореня чи пагона удвічі (ЛД₅₀). На даному прикладі вона дорівнює 6,6 Гр. На кривій рис. 2 Б – ЛД₅₀ – напів-летальну дозу, яка викликає загибель половини рослин. Вона дорівнює 9,5 Гр.

Завдання 2. Вплив γ -опромінення рослин на інтенсивність поділу клітин меристеми та виникнення в них цитогенетичних порушень

Порядок виконання роботи

1. У 2-4-денних проростків, що вирости з попередньо опроміненого насіння, лезом чи скальпелем відрізають 2-міліметрові кінчики – зону меристеми.

2. Відрізані кінчики занурюють у фіксатор (суміш ацетатної кислоти і етилового спирту у співвідношенні 1:3), де вони знаходяться не менше 1 год.

3. Відрізані кінчики насіння поміщають у фарфорові тиглі з барвником (ацетокармін, ацетоорсеїн, ацетолакмоїд, реактив Шиффа та інші, що забарвлюють хромосоми) та підігрівають на спиртівці до перших ознак кипіння.

4. Розм'якшену зафарбовану тканину переносять на предметне скло, накривають покривним склом і обережно поводячи по ньому

сірником чи дерев'яною паличкою готують давлений препарат меристеми, який є моношаром меристемних клітин.

5. Препарат поміщають під мікроскоп, підраховують у полі зору кількість клітин, що знаходяться у фазах мітозу. Окремо підраховують кількість усіх клітин в полі зору і розраховують мітотичний індекс (у відсотках) – відношення кількості клітин, що знаходяться у фазах мітозу, до загальної кількості клітин у полі зору. Дані заносять у перші чотири колонки табл.10.

Таблиця 10. Вплив γ -опромінення на інтенсивність поділу клітин кореневої меристеми та виникнення в них хромосомних аберацій

Доза, Г	Інтенсивність поділу			Цитогенетичні порушення		
	к-сть клітин	у т.ч. у мітозі	мітотичний індекс, %	к-сть клітин в анафазі-телофазі	у т.ч. з абераціями хромосом	% абераційних клітин
0	1250	112	8,96	98	1	1,02
1	1407	123	8,74	102	1	0,98
2	1469	121	8,24	109	3	2,75
4	1342	108	8,05	112	6	5,35
6	1382	90	6,51	119	10	8,40
8	1426	61	4,28	125	13	9,63
10	1346	26	1,93	121	16	13,22
12	1438	7	0,49	52	20	38,46
15	836	1	0,11	0	0	0
20	912	0	0	0	0	0

6. На цьому ж препараті (при збільшенні: об'єктив $\times 90$, окуляр $\times 7$) визначають клітини, що знаходяться у анафазі і ранній телофазі мітозу та підраховують кількість клітин, що мають певні цитогенетичні порушення (аберації хромосом): фрагменти хромосом, утворені окремими хроматидами чи хромосомами перетяжки тощо (рис. 6).

7. За відношенням кількості абераційних клітин до загальної кількості клітин, що знаходяться в анафазі і ранній телофазі, розраховують відсоток таких клітин.

8. Отримані дані заносять до 5-7 колонок таблиці.

9. За даними таблиці, аналогічно кривим (рис.5), будують криві залежності “доза-ефект” для мітотичного індексу та кількості клітин із абераціями хромосом від дози.

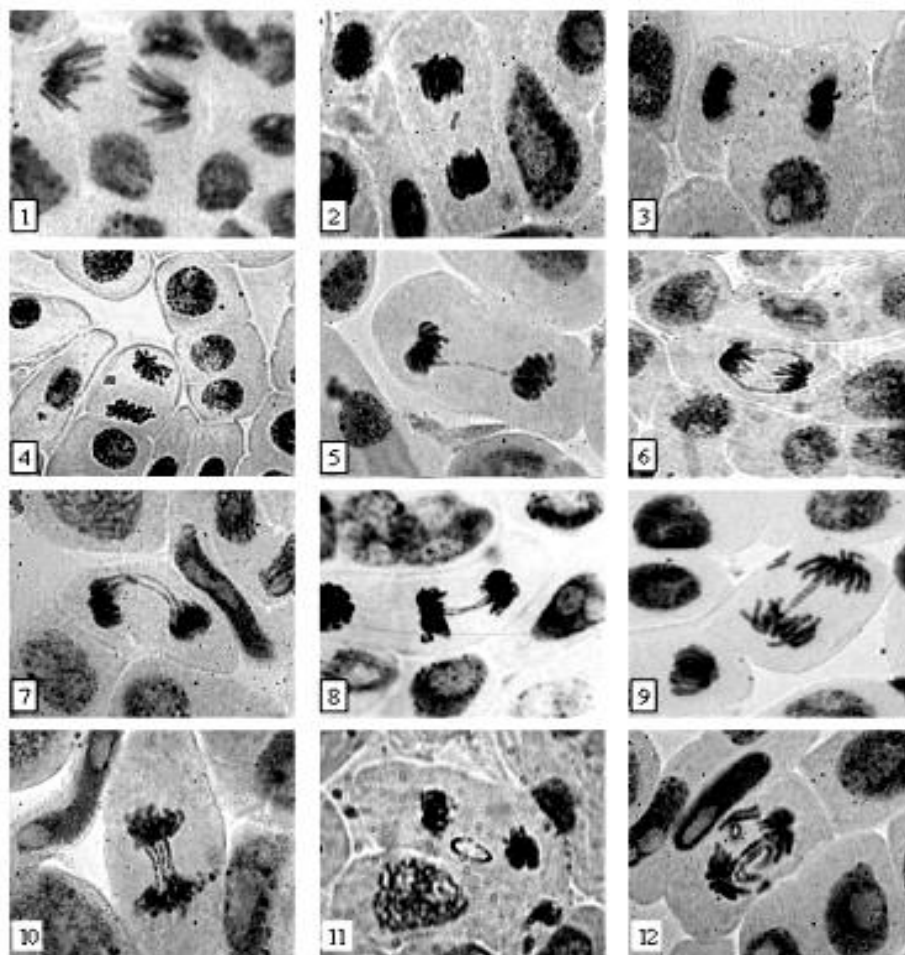


Рис.6. Хромосомні аберації в клітинах кореневої меристеми: 1 – нормальна анафаза; 2-12 – клітини з хромосомними аберациями: 2 – одинарний фрагмент; 3 – два одинарні фрагменти; 4 – парний фрагмент; 5 – одинарний міст; 6, 7 – два одинарні мости; 8 – парний міст; 9 – парний міст із фрагментами; 10 – невизначена кількість мостів та фрагменти; 11 – хроматидне кільце; 12 – множинні хромосомні пошкодження. Забарвлення ацетоорсеїном. Збільшення $\times 400$ (Н.К. Куцоконь, 2003).

Контрольні питання

1. Малі дози йонізуючого випромінювання та їх біологічні ефекти.
2. Віддалені ефекти опромінення. Механізми віддалених наслідків опромінення.
3. Дія йонізуючого опромінення на ДНК. Основні типи пошкоджень.
4. Основні типи репарації ДНК. Репарація одониткових та двониткових розривів ДНК.
5. Мутагенна дія йонізуючого опромінення. Основні типи мутацій.

6. Радіопротектори. Захисна дія радіопротекторів на клітини й організм. Радіосенсибілізатори. Механізми їх дії.

7. Дія радіації на організм. Радіочутливість. Критичні органи за променевого ураження.

8. Пряма та опосередкована дія йонізуючого опромінення. Вільні радикали.

9. Криві виживання та їх кількісні характеристики. Внесок процесів репарації та реплікації у радіочутливість клітин.

10. Основні ураження, які зазнають молекули РНК за радіаційного ураження, це:

- двониткові розриви;
- утворення димерів нуклеотидів;
- одностанкові розриви.

Лабораторна робота №9

Тема: “Оцінка міграції ^{137}Cs трофічним ланцюгом”

Мета роботи. Навчитися застосовувати методи кількісної радіології.

Завдання.

1. Прижиттєве визначення вмісту ^{137}Cs в м'язовій тканині сільськогосподарських тварин за допомогою гамма-спектрометру СУГ-1М150

2. Визначення об'ємної активності ^{137}Cs за допомогою радіометра РУГ-91 “Адані”.

Теоретичні відомості

Радіоактивні речовини можуть надходити в організм через органи дихання, травний тракт, шкіру. Найнебезпечнішим є інгаляційний шлях, а найскладніша форма надходження радіоактивних речовин, які попадають в організм через дихальну систему – радіоактивні аерозолі. Зовнішнє опромінення від них порівняно із внутрішнім зовсім незначне. Але в процесі дихання аерозольні частки разом з повітрям через трахею й бронхи надходять в альвеолярні тканини, а відтіля – у лімфатичну систему й кров. Існує думка, що до 50-75% всіх часток, які вдихаються, затримується в дихальних шляхах.

Однак внесок аерального шляху надходження радіоактивних речовин в організм, а відповідно й цього виду формування дози, є

істотним лише в період випадання радіоактивних опадів. Надалі основним фактором, що визначає дозу внутрішнього опромінення, є забруднені радіонуклідами їжа й вода. У цьому випадку формування дози в кожному органі, у кожній ділянці тканини визначається накопиченням і виведенням радіонуклідів. І знову таки доза внутрішнього опромінення буде залежати від хімічної форми радіонукліда, виду хімічної сполуки, у якій він представлений, і інших факторів.

Надходження радіоактивних речовин у ШКТ відбувається з їжею й водою. При потраплянні радіонуклідів у зовнішнє середовище вони можуть по трофічних ланцюгах надходити в організм людини. Тому шлях надходження радіоактивних речовин у ШКТ й їхнє просування в основному такий же, як і звичайних хімічних речовин, що містяться в харчових продуктах. На процеси усмоктування радіонуклідів із ШКТ істотно впливають рН середовища, фізико-хімічний склад сполук, стан травного тракту. Для кількісної оцінки всмоктування радіоактивної речовини із ШКТ у кров і лімфу використовують величину, яка називається *коефіцієнтом резорбції*, або *всмоктування*. Це – відсоток радіонукліда, виявлений в організмі за певний час спостереження у співвідношенні до вихідної кількості.

На величину всмоктування радіоактивних речовин впливає характер їжі й швидкість просування її по кишечнику. Надходження стронцію з молоком, наприклад, значно збільшує його всмоктування в організмі. Резорбція радіонукліда в кишечнику залежить також від віку. У молодому організмі, який росте, більше всмоктується радіоактивного стронцію, ніж у дорослому. Це пов'язане з більшим споживанням організмом мінеральних солей, необхідних для побудови кістяка.

Донедавна багато дослідників недооцінювали шкірний шлях надходження радіоактивних речовин в організм. В експериментах на тваринах і клінічними спостереженнями було показано, що більшість радіонуклідів може проникати через ушкоджену шкіру. При надходженні радіоактивних речовин через шкіру відбувається опромінення як самої шкіри, так і внутрішніх органів. Найбільш чутливим до дії радіонуклідів є базальний шар шкіри, де перебувають росткові клітини епідермісу.

