

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Природоохоронний факультет  
Кафедра загальної та теоретичної фізики

**Кваліфікаційна робота магістра**

на тему: «Радіаційний контроль харчової продукції в різних  
агрегатних станах»

Виконала студентка групи МТЗ-20з  
спеціальності 183 «Технології захисту  
навколишнього середовища»  
Безніцька Наталія Валеріївна

Керівник д.ф-м. н., професор  
Герасимов Олег Іванович  
Рецензент д.ф-м. н. професор  
Калінчак Валерій Володимирович

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний  
Кафедра загальної та теоретичної фізики  
Рівень вищої освіти магістр  
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
(шифр і назва)  
Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри загальної  
та теоретичної фізики,  
професор Герасимов О.І.

“28” жовтня 2021 року

З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

студентки Безніцької Наталії Валеріївни  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Радіаційний контроль харчової продукції в різних  
агрегатних станах

керівник роботи Герасимов Олег Іванович д.ф-м.н, проф.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “18” жовтня 2021 року  
№ – «216»\_С\_

1. Строк подання студентом роботи 17.12.21
2. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які  
потрібно розробити)

1. Класифікація харчової продукції за агрегатним станом,  
однорідністю, ізотропією

2. Радіаційне забруднення харчової продукції

3. Норми радіаційного забруднення харчової продукції, наслідки  
порушення

4. Моніторинг радіаційного забруднення

5. Радіаційний моніторинг продуктів в гранульованому стані

6. Перелік графічного матеріалу

Рис.1.1. Умовне зображення фазових переходів проміж різними агрегатними станами., Рис 2.1. Діаграма основних джерел розповсюдження радіонуклідів., Рис 2.3 Класифікація руху радіоактивних елементів., Рис.4.1. Зображення іонізуючої камери, лічильника Гейгера – Мюллера, Рис 4,3 Схема пропорційного і сцинтиляційного лічильників, Рис 4.5 Оцінка почорніння плівки за допомогою денситометра, Рис 5.1. Функціональна схема гама – радіометра, бета радіометра, Рис 5.5. Лабораторні дослідження визначення цезію в ячмені., Табл Результати лабораторного визначення цезію і стронцію в ячмені лабораторним методом.

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
	Немає		

7. Дата видачі завдання 28.10.2021

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
	Огляд базових літературних джерел за темою дипломного проекту	28.10.21-08.11.21		
	Узагальнення основних теоретичних положень проекту	09.11.21-21.11.21		
	Рубіжна атестація	22 – 26.11.21 р.		
	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення електронної версії роботи. Перевірка на плагіат. Складання протоколу та авторського договору	27.11.21- 06.12.21		
	Підготовка паперової версії і презентаційного матеріалу до процедури предзахисту. Внесення коректив. Рецензування роботи. Підготовка до публічного захисту.	07.12.21-16.12.21		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студентка \_\_\_\_\_ Безніцька Н.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Герасимов О.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

### **Безніцька Н.В. «Радіаційний контроль харчової продукції в різних агрегатних станах»**

**Актуальність теми:** У зв'язку з небезпекою радіоактивного забруднення навколишнього середовища та вимог до екологічних стандартів харчових продуктів, потрібно постійно удосконалювати існуючі методи радіаційного аналізу. Задача на сучасному етапі набуває додаткових ускладнень у зв'язку із диверсифікацією існуючих форм зразків продукції, яка є полідисперсною, багатозафазною, а у деяких випадках, перебуває в нерівноважних станах. Акцент в роботі зроблено на розробці уточнень до існуючих алгоритмів радіодозиметричного контролю продукції у гранульованих(сипучих) станах, які мають особливості структуризації, що впливають на якість вимірів.

**Мета і завдання досліджень.** Скласти рекомендації до протоколів радіаційного радіаційно-дозиметричного контролю харчової продукції яка знаходиться гранульованому стані.

**Об'єкт дослідження** Продукти харчування у гранульованих станах.

#### **Задачі дослідження:**

- проаналізувати наукову літературу згідно теми дипломної роботи;
- вивчити особливості та дати характеристику радіоактивного забруднення основних продуктів харчування;
- ознайомитися з існуючими методиками визначення вмісту, цезію, стронцію-90 в зерні;
- з'ясувати основні принципи захисту сільськогосподарської продукції від радіоактивного забруднення;
- проаналізувати конкретні ,отримані шляхом власних вимірів дані по вмісту стронцію-90 у ячменю;
- розробити та сформулювати пропозиції щодо алгоритму радіодозиметричного контролю наявності радіонуклідів у гранульованих зразках продукції у динамічному режимі (стробоскопічно) з урахуванням їх структуризації.

**Методи досліджень** Теоретичні, статистичні, аналітичні, лабораторні.

Робота містить:

Сторінок – 90

Таблиць - 9

Рисунків - 16

Літературних посилань – 51

**Ключові слова:** радіонукліди, радіаційне забруднення, радіаційний (радіо-дозиметричний ) контроль, гранульовані харчові продукти, вимірювання, дозиметр.

## SUMMARY

### **Beznitska N.V. "Radiation control of food products in different physical states"**

**Relevance of the topic:** Due to the danger of radioactive contamination of the environment and the requirements for environmental standards of food products, it is necessary to constantly improve existing methods of radiation analysis. At the present stage, the task acquires additional complications due to the diversification of existing forms of product samples, which are polydisperse, multiphase, and in some cases, in a non-equilibrium state. Emphasis is placed on the development of refinements to existing algorithms for radio-dosimetric control of products in granular (bulk) states, which have structuring features that affect the quality of measurements.

**The purpose and objectives of research.** To make recommendations to the protocols of radiation radiation-dosimetric control of food products which are in granular state.

**Object of research.** Foods in granular states.

Research objectives:

- to analyze the scientific literature according to the topic of the thesis;
- study the features and characterize the radioactive contamination of basic foodstuffs;
- to get acquainted with the existing methods of determining the content of cesium, strontium-90 in grain;
- to find out the basic principles of protection of agricultural products from radioactive contamination;
- to analyze specific data obtained by own measurements on the content of strontium-90 in barley;

- to develop and formulate proposals for the algorithm of radio dosimetric control of the presence of radionuclides in granular samples of products in the dynamic mode (stroboscopic), taking into account their structuring.

Research methods Theoretical, statistical, analytical, laboratory.

The work contains:

Pages - 90

Tables - 9

Figures – 16

Literary references – 51

Key words: radionuclides, radiation pollution, radiation (radio-dosimetric) control, granulated food products, measurement, dosimeter.



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1.КЛАСИФІКАЦІЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА АГРЕГАТНИМ СТАНОМ, ОДНОРІДНІСТЮ, ІЗОТРОПІЄЮ.....	15
1.1 Класифікація продуктів харчування за їх агрегатним станом.....	15
2. РАДІАЦІЙНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	24
2.1 Види забруднення, шляхи потрапляння, наслідки.....	24
2.2 Радіаційний захист людини.....	33
3 НОРМИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ, НАСЛІДКИ ПОРУШЕННЯ.....	39
4. МОНІТОРИНГ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	43
4.1 Основні мета і задачі радіаційного контролю.....	43
4.2 Етапи і методи радіаційного контролю.....	46
4.3 Методи і прилади реєстрації та вимірювання іонізуючого випромінювання.....	51
5. РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ПРОДУКТІВ В ГРАНУЛЬОВАНОМУ СТАНІ.....	60
5.1 Споживчі матеріали у гранульованих фазах.....	60
5.2 Визначення вмісту радіонуклідів цезію і калію в пробах ячменя методом гама-радіометрії.....	63
5.3 Визначення активності радіонуклідів цезію і йоду в пробах методом гамма-радіометрії.....	67
5.4 Визначення бета активності продуктів харчування методом радіометрії їх зольних залишків.....	71
5.5 Гранульовані матеріали у довкіллі.....	79
5.6 Радіаційний контроль харчових продуктів на виробництві.....	82
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	86

