

# Відбір та готування проб для проведення радіологічного контролю. Вимірювання гама- та бета-активності проб дозиметром, радіометром. Повний радіологічний контроль зразків

В.А.Пилипченко, Г.В.Васильєва

Дані інструкції створені на основі інструкцій, даних у НРБУ-97 та оформлені у збірнику лабораторних робіт «основи Радіохімії»

**Мета роботи:** Ознайомитись з методикою відбору та приготування проб для контролю забруднення довкілля радіоактивними речовинами

## Необхідні для виконання роботи прилади та матеріали

1. Радіометр типу СРП-88 або дозиметр типу ДРГЗ-02 (ДРГЗ-03).
2. Комплект взірцевих джерел гама випромінювання типу «ОСГІ».
3. Набір посудин для проведення пробо відбору, коробка для зберігання проб.
4. Сцинтиляційний або гамма-спектрометр.

## Теоретичні відомості

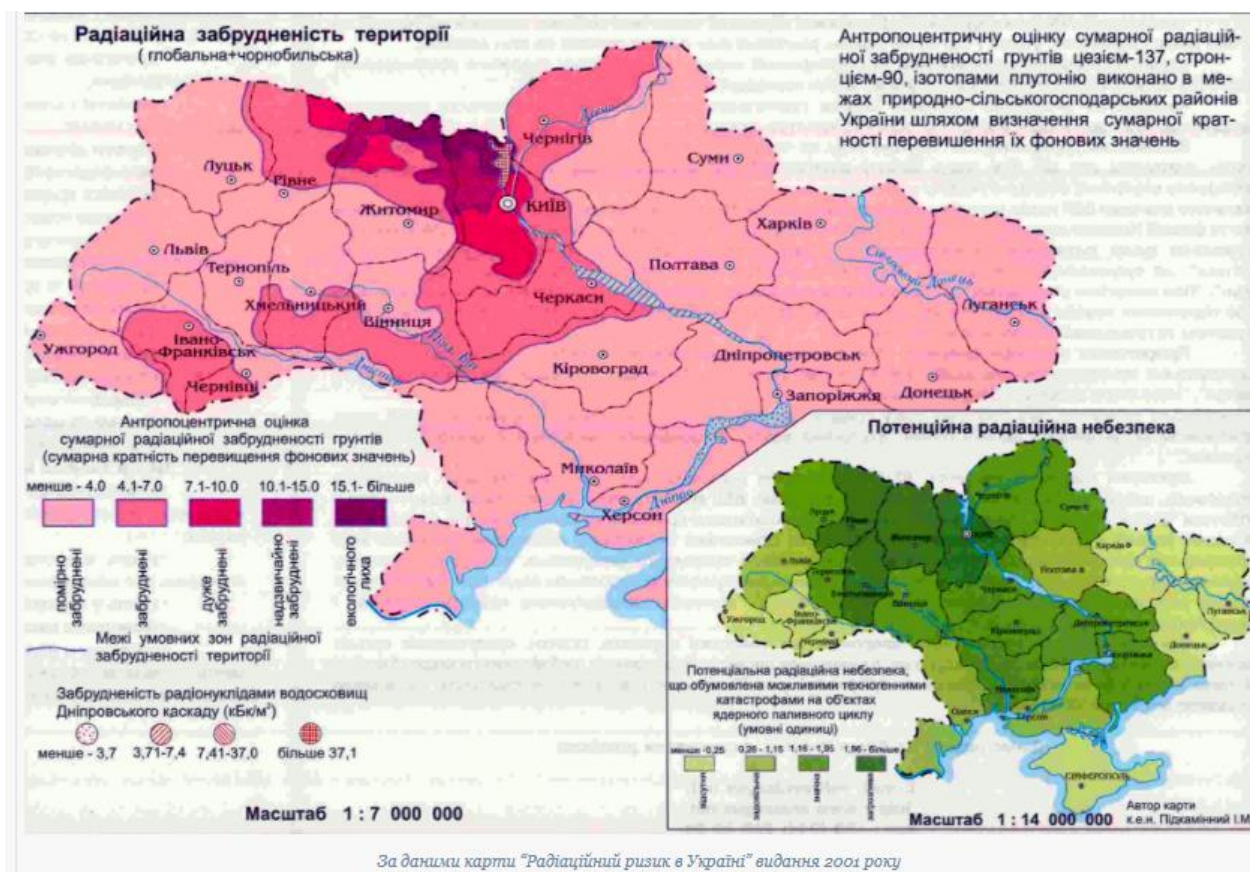
За даними сайту  
«Сайт з питань ядерної безпеки, радіаційного захисту та нерозповсюдження ядерної зброї»