Порядок виконання роботи

1. Прилад призначений для визначення питомої (об'ємної) активності ^{137}Cs у зразках: ґрунтів, грубих кормів (сіна, соломи), молока, м'яса, риби та рибних продуктів, овочів, фруктів, дарів лісу, та у м'язах сільськогосподарських тварин при прижиттєвому контролі.

2. Діапазони вимірювання питомої (об'ємної) активності ^{137}Cs гамма-спектрометром СУГ-1М складають (рис. 7):

- | | |
|---|-----------------------------|
| - для ґрунту | $160-2,6 \cdot 10^4$ Бк/кг; |
| - для прижиттєвого контролю тварин | $74-1,0 \cdot 10^4$ Бк/кг; |
| - для сільгосппродукції та продукції лісу | $40-2,0 \cdot 10^4$ Бк/кг. |



Рис. 7. Гамма-спектрометр СУГ-1М: 1 – зарядний пристрій і пульт керування; 2 – коліматор з блоком детектування.

3. Методика призначена для використання при: технологічному контролі формування раціону живлення сільськогосподарських тварин (прижиттєвий контроль тварин та контроль грубих кормів), первинному (оціночному) радіаційному обстеженні територій сільськогосподарських угідь та інших територій (контроль ґрунтів), оперативному (попередньому) контролі в польових умовах забруднення сільгосппродукції та продукції лісу на відповідність допустимим рівням (ДР-2006)).

4. Методика забезпечує визначення питомої (об'ємної) активності ^{137}Cs у зразках і при прижиттєвому контролі тварин у діапазоні вимірювань приладу із основною відносною похибкою $\pm 30\%$ для $P = 0,95$.

5. Обов'язковою умовою ефективного використання можливостей гамма-спектрометра є вибір найбільш “чистого” місця для проведення контролю. Для забезпечення вимірювання із необхідною похибкою активності, що відповідає нижній межі паспортного діапазону вимірювань, потужність еквівалентної дози (ПЕД) зовнішнього γ -випромінювання в місці вимірювання (природний фон плюс додаткове випромінювання, що формується ^{137}Cs) при використанні методики не

повинна перевищувати 0,2 мкЗв/год (20 мкР/год) – для визначення питомої активності ^{137}Cs у зразках, та не перевищувати 0,3 мкЗв/год (30 мкР/год) – для прижиттєвого контролю тварин. Крім того, існуюча забрудненість місця контролю повинна бути однорідною – показники гамма-фону з різних напрямків вимірювання не повинні відрізнятись більш, ніж на 30% один від одного.

6. Встановлюють блок детектування (БД) у положення, що відповідає параметрам тварини за висотою та утримують його впродовж вимірювання. Натискають “ВВОД”, на дисплеї виникає напис:

“ИЗМЕРЕНИЕ ФОНА ЖИВОТНЫЕ ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ”

0:00:00 0 ± 0 Бк/кг

починається процес вимірювання фону – через кожні 20 с на дисплеї відображається час, що пройшов з початку вимірювання, і вимірюване значення фону із абсолютною похибкою. Вимірювання фону продовжують поки величина похибки вимірювання не досягне значення менш ніж ± 40 Бк/кг, після чого натискають кнопку “СБРОС”. Приблизно через 20 с вимірювання фону припиняється і в лівому верхньому куті дисплею виникає символ “О”.

7. Якщо у цьому місці вже проводилось вимірювання фону, то його значення вводять за допомогою кнопок $\leftarrow$, $\rightarrow$, $\uparrow$, і $\downarrow$ натискають “СБРОС”, на дисплеї виникає напис:

“НОМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ? XX” “МАССА” 250-300 кг.

8. За допомогою кнопок $\uparrow$, і $\downarrow$ вводять масу тварини, яку визначають шляхом зважування або експертно. Масу обирають із дискретного ряду:

45-60-75-100-150-200-250-300-350-400-450-500-550-600 кг.

9. Для визначення питомої активності ^{137}Cs у м’язових тканинах тварини, прилад щільно прикріплюють до стегнової частини тварини та натискають кнопку “ВВОД”. На дисплеї виникає напис:

“ИЗМЕРЕНИЕ” “ЖИВОТНЫЕ”

“УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЦЕЗИЯ-137, БК/КГ”

“ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ:” 0:00:00 ДР-97:2006

Набір імпульсів супроводжується звуковими сигналами, частота яких пропорційна кількості зареєстрованих імпульсів;

10. Через час, який не перевищує 100 с (після досягнення необхідної величини похибки), натискають кнопку “СБРОС”, вимірювання припиняється, про що свідчить звуковий сигнал і на дисплеї виникає значення питомої активності ^{137}Cs в Бк/кг із

абсолютною похибкою. Якщо сума вимірюваної активності та абсолютної похибки вимірювання не перевищує 200 Бк/кг (згідно до ДР-2006) на дисплеї виникає запис “ЧИСТО”, якщо перевищує – запис “ГРЯЗНО”.

11. Для перегляду енергетичного спектру натискують кнопку “СБРОС”. Маркер має знаходитись в каналі, що відповідає центру фотопіку. Якщо фотопік змістився, то за допомогою кнопок ←, →, ↑, і ↓ повертають його до центру фотопіку та натискують кнопку “ВВОД”. У правому верхньому куті буде відображено уточнене значення питомої активності. Натискують кнопку “СБРОС” після чого виникає запит:

“СОХРАНИТЬ СПЕКТР ХХХ”

Натискуванням кнопки ВВОД спектр зберігається у флеш-пам’яті, натискуванням кнопки “СБРОС” спектр знищується. Після натискування будь-яких з цих кнопок прилад переходить до нового виміру – на дисплеї виникає запис:

“НОМЕР ИЗМЕРЕНИЯ ХХ” “МАССА” 250-300 кг.

Номер вимірювання зростає на одиницю після кожного збереження попереднього спектру. Якщо розгляд спектру не є необхідним, після закінчення вимірювання і запису значення питомої активності, натискують кнопку “ВВОД”.

Завдання 2. Визначення об’ємної активності ^{137}Cs за допомогою радіометра РУГ-91 “Адані”.

Порядок виконання роботи

1. Ввімкнути радіометр (рис.8) до електричної мережі та натиснути кнопку “ПИТАНИЕ” на передній панелі приладу. Звуковий сигнал та індикатор “О” свідчать про готовність радіометра до роботи.

2. Наповнити посудину Марінеллі (0,5 л) дистильованою водою.

3. Відкрити кришку свинцевого захисту і встановити посуд на детектор.

Закрити кришку.

4. Натиснути кнопку “ЦЕЗИЙ-137”. Кнопка “КАЛИЙ-40” натискається в разі вимірювання питомої активності ^{40}K .

5. Натиснути кнопку “ФОН” та кнопку часу вимірювання (2 хв. або 20 хв.). Для більш точного вимірювання фону рекомендується використовувати 20-хвилинний режим вимірювання. В процесі вимірювання прилад на натискання кнопок не реагує (виключення становлять лише кнопки “ПИТАНИЕ” і “СБРОС”). Вимірювання фону

здійснюється не менше 5 разів і розраховується середнє значення. Фон вимірюється по двох каналах одночасно (по ^{40}K і ^{137}Cs) його значення заносяться в пам'ять мікропроцесору і автоматично віднімаються з результатів вимірювання.



Рис. 8. Зовнішній вигляд радіометра РУГ-91 “Адані”.

6. Наповнити посуд Марінеллі рідиною, активність якої буде вимірюватись, і встановити його у свинцевий захист.

7. Об'єм проби повинен складати 0,5 л. При вимірюванні твердих зразків бажано їх попередньо подрібнити, щоби по можливості заповнити необхідний об'єм.

8. Натиснути кнопку “ПРОБА” і одну із кнопок часу – 2 хв. або 20 хв. (20-ти хвилинний режим використовують для вимірювання низької активності: 0,018 – 0,2 кБк/л). Вимірювання проби йде одночасно по двох каналах: ^{40}K та ^{137}Cs . Упродовж вимірювання на табло висвічується зворотній відлік часу (у секундах). Закінчення вимірювання підтверджується звуковим сигналом та індикацією на табло результатів вимірювань. Активність радіонуклідів, що містяться у досліджуваній пробі визначається в одиницях об'ємної активності – кБк/л.

При значенні об'ємної активності проби вище 50 кБк/л на табло виводяться орієнтовні значення досліджуваної активності або сигнал перевантаження “9999”. При появі індикації “9999” необхідно провести повторне визначення впродовж 2 хв. Якщо на табло знову виведеться сигнал перевантаження, то активність проби значно перевищує 50 кБк/л.

9. Провести п'ять вимірювань та визначити середню активність проби.

10. Оцінка отриманих результатів. Результати вимірювання будуть відповідати дійсності, якщо: об'єм проби складає 0,5 л, а її густина близька до одиниці. У цьому випадку об'ємна активність

зразка в кБк/л відповідатиме питомій активності кБк/кг. Якщо кількості зразка недостатньо для вимірювань, результат необхідно помножити на поправковий коефіцієнт для даного об'єму (табл. 11).

Таблиця 11. Поправочний коефіцієнт для даного об'єму

Об'єм проби	Поправочний коефіцієнт
200 мл	2,9
300 мл	1,6
400 мл	1,2
500 мл	1,0

11. Якщо густина зразка відрізняється від одиниці досліджуваний зразок необхідно зважити, розрахувати його питому вагу і перерахувати результат, висвічений на табло (розділити результат на питому вагу зразка).

Приклад: об'єм проби (V) = 500 мл.; маса проби (m) = 400 г; питома маса зразка (m/V) = 0,8 кг/л; об'ємна активність (AV) = 0,5 кБк/л. Розрахунок питомої активності (Am) здійснюється за формулою:

$$A_m = \frac{A_v}{m/V}$$

12. Результати визначення занести до табл. 12:

Таблиця 12. Показники об'ємної та питомої активності ^{137}Cs

№	Фон	Об'ємна активність	Питома активність
1			
2			
3			
4			
5			
Середнє			

Контрольні питання

1. Назвіть речовини і продукти, які стимулюють виведення радіонуклідів з організму
2. Вкажіть основні шляхи та механізми виведення радіонуклідів з організму.
3. Опишіть способи дезактивації продуктів харчування.
4. Як проводиться дезактивація ґрунту та донних відкладів?

5. Вкажіть методи дезактивації води.
6. Охарактеризуйте міграцію радіонуклідів у водоймах.
7. Визначіть місце рослин у перерозподілі радіаційного забруднення та їх вплив на міграцію радіонуклідів.
8. Охарактеризуйте поняття толерантності та її прояву до опромінення.
9. Охарактеризуйте механізм прямої та посередньої дії радіації на клітинні структури та організм тварин.
10. Радіочутливість живих систем це:
 - перехід живих систем до стану анабіозу;
 - фізична, хімічна, біологічна відповідь живих систем на радіацію;
 - зміна морфології живих клітин.