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЕС – атомна електростанція;

ІВ – іонізуюче випромінювання;

МАГАТЕ – Міжнародне агентство з ядерної енергетики;

НКДАР ООН – Науковий комітет по дії атомної радіації Організації  
об'єднаних націй;

ПРФ – природний радіаційний фон;

РАВ – радіоактивні відходи;

ЧАЕС – Чорнобильська атомна електростанція;

ШРФ – штучний радіаційний фон;

ФАО ВООЗ - Всесвітньої організації здоров'я

НРБ – норми радіаційної безпеки

## ВСТУП

Безпечність харчових продуктів є важливим питанням, нерозривно пов'язаним зі здоров'ям суспільства у всіх країнах світу. За даними Всесвітньої організації здоров'я (ФАО ВООЗ) захворювання, що асоціюються з харчовими продуктами, являють собою надзвичайно складну для вирішення проблему не тільки у країнах, що розвиваються, а й у розвинутих країнах, з огляду на суттєву шкоду для здоров'я людей та значні економічні збитки.

Більше однієї третини населення розвинутих країн потерпають від харчових захворювань кожного року, і, звичайно, проблема є більш складною та глибшою для країн, що розвиваються. В останні роки питання безпечності харчових продуктів стали одним з головних занепокоєнь громадськості.

В різних країнах світу повідомлення про інциденти, пов'язані з безпечністю харчових продуктів, з'являються майже щотижня. Ці інциденти виникають на будь якій ділянці харчового ланцюга і можуть мати серйозні наслідки для виробників харчових продуктів через дуже високу чутливість споживачів, увагу мас-медіа до зазначених проблем, сучасні методи інформування та темпи поширення інформації. Сучасні інтегровані системи виробництва та дистрибуції продукції, нажаль, й досі призводять до того, що значна кількість людей в рамках широкого географічного розповсюдження за короткий період часу може спожити потенційно небезпечні або заражені харчові продукти. У відповідь на ці гострі проблеми, харчова промисловість активізувалась у своїх намаганнях знайти оптимальні рішення, які насправді покращують ситуацію у сфері управління безпечністю харчових продуктів.

Бажання мінімізувати ризики та контролювати безпечність харчових продуктів призвело до створення та розробки різних концепцій управління безпечністю. Завдання цих концепцій полягають перш за все у зниженні ризику виробництва небезпечного продукту та у гарантуванні як виробникам так і споживачам того, що розміщена на ринку харчова продукція є

безпечною та високої якості. Звичайно головною рушійною силою, що стимулює виробників до прийняття та застосування сучасних концепцій управління безпечністю, є зміна у відношенні суспільства до питань безпечності, очікування споживачами гарантованої безпечності та поінформованість щодо розміщеної на ринку продукції. Така поінформованість споживачів сьогодні передбачає не тільки загальну інформацію щодо небезпек, а й можливість простежити проблеми, пов'язані з безпечністю до конкретного виробника, переробника чи фермера.

Сьогодні фактично не існує альтернативи запровадженню міжнародно визнаних вимог до організації виробництва та введення в обіг харчових продуктів на всіх етапах харчового ланцюга – від вирощування та первинної переробки сировини до реалізації готової продукції, включаючи оптову та роздрібну торгівлю. Традиційні системи управління безпечністю харчових продуктів з притаманним їм акцентуванням уваги на випробуванні кінцевого продукту більше не можуть вирішувати складні, глибокі та швидко змінні проблеми глобальної економіки.

Науково обґрунтовані підходи до систем управління безпечністю харчових продуктів наразі є необхідною умовою функціонування системи офіційного контролю у будь-якій країні світу. Реформування традиційної системи управління безпечністю харчовими продуктами є нагальною проблемою і в Україні. Наявні підходи не можуть вважатись достатньо ефективними оскільки вони не визначають і адекватно не вирішують багатьох існуючих проблем, не можуть забезпечити ефективне реагування на швидкий розвиток і зміни, що привносять ймовірні ризики, не завжди враховують під час прийняття рішень найновіші наукові дані та наслідки для суспільства, не охоплюють та не розповсюджуються на весь харчовий ланцюг. За образним виразом видатного вченого, засновника радіоекології, В. І. Вернадського «радіоактивність була, є і буде...», з якого випливає, що проблема визначення радіонуклідів у різних об'єкти завжди актуальні. Зі збільшенням застосування радіонуклідів у 50-80 рр. ХХ століття в атомній

промисловості, у військовій техніці, у науці та індустрії зростає необхідність радіаційного контролю. Протягом цього часу були розроблено багато методів визначення природних та техногенних радіонуклідів. У зв'язку з небезпекою радіоактивного забруднення навколишнього середовища та вимог до «чистоти» технологічних продуктів удосконалювалася нормативно-правова база забезпечення радіаційної безпеки. З розвитком науки та техніки, приладобудування вдосконалювалися та радіологічні методи аналізу.

Процес вироблення електроенергії АЕС пов'язаний із викидом у довкілля забруднювачів, у тому числі й радіонуклідів. З атмосфери, ґрунту та водою радіонукліди по екологічних ланцюжках потрапляють у сільгосп продукти та організм людини. Тому одним із критеріїв рівня радіаційної безпеки може бути вміст радіонуклідів у сільськогосподарських продуктах у порівнянні з допустимими нормами. До кінця ХХ ст. атомна енергія, як найперспективніша, посіла перше місце серед енергоносіїв.

Інтенсивність розвитку атомної енергетики, що спостерігається у всьому світі, є підтвердженням того, що розумної та екологічно обґрунтованої альтернативи для атомної енергії в даний час не існує. Але атомна енергетика має й свої, специфічні нею, негативні чинники, і, потенційно можливість радіаційного забруднення довкілля. Тому до використання ядерних технологій слід відноситися з підвищеною увагою.

Довгі роки великі території нашої планети зазнавали і зазнали радіоактивного забруднення. Це відбувається внаслідок аварій на атомних електростанціях, неякісного поховання радіоактивних відходів, недбалої утилізації технічних пристроїв, що містять радіоізотопи, а також через випробування ядерної зброї. З часом радіоактивні речовини мігрують за допомогою атмосферних та інших природних процесів, утворюють на земній поверхні нові зони та плями, порушуючи екологію.

Природні зміни у стані довкілля вже здавна спостерігаються та вивчаються існуючими в багатьох країнах, у тому числі і в Україні, кліматичними, гідрометеорологічними, геофізичними та деякими іншими

службами. Проте для того, щоб помітити певні зміни на фоні різних природних та антропогенних явищ, виявити закономірності їхнього проявлення, а головне – прогнозувати, передбачати такі зміни, виникла потреба в організації спеціальних систематичних досліджень за станом довкілля. З метою забезпечення функціонування системи таких спостережень та контролю навколишнього середовища, яка дає можливість виявити зміни, спричинені антропогенною діяльністю, потрібна детальна інформація про природні коливання та зміни у довкіллі. Для цього організовані спеціальні служби моніторингу, завданням яких є отримання такої інформації. У статті 50 «Конституції України» від 1996 р. говориться: «Кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди. Кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення. Така інформація ніким не може бути засекречена». Відповідно до «Стратегії Державної екологічної політики України на період до 2020 р.» одним із інструментів її реалізації є моніторинг стану довкілля та контроль у сфері охорони навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки.