[Моніторинг радіоактивних речовин у водоймах та ґрунтах | Uatom.org](http://Uatom.org)

Частина ВВП України формується за рахунок сільського господарства, для якого ґрунти (передусім – орні землі) та водні ресурси мають першочергове значення. Вони є джерелом доходу як для держави, так і для приватних господарств. Для того, щоб володіти актуальною інформацією про їх безпечність та належний екологічний стан, а також зберегти від можливих негативних впливів, передусім – техногенного (антропогенного) забруднення, здійснюється регулярний **екологічний та радіаційно-екологічний (радіаційний) моніторинг**.

**Радіаційно-екологічний (радіаційний) моніторинг довкілля** – це комплексна інформаційно-технічна система регулярних спостережень за радіаційним станом навколишнього середовища, процесами міграції та накопичення радіонуклідів, потенційно небезпечними явищами тощо, яка реалізується за допомогою спеціального обладнання (систем, комплексів чи окремих приладів) для оцінювання та прогнозування радіаційного стану довкілля. У рамках радіаційного моніторингу довкілля виконуються вимірювання щільності забруднення радіонуклідами ґрунту та об'ємної активності радіонуклідів у повітрі, підземних, поверхневих та стічних водах, донних відкладах, біоті, продуктах харчування тощо.

Ґрунт та вода можуть бути джерелом як внутрішнього, так і зовнішнього опромінення і безпосередньо впливати на здоров'я людей, тому дуже важливо мати оперативні та достовірні дані про їхній радіаційний стан. Особливо це стосується ґрунтів сільськогосподарських угідь, пасовищ та водойм, з яких здійснюється водозабір для забезпечення водою населення.



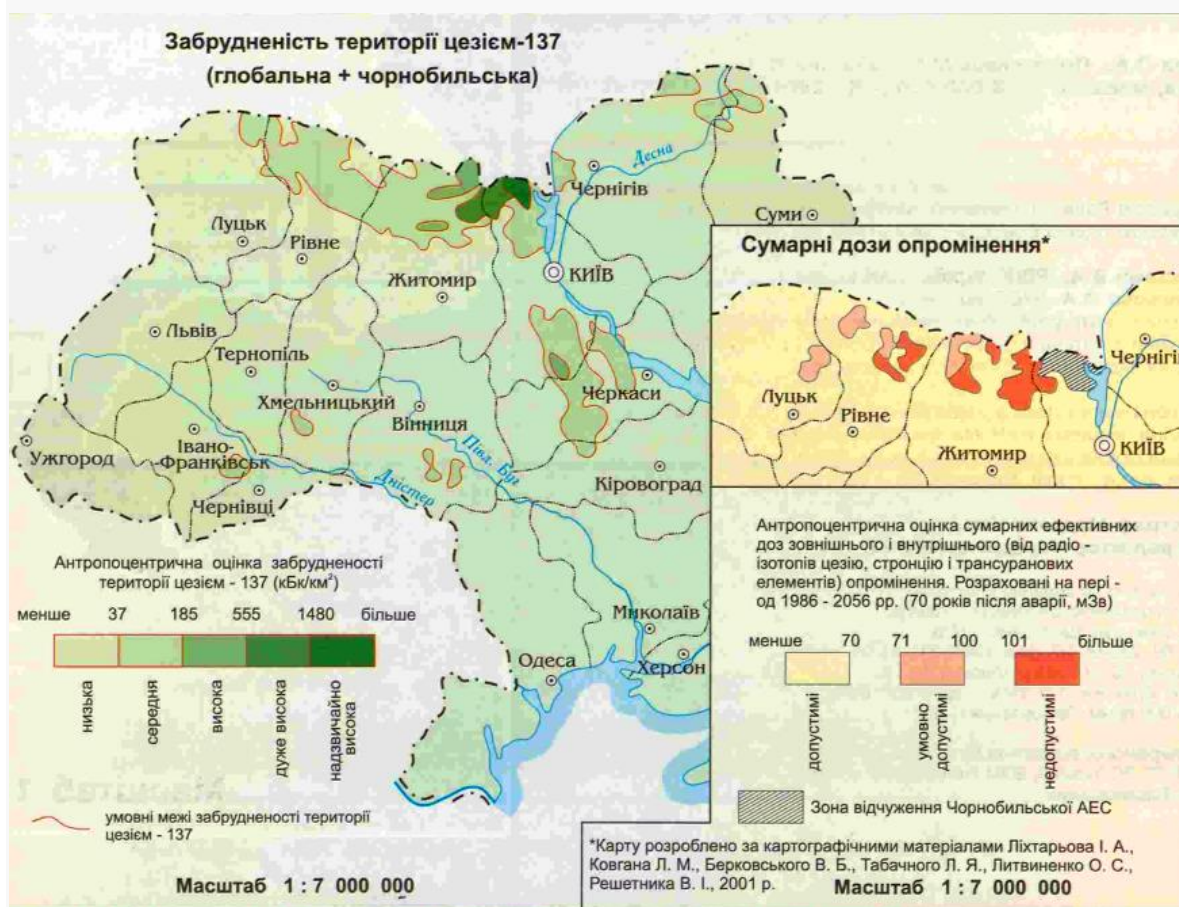
**Основними складовими радіоекологічного моніторингу довкілля є моніторинг радіоактивних випадінь з атмосфери, поверхневих та підземних водних ресурсів, радіаційний контроль сільськогосподарської продукції та продуктів харчування, продукції лісу та природних матеріалів, які можуть використовуватись у будівництві та побуті.**