ТЕСТОВІ ПИТАННЯ

Тестові питання (відкритого типу)

1. Радіочутливість – це ...
2. Радіостійкість – це ...
3. Летальна доза опромінення – це доза при якій...
4. Напівлетальна (сублетальна) доза випромінювання – це...
5. Період напіврозпаду – це...
6. Грей (Гр) – це....
7. Беккерель (Бк) – це....
8. Бер (Бр) – це ...
9. Гр еквівалентний...
10. Зіверт еквівалентний.....
11. Середнє значення коефіцієнта якості для α -випромінювання становить...
12. Середнє значення коефіцієнта якості для гамма-випромінювання становить...
13. Період напівочищення – це....
14. Коефіцієнт затримки – це.....
15. Коефіцієнт переходу – це.....
16. Коефіцієнт накопичення – це ...
17. Класи радіобіологічних ефектів:
18. До соматичних радіобіологічних ефектів відносяться:
19. До генетичних радіобіологічних ефектів відносяться:
20. Допустиме разове опромінення населення в нормальних умовах становить:

Тестові питання (закритого типу)

1. Яке визначення радіочутливості є правильним?

- 1) радіочутливість – це властивість організмів реагувати на малі дози опромінення;
- 2) радіочутливість – це властивість організмів реагувати на малі дози опромінення;
- 3) радіочутливість – це властивість організмів реагувати на критичні дози опромінення;
- 4) радіочутливість – це властивість організмів реагувати на сублетальні дози опромінення.

2. Радіостійкість – це властивість рослин переносити...

- 1) критичні дози опромінення;
- 2) малі дози опромінення;

- 3) летальні і сублетальні дози опромінення;
- 4) любі дози опромінення.

3. Летальна доза опромінення – це доза при якій...

- 1) гине декілька опромінених екземплярів;
- 2) гине половина опромінених екземплярів;
- 3) гинуть всі опромінені особини;
- 4) спостерігаються мутаційні процеси.

4. Напівлетальна (сублетальна) доза випромінювання – це доза при якій...

- 1. гине декілька опромінених рослин;
- 2. гине половина опромінених рослин;
- 3. гинуть всі опромінені рослини;
- 4) спостерігаються мутаційні процеси.

5. Які з перерахованих груп організмів відзначаються найвищою радіостійкістю?

- 1) гриби;
- 2) віруси;
- 3) рослини;
- 4) бактерії.

6. Які з перерахованих органел клітини є найбільш радіостійкими?

- 1) хлоропласти;
- 2) мітохондрії;
- 3) ядро;
- 4) рибосоми.

7. Які з перерахованих функцій є найбільш радіостійкими?

- 1) дихання;
- 2) біосинтез ДНК;
- 3) біосинтез білка;
- 4) фотосинтез.

8. Яка одиниця вимірювання поглиненої дози в системі СІ?

- 1) Дж;
- 2) Зв;
- 3) Р;
- 4) Гр.

9. Яка одиниця вимірювання еквівалентної дози в системі СІ?

- 1) Н;
- 2) Зв;
- 3) Бер;
- 4) Гр.

10. Яка одиниця вимірювання активності в системі СІ?

- 1) Зв;
- 2) Р;
- 3) Гр;
- 4) Бк.

11. 10 Гр еквівалентний:

- 1) 1000 рад;
- 2) 100 рад;
- 3) 0,1 рад;
- 4) 1 рад.

12. 1 Зв еквівалентний:

- 1) 0,1 Бер;
- 2) 1 Бер;
- 3) 100 Бер;
- 4) 1000 Бер.

13. Питома густина йонізації, що створюється β -частинками є:

- 1) значно менша, ніж α -частинок з тією ж самою енергією;
- 2) значно більша, ніж α -частинок з тією ж самою енергією;
- 3) рівна, ніж α -частинок з тією ж самою енергією.

14. Питома густина йонізації, що створюється α -частинками є:

- 1) значно менша, ніж електронів з тією ж самою енергією;
- 2) значно більша, ніж електронів з тією ж самою енергією;
- 3) рівна, ніж електронів з тією ж самою енергією.

15. Які з перерахованих видів іонізуючого випромінювання мають найбільшу проникаючу здатність?

- 1) α -частинки;
- 2) β -частинки;
- 3) γ -кванти;
- 4) потік електронів.

16. Які з перерахованих видів іонізуючого випромінювання мають найменшу проникаючу здатність?

- 1) α -частинки;
- 2) β -частинки;
- 3) γ -кванти;
- 4) потік електронів.

17. Середнє значення коефіцієнта якості для гамма-випромінювання становить:

- 1) 10;
- 2) 1;

- 3) 5;
- 4) 30.

18. Середнє значення коефіцієнта якості для α -випромінювання становить:

- 1) 5;
- 2) 10;
- 3) 20;
- 4) 10.

19. Довжина пробігу α -частинок з енергією 4 MeV у повітрі становить:

- 1) 2,7 см;
- 2) 10 м;
- 3) 1000 м;
- 4) 5000 м.

20. Довжина пробігу γ -кванту з енергією 1 MeV у повітрі становить:

- 1) 1 мм;
- 2) 1 см;
- 3) 120 м;
- 4) 5000 м.

21. Величина потужності поглинутої дози фонового випромінювання становить

- 1) 10 Р/год;
- 2) 15 МкР/год;
- 3) 0,5 Р/год;
- 4) 100 мР/год.

22. Допустиме опромінення населення в нормальних умовах становить:

- 1) 100 Бер;
- 2) 3 Бер;
- 3) 0,5 Бер;
- 4) 1 мБер.

23. Фонове опромінення за рік становить:

- 1) 0,1 Бер;
- 2) 1 Бер;
- 3) 100 Бер;
- 4) 5 Бер.

ПИТАННЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Зміст предмета радіобіології, завдання, методи. Зв'язок радіобіології з іншими науками.
2. Відкриття рентгенівських променів і радіоактивності (роботи Рентгена, Беккереля, М. Кюрі, П. Кюрі, І. Кюрі, Ф. Жоліо-Кюрі).
3. Етапи розвитку радіобіології та радіоекології.
4. Види йонізуючого випромінювання, основні характеристики елементарних частинок, що утворюють ці випромінювання.
5. Одиниці дози випромінювання та радіоактивності.
6. Взаємодія α - і β - частинок з речовиною.
7. Взаємодія γ -випромінювання з речовиною.
8. Порівняльна проникаюча здатність різних видів випромінювання в повітрі і в біологічних об'єктах.
9. Методи захисту від йонізуючих випромінювань.
10. Методи виявлення та реєстрації йонізуючих випромінювань (йонізаційні детектори випромінювання, сцинтиляційні методи реєстрації випромінювань).
11. Відносна біологічна ефективність (ВБЕ) йонізуючого випромінювання (зв'язок ВБЕ з лінійною передачею енергії).
12. Механізм та основні характеристики радіомодифікуючої дії кисню.
13. Джерела опромінення людини
14. Категорії опромінюваних осіб, дозові межі, ефективна і еквівалентна дози.
15. Пряма і непряма дія йонізуючих випромінювань і їх етапи.
16. Продукти радіолізу води; «ефект розведення».
17. Теорії біологічної дії йонізуючого випромінювання (принцип потрапляння та теорія мішені; стохастична теорія, теорія «точкового тепла»).
18. Поняття про радіонукліди, їх отримання.
19. Діапазон відмінностей радіочутливості в природі та їх причини
20. Радіаційні пошкодження ДНК.
21. Молекулярні механізми репарації ДНК.
22. Радіаційний блок мітозів, механізм цього явища.
23. Криві виживання клітин при рідко- і щільно йонізуючому опроміненні.
24. Радіочутливість клітин на різних стадіях циклу.
25. Репарація потенційних пошкоджень.
26. Репарація сублетальних пошкоджень.

27. Радіочутливість організму. Променеві реакції окремих органів і тканин. Шкала радіочутливості.
28. Радіаційні синдроми.
29. Кістковий мозок – типовий приклад системи клітинного оновлення.
30. Радіочутливість клітин крові, кісткового мозку. Закон Бергоньє і Трібондо.
31. Відносність поняття тканинної радіочутливості.
32. Шлунково-кишковий синдром.
33. Процеси відновлення в опроміненому організмі. Кінетика відновлення організму після загального опромінення.
34. Особливості пошкодження та репарації мало-відновлюючих тканин.
35. Класифікація, діагноз і прогноз променевої хвороби.
36. Гостра променева хвороба при відносно рівномірному опроміненні. Фаза первинної загальної реакції.
37. Гостра променева хвороба при відносно рівномірному опроміненні. Фаза удаваного клінічного благополуччя.
38. Гостра променева хвороба при відносно рівномірному опроміненні. Фаза виражених клінічних проявів.
39. Гостра променева хвороба при відносно рівномірному опроміненні. Фаза раннього відновлення.
40. Церебральний синдром (гостра форма променевої хвороби). Патогенез, клініка.
41. Хронічна променева хвороба (I ступінь тяжкості)
42. Хронічна променева хвороба (II ступінь тяжкості).
43. Хронічна променева хвороба (III ступінь тяжкості).
44. Терапія гострої променевої хвороби
45. Променева хвороба, обумовлена інкорпорованим опроміненням (шляхи надходження радіонуклідів, розподіл в організмі і виведення).
46. Способи прискореного виведення радіонуклідів з організму та запобігання їх всмоктуванню.
47. Віддалені наслідки опромінення (скорочення тривалості життя, виникнення злоякісних пухлин).
48. Механізм віддалених наслідків опромінення.
49. Дія йонізуючих випромінювань на ембріон і плід.
50. Механізми радіоембріологічного ефекту і оцінка його наслідків.
51. Радіоемність непроточного прісноводного водоймища.
52. Роль біоти в накопиченні радіонуклідів.

53. Радіоемність каскаду прісноводних водоймищ, морської та лісової екосистем.
54. Міграція радіонуклідів у морських та прісноводних екосистемах.
55. Міграція нуклідів у наземних екосистемах (лісових, лучних).
56. Радіочутливість мікроорганізмів та особливості впливу на них радіонуклідів.
57. Радіорезистентність вищих рослин. Чутливість рослин до хронічного опромінення.
58. Вплив радіонуклідів на популяції рослин.
59. Генетичні наслідки опромінення рослин.
60. Вплив радіонуклідів на тварин (безхребетні, риби, амфібії, рептилії, птахи, ссавці).

Теми рефератів

1. Особливості метаболізму радіонуклідів в організмі тварин та людини
2. Біологічні фактори модифікації реакцій рослин на опромінення.
3. Принципи ведення сільського господарства на радіаційно забруднених територіях.
4. Механізм прямої та опосередкованої дії радіації на клітинні структури і весь організм тварин.
5. Радіаційне забруднення сільськогосподарських рослин та їх вплив на міграцію радіонуклідів.
6. Охарактеризувати залежність біологічної дії опромінення від дози, потужності опромінення, щільності йонізації опромінення, площі, умов опромінення.
7. Охарактеризувати вплив кліматичних умов, складу води, рослинного покриву на радіаційний фон і забруднення ґрунтів різного типу.
8. Охарактеризувати значення рослин у процесах самоочищення ґрунтів від їх радіонуклідного забруднення.
9. Охарактеризувати особливості нагромадження радіонуклідів в окремих органах і тканинах тварин різного віку та різним типом живлення.
10. Визначити особливості нагромадження чорнобильських радіонуклідів в компонентах біоти водойм комплексного і рибогосподарського призначення.