При цьому моніторинг розглядається як керований процес, завданням якого є відповідний (постійний, періодичний, циклічний) контроль динаміки основних процесів – фізичних, хімічних, біологічних та інших у природних умовах і за антропогенного навантаження. Такий підхід дає змогу поєднати окремі елементи природного середовища в єдину систему, розробити спеціальний моніторинг радіаційного стану флори, фауни, людини та отримати цілісне уявлення про стан біосфери.

# 1 КЛАСИФІКАЦІЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА АГРЕГАТНИМ СТАНОМ, ОДНОРІДНІСТЮ, ІЗОТРОПІЄЮ

## 1.1 Класифікація продуктів харчування за їх агрегатними станами

Фізичні властивості відіграють велику роль при виробництві харчових продуктів, зумовлюють способи їх перевезення та зберігання та враховуються при характеристиці якості. За деякими фізичними показниками можна судити про хімічний склад продукту, його біологічні особливості та органолептичні переваги. На ці властивості впливають багато факторів: агрегатний стан та будова, форми зв'язку води, температура та тиск, технологія отримання та ін.

Як відомо, багато речовин у природі можуть знаходитися в трьох станах: твердому, рідкому і газоподібному [1-3].

Тверді тіла мають кристалічну структуру (цукор, сіль, тверді жири) чи аморфну (карамельні вироби). До твердо рідких продуктів відносять м'ясний фарш, сир, тісто, колодці та ін. До групи рідких відносять рідкі подібні продукти та рідини - розплавлений жир, бульйон, молоко, мед, напої та ін.

Найбільш вдала класифікація сировини може бути здійснена на основі її поділу за фізичною структурою, так як у більшості випадків вона може бути легко встановлена. Відповідно до цієї класифікації можна виділити продукти:

клітинної будови;

- рідкі;
- желеподібні (студні, гелі);
- пастоподібні;
- жирні;
- склоподібні

До продуктів клітинної будови, або волокнистих харчових продуктів, відносять харчові продукти, що містять волокнисті структури, що утворюють

нерегулярний каркас (сітку), що визначає в основному консистенцію продукту.

Як приклад продуктів клітинної будови можуть бути м'язові тканини тварин. Структура фруктів та овочів також утворена рослинними волокнами.

До рідких відносяться продукти, які легко розтікаються за кімнатної температури. Типовими рідкими продуктами є молоко, соки, різні напої, а також сиропи, деякі соуси та ін. До рідких продуктів часто відносяться продукти з помітними включеннями твердих частинок: соки з фруктовую м'якоттю, пюре та інші. [4-5]

До желеподібних (студні, гелі) харчових продуктів відносять: фруктові желе, желатинові десерти, сирні та інші, що складаються в основному з полімерних вуглеводів (крохмаль, пектин або агар) або з білків (глобулін, желатин). Якість желеподібних продуктів залежить від желеутворюючої здатності цих речовин при певній концентрації у воді. У харчовій промисловості широко використовуються крохмальні, пектинові гелі, рослинні камеді, желатин та яєчний альбумін.

До пастоподібних продуктів відносяться макарони, вермішель, інші продукти, отримані шляхом екстрагування через отвори холодного тіста, що складається з борошна та води. До пастоподібних продуктів відносяться деякі грубо здрібнені продукти з рослинної сировини, що зберегли в основному клітинну структуру.

До жирних продуктів відносять вершкове масло, маргарин, шоколад, майонез, інші продукти. Великий вміст жиру в цих продуктах визначає їх структуру та консистенцію, що є причиною їх виділення в окрему групу.

До склоподібних відносяться продукти, що мають низьку пружність (еластичність), що розламуються під дією надмірної напруги, тобто володіє типовими властивостями скла. Типовим склоподібним продуктом є льодяникова карамель. Це аморфний продукт, що складається із застиглих перенасичених цукрових сиропів. Карамелі склоподібного типу мають суцільну гомогенну некристалічну структуру, що складається з майже



зневодненої суміші вуглеводів з низькою молекулярною масою. Барвники та кристалічні речовини, що додаються до карамелі, мало впливають на її структуру.[5].

Часто продукти харчування є сумішшю (дисперсню систему), що включає у своєму складі різні агрегатні стани речовин. Найбільш загальна класифікація дисперсних систем заснована на відмінності в агрегатному стані дисперсійного середовища та дисперсної фази (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Класифікація харчових дисперсних систем.[6]

Дисперсійна середа	Дисперсійна фаза	Назва системи	Приклади
газ	тверда	пил, дим порошок	сухий порошок (молоко, мука, какао)
	рідка	туман	Дисперсія крові, молока в розпилюючої сушилки
	газоподібний	-	-
Рідина	тверда	суспензія	плодоовочеві соки з м'якоттю, бульйон, ковбасний фарш, сиркова маса,.
	рідка	емульсія	масло на воді, молоко при високих температурах.
	газоподібна	піна	крем, збиті вершки
Тверде тіло	тверда	Тверда суспензія, сплав	Заморожена мішечна тканина
	рідке	Тверда емульсія	Вершкове масло
	газоподібна	Пористе тіло	сир

*Дисперсна система* - це утворення з двох або більшої кількості фаз (тіл), які практично не змішуються і не реагують один з одним хімічно. Перша з речовин (дисперсна фаза) дрібно розподілена у другому (дисперсійне середовище).

Сильніше всього проявляється взаємодія частинок речовини в твердому стані. Відстань між молекулами приблизно дорівнює їх власним розмірами. Це призводить до досить сильного взаємодії, що практично позбавляє частки можливості рухатися: вони коливаються близько деякого положення рівноваги. Вони зберігають форму і об'єм.

Властивості рідин також пояснюються їх будовою. Частинки речовини в рідинах взаємодіють менш інтенсивно, ніж у твердих тілах, і тому можуть стрибками змінювати своє місце розташування - рідини не зберігають свою форму - вони текучі.

Газ є збори молекул, безладно рухаються по всіх напрямках незалежно один від одного. Гази не мають власної форми, займають весь наданий їм об'єм і легко стискаються [4,5,6].

Переходи між агрегатними станами однієї і тієї ж речовини супроводжуються стрибкоподібними змінами вільної енергії, ентропії, густини і інших фізичних властивостей. Як правило, серед агрегатних станів виділяють тверде тіло, рідину, газ. Відрізняються вони, в першу чергу, характером руху молекул та порядком симетрії. У випадку твердого стану розрізняють кристалічний та склоподібний. Кожний зі станів має свій ступінь впорядкованості, який визначається силами, що діють між частинками.

Термін «агрегатний стан» досить розмитий, що часто дуже огрублює властивості речовини. Так, майже всі речовини в твердому агрегатному стані можуть мати, залежно від тиску і температури, декілька різних термодинамічних фаз. Відмінність поняття агрегатного стану речовини від термодинамічної фази полягає у виділеному вище слові «сильно». Як правило, вимагається, щоб агрегатні стани «виглядали» сильно по-різному. Термодинамічні ж фази можуть відрізнятися «непомітними оку» величинами,

такими як теплоємність, структура кристалічних ґраток тощо. Проте при акуратному міркуванні рекомендується говорити саме у термінах термодинамічних фаз.[4]

У твердому стані речовина зберігає як форму, так і об'єм. При низьких температурах майже всі речовини замерзають — перетворюються в тверді тіла. Тверді тіла поділяють на кристалічні й аморфні.

З мікроскопічної точки зору тверді тіла характерні тим, що молекули або атоми в них впродовж довгого часу зберігають своє середнє положення незмінним, тільки здійснюючи коливання з невеликою амплітудою навколо них. У кристалах середні положення атомів чи молекул строго впорядковані. Кристалічні тіла зберігають не тільки ближній, а й дальній порядок. В аморфних тілах дальній порядок не зберігається, як і в рідинах.