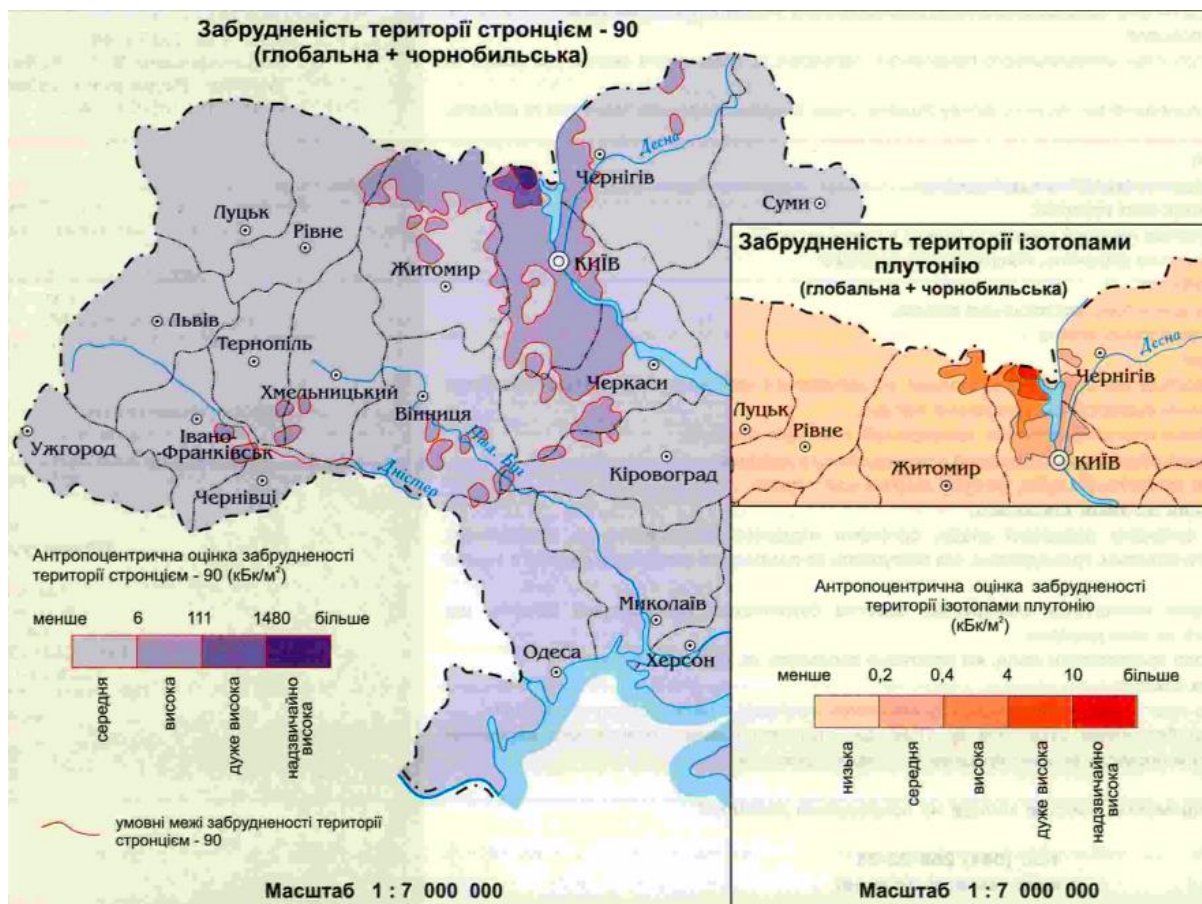
За нормами безпеки МАГАТЕ розрізняють моніторинг джерел, моніторинг довкілля та моніторинг опромінення людини (індивідуальний дозиметричний контроль). У 2018 році МАГАТЕ оприлюднило Загальне керівництво з техніки безпеки N. GSG-8 «Радіаційний захист населення та навколишнього середовища», у якому розглянуті механізми імплементації вимог Міжнародних базових стандартів безпеки, серії стандартів безпеки МАГАТЕ щодо захисту населення та довкілля від радіаційних ризиків.