11. Описати закономірності трансформації радіонуклідів по трофічному ланцюгу.
12. Охарактеризувати закономірності міграції радіонуклідів у воді і ґрунтах водних та наземних екосистемах.
13. Історія розвитку радіобіології та радіоекології. Внесок зарубіжних і вітчизняних вчених у розвиток радіобіології та радіоекології.
14. Характеристика типів йонізуючого випромінювання та джерел радіації.
15. Радіаційно зумовлені хімічні та біохімічні процеси в опроміненій клітині.
16. Радіочутливість. Біологічна дія різних видів радіації. Закон Бергоньє-Трибонто.
17. Дія малих доз йонізуючого випромінювання. Генетичні ефекти опромінення в малих дозах.
18. Принципи і способи радіаційного захисту.
19. Характеристика фізичних, хімічних, біологічних факторів, що впливають на радіаційний ефект.
20. Вплив радіації на мутагенез.
21. Шляхи надходження радіонуклідів в організм риб.
22. Вплив опромінення на регенеративну та імунну системи тварин.
23. Особливості дозиметричних вимірювань у сільському господарстві.
24. Природна радіоактивність і еволюція видів.
25. Характеристика відкритих та закритих джерел радіації.
26. Основи радіаційної безпеки, методи та засоби захисту при роботі з радіоактивними речовинами.
27. Патолого-анатомічні зміни за променевої хвороби.
28. Віддалені наслідки променевого ураження організму. Стохастичні і не стохастичні (детерміновані) радіобіологічні ефекти.
29. Категорії опромінюваних осіб, регламентація їх дозових навантажень. Поняття про ліміт дози та контрольні рівні опромінення.
30. Природна радіація та її вплив на живі клітини.

ГЛОСАРІЙ

Аберації – хромосомні аномалії, зокрема під впливом радіації.

Адаптивна відповідь – одна із форм прояву гормезису за умови дії малих доз радіації.

Альфа-розпад – тип спонтанного радіоактивного перетворення важких атомних ядер, що полягає у викиданні α -частинки з ядра. Альфа-розпад властивий 25 природним радіоактивним ізотопам та близько 100 штучним ядрам із дефіцитом нейтронів. Альфа-розпад зазвичай супроводжується γ -випромінюванням.

Альфа-частинки (α) – 1) це ядра гелію, що має заряд +2; 2) потік позитивно заряджених частинок ядер атомів гелію без електронів (два протони і два нейтрони).

Активність радіонуклідів (A) – число розпадів радіоактивних ядер за одиницю часу. (у СІ – бекерель (Бк) відповідає одному розпаду радіоактивного ізотопу впродовж с. Кюрі (Ки, Ку) – позасистемна одиниця, $1 \text{ Ку} = 3,7 \times 10^{10}$ актів ділення за с).

Анаплазія – процес руйнування структури клітини.

Анігіляція – процес перетворення пари електрон-позитрон у пару гамма-квантів; утворення квантів потужного випромінювання при зіткненні античастинок.

Апоптоз – явище запрограмованої загибелі клітин.

Беккерель – активність нукліду (дорівнює одному розпаду за секунду).

Бер – енергія будь-якого виду випромінювання, яка поглинається 1 г тканини.

β -розпад – тип спонтанного радіоактивного перетворення нестабільних атомних ядер, що полягає у викиданні з ядра електрона, який утворюється внаслідок перетворення нейтрона на протон.

Бета-частинка (β) – потік негативно заряджених прискорених електронів ядерного походження, що випромінюються ядром радіоактивних елементів при їх розпаді або античастинок електронів (позитронів, які позитивно заряджені).

Валентні електрони – це електрони зовнішньої оболонки атома, які визначають його валентність.

Водо-водний енергетичний реактор на АЕС. До цього типу належать всі реактори на АЕС України.

Відкриті джерела радіації – це такі джерела, що можуть опромінювати зовнішнє середовище.

Відносна біологічна ефективність (ВБЕ) випромінювання – відношення поглинутої дози стандартного випромінювання до поглиненої дози радіації.

Внутрішнє (інкорпороване) йонізуюче опромінення – опромінення, що утворюється внаслідок проникнення та накопичення радіоактивних ізотопів в середині організму.

Вторинна радіаційна патологія – атрофія, розростання сполучної тканини, фіброз лімфоїдної тканини в селезінці та лімфатичних вузлах, некроз печінки; поява інфекційних захворювань легень, нирок тощо.

“Вхідні ворота радіації” – це шляхи надходження (через органи дихання, травлення, шкіру) радіоактивних речовин в організм.

Гази радіоактивні – радон, торон, ^{14}C , тритій. Радон і торон надходять із земних порід, тритій утворюється з водні, ^{14}C з Карбону.

Гальмівне електромагнітне випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що генерується під час гальмування зарядженої частинки в електричному полі.

Генетичний ефект – здатність йонізуючого випромінювання діяти не тільки на даний живий організм, але і на його нащадки.

Генетично значима еквівалентна доза (ГЗД) – доза радіації, яка викликає ті чи інші спадкові ураження у нащадків.

Гігантизм клітин – системна відповідь на йонізуюче опромінення, що виражається утворенням гігантських клітин.

Глобальне радіаційне забруднення – радіаційне забруднення поверхні землі і Світового океану.

Гормезис радіаційний – стимуляція росту і розвитку організмів рослин і тварин за умови їх опромінення в малих дозах.

Гостре опромінення – короткотривале опромінення, за якого не змінюється фізіологічний стан організму або клітини.

Гранична доза – гранична індивідуальна еквівалентна доза за рік, яка при рівномірному впливові впродовж 70 років не впливає на здоров'я людини.

Грей – одиниця поглиненої дози радіації, яка передана опроміненій речовині масою 1 кг (до 0,25 Гр видимих ушкоджень немає, при 4-5 Гр смертельні випадки складають 50%, а при 6 Гр і більше – летальні наслідки спостерігаються у 100%)

Групи радіотоксичності – таких груп виділяють чотири наступні: - група А – радіонукліди особливо високої радіотоксичності, допустима активність яких на робочому місці дорівнює 0,1 МкКи (Pb^{210} , Po^{210} , Ca^{226} , Pu^{239} , Pu^{240} , Am^{241}); - група Б – радіонукліди високої

радіотоксичності, допустима активність яких на робочому місці дорівнює 1 МкКи (J^{131} , Ru^{136} , Ra^{223}); - група В – радіонукліди середньої радіотоксичності, допустима активність яких на робочому місці дорівнює 10 МкКи (Na^{24} , P^{32} , S^{35} , K^{42} , Mn^{56} , Co^{60} , Cs^{134} , Cs^{137} , Ba^{140} , Se^{144}); група Г – радіонукліди малої радіотоксичності, допустима активність яких на робочому місці дорівнює 100 МкКи (H^3 , C^{14} , P^{33} , Su^{64} , Pt_{197}).

Деактивація – видалення радіоактивних речовин з окремих територій.

Джерело йонізуючого випромінювання (ДІВ) – об'єкт у будь-якому агрегатному стані, який містить радіоактивні речовини.

Доза – міра дії йонізуючого випромінювання у визначеному середовищі. Виражається величиною ефекту йонізації (так звана експозиційна доза, що характеризує джерело випромінювання) або кількістю поглинутої (тканинами, організмом) енергії випромінювання. Одиниці дози радіації: експозиційна – рентген (r) – викликає утворення 1 см² повітря за нормальних умов $2,8 \times 10^9$ пар йонів.

Доза випромінювання – величина поглинутої енергії випромінювання в одиницях маси опроміненої речовини.

Доза еквівалентна (Дн) – характеризує оцінку впливу різних видів випромінювання на організм людини.

Доза опромінення – величина енергії, поглинута одиницею об'єму або маси речовини, що опромінюється.

Доза поглинання (Др) – кількість енергії будь-якого виду випромінювання, поглинута одиницею маси опроміненої біологічної речовини.

Дозовий поріг – межа дозового навантаження, перевершення якої проявляється ефект дії радіації.

Доза поглинута – доза, що характеризує енергію йонізуючого випромінювання, поглинутого одиницею маси опроміненої речовини, вимірюється в греях (Гр).

Допустима доза – сумарна доза радіації, яку одержує людина впродовж 5 (п'яти) тижнів.

Еквівалентна (ефективна) доза або біологічна (Н) – є мірою біологічного впливу випромінювання на конкретний організм.

Експозиційна доза (Dx), (кулон на кілограм) – характеризує йонізуючу спроможність випромінювання в повітрі; експозиційна доза фотонного

випромінювання, при якій корпускулярна емісія в сухому атмосферному стані масою 1 кг виробляє струми, що несуть заряд, вимірюється у зівертах ($1\text{Зв} = 1\text{ Дж/кг}$).

Елімінація радіаційна – усунення радіаційного ураження клітин, тканин, органів.

Ефект Петко – сильний радіаційний ефект дуже малих доз радіації за умови їх тривалої дії, пов'язаний з ураженням радіацією мембран.

Ефект «свідка» – це контакт клітин, які не опромінені, з клітинами, які піддалися опроміненню.

Ефективна доза (Def) – це доза, в якій ураховано поправку на тканини.

Закон Бергоньє-Трибонто – у 1906 році французькі біологи встановили, що радіочутливість має пряму залежність від проліферативної активності.

Закриті джерела радіації – джерела, що не мають можливості розповсюджуватися в довкіллі.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) – засоби, що перешкоджають надходження радіонуклідів до організму тварин і людини.

Збуджений стан – це такий стан атомів чи молекул, коли вони мають енергію, більшу ніж в основному стані.

Зіверт – доза еквівалентна будь-якого опромінювання, поглинена 1 кг біологічної тканини, утворює такий же біологічний ефект, як і поглинена доза в 1 Гр фотонного випромінювання (Н).

Змішане випромінювання – випромінювання, яке складається з фотонів та часток різних видів.

Знезараження – комплексні заходи зниження забруднення, зокрема і радіонуклідного.

Ізотопне випромінювання – випромінювання, яке складається з фотонів та частинок різних видів.

Ізотопи – це хімічні елементи з однаковими хімічними властивостями, але різною атомною масою. Радіоактивний ізотоп – це нестійкий ізотоп, що розпадається.

Індикаторний метод – метод вивчення поведінки, перетворень та руху речовин у фізичних, хімічних та біологічних системах за допомогою мікрокількостей радіоактивних ізотопів.

Інертні атоми – це атоми, у яких зовнішні електронні оболонки заповнені не схильні вступати в хімічні реакції, тому їх називають інертними.

Інкорпорація – включення речовини, яка потрапляє в організм і впливає на його фізичний, фізіологічний стан зі середини організму.

Інкорпороване опромінення – джерело опромінення з повітрям, водою, їжею, яке потрапило в середину організму і опромінює його із середини.

Йонізація – це перетворення нейтральних атомів чи молекул на частинки, які несуть позитивний або негативний заряд.

Йонізуюча здатність – це кількість пар йонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища або на одиницю довжини шляху.

Йонні треки – збуджені або йонізовані стани молекул і атомів у об'ємі речовини, що оточує траєкторію руху зарядженої частинки, фотона рентгенівського чи γ -випромінювання в речовині.

Карценоми – злоякісні переродження епітеліальних тканин.

Карцерогени – радіаційні або хімічні реагенти, під впливом яких виникає трансформація клітин.