Кристалічні тверді тіла мають анізотропні властивості, тобто їхній відгук на прикладені зовнішні сили залежить від орієнтації сил відносно кристалічних осей.

У твердому стані речовини можуть мати багато фаз, які відрізняються упорядкуванням атомів або іншими характеристиками, такими як упорядкування спінів у феромагнетиках.[4]

У рідкому стані речовина зберігає об'єм, але не тримає форму. Це означає, що рідина може займати тільки частину об'єму посудини, але вільно перетікати й проникати у всі її закутки. Рідина, на відміну від газу, має добре визначену поверхню. Для більшості речовин рідина — проміжний стан між газом і твердим тілом. Речовина переходить у рідкий стан із твердого в результаті процесу, який називається плавленням.

З мікроскопічної точки зору молекули рідини сильно взаємодіють між собою таким чином, що утворюють зв'язаний стан, тобто агрегуються.

Потенціальна енергія їхнього притягання більша, ніж кінетична енергія теплового руху. Однак, на відміну від твердого тіла, молекули рідини достатньо рухливі, щоб часто змінювати своє положення. Рухаючись, молекули рідини в будь-який момент мають більш-менш упорядковане

розташування, яке називають ближнім порядком, однак, цей порядок не строгий, і на далеких віддальх не зберігається.

Як і газ, рідини теж здебільшого ізотропні. Однак існують рідини із анізотропними властивостями — рідкі кристали.

Газоподібний стан характерний тим, що не зберігає ні форму, ні об'єм. Він заповнює весь доступний об'єм і проникає в будь-які його закутки. Це стан, властивий речовинам із малою густиною. Більшість речовин переходять у газоподібний стан з рідкого або твердого при підвищенні температури. Перехід із рідкого в газоподібний стан називають випаровуванням, а протилежний йому перехід із газоподібного стану в рідкий — конденсацією. Перехід із твердого стану в газоподібний, минаючи рідкий, називають сублімацією.

Деякі речовини не мають газоподібного стану. Це речовини зі складною хімічною будовою, які при підвищенні температури розпадаються внаслідок хімічних реакцій раніше, ніж стають газом.

З мікроскопічної точки зору газ — це стан речовини, в якому окремі її молекули взаємодіють слабо й рухаються хаотично. Взаємодія між ними зводиться до спорадичних зіткнень. Кінетична енергія молекул перевищує потенціальну.

Газу властива ізотропія, тобто незалежність характеристик від напрямку. Здебільшого, в звичних для людини земних умовах, газ має однакову густину в будь-якій точці, однак це не є універсальним законом, в зовнішніх полях, наприклад у полі тяжіння Землі, або в умовах різних температур густина газу може мінятися від точки до точки. Не існує різних газоподібних термодинамічних фаз однієї речовини.[4,5]

Фазові переходи поділяються на фазові переходи першого роду, при яких стрибкоподібно міняються перші похідні термодинамічних потенціалів по температурі і тиску, і фазові переходи другого роду, при якому різко міняються лише другі похідні. Переходи між агрегатними станами є фазовими переходами першого роду.

Фазові переходи часто речовина при зміні температури і тиску переходить з одного агрегатного стану в інший різко, при деяких критичних значеннях цих параметрів. Таке перетворення називається фазовим переходом. Багато фазових переходів мають власні назви:

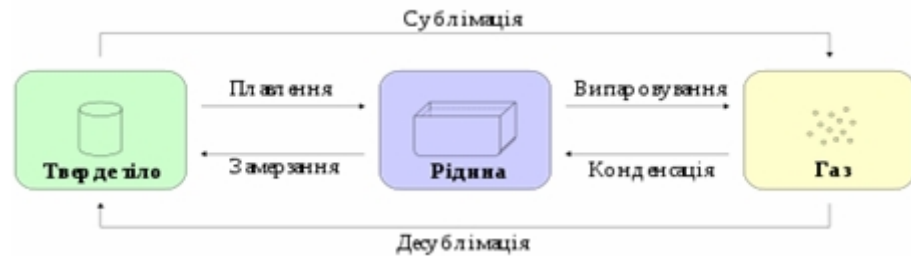


Рис 1.1 Умовне зображення фазових переходів проміж різними агрегатними станами.[4]

Агрегатний стан будь-якої речовини залежить насамперед від температури та тиску. При низькому тиску та високій температурі речовина може перейти в газоподібний стан, а при підвищенні тиску та зниженні температури – у рідкий. Подальше зниження температури сприяє переходу речовини з рідкого стану на тверде. Таким чином, зміна температури та тиску обумовлює фазові переходи речовини з одного агрегатного стану до іншого.

Плавлення речовини перехід речовини з твердого стану в рідкий. Плавлення завжди супроводжується поглинанням енергії, тобто до речовини необхідно підводити теплоту. Внутрішня енергія речовини у своїй збільшується. Плавлення чистих кристалічних речовин відбувається лише за певної температури, що називається температурою плавлення. Кожна чиста речовина має температуру плавлення. Наприклад, температура плавлення льоду складає свинцю, заліза. У процесі плавлення температура речовини не змінюється до того часу, поки вся речовина не розплавиться. Тиск мало впливає на температуру плавлення, тому що при плавленні об'єм речовини незначно змінюється. Температура плавлення належить до найважливіших фізичних властивостей речовини. При охолодженні рідкої речовини відбувається її перехід у твердий стан.

Кристалізація (затвердіння) речовини перехід речовини з рідкого стану у твердий. Кристалізація - процес, зворотний плавленню. Кристалізація

завжди супроводжується виділенням енергії, при цьому внутрішня енергія речовини зменшується. Кристалізація чистої речовини відбувається за певної температури, що збігається з температурою плавлення. У процесі кристалізації температура речовини не змінюється до того часу, поки вся речовина перейде у тверде стан. Пароутворення перехід речовини з рідкого стану до газоподібного.

Пароутворення завжди супроводжується поглинанням енергії, причому внутрішня енергія речовини збільшується. Розрізняють два види пароутворення: випаровування та кипіння. Випаровування пароутворення з поверхні рідини, що відбувається за будь-якої температури.

Швидкість випаровування залежить від: природи рідини; температури; площі поверхні; наявності або відсутності руху повітря (вітру) над поверхнею рідини, що випаровується. Кипіння пароутворення по всьому об'єму рідини, яке відбувається лише за певної температури, званої температури кипіння.

Кожна чиста речовина має певну температуру кипіння. Наприклад, у води температура кипіння становить, у етилового спирту, у кисню. В процесі кипіння температура речовини не змінюється доти, поки вся речовина не перейде в газоподібний стан.

На температуру кипіння, на відміну температури плавлення, впливає тиск: зі зростанням тиску температура кипіння збільшується. Температура кипіння при атмосферному тиску є одним із основних фізико-хімічних характеристик чистої речовини. При охолодженні газу відбувається його перехід у рідкий стан – конденсація. Конденсація речовини перехід речовини з газоподібного стану до рідкого.

Конденсація - процес, зворотний пароутворення. Конденсація завжди супроводжується виділенням енергії, причому внутрішня енергія речовини зменшується. Конденсація чистої речовини відбувається за певної температури, що збігається з температурою кипіння.

У процесі конденсації температура речовини не змінюється до того часу, поки вся речовина не перейде з газоподібного стану рідке. Речовини можуть переходити з твердого стану в газоподібне, минаючи рідке. Такий процес називається сублімацією або сублимацією, а зворотний процес — десублимацією.[3,4,6]

Сублимація перехід речовини з твердого стану в газоподібний, минаючи рідкий. Наприклад, чорні кристали йоду перетворюються (сублимують) на фіолетові пари йоду. Аналогічно може випаровуватися лід, на чому ґрунтується сушіння білизни на морозі. При температурі легко виганяється «сухий лід» — твердий вуглекислий газ, який використовується для охолодження харчових продуктів, наприклад, морозива. За допомогою методу сублимаційного сушіння при зниженому тиску отримують деякі продукти харчування, наприклад розчинна кава.