Також існує підхід, за яким виділяють радіаційний моніторинг як складову екологічного моніторингу, що передбачає постійний контроль за потенційно небезпечними радіаційними об'єктами та здійснюється систематично за нормальних умов та в додаткових обсягах у разі виникнення аварійних ситуацій.

Розрізняють **базовий** радіаційний моніторинг, що не вимагає розгортання додаткових станцій спостереження, кризових телекомунікацій; моніторинг територій, забруднених унаслідок аварійних ситуацій із викидом радіоактивних речовин у довкілля — **кризовий** та **науковий**, який реалізується підрозділами науково-дослідних установ, що працюють над розробкою програм та методик радіологічних досліджень.

У рамках радіаційного моніторингу довкілля здійснюють вимірювання питомої активності альфа-, бета-, гама-радіонуклідів та визначення кількості  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у об'єктах довкілля, зокрема щільності забруднення ґрунту та об'ємної активності води, адже від цього залежить кількість цих радіонуклідів у продуктах харчування, та, як наслідок, дози внутрішнього опромінення людини.





Наведені карти свідчать про меншу здатність  $^{137}\text{Cs}$  мігрувати у ґрунтах, річках, тощо, порівняно зі  $^{90}\text{Sr}$ .

Це пояснюється здатністю цезію до необмінної фіксації кристалічною решіткою глинистих мінералів ґрунту на відміну від стронцію, якому властива обмінна фіксація. Тому в обмінній формі знаходиться 43,53 %  $^{90}\text{Sr}$  та лише 1,45 %  $^{137}\text{Cs}$ . Отже  $^{90}\text{Sr}$  більш інтенсивно включається в міграційні процеси ніж  $^{137}\text{Cs}$ . Отримані результати досліджень підтверджуються і літературними даними, які свідчать, що цезій має здатність міцно фіксуватися у кристалічній решітці глинистих мінералів ґрунту й ставати недоступним для засвоєння кореневою системою рослин, а стронцій перебуває в основному у мобільних формах. Якщо на кислих дерново-підзолистих ґрунтах  $^{90}\text{Sr}$  на 80 - 90 % перейшов у обмінну форму, то на нейтральних частка обмінної форми становить 30 - 60 % і з часом буде збільшуватися. На чорноземах у верхньому шарі ґрунту 85 - 98 %  $^{137}\text{Cs}$  та 11 %  $^{90}\text{Sr}$  знаходяться у фіксованому стані, а у обмінних формах перебуває до 55 %  $^{90}\text{Sr}$  та 1,1 %  $^{137}\text{Cs}$ . У водорозчинних формах знаходиться до 0,2 %  $^{137}\text{Cs}$  та до 3 %  $^{90}\text{Sr}$ .

З часом  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  поступово переміщуються углиб ґрунтового профілю й стають недоступними для засвоєння кореневою системою рослин. За літературними даними радіонукліди  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  перемістилися на деяких типах ґрунтів на глибину до 100 см.

Для оцінки інтенсивності вертикальної міграції  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$ , за результатами дослідження активності  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  можна розрахувати розподіл цих радіонуклідів по вертикальному ґрунтовому профілю.

Результати наведені у таблиці 1. З даних таблиці видно, що на орних площах угідь 94,7 %  $^{137}\text{Cs}$  і 76,7 %  $^{90}\text{Sr}$  сконцентровано у верхньому 0 - 30-ти сантиметровому шарі ґрунту, які майже рівномірно розподілені по всьому шару. Це пояснюється тим, що на орних площах під час оранки на глибину 20 - 30 см ґрунт постійно перевертається і перемішується, тому радіонукліди  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  розподіляються рівномірно по всьому шару.