Кілоелектронвольт (кеВ) – величина енергії, рівна тисячі еВ.

Кількісна радіобіологія – галузь науки, що розробляє математичні моделі для характеристики дозової залежності радіобіологічних ефектів тощо.

Кларкові концентрації – вміст природних радіонуклідів, характерний для даної місцевості. Класифікація доз опромінення – 1) надвисокі (порядку 10^{13} - 10^{11} сГр/хв); 2) високі (порядку 10^6 - 10^2 сГр/хв); 3) низькі (порядку 10^2 - 10^{-1} сГр/хв); 4) дуже низькі (порядку до 10^{-1} сГр/хв).

Класифікація радіаційних уражень – ушкодження поділяють на три групи: соматичні, соматично-стохастичні, генетичні.

Ковалентний радіус – відстань, що характеризує міжатомні відстані в молекулах.

Коефіцієнт поглинання (I) – ослаблення потоку заряджених частинок під час проходження крізь шар речовини.

Коефіцієнт якості (коефіцієнт якості шкоди) – коефіцієнт, який показує в скільки разів радіаційна небезпека даного виду випромінювання вища, ніж рентгенівського при однаковій поглинутій дозі в тканинах організму.

Комуляційний ефект – здатність малих доз радіації накопичуватись в організмі.

Контроль дозиметричний – вимір потужності доз випромінювання в місцях життєдіяльності людини.

Контроль радіометричний – прямий чи прогнозований вимір надходження радіонуклідів до організму людини, вмісту радіонуклідів у тілі, окремих тканинах і органах людини, на поверхні шкіри, одягу, взуття, а також в об'єктах довкілля.

Концентрація гранично допустима – максимальна кількість шкідливих речовини в середовищі, яка негативно не впливає на живі організми.

Корпускулярне випромінювання – потік елементарних частинок, із масою спокою, відмінною від нуля, що утворюються при радіоактивному розпаді, ядерних перетвореннях.

Критична маса – та мінімальна маса радіоактивної речовини, в якій можливе протікання самовільної ланцюгової реакції.

Критичні клітини, тканини, органи – органи, які в наслідок опромінення найбільш чутливі і спричинюють найбільшу шкоду для здоров'я і життя організму; в яких вибірково накопичується радіонуклід.

Кюрі (Ки, Ку) – одиниця радіоактивності, що визначається як кількість будь-яких радіоактивних ядер, де проходить 37 млрд. розпадів за секунду.

Лейкемія – білокрів'я або лейкоз – захворювання кровотворної системи з ураженням червоного кісткового мозку, лімфатичних вузлів і селезінки.

Лейкопенія – зменшення кількості лейкоцитів нижче 4 тисяч в 1 мм^3 крові в наслідок променевого ураження.

Лейкопакія – поява білих пляшок, наприклад, на слизовій оболонці рота як передвісників раку.

Лінійна щільність радіації – кількість пар йонів, що утворюються за одиницю пробігу (1мкм) йонізуючої частки.

Мала доза радіації – доза радіації, за дії якої не спостерігається ураження.

Мезони – нестабільні елементарні частинки, маса яких більша за масу електрона, але менша від маси протона.

Метод Монте-Карло – чисельний метод, що ґрунтується на відтворенні великого числа реалізацій випадкових процесів.

Міра радіочутливості – доза, що обумовлює загибель 50 та більше відсотків опромінених об'єктів.

Напіврозпад – час, упродовж якого розпадається половина радіоактивного ізотопу.

Нейтрино – стабільно елементарна незаряджена частинка (ν) зі спіном $\frac{1}{2}$, маса дорівнює нулю.

Нейтрон – електрично нейтральна елементарна частинка (n).

Норми радіаційного ураження – розрізняють такі: разові, сумарні, гранично допустимі, напівлегальні, критичні, летальні.

Нукліди – вид атомів, що характеризуються певним масовим числом, атомним номером і енергетичним станом.

Нуклони – це спільна назва протонів і нейтронів. Тривалість життя протона понад $2,9 \times 10^{29}$ років, а нейтрона – біля 886 секунд.

Одиниця радіоактивності – в СІ є беккерель (Бк), що дорівнює швидкості розпаду одне ядро радіоактивного ізотопу за 1 с..

Парадокс радіобіологічний – це невідповідність між малими кількостями поглинутої енергії йонізуючого випромінювання і крайнім рівнем реакції біологічного об'єкта, аж до летального.

Питома йонізації – число пар йонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища або на 1 см сліду в речовині, яка поглинає йонізуюче випромінювання.

Питома радіоактивності – радіоактивність певної кількості речовини.

Може бути розрахована відносно маси речовини в Бк/кг чи щодо її

Поглинута доза – енергія йонізуючого випромінювання, що поглинається одиницею маси опроміненої речовини. Вона вимірюється в греях (Гр); $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Променева хвороба – це загальне захворювання, що виникає після одноразового чи багаторазового опромінення. Розрізняють променеві хвороби за рівнем ураження легкі (поглинута доза 100-200 Рад), середні (поглинута доза 200-400 Рад), важкі (поглинута доза 400-600 Рад).

Проникаюча здатність – довжина пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

Протектор – речовина, що послаблює враження клітин чи організмів від опромінення.

Поглинута доза – енергія йонізуючого випромінювання, що поглинута тілом (тканинами організму) у перерахунку на одиницю маси.

Потенціал йонізації – це енергія, яка має бути витрачена для відриву електрона від атома чи молекули.

Потенційно летальні ушкодження – це такі, що можуть обумовити загибель клітини чи організму.

Рад – одиниця поглинутої дози; відповідає поглинутій енергії 100 ерг на 1 кг речовини.

Радіаційна активність зразка – число розпадів за секунду в даному радіоактивному зразку, одиниця виміру – беккерель (Бк).

Радіаційний розпад – весь процес розпаду нестабільних елементів.

Радіація – виділення елементарних частинок чи електромагнітних хвиль під час поділу атомів.

Радіоактивні аерозолі – аерозолі з радіоактивною дисперсійною фазою.

Радіоактивні відходи (РАВ) – продукти, що утворюються при роботах з радіоактивними речовинами, і які містять радіоактивні ізотопи вище норми радіоактивної безпеки.

Радіоактивні речовини (РР) – це речовини, до складу яких входять радіоактивні ізотопи; речовини, які здатні випромінювати енергію методом радіоактивного розчеплення.

Радіобіологія – наука, яка вивчає дію йонізуючого випромінювання на живі організми та їх угруповання.

Радіаційний мутагенез – виникнення під впливом йонізуючого випромінювання і ультрафіолетових променів спадкових змін (мутацій).

Радіотерапія – використання радіації як лікувального засобу.

Радіочутливість – чутливість біологічних об'єктів до дії радіації.

Репарація – це властивість клітинами всіх організмів здійснювати процес відновлення природної структури ДНК, ушкодженої при нормальному біосинтезі ДНК в клітині.

Синдром радіаційного ураження – ушкодження окремих клітин, тканин, складних інтегрованих систем організму прямою дією йонізуючого опромінення.

Соматичні ефекти радіації – пошкодження, що проявляються впродовж життя організму, але не передаються нащадкам.

Соматичний канцерогенез – трансформація соматичних клітин, які розмножуються мітотичним поділом.

Спрямоване випромінювання – випромінювання з визначеним напрямом поширення.

Стохастичні (ймовірні) ефекти – не пов'язані з дозовим порогом, випадкові, ймовірні ефекти, обумовлені малими дозами, певною мірою пов'язані з теорією мішені.

Сублетальні ушкодження – це такі типи ушкоджень, котрі самі по собі ще не приводять до загибелі клітини, але при наступних їх ушкодженнях можуть обумовити загибель клітин.

Тверді радіоактивні відходи – вироби, деталі машин та механізмів, матеріали, біологічні об'єкти, відпрацьовані радіоактивні джерела.

Теорія збуджень – теорія про порушення фізичного спокою і рівноваги, про поглинання і вилучення енергії тощо.

Термалізація – зниження енергії активованих електронів при йонізації за рахунок їх співударяння з атомами і молекулами.

Трек – слід, у формі скупчення йонів, що їх залишають заряджені частинки високої енергії у речовині.

Тритій – у вільному стані це радіоактивний газ, ізотоп Гідрогену з масовим числом 3.

Ураження ударною хвилею – майже в усіх випадках безпосереднє і опосередковане (пряме і непряме) травмування.

Ферміони – спільна назва для протонів, електронів, нейтронів, нейтрино.

Фотоефект – випромінювання електронів речовиною під дією світла.

Фотон – елементарна частинка, квант електромагнітного випромінювання (у вузькому розумінні – світла).

Фероцинові болюси – сорбент.

Хронічне опромінення – якщо об'єкт зазнає дії йонізуючого випромінювання протягом усього життя.

Циклотрон – електромагнітний прилад (гармата) для отримання швидких заряджених частинок (протонів, дейтронів, альфа-частинок) з метою розщеплення атома.

Шар повного поглинання – товщина будь-якої речовини, що забезпечує вдвічі захист від проникаючої радіації.

Швидкі ядра – генеровані потоки ядер з допомогою прискорювачів практично всіх хімічних елементів.

Ядра віддачі – це ядра будь-яких елементів після зіткнення з нейтронами в яких зростає кінетична енергія і, які набули здатності здійснювати йонізацію, збуджувати атоми і молекули.

Якість випромінювання – це показник аналогічний відносній біологічній ефективності випромінювання, яка показує у скільки разів випромінювання даного типу ефективніше щодо того, яке береться за одиницю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO 9001:2000 Науково-технічна та інженерінгова діяльність в сфері ядерної і радіаційної безпеки, радіоекології. Управління проектами в сфері науково-технічної діяльності
2. ДСТУ ISO 10381-3 Безпека під час відбору зразків для аналізу
3. ДСТУ ISO - 11464 Попереднє обробляння зразків для аналізу і проведення вимірювань
4. Міжнародний стандарт ISO 4037-3 Калібрування приладів для радіометрії.
5. Гудков І.М. Радіобіологія: Підручник для вищ. навчальних закладів. К.: НУБіП України, 2016. 485 с.
6. Гайченко В.А., Гудков І.М., Кашпаров В.О., Кіцно В.О., Лазарєв М.М. Практикум з радіобіології та радіоекології. Херсон: Олді Плюс, 2014. 278 с.
7. Кутлахмедов Ю.О., Войціцький В.М., Хижняк С.В. Радіобіологія. К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. 543 с.
8. Гудков І.М., Гайченко В.А., Кашпаров В.О., Кутлахмедов Ю.А., Гудков Д.І., Лазарєв М.М. Радіоекологія. К.: НУБіП України, 2011. 368 с.; Херсон: Олді Плюс, 2013. 467 с.
9. Перепелятніков Г. П. Основи загальної радіоекології : монографія. 2-ге вид.; укр. мовою; виправл. і доп. К. : Атіка, 2012. 440 с.
10. Гайченко В.А., Гудков І.М., Кашпаров В.О., Кіцно В.О., Лазарєв М.М. Практикум з радіобіології та радіоекології. К.: Кондор, 2010. 286 с.; Херсон: Олді Плюс, 2014. 278 с.
11. Гудков І.М., Віннічук М.М. Сільськогосподарська радіобіологія. Житомир, 2003. 472 с.
12. Гродзинський Д.М. Радіобіологія. К.: Либідь, 2000. 448 с.
13. Коваленко Г., Рудя К. Радіоекологія України. К.: Київський Університет, 2001. 166 с.
14. Кутлахмедов Ю.О., Корогодінг В.І., Кольтовер В.К. Основи радіоекології. К.: «Вища школа», 2003. 317 с.
15. Романенко В.Д. Основи гідроекології. К.: Обереги. 2001. 728 с.
16. Клименко О.М., Буцяк В.І. Забруднення ґрунтів та харчових продуктів радіоцезієм Чорнобильського походження. Науковий вісник ЛНУВМБТ. 2013. Т.15, №1(55), ч 4. С. 24 – 29.