Важливою технологічною характеристикою палив є їх гранулометричний склад, тобто розподіл часток. Процес поділу сипких матеріалів на класи по крупності за допомогою одного або кількох сит називають ситовою класифікацією. Класифікація - процес поділу однорідного сипучого матеріалу за величиною шматків або частинок. Широко застосовується в хімічній технології, так як у багатьох виробництвах сировина, що переробляється, і продукт, що випускається, повинні мати строго певний дисперсний (або гранулометричний склад).

Для визначення гранулометричного складу можуть бути використані ситовий, мікроскопічний, седиментаційний аналіз, а також гідравлічна та повітряна класифікація. Певна навішування кристалів просіюється через набір сит з різними розмірами отворів, в результаті одержують ряд фракцій, які характеризують собою гранулометричний склад продукту.[7]

## 2 РАДІАЦІЙНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

### 2.1. Види забруднення, шляхи потрапляння, наслідки

Радіаційна безпека – невід’ємна умова санітарно-епідеміологічного благополуччя. Її забезпечення вимагає постійної уваги до проблеми захисту людини та об’єктів довкілля її від несприятливого впливу іонізуючих випромінювань. На сьогоднішній день найбільшу небезпеку становить внутрішнє опромінення, яке людина наражається на споживання забруднених радіонуклідами продуктів харчування.

Характер і рівень вмісту радіонуклідів у продуктах харчування визначається радіаційною обстановкою, що склалася. Продукти харчування можуть містити окремі радіонукліди, а також різного роду їх суміші. Забруднення може мати поверхневий або структурний характер, коли в результаті метаболічних процесів у попередніх ланках радіонукліди накопичуються у формі біологічних комплексів у структурах рослинних та тваринних організмів. Накопичення радіонуклідів у рослинних та тваринних організмах може перевищувати вміст їх у навколишньому середовищі.

Шлях радіонуклідів до організму людей може бути складним. Основними харчовими ланцюгами є: рослини – людина; рослини – корова – молоко – людина; рослини – тварини – м’ясо – людина; вода – гідробіонти – людина. Часто ці ланцюги можуть включатися проміжні ланки.

Джерела радіоактивності, як і інші забруднювачі, є компонентами харчових ланцюгів: атмосфера-вітер-дощ-грунт-рослини-тварини-людина. Аналізуючи дані про взаємодію радіонуклідів з компонентами природного середовища та організмом людини, слід зазначити наступне. Радіонукліди природного походження постійно присутні у всіх об’єктах неживої та живої природи, починаючи з моменту утворення нашої планети [8].

При цьому радіаційне тло в різних регіонах Землі може відрізнятися в 10 і більше разів. До радіонуклідів природного походження відносять, по-перше: космогенні радіонукліди, головним чином  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ; по-



друге: радіонукліди, присутні у об'єктах довкілля (серед них основними джерелами забруднення харчових продуктів та опромінення людини є  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ).[8,9,10]

Людина може піддаватися радіоактивному опроміненню від джерел, що знаходяться поза організмом, — і в цьому випадку говорять про зовнішнє опромінення, а може опромінюватися радіонуклідами, що потрапили в його організм з повітрям, що споживається їжею і водою, тоді говорять про внутрішнє опромінення людського організму.

Продукти харчування є одним з основних джерел надходження природних радіонуклідів ( $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  та радіонуклідів сімейств U та Th) в організм людей. Особливого значення радіоактивне забруднення їжі може набути в аварійних та інших надзвичайних ситуаціях. У цих умовах оцінка небезпеки забруднення їжі радіонуклідами та розробка ефективних заходів захисту набувають важливого значення.

Рівень активності радіоактивних речовин – основний критерій оцінки безпеки харчових продуктів.

Радіоактивні речовини в організм людини можуть потрапляти кількома шляхами: через органи дихання або через стравохід з водою або їжею.

В основному можна виділити кілька варіантів потрапляння в організм людини радіоактивних речовин з їжею:

людини радіоактивних речовин з їжею:

- ♣ при споживанні продуктів рослинного походження (рослини - людина), через тварин;
- ♣ при вживанні продуктів тваринного походження (рослини – тварина – молоко (яйця) – людина);
- ♣ при вживанні м'яса (рослина – тварина – м'ясо (риба) – людина).

Але основним джерелом, яке знаходиться на початку харчового ланцюга, є рослини.



Рис. 2.1 - Діаграма основних джерел розповсюдження радіонуклідів [6].

У свою чергу рослинні харчові продукти можуть бути забруднені кількома способами – поверхнєве забруднення радіологічним пилом у період вегетації, у період збирання, транспортування та зберігання; і через кореневу систему у процесі їх вирощування.

При отриманні продуктів тваринного походження існує ризик зрощення самих тварин, а потім і людини. Це може статися при вживанні тварин кормів, води, при вдиханні повітря забрудненого радіонуклідами.

Нині джерелом надходження радіонуклідів у довкілля стали підприємства ядерного паливного циклу. На етапі видобутку та переробки уранової сировини, а також на заводах з виготовлення твелів у зовнішнє середовище надходять різні природні радіонукліди  $^{238}\text{U}$  та  $^{232}\text{Th}$  та продукти їх розпаду, на АЕС, радіохімічних заводах (РХЗ) та завершальному етапі – зберігання та поховання відходів – у надходять різні штучні радіонукліди – продукти розподілу та наведені нукліди [6].

Джерелами надходження радіонуклідів у зовнішнє середовище є також підприємства гірничодобувної промисловості, електростанції, що працюють на мінеральному паливі, фосфатні добрива, які широко використовуються в сільському господарстві. Природні радіонукліди, що видобуваються у

великих кількостях на земну поверхню, розсіюються і включаються в біологічні цикли.

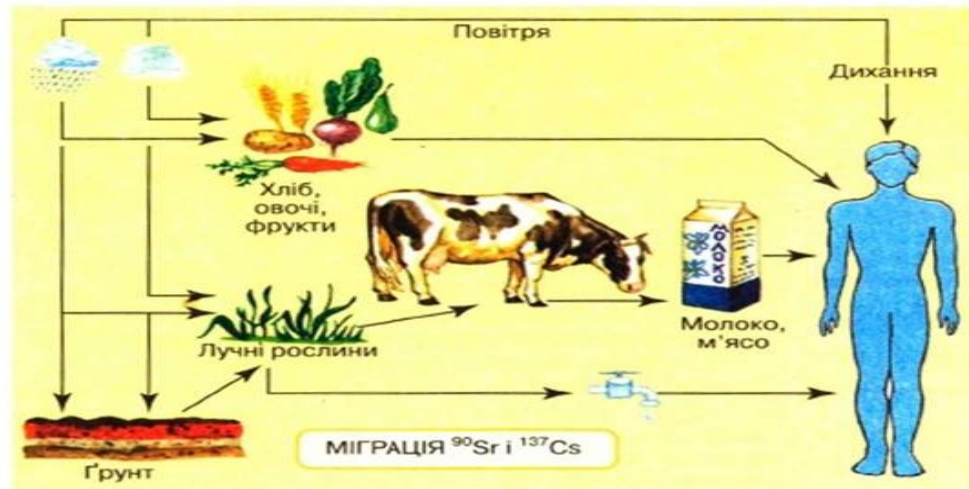


Рис. 2.2 - Схема міграції радіонуклідів у навколишньому середовищі). [6].