**Таблиця 1.** Розподіл  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у вертикальному ґрунтовому профілі сільськогосподарських угідь

Шар ґрунтового профілю, см	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
	рілля	узбіччя
<b>0 - 10</b>	34,48 ± 6,9	90,13 ± 18,0
<b>10 - 20</b>	30,67 ± 6,1	7,77 ± 1,5
<b>20 - 30</b>	29,55 ± 5,9	2,5 ± 0,5
<b>30 - 40</b>	5,17 ± 1,0	0,18 ± 0,036
<b>40 - 50</b>	0,2 ± 0,04	-

Спеціальною одиницею експозиційної дози є рентген(P):

$$1 \text{ P} = 0,258 \text{ мКл/кг} \quad (1)$$

При експозиційній дозі 1P для фотонного випромінювання з енергією 150 кеВ ÷ 3 МеВ у повітрі, у воді і у тканині м'язів поглинута енергія буде близькою до  $0,93 \cdot 10^{-2}$  Дж/кг, а еквівалентна доза  $H_{1P}=0,95$  бер  $\approx 1$ бер. Експозиційна доза на віддалі R від точкового гама-джерела активністю A розраховується за формулою:

$$X = \frac{K_{\gamma} \cdot A}{R^2} \quad (2)$$

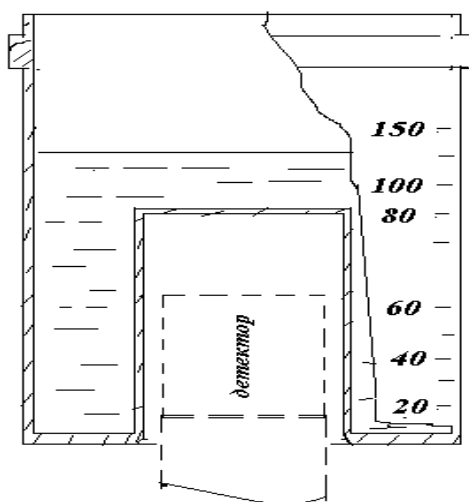
$K_{\gamma}$ -- гама-постійна джерела.

## Загальні положення про дозиметрію вмісту радіонуклідів у довкіллі

У зв'язку зі збільшенням масштабів використання атомної енергії зростає важливість контролю вмісту природних і штучних радіонуклідів у різних об'єктах довкілля. Основною формою такого контролю є визначення концентрації радіонуклідів у повітрі, воді, ґрунті, харчових продуктах. Вміст найпоширеніших радіонуклідів у речовинах довкілля регламентується Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [1-8]. У таблиці 1 приведені значення допустимих концентрацій деяких радіоактивних ізотопів у повітрі та воді. Рівень допустимих концентрацій вибирається таким, щоб виключити опромінення різних категорій населення вище встановлених лімітів доз (таблиця 2).

Очевидно, що для отримання зіставлених результатів у різних лабораторіях необхідно використовувати однакову методику відбору проб, їх готування до вимірювань та опрацювання одержаних даних вимірювань.

Вимірювання об'ємної і питомої  $\gamma$ -активності з допомогою радіометрів або дозиметрів здійснюється зануренням чутливого до випромінювання детектора у контрольовану пробу чи посудину Марінеллі (рисунок 1), з розташованою у ньому пробой. Для вимірювання фону до 25 мкР/год на дно колодязя встановлюється пуста тара для проби. Фонові вимірювання з посудиною Марінеллі виконуються при внесенні детектору у посудину. При фоні, вищому ніж 25 мкР / год виміри проводять з свинцевим захистом товщиною не менше 5 см.



**Рис 1.** Посудина для вимірювання об'ємної  $\gamma$ -активності проб. На шкалі вказано об'єм проби при відповідному рівні заповнення.

### Відбір проб води

Рівень природної радіоактивності води може дуже відрізнитись у залежності від типу водойм і ступеню їх мінералізації. Але, як правило, сумарна питома активність не перевищує  $5 \cdot 10^{-11}$  Кі/л ( $\sim 1,85$  Бк/л).

Методи відбору проб води для радіологічних завдань практично такі ж, як і для вирішення інших санітарно-гігієнічних задач.

Наприклад, проби води з річок відбирають у кількох місцях поблизу обох берегів і посередині річки на глибині 0,5 М. Якщо глибина перевищує 2-3М, беруть проби також на глибині 0,5 М від дна.

Питну воду відбирають із всіх джерел. При водозаборі з відкритої водойми необхідно брати воду як і з-під крану, так і на місці забору води із водойми. При цьому не слід скаламучувати осад водойми. Об'єм проби ~1 л. Перед заповненням ємності її ополоскують досліджуваною водою.

Подібних правил дотримуються і при відборі інших рідинних проб.

Наприклад, при відборі молока з посудини великої ємності беруть кілька проб з поверхневого шару і з глибинних шарів і змішують відібрані проби.