17. Клименко О.М., Буцяк В.І. Екологічна оцінка якості води річки Горинь та її приток. Науковий вісник ЛНУВМБТ. 2013. Т.15, №3(57), ч 3. С. 342 – 349.

18. Радіобіологічні та радіоекологічні дослідження Чорнобильської катастрофи вченими НАН України / Д.М.Гродзинський, «БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ –2014»: Збірник наукових праць VВсеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2014. С.500-503.

19. ifagrarncol.at.ua > [asylabus](#) > [agro](#) > [silabus_radiobiologija-1](#)

20. radiationproblems.org.ua.

21. nubip.edu.ua > [sites](#) > [default](#) > [files](#) > [Радіобіологія_2016](#).

22. agro.snau.edu.ua > [2021/03](#) > [18_Радіоекологія_та_радіобіологія](#)

Додаток 1

Значення допустимих рівнів питомої активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді:

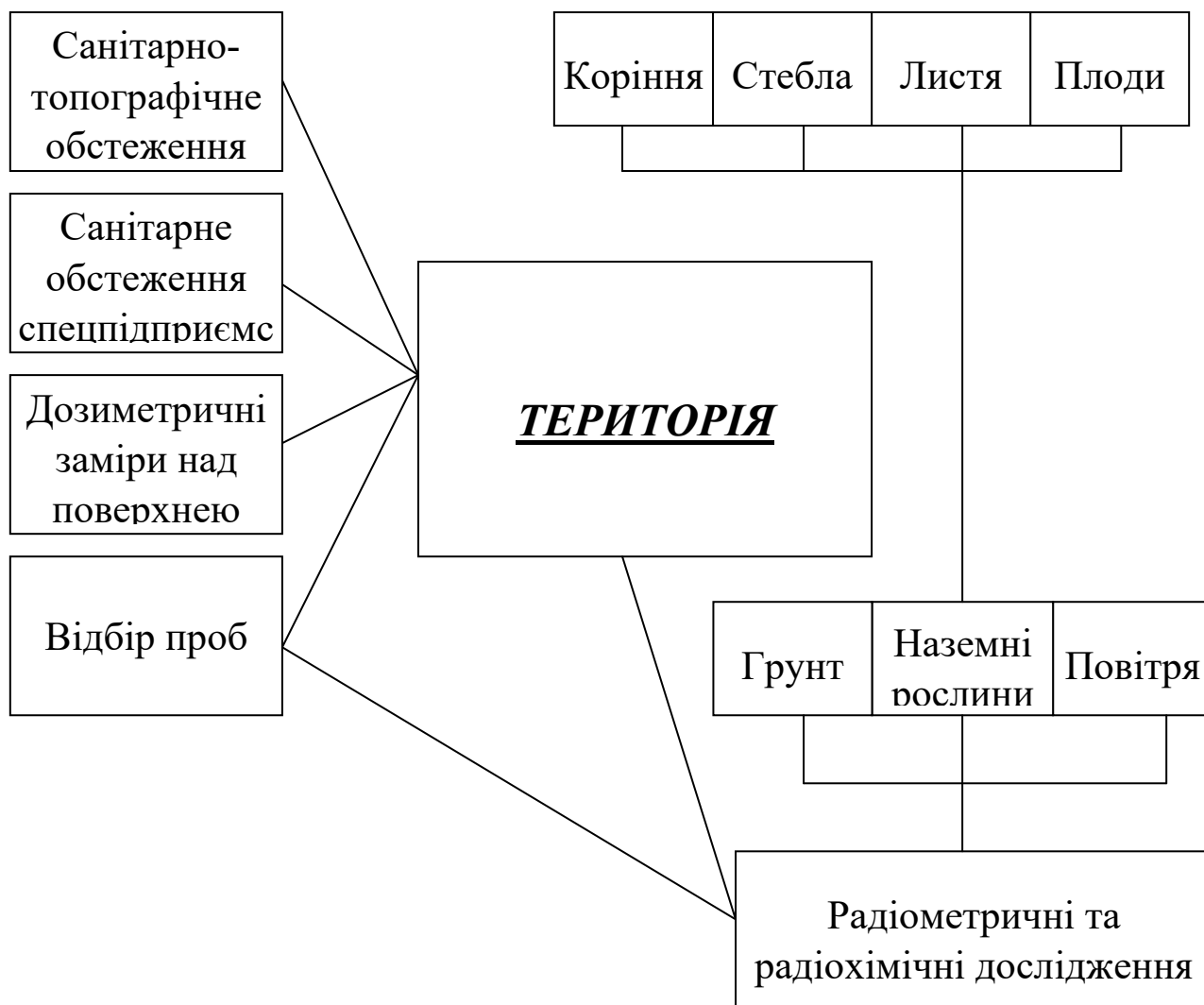
Найменування продукту	ДР _{Cs} , Бк/кг	ДР _{Sr} , Бк/кг
<u>Зерно, борошно-круп'яні та хлібобулочні вироби</u>		
Зерно продовольче, у т.ч. пшениця, жито, овес, ячмінь, просо, гречка, рис, кукурудза та інших зернових культур	50	20
Зерно бобових сушене, у т.ч. горох, квасоля, сочевиця, боби та інше	50	30
Борошно, борошняні хлібопекарські суміші, крупа, крохмаль, зерно плющене чи перероблене в пластівці; макаронні вироби, круп'яні вироби, толокно; напівфабрикати зернові; готові продукти, виготовлені із зерна, зернових культур, у т.ч. сухі сніданки, мюслі, продукти, одержані шляхом здуття чи обсмажування зернових та інше	30	10
Соєві боби сушені, продукти переробки сої, у т.ч. соєвий білок, борошно, готові вироби та інше	50	30
Хліб та хлібобулочні вироби, у т.ч. з добавками; продукти борошняні, у т.ч. борошняні кондитерські вироби, напівфабрикати з тіста	20	5
<u>Молоко та молочні продукти</u>		
Сире товарне молоко для промислової переробки (крім продуктів дитячого харчування), молоко рідке та вершки, сироватка молочна; продукти кисломолочні, у т.ч. сири свіжі, йогурти, йогуртні продукти, десерти кисломолочні свіжі, напої кисломолочні та інші; продукти, вироблені на основі молока та вершків, у т.ч. з додаванням немолочних компонентів (морозиво, виготовлене на основі молока чи вершків, торти з морозива, напої молочні, десерти молочні та інше)	100	20
Масло вершкове (у т.ч. масло коров'яче, спреди, молочний жир та інше); бутербродні пасти на основі масла вершкового	200	40
Сири сичужні тверді, сири розсольні, сири плавлені, сири голубі	200	100
Молоко та вершки концентровані або згущені, молоко та вершки згущені з наповнювачами	300	60

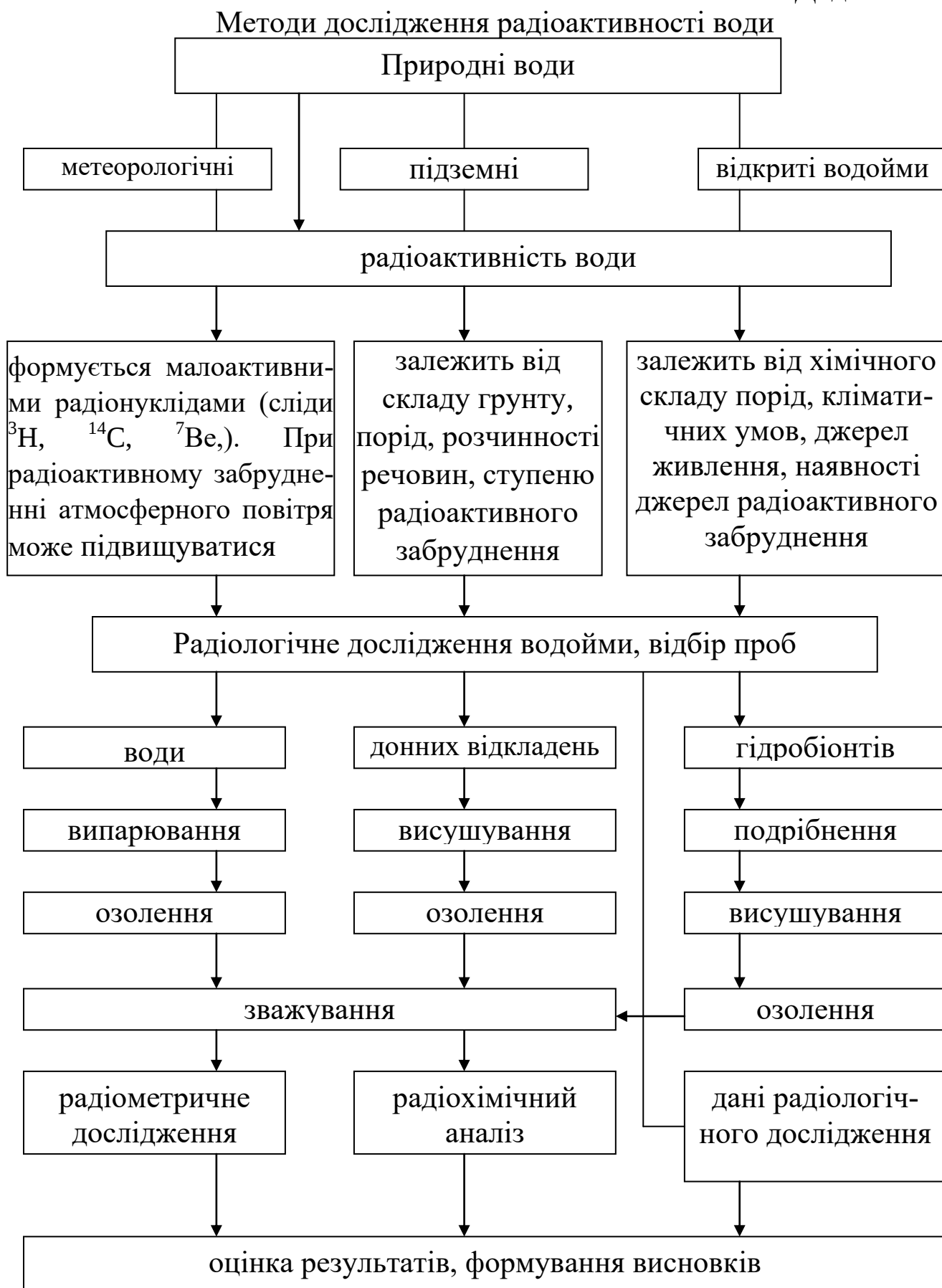
Продукти молочні сухі, у т.ч. молоко, вершки, казеїн та інші; сухі молочні суміші, концентрати харчові на основі молока	500	100
Сире товарне молоко для промислової переробки (для продуктів дитячого харчування)	40	5
<u>М'ясо та м'ясопродукти</u>		
М'ясо забійних тварин, птиці (свіже, охолоджене, заморожене) без кісток для промислової переробки, м'ясо, харчові субпродукти (у т.ч. кишки-сирець, кров харчова) забійних тварин та свійської птиці свіжі, заморожені, різних способів обробки; продукти їх переробки, у т.ч. напівфабрикати, готові продукти, ковбаси, консерви м'ясні та м'ясо-рослинні	200	20
М'ясо диких тварин та птиці	400	40
Жир забійних тварин (у т.ч. шпик) та свійської птиці, продукти його переробки	100	30
М'ясо забійних тварин, свійської птиці сушене та продукти його переробки	400	40
Кістки тварин та птиці всіх видів	50	200
Желатин	150	50
<u>Риба, нерибні об'єкти промислу та продукти їх переробки</u>		
Риба свіжа та морожена, різних способів обробки; риб'ячий жир, ікра (у т.ч. штучна), молочко та інші рибні продукти; продукти переробки, у т.ч. рибні напівфабрикати, готові продукти з риби (масло рибне, ікорне, рибні пасти тощо), рибні пресерви та консерви	150	35
Нерибні об'єкти промислу (ракоподібні, молюски та інші водяні безхребетні, м'ясо земноводних, плазунів та морських ссавців) свіжі та морожені, різних способів обробки; продукти їх переробки, у т.ч. напівфабрикати, готові продукти, консерви; жир морських ссавців	150	35
Сушені або в'ялені риба та нерибні об'єкти промислу (ракоподібні, молюски та інші водяні безхребетні, м'ясо земноводних, плазунів та морських ссавців)	300	70
Водорості, морські трави та продукти їх переробки	200	70
Водорості та морські трави сушені	600	200
<u>Яйця птиці та продукти їх переробки</u>		
Яйця птиці та рідкі яєчні продукти; напівфабрикати та	100	30