Характер і рівень вмісту радіонуклідів у продуктах харчування визначається радіаційною обстановкою, що склалася. Продукти харчування можуть містити окремі радіонукліди, а також різного роду їх суміші. Забруднення може мати поверхневий або структурний характер, коли в результаті метаболічних процесів у попередніх ланках радіонукліди накопичуються у формі біологічних комплексів у структурах рослинних та тваринних організмів.

Накопичення радіонуклідів у рослинних та тваринних організмах може перевищувати вміст їх у навколишньому середовищі. Шлях радіонуклідів до організму людей може бути складним. Основними харчовими ланцюгами є: рослини – людина; рослини – корова – молоко – людина; рослини – тварини – м'ясо – людина; вода – гідробіонти – людина. Часто ці ланцюги можуть включатися проміжні ланки.

Рухливість радіонуклідів у біоценозах залежить від їх фізико-хімічних властивостей, умов довкілля та біологічних особливостей рослин та тварин. ці питання досить докладно викладені у публікаціях вітчизняних та зарубіжних авторів [7,8,13, 14, 16, 17, 18, 21, 22, 23].

Радон — один із перших відкритих людиною радіонуклідів. Цей благородний газ утворюється при розпаді ізотопу  $^{226}\text{Ra}$  і надходить до організму інгаляційним шляхом. Людина контактує з радоном скрізь, але головним чином у кам'яних та цегляних житлових будинках (особливо у підвальних приміщеннях та на перших поверхах), оскільки головним джерелом є ґрунт під будівлею та будівельні матеріали.

Радіоактивність (мкЗв/рік) будівельних матеріалів така: дерево 0; вапняк, пісковик 0-100; цегла, бетон 100-200; природний камінь, виробничий гіпс 200-400; шлаковий камінь, граніт 400-2000. Високий вміст радону може бути у підземних водах.

В результаті виробничої діяльності людини, пов'язаної з видобутком корисних копалин, спалюванням органічного палива, створенням мінеральних добрив тощо, відбулося збагачення атмосфери природними радіонуклідами, причому природне радіаційне тло постійно змінюється.

З моменту оволодіння людиною ядерною енергією в біосферу почали надходити радіонукліди, що утворюються на АЕС, при виробництві ядерного палива та випробуваннях ядерної зброї. Таким чином, постало питання про штучні радіонукліди та особливості їх впливу на організм людини. Серед радіонуклідів штучного походження виділяють 21 найбільш поширений, 8 з яких становлять основну дозу внутрішнього опромінення населення:  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{131,95}\text{Zr}$  [8].

У рослини радіонукліди надходять у результаті безпосереднього забруднення та з ґрунту. Пряме забруднення з радіоактивної хмари сільськогосподарських рослин у період їхньої вегетації має особливо важливе значення. Частка затримки радіоактивних елементів рослинним покривом визначається їх фізичними властивостями та видом рослин. За рівнем затримки рослини можуть бути розташовані в ряд: капуста > буряк > картопля > пшениця > природна трав'яна рослинність. Подальша доля затриманих частинок залежить від їхньої розчинності та швидкості видалення під дією дощу та інших процесів.

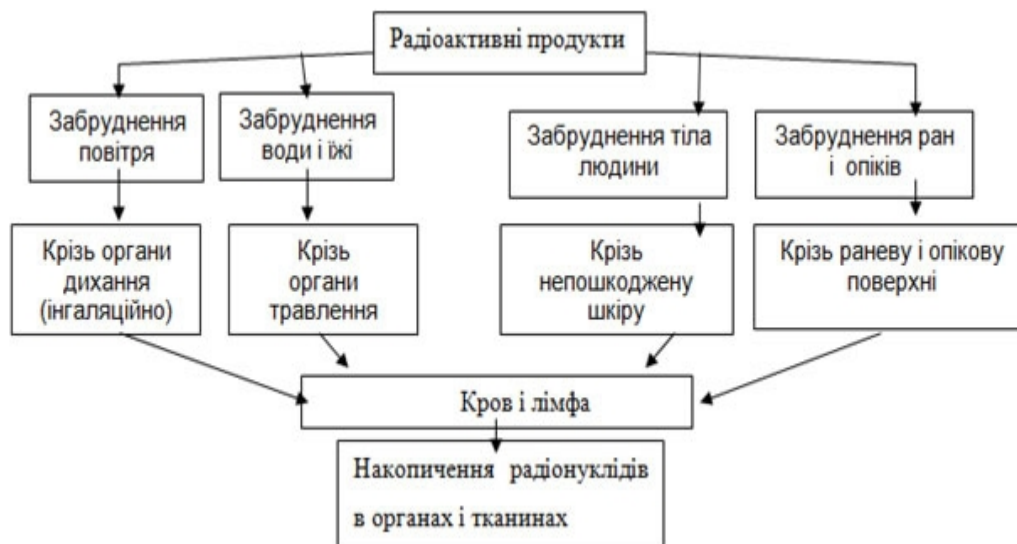


Рис. 2.3 - Класифікація руху радіоактивних елементів [6].

Нерозчинні радіонукліди забруднюють рослини тільки з поверхні, а розчинні поглинаються через листя, стебла та плоди. Процеси ресорбції протікають порівняно швидко. За швидкістю листової абсорбції радіонукліди можна розмістити у ряд:  $Cs > Ba > Sr > Ru$  [21,24,25].

Засвоєння радіонуклідів із ґрунту в основному не відрізняється від накопичення стабільних ізотопів тих самих елементів. З ґрунту рослини поглинають лише ті радіонукліди, які розчиняються у воді. Практичне значення можуть мати довго живучі радіонукліди, наприклад,  $^{137}Cs$ ,  $^{90}Sr$  [21].

Надходження радіонуклідів залежить від типу ґрунту. Найменший перехід спостерігається в регіонах, де переважають чорноземні ґрунти, а найбільший – у регіонах із торф'яно-болотними ґрунтами [16, 18]. Високі коефіцієнти переходу радіонуклідів характерні також піщаних ґрунтів.

В організм тварин радіонукліди можуть надходити через шлунково-кишковий тракт, органи дихання та шкірні покриви. Основний шлях – аліментарний, із забрудненими кормами та водою. Накопичення радіонуклідів в організмі сільськогосподарських тварин та перехід їх у продукцію тваринництва – молоко, м'ясо та продукти їх переробки – залежать від фізико-хімічних властивостей радіонуклідів, видових та вікових особливостей тварин та їх функціонального стану.

Резорбція молодих продуктів ядерного поділу, що є складною сумішшю понад 300 радіоізотопів 36 елементів середньої частини таблиці Д.І. Менделєєва, з високою біологічною доступністю досягає 25%, а з низькою – десятих часток-одиниць відсотків. Резорбовані радіонукліди в організмі депонуються вкрай нерівномірно. За здатністю концентрувати радіонукліди молодих продуктів ядерного поділу, що всмокталися, органи можна розташувати в ряд: щитовидна залоза > печінка > нирки > скелет > м'язи. Слід особливо відзначити, що радіонукліди, що слабо резорбуються, у формі біологічних комплексів всмоктуються у значних кількостях. Питання обміну радіонуклідів висвітлено у роботах [6, 9, 20, 21].

За ступенем всмоктування та розчинності радіонуклідів у стравоході людини та тварини судять про їх небезпеку для здоров'я. Добре всмоктуються натрій, калій, кальцій. На жаль, добре всмоктуються подібні за своїми властивостями, і є найбільш небезпечними для організму радіонукліди йоду, цезію, стронцію і плутонію.