При відборі з невеликих ємностей можна відбирати одну пробу, попередньо перемішуючи рідину прямо у цій ємності.

Ці прості правила, які забезпечують представлюваність проби, повинні виконуватись також і при відборі сипучих проб (зерна, борошна і т.п.).

### **Відбір проб ґрунту**

Природна радіоактивність ґрунту визначається переважно вмістом ізотопу  $^{40}\text{K}$ . Завдяки різному хімічному складу ґрунтів, природна активність сирого ґрунту коливається у межах  $(0,2 \div 2) \cdot 10^{-8} \text{ Ки/кг}$ , що відповідає діапазону  $0,3 \div 3,5 \text{ Ки/км}^2$  по  $\beta$ -випромінюванню при товщині зразка 5 см.

Відбір проб здійснюють методом "конверта": у 5-ти точках (кути і центр квадрата з стороною близько 100 м): викопується поверхневий шар ґрунту розміром  $15 \times 15 \text{ см}^2$  на глибину 5 см. Проба ~1 кг відбирається з 5-ти добре перемішаних зразків, з яких попередньо видаляється рослинність.

### **Відбір рослинних проб**

Природна радіоактивність рослин, як і ґрунту, визначається в основному вмістом ізотопу  $^{40}\text{K}$  і складає, наприклад, для сирієї трави  $\sim 10^{-8} \text{ Ки/кг}$ , для моху  $\sim 10^{-7} \text{ Ки/кг}$ .

Траву зрізують якомога ближче до поверхні ґрунту.

При відборі овочів і фруктів на плодовоовочевих базах зразки повинні відбиратись у різних місцях, як з поверхні так і з глибини. Відібрані проби упаковуються, опечатуються і маркуються. На етикетці вказується місце відбору, маса зразка і т.п. Подальша обробка доставлених у лабораторію проб залежить від мети дослідження проб та від апаратури, яка використовується у процесі вимірювань. При вимірюваннях  $\beta$ -активності товщина зразків не повинна перевищувати 1-2 мм. При вимірюванні випромінювання проб з малою питомою активністю використовують спеціальні методи концентрування досліджуваних ізотопів.

### **Відбір проб молока та інші рідких речовин**

0,7 л молока налити у літрову банку. На дно банки покласти стрічку із фольги, згорнуту у спіраль висотою 2-3 см. Опустити чутливий до випромінювання детектор СРП-88н до упору з фольгою. При цьому рівень

молока у банці піднімається до верхнього краю. Подібним чином готують також пробу із чисто вимитих ягід масою 700 г. попередньо роздавлюючи їх ложкою. Перед внесенням чутливого до випромінювання детектора у банку з ягодами його змочують чистою водою.

### **Відбір проб сиру**

Внести у літрову банку 0,7 кг сиру. Втиснути по центру банки чутливий до випромінювання детектор так, щоб його нижній торець був на віддалі 2-3см від дна банки. Злегка утрамбувати сир, який видавивсь з банки.

### **Відбір проб мяса та риби**

Відбирають пробу, порізану на шматочки, масою 500-600 г. Загортають шматочки у прямокутний целофановий пакет розмірами 3х16х4см. Обгортають чутливий до випромінювання детектор СРП-88н цим пакетом так, щоб його торець був вище за край пакета на 2-3 см. Закріплюють пробу на детекторі тасьмою. Подібним чином готують також пробу масла чи маргарину масою 400 г.

### **Відбір проб твердого сиру**

Шматок сиру розміром 8 х 8 см розрізують на 2 частини товщиною 3 і 5 см. У товщій частині по центру квадрату 8 х 8 см прорізують отвір діаметром 4 см (або 4 х 4 см). Складають обидві частини і в утворений колодязь вкладають чутливий до випромінювання детектор СРП-88н.

### **Відбір проб яєць**

У півлітрову банку вилити вміст 10 штук яєць, розмішати ложкою, на дно банки покласти спіраль з фольги. Чутливий до випромінювання детектор змочити чистою водою і занурити у банку до упору в фольгову спіраль.

### **Відбір проб овочів та фруктів**

Чисто вимиті, обрізані овочі та фрукти накришити ножем у кількості 0,7 – 1 кг. Засипати у літрову банку 200-300 г нарізаного продукту і утрамбувати до ¼ висоти банки. Вставити чутливий до випромінювання детектор СРП-88н у банку по її центру, закласти і утрамбувати решту порізаного продукту між щупом і стінкою банки.