готові вироби з яєць птиці		
Сушені продукти переробки яєць птиці, у т.ч. яєчний порошок, сушені білок, жовток; сухі суміші, вироблені на основі яєць птиці	400	100
<u>Овочі та продукти їх переробки</u>		
Картопля свіжа та продукти переробки картоплі, у т.ч. картопля консервована, картопля заморожена; кулінарні картопляні вироби, напівфабрикати з картоплі та інше	60	20
Свіжі овочі (листові, у т.ч. столова зелень, плодові, баштанні, коренеплоди), бобові, кукурудза цукрова, гриби (культивовані); продукти переробки овочів, у т.ч. напівфабрикати, готові продукти, соки, консерви та інше	40	20
Овочеві концентрати (у т.ч. томатна паста, томатні соуси, кетчупи тощо)	120	50
Сушені овочі (у т.ч. картопля), гриби (культивовані) та овочеві суміші; продукти переробки сушених овочів	240	80
<u>Фрукти та ягоди</u>		
Фрукти та ягоди свіжі, заморожені, консервовані; соки фруктові та ягідні	70	10
Продукти переробки фруктів та ягід (варення, пасти, джеми, повидло, желе та інші	140	20
Сухі фрукти та ягоди, у т.ч. продукти сублімаційної сушки, сухі суміші на фруктовій та ягідній основі	280	40
Горіхи та продукти їх переробки	70	10
Суміші соків фруктово-ягідних з овочевими	50	15
Цукор, кондитерські вироби (карамель, ірис, пастила, мармелад, тощо), желейні вироби, шоколад та вироби з нього; гумка жувальна	50	30
Гриби та ягоди дикорослі свіжі, заморожені, консервовані	500	50
Гриби та ягоди дикорослі сушені	2500	250
Насіння олійних культур (соняшнику, кунжуту, арахісу, маку та інших, за винятком сої); продукти їх переробки, за винятком рослинних жирів та олій	70	10
Жири та олії рослинні, продукти, вироблені на їх основі, у т. ч. маргарини, кулінарні жири, кондитерські жири, креми та інші	100	30
Чай байховий, пресований, ароматизований, з рослинними домішками; кава зелена, смажена (у зернах,	200	50

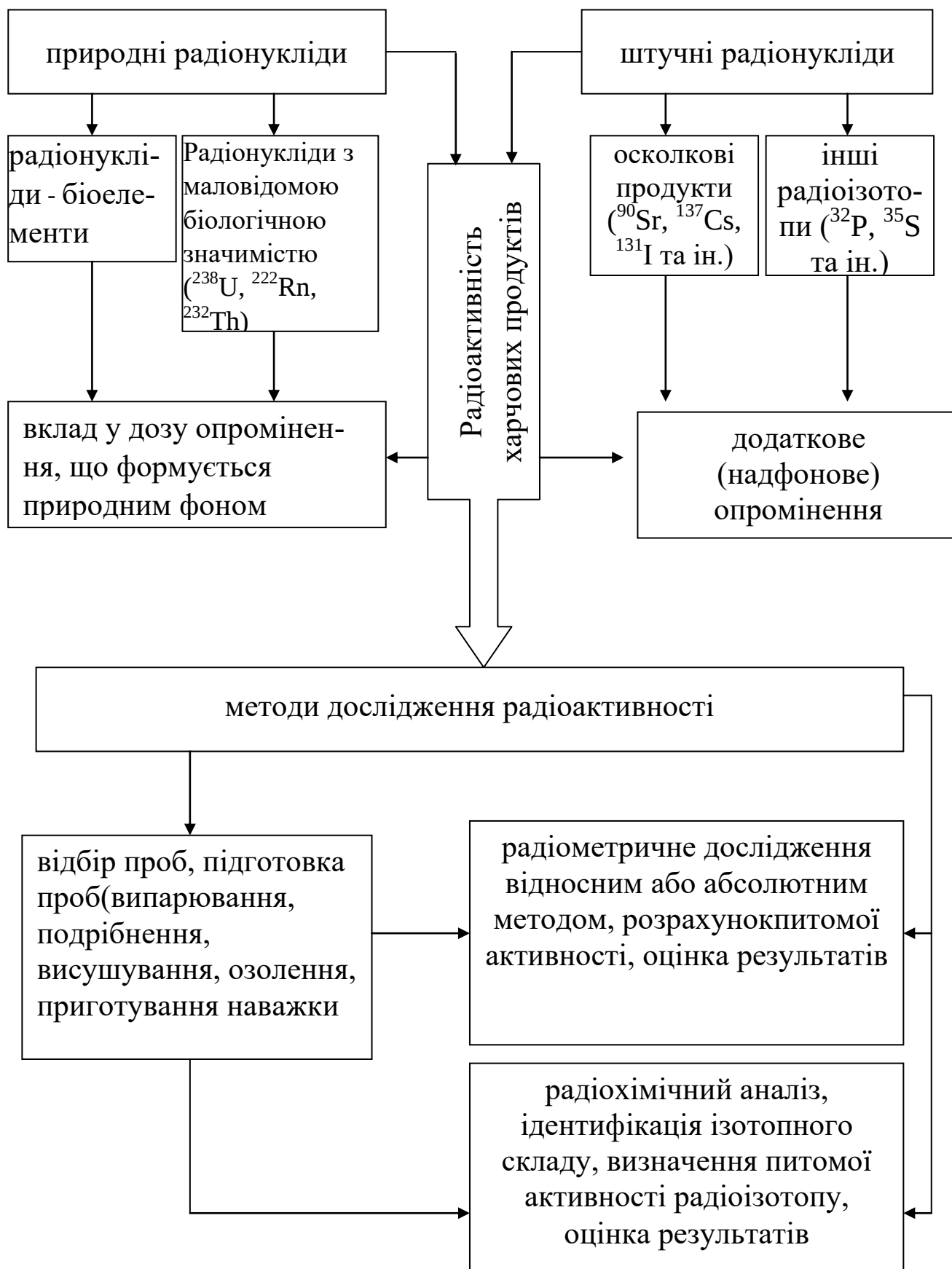
мелена, розчинна); какао-боби, какао терте, какао-порошок; сухі розчинні напої на основі чаю, какао, кави та замінників кави (обсмажений солод, цикорій та інше)		
Вода питна (з підземних джерел питного водопостачання вода нормується і за вмістом природних радіонуклідів)	2	2
<u>Напої</u>		
Мінеральна вода (з підземних джерел питного водопостачання вода нормується і за вмістом природних радіонуклідів)	10	5
Безалкогольні та слабоалкогольні напої, у т.ч. на основі рослинної сировини; пиво, квас, морозиво соковмісне; концентрати напоїв, які не включені до інших розділів	20	20
Алкогільні напої (за винятком пива)	50	30
Лікарські рослини сушені; фіточаї, мате (парагвайський чай), каркаде (суданська троянда) та інші	200	100
Тютюн та тютюнові вироби	120	50
Біологічно активні добавки (БАД) усіх видів; екстракти та загущувані харчові рослинного походження (речовини з вмістом пектину, пектинати та пектати; агар-гар та інші клеї та загусники рослинного походження)	200	50
Прянощі; спеції та їх суміші; приправи, у т.ч. соуси (соевий соус, грибний та інші), за винятком томатних соусів, гірчиця (готова, гірничний порошок), салатні заправки, майонез та інше	120	50
Харчові добавки та їх суміші (барвники натуральні та штучні, стабілізатори, емульгатори, ароматизатори, наповнювачі та інші); оцет; сода харчова; дріжджі; харчові концентрати для виготовлення перших і других страв, десертів, мусів, кремів та ін., які не включені до переліку в інших пунктах; супи швидкого приготування	150	50
Сіль кухонна харчова та сольові суміші	120	30
Мед та продукти бджільництва	200	50
<u>Продукти дитячого харчування</u>		
Готові продукти дитячого харчування, сухі молочні суміші	40	5