Найбільш небезпечним є цезій-137, який потрапляє в організм людини з продуктами харчування та питною водою. Цезій є хімічно активним елементом. У природі він існує лише у з'єднаннях. Розчинність солей цезію становлять 80-100%, тому він легкодоступний для рослин. Період напіврозпаду цезію-137 становить 30 років. Небезпека цезію-137 полягає в тому, що він, потрапляючи в організм людини, поводить як калій, він повністю всмоктується в кров, і займає місце калію в структурі клітин організму, зосереджуючись у м'язових тканинах і кістках (4%). Нагромаджуючись в організмі, цезій-137 викликає внутрішнє опромінення. Практично виходить атомний реактор усередині організму.

Стронцій-90 є не менш небезпечним радіонуклідом. Він, як і цезій-137, надходить в організм людини з продуктами харчування, далі всмоктується в кров. У дорослої людини відсоток всмоктування стронцію-90 становить 20-30%, при нестачі в організмі людини кальцію та білка відсоток всмоктування стронцію може збільшитися вдвічі [20,21].

Надходження радіонуклідів залежить від типу ґрунту. Найменший перехід спостерігається в регіонах, де переважають чорноземні ґрунти, а найбільший – у регіонах із торф'яно-болотними ґрунтами [1, 16, 18]. Високі коефіцієнти переходу радіонуклідів характерні також піщаних ґрунтів.

В організм тварин радіонукліди можуть надходити через шлунково-кишковий тракт, органи дихання та шкірні покриви. Основний шлях – аліментарний, із забрудненими кормами та водою. Накопичення радіонуклідів в організмі сільськогосподарських тварин та перехід їх у продукцію тваринництва – молоко, м'ясо та продукти їх переробки – залежать від фізико-хімічних властивостей радіонуклідів, видових та вікових особливостей тварин та їх функціонального стану.

Радіоактивні випадання можуть становити особливу небезпеку у літній період. Критичним продуктом для молодих продуктів ядерного поділу буде молоко, особливо в районах із молочним напрямом сільського господарства, де молоко та молочні продукти становлять важливу частину раціону. З молоком виводяться у значних кількостях такі біологічно значущі радіонукліди, як J, Sr, Cs. Радіоізотопи  $^{131}\text{J}$  -  $^{135}\text{J}$  становлять значну частину активності молодих продуктів ядерного поділу. Лімітує небезпеку  $^{131}\text{J}$ . Критичною групою населення є діти, вагітні та жінки.

Джерелом надходження радіонуклідів є гідробіонти, які у великій кількості накопичують радіонукліди. Накопичення відбувається швидко, особливо у період їхнього інтенсивного зростання. Радіонукліди надходять в організм в результаті адсорбції на відкритих поверхнях тіла, абсорбції через поверхню (шкіру, зяброві мембрани у риби, коріння та поверхні листя у рослин) та при заковтуванні їх з їжею.

Поведінка радіонуклідів у водоймі залежить від фізико-хімічних властивостей води та її складу, зокрема, від рН та хімічного складу домішок. Слабка мінералізація води сприяє більш високому накопиченню радіонуклідів гідробіонтами, тому риби прісноводних водойм накопичують їх у десятки та сотні разів більше. Коефіцієнти накопичення в м'язовій

тканині риби  $^{131}\text{J}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$  досягає  $^{10}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{96}\text{Nb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{55}\text{Fe}$  - близько 1000. У водоростях і молюсках коефіцієнт накопичення  $^{131}\text{J}$  досягає відповідно 200-500 та 10-70 [16,19].

Стронцій-90 особливо небезпечний для дітей через активне зростання їх кісток. Інтенсивність всмоктування цього елемента у дітей у 5-7 разів вища, ніж у дорослих. Таким чином, стронцій накопичується в організмі і може знаходитися там тривалий час, внаслідок чого можуть виникати радіоактивні ураження організму у вигляді затримки росту, змін у кровотворних органах та зміні складу крові, порушення обміну речовин, зниження імунологічних та захисних властивостей організму.

З 24 радіоізотопів йоду лише один представляє радіаційне значення для людини. Це йод-131 із періодом піврозпаду 8 діб. Йод дуже активний елемент, він інтенсивно всмоктується з рослин, живих водних організмів. При надходженні його в організм з їжею він на 100% всмоктується до крові. До 80% йоду-131 накопичується у щитовидній залозі. Саме йод-131 спочатку після аварії на Чорнобильській АЕС був пріоритетним елементом.

Внаслідок аварії на ЧАЕС до навколишнього середовища надійшло 5 радіоізотопів плутонію – 238, 239, 240, 241, 248. Частина активності всіх ізотопів плутонію становить 15% від загальної активності всіх радіонуклідів. З них плутоній 239 має період напіврозпаду 24400 років. Він надходить в організм людини переважно через органи дихання.

Повітряний шлях надходження радіонуклідів до продуктів харчування мали вирішальне значення у період після аварії на ЧАЕС. У наступний період – це шлях більш тривалий, через ґрунт, рослини та тварини.

Сьогодні Україна перебуває у період після аварійної фази, коли ключовий шлях – це надходження таких радіонуклідів як цезію-137 та стронцію -90 з продуктами харчування та водою.

Основним джерелом після аварійного забруднення є цезій-137, що становить до 95% сумарного опромінення, що надходить в організм людини з молоком тварин (до 85%), решта з м'ясом тварин та риби.



## 2.2 Радіаційний захист людини

Особливо небезпечні для людини радіонукліди, що потрапили в організм, оскільки в цьому випадку ні одяг, ні шкіра не виконують своїх захисних функцій. В організмі радіонукліди викликають опромінення різних органів та тканин, визначаючи дозу внутрішнього опромінення людини.

Після Чорнобильської катастрофи завдяки здатності радіоактивного цезію міцно зв'язуватися деякими видами ґрунтових мінералів, його рухливість поступово знижувалася, і він все важче проникав у харчові ланцюги. Тому такі харчові продукти, як молоко, зерно, м'ясо та річкова риба стали значно менш забрудненими.

Однак, і в даний час, і в найближчому майбутньому цезій-137, як і раніше, залишатиметься основним дозо утворюючим радіонуклідом на постраждалих територіях. Через 30 років після катастрофи, половина цезію-137, викинутого з реактора, розпадається, а половина все ще залишатиметься у навколишньому середовищі.

Велика кількість радіаційних, хімічних та пожежовибухових об'єктів на теренах Європи і в нашій державі створюють умови для виникнення на них небезпечних ситуацій з викидом радіоактивних, хімічних речовин та бактеріальних засобів. Проводячи знезаражування, потрібно пам'ятати: територія для проведення знезаражування має бути достатньою, щоб забезпечити необхідні дії людей і техніки, розміщення тварин і всього, що підлягає знезараженню; людей, техніку, тварин необхідно розміщувати з підвітряної сторони від місця аварії; знезаражування необхідно починати за принципом від простого до складного; спочатку виділити велику забруднену масу для попередження небажаних контактів із зоною високої концентрації; суворо контролювати перебування в індивідуальних засобах захисту; в холодну пору дії людей скуті, є труднощі в їх обслуговуванні, у разі замерзання заражених ділянок з'являються додаткові труднощі в ліквідації

наслідків; готуючи й застосовуючи розчини для знезаражування, слід пам'ятати, що не всі розчини сумісні один з одним; на результати знезаражування суттєво впливають кількість води та її тиск; для знезаражування техніки, апаратури, приладів та ін. можна застосувати пар під низьким і високим тиском, але потрібно пам'ятати, що при високому тиску може утворюватися заражений аерозоль, здатний поширюватися за межі осередку зараження.

Ось чому знання кожним громадянином правил поведінки, захисту продуктів харчування, фуражу і води в умовах радіаційного, хімічного та бактеріального зараження має таке велике значення [8,12,16].