### **Відбір проб цибулі, часнику, зелені, лікарських трав**

Чисто вимиту зелень масою 250 г покласти на целофан, зробити пакет шириною 8 см і довжиною 30-32 см. Пакет обгорнути двічі навколо нижньої частини чутливого детектора так, щоб 2-3 см пакету звисали нижче нього. Звисаючі краї пакету вдавнити до дна детектора і закріпити тасьмою.



### Відбір проб хлібу

Готують м'якушку хліба, зрізуючи скоринку (можливе забруднення скоринки контролюється окремо), масою 0,7-1 кг у вигляді куба 10x10x10 см. Загортають хліб у целофан та втискають у його середину чутливий до випромінювання детектор на глибину 6-7 см. Обтискують хліб навколо нього руками і закріплюють його тасьмою.

### Відбір проб круп, зелені, сипких продуктів

Засипати у літрову банку 700 г. продукту так, щоб до верхнього краю лишалось 4 см. Втиснути чутливий до випромінювання детектор СРП-88н у продукт так, щоб він розташувався у центрі банки. При цьому проба повинна заповнити повністю банку до верхнього краю, але не висипатись через край.

При проведенні вимірювань з посудиною Маринеллі (об'ємом 3 л) проби фруктів, овочів, ягід, зерна складають 1,5-2,0 кг, яєць –20-25 штук.

## Виконання лабораторної роботи

1. Провести пробовідбір ґрунту в межах господарчого двору УжНУ. Підготувати пробу для вимірювання інтенсивності гамма-випромінювання.
2. Провести пробовідбір води з мережі водопостачання (або з посудини, у якій зберігається нейтроне джерело).
3. Підготувати відібрані проби для вимірювання інтенсивності гамма-випромінювання.
4. Провести вимірювання інтенсивності гамма-випромінювання приготованих проб а також проби трави, відібраної у 30-тикілометровій зоні поблизу Чорнобиля наявними у лабораторії дозиметрами. Порівняти одержані значення з допустимими рівнями активності різних радіонуклідів у рослинних зразках.
5. Провести відбір проб, дозиметрію і радіологічний контроль будь-якої сировини, яка можливо зазнала радіоактивного ураження.

**Таблиця 2.** Допустимі концентрації (Бк/М<sup>3</sup>) у повітрі і воді для категорій Населення А (ДК<sub>А</sub>) і Б( ДК<sub>В</sub>) для деяких радіонуклідів [3].

Нуклід	Період напіврозпаду	ДК <sub>А</sub> <sup>inhal</sup> , повітря, Бк/М <sup>3</sup> .	ДК <sub>В</sub> <sup>inhal</sup> , повітря, Бк/М <sup>3</sup> .	ДК <sub>В</sub> <sup>ingest</sup> , вода, Бк/л.
H	12,35 року	9·10 <sup>9</sup>	1·10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>7</sup>
<sup>42</sup> K	12,36 години	4·10 <sup>3</sup>	1·10 <sup>2</sup>	2,0·10 <sup>5</sup>
<sup>90</sup> Sr	29,12 року	1	0,2	1·10 <sup>4</sup>
<sup>131</sup> I	8,04 доби	2·10 <sup>2</sup>	4,0	2·10 <sup>4</sup>
<sup>137</sup> Cs	30 років	60	0,8	1,10 <sup>5</sup>

$^{210}\text{Pb}$	22,3 року	0,4	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^2$
$^{226}\text{Ra}$	1600 років	0,06	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$
$^{232}\text{Th}$	$1,405 \cdot 10^{10}$ років	0,03	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^2$
$^{238}\text{U}$	$4,468 \cdot 10^9$ років	0,2	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^4$
$^{239}\text{Pu}$	24065 років	0,03	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$

**Таблиця 3.** Ліміти дози опромінення (мЗв/рік).

	Категорії осіб, які зазнають опромінення		
	A <sup>a) б)</sup>	Б <sup>a)</sup>	В <sup>a)</sup>
ЛД <sub>E</sub> (Ліміт ефективної дози)	20 <sup>б)</sup>	2	1
Ліміти еквівалентної дози зовнішнього опромінення:			
-ЛД <sub>lens</sub> (для кришталіка ока)	150	15	15
-ЛД <sub>skin</sub> (для шкіри)	500	50	50
- ЛД <sub>extrim</sub> (для кистей та стіп)	500	50	-

<sup>a)</sup> Розподіл дози опромінення протягом календарного року не регламентується.

<sup>б)</sup>-для жінок дітородного віку (до 45 років) та для вагітних жінок діють обмеження.

<sup>в)</sup>в середньому за будь-які послідовні 5 років, але не більше 50 мЗв(5 бер ) за окремий рік.