Схема обстеження території





Методи дослідження радіоактивності харчових продуктів



Методи визначення радіоактивності повітря

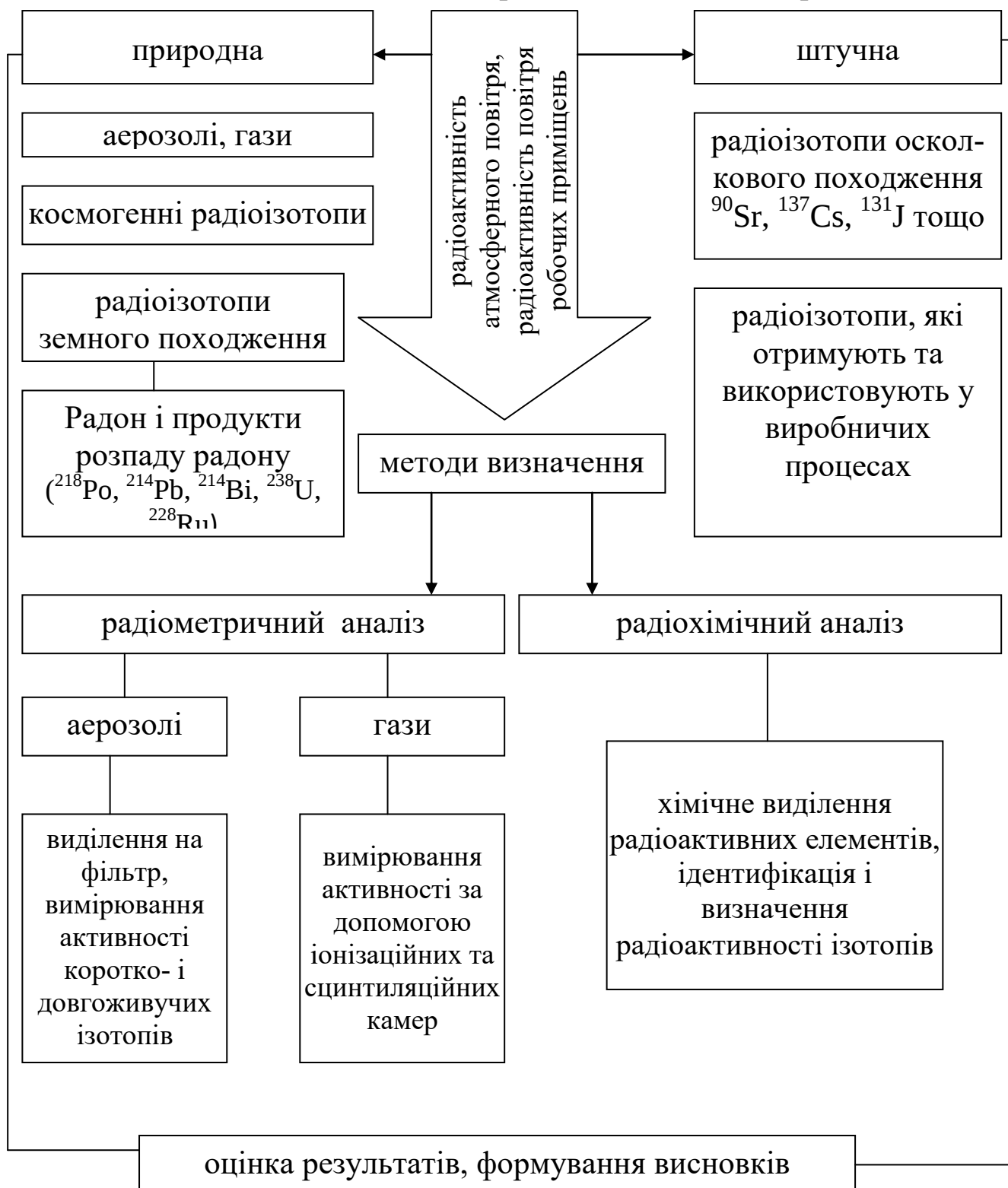
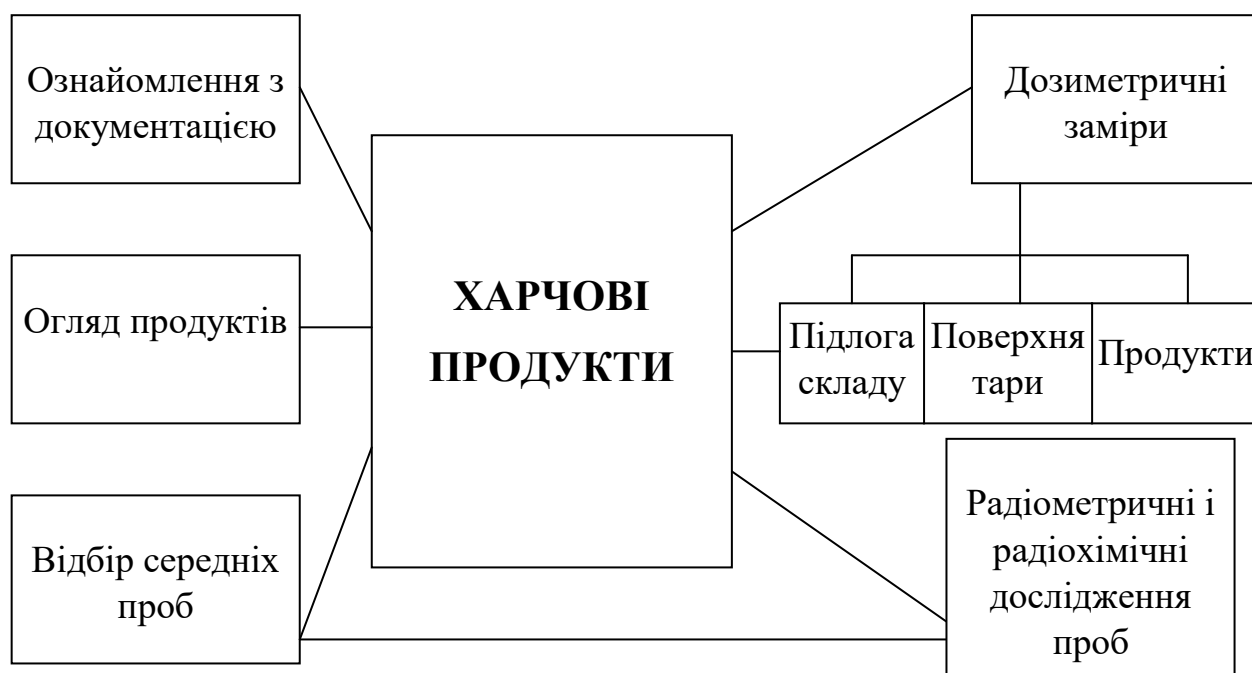
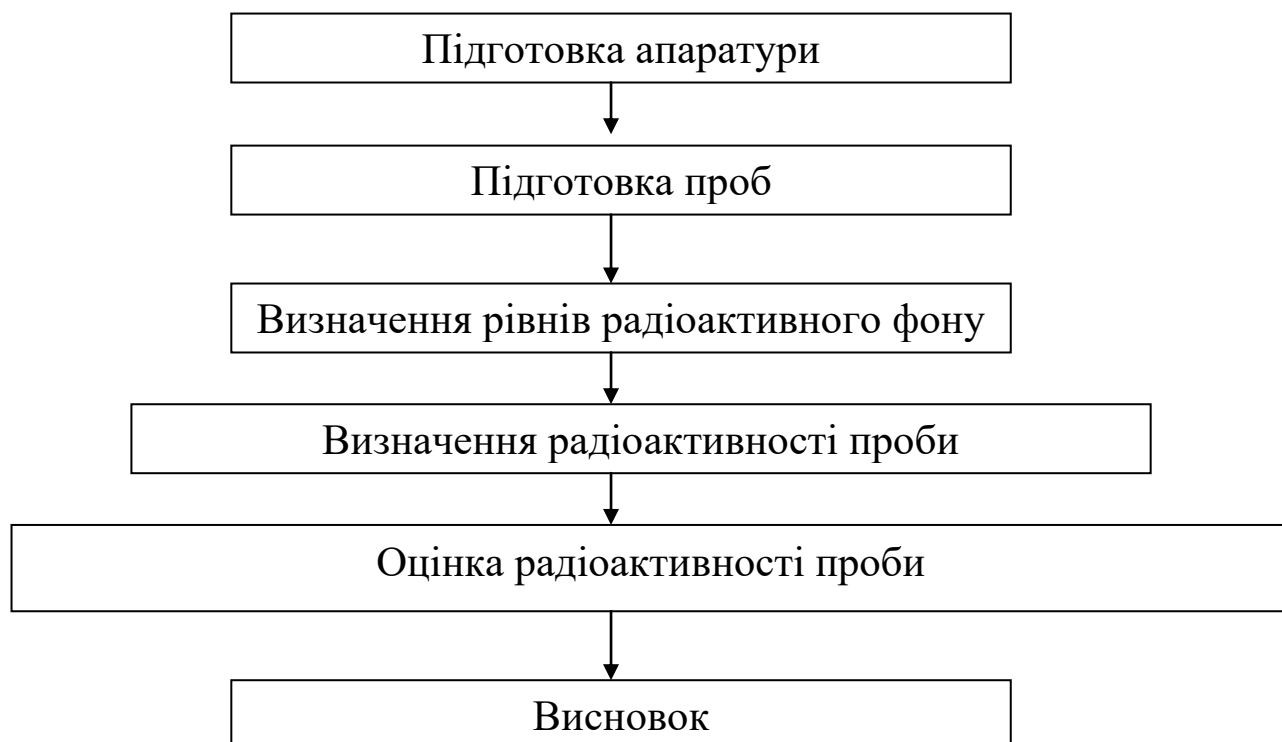


Схема обстеження харчових продуктів



Дослідження радіоактивності різних об'єктів навколишнього середовища



Додаток 7

Одиниці радіоактивності та доз

Величина		Одиниця		Позначення	
Назва	П-ння	СІ	Позасистемна		
Активність радіонукліду	А	Бекерель ($2,7 \times 10^{-11}$ Кі)	Кюрі ($3,7 \times 10^{10}$ Бк)	Бк	Bq Ci
Доза поглинена	D	Грей (10^2 рад)	Рад (1×10^{-2} Гр)	Гр рад	Gy rad
Доза експозиційна	Х	Кулон/кг ($3,88 \times 10^3$ Р)	Ренген ($2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг)	Кл/кг Р	Cxkg ⁻¹ R
Доза еквіваленна	Н	Зіверт (10^2 бер)	Бер (1×10^{-2} Зв)	Зв бер	Sv rem
Потужність пог- линаючої дози	D	Грей/с (1×10^2 рад/с)	Рад/с (1×10^{-2} Гр/с)	Гр/с Рад/с	Gy/s rad/s
Потужність екві- валентної дози	Н	Зв/с (1×10^2 бер/с)	Бер/с (1×10^{-2} Зв/с)	Зв/с Бер/с	Sv/s rem/s
Потужність екс- позиційної дози	Х	Ампер/кг ($3,88 \times 10^3$ Р/с)	Рентген/с ($2,58 \times 10^{-4}$ А/кг)	А/кг Р/с	A/kg R/s

ЗМІСТ

Вступ	3
Лабораторна робота №1. Техніка безпеки при роботі в радіологічній лабораторії	4
Лабораторна робота №2. Відбір проб – об'єктів контролю для радіологічного дослідження	8
Лабораторна робота №3. Підготовка проб для радіометричних та радіохімічних досліджень	17
Лабораторна робота №4. Статистична обробка результатів вимірювань	21
Лабораторна робота №5. Робота з приладами індивідуального дозиметричного контролю	27
Лабораторна робота №6. Дозиметрія йонізуючого випромінювання	33
Лабораторна робота №7. Радіовуглецевий метод дослідження зміни продуктивних властивостей рослин	39
Лабораторна робота №8. Вплив йонізуючої радіації на інтенсивність поділу клітин та ріст рослин	40
Лабораторна робота №9. Оцінка міграції ^{137}Cs трофічним ланцюгом.	46
Тестові питання	54
Перелік контрольних питань	58
Перелік питань для рефератів	60
Глосарій	62
Список використаної та рекомбінованої літератури	71
Додатки	73