Для створення безпеки проживання населення в умовах радіоактивного забруднення території при постійному вживанні в їжу місцевих продуктів харчування необхідно дотримуватися низки простих правил, їх дотримання і своєчасне здійснення виключає накопичення радіонуклідів вище встановлених норм у вирощених сільськогосподарських продуктах і вироблених продуктах тваринництва.

При радіоактивному забрудненні основна особливість підготовки продуктів рослинництва безпосередньо до використання або для подальшої переробки полягає у застосуванні нескладних заходів первинної дезактивації і технологічної обробки. Це такі загальноприйняті способи, як миття у проточній воді овочів і фруктів, очищення овочів, картоплі, зрізання головок коренеплодів, зривання верхніх листків капусти та інше. Ці заходи знижують радіоактивне забруднення продуктів у 2 —10 і більше разів.

Подальша переробка овочів і фруктів (соління, маринування і т.п.) зменшує вміст радіоактивних елементів у продуктах. При цьому розсоли, маринади вживати не рекомендується.

Картопля. Перед використанням у їжу або на відгодівлю тваринам картоплю ретельно відмити від ґрунту, її миють у проточній воді або двічі-тричі міняють. Очищення картоплі від лушпиння також знижує радіоактивне

забруднення. Після цих операцій вона може бути використана безпосередньо в їжу і для подальшої технологічної переробки (на крохмаль та ін.).

Коренеплоди. Перш ніж використовувати в їжу або переробляти коренеплоди (буряк, моркву, брукву, редьку), їх потрібно очистити від 150 + частинок ґрунту і зрізати головки коренеплодів. Наступна обробка продуктів (варіння, соління та ін.) ще більше зменшує їх радіоактивне забруднення.

Огірки, редиска та інші овочі. Перед використанням огірків, капусти, цибулі, петрушки, редьки, "салату та інших овочів потрібно ретельно промити їх від частинок ґрунту. Наступні операції з підготовки овочів для безпосереднього їх використання в їжу проводять традиційним способом.

Фрукти та ягоди. Всі фрукти та ягоди, що вирости на садових ділянках, перед використанням в їжу, перед переробкою ретельно миють. Технології приготування варення, соків, компотів, джемів не відрізняються від звичайних.

Олійні культури. Загальноприйняті способи переробки олійних культур для одержання олії забезпечують значне зниження вмісту в них радіоактивних речовин.

*Зернові і зернобобові культури.* Кукурудза та інші зернові культури після обробки можуть використовуватися в їжу і на відгодівлю худобі без обмежень на всій території України за зоною відселення від АЕС. Горох, квасоля та інші зернобобові культури використовуються без обмежень у районах радіоактивного забруднення з густиною 25 Кн/км. При більшій густоті вирощування цих культур не рекомендується.

Дотримання прийомів обробки забезпечує можливість безпечного використання овочів, фруктів, олійних, зернових та зернобобових культур, а також продуктів їх переробки практично в усіх районах проживання за зоною відселення. Відходи від переробки продуктів рослинництва, одержаних за цією зоною, йдуть на корм сільськогосподарським тваринам без обмежень.

Молоко. Для зниження концентрації радіоактивних речовин молоко можна переробляти на молочні продукти, тим самим виключаючи потрапляння в організм людини значної кількості радіоактивних речовин. У домашніх умовах це робиться двома шляхами: обезжирення сироватки та сиру; виготовлення жирного сиру і сироватки, яку в їжу використовувати не можна.

Таким чином, молоко і ряд молочних продуктів, що мають рівень радіоактивного зараження, не потрібно знищувати. Залежно від ступеня зараження можна виготовити з них продукти, які в подальшому використовуються для харчових або кормових цілей.

М'ясо. Існують досить прості для використання в домашніх умовах способи зниження концентрації радіонуклідів у м'ясі і м'ясопродуктах. Зменшити радіоактивну зараженість м'яса можна, наприклад, шляхом його засолювання.

При цьому найбільший ефект досягається за умови, якщо розрізати його на шматки і потім засолити, багаторазово змінюючи розсіл до досягнення в м'ясі допустимої концентрації радіоактивних речовин (радіаційний цезій переходить у розсіл і видаляється з продукту).

Можлива також обробка м'яса, що містить радіаційний цезій, проточною водою або 0,85%-ним розчином кухонної солі. Ефективність цього способу зростає із збільшенням часу контакту м'яса з рідиною, підвищенням ступеня його подрібнення (шматки 2,5 см) та інтенсивності перемішування. Однак слід пам'ятати, що при обробці дуже подрібненого м'яса (м'ясна стружка) втрачається велика кількість (до 36%) харчових поживних речовин, при цьому бульйон в їжу не використовують.

Ефективність зменшення кількості радіоцезію від способу переробки м'яса в домашніх умовах відображено в табл. 2.1

Таблиця 2.1 - Ефективність зменшення радіоцезію у продуктах харчування [6].

Спосіб обробки	Продукт	Ступінь зниження радіоцезію у продукті
Варіння (30-40 хв.)	М'ясо	3—6
Промивання у проточній воді протягом 12 год. або в 0,85%-му розчині кухонної солі	М'ясо	1, 0 — 0
Перетоплення	Сало	20

Хоча сало містить менше радіоактивних речовин, ніж інші продукти тваринництва, та у певних ситуаціях його потрібно переробляти. Наприклад, для приготування солоного шпика методом мокро́го посолу в процесі якого радіонукліди виділяються зі сала в розсіл. Дотримання санітарних правил на забруднених територіях дозволяє практично усунути інший шлях надходження в організм радіонуклідів.

Джерела проникнення радіоактивних речовин у житлові приміщення: атмосферне повітря, дрова або торф, що використовують для опалення, попіл від їх спалювання; побутові предмети, що вносяться з вулиці; брудне взуття або одяг; забруднені продукти харчування та ін.

Зменшення забруднення досягають, дотримуючись чистоти в домашніх умовах: у приміщеннях роблять вологе прибирання, робочу одягу і взуття залишають поза жилими кімнатами, попіл із печей вибирають після попереднього змочування його водою, побутові предмети перед тим, як нести в приміщення, протирають.

Істотно знижують надходження радіоактивних речовин з порохом насадження дерев і кущів біля помешкань. Особливо бажані посадки при розміщенні будинків уздовж проїзних доріг.

Важливим заходом є перекопування фунту на необроблених ділянках (один раз після забруднення місцевості), а також санітарна обробка території, що прилягає до місця проживання: прибирання сміття і захоронення

харчових відходів. При цьому необхідно дотримуватися певних вимог: захоронення проводити в спеціально виритих ямах на глибину до 1 м (місце захоронення повинно бути огорожене і позначене), воду після обмивання взуття і предметів зливати в одному місці, віддаленому від джерела питної води не менше, ніж на 20 м.

Санітарна гігієна при проведенні сільськогосподарських робіт спрямована на зменшення навантажень зовнішнього опромінювання, що потрапляють на одягу та шкіру людини, і внутрішнього опромінювання від радіоактивних речовин, які людина вдихає з повітрям. Звичайні способи дотримання гігієни — миття з милом відкритих ділянок тіла після виконання робіт, дотримання в чистоті одяжі — практично захищають шкіру людини від опромінювання. Щоб попередити попадання радіоактивних речовин на тіло людини при догляді за тваринами і польових роботах, необхідно мати змінну одягу. В кінці роботи її очищають від порохи. Зберігається вона поза жилими приміщеннями.

Деякі види діяльності в особистому господарстві (скиртування сіна, вибирання попелу, прибирання сміття та ін.) здійснюються в умовах підвищеної запиленості. В цих випадках для попередження попадання радіоактивних речовин з попелом