### Радіологічний контроль

Загальну активність зразку вимірюють за допомогою напівпровідникового або сцинтиляційного спектрометра, а потім розраховують за формулою (3):

$$A = N_{imp} - N_b / m \cdot t \cdot \varphi \cdot I_\gamma \quad (3)$$

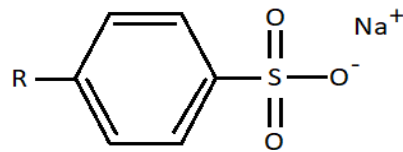
Де  $N_{imp}$  – кількість імпульсів у визначеному пікові;  $N_b$  – кількість фонових імпульсів у цьому ж пікові;  $I_\gamma$  вихід гамма-лінії;  $\varphi$  – ефективність реєстрації (%);  $t$  – тривалість вимірювань (s);  $m$  – маса зразку (kg).

Загальна радіоактивність матеріалу розраховується як сума активності за радієм, торієм та калієм за формулою (4)  $A_s$  (Bq·kg<sup>-1</sup>), [1, 8].

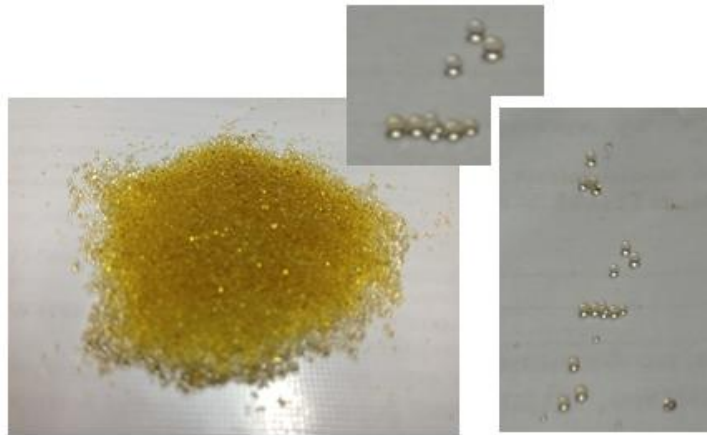
$$A_s = A_{Ra} + 1,31 A_{Th} + 0,085 A_k \quad (4),$$

Were  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$ ,  $A_k$  – питома активність радію, торію та калію у зразку.

## Приклад обмінної фіксації (обмінних катіонів)



(a)



**Рис. 2.** Адсорбційні центри іонообмінної смоли Dowex HCR-s/s (a). Фото іонообмінної смоли Dowex HCR-s/s і окремо її гранул (b). Адаптовано із літератури [7].

## Література

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Київ, 1997. 121 с.
2. Васильєва Г.В., Пилипченко В.А., Парлаг О.О. Основи радіаційної фізики та дозиметрії <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/38868>
3. I. Mironyuk et al., Sodium-modified mesoporous TiO<sub>2</sub>: Sol-gel synthesis, characterization, and adsorption activity toward heavy metal cations. Journal of Molecular Liquids, 316 (10) 113840 (2020). <https://www.doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113840>
4. H. Vasylyeva, I. Mironyuk, M. Strilchuk, V. Tryshyn, O. Gaidar, A. Vasyliiev. Adsorption of zirconium ions by X-type zeolite. Biointerface Research in Applied Chemistry, 11 (5), 13421 (2021). <http://dx.doi.org/10.33263/BRIAC115.1342113431>
5. H. Vasylyeva, I. Mironyuk, M. Strilchuk, I. Maliuk, I. Mykytyn, V. Tryshyn. A new way to ensure selective zirconium ion adsorption. Radiochimica Acta, 109 (12), p.p. 877-890, (2021). <https://doi.org/10.1515/ract-2021-1083>

6. I.F. Mironyuk, I.M. Mykytyn, O.Ye. Kaglyan, D.I. Gudkov, Nucl. Phys. At. Energy, 21 (4) 347 (2020). <https://doi.org/10.15407/jnpae2020.04.347>.
7. H. Vasylyeva, I. Mironyuk, M. Strilchuk, I. Maliuk, Kh. Savka, O. Vasyliiev, Adsorption and possibility of separation of heavy metal cations by strong cation exchange resin, Chemical Physics Impact, 3, 100056, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2021.100056>.
8. I. Миронюк та ін. Морфологія, фазовий склад та радіологічні властивості золи виносу Бурштинської теплової електростанції Фізика і хімія твердого тіла 19 (2) (2018). DOI:[10.15330/pcss.19.2.171-178](https://doi.org/10.15330/pcss.19.2.171-178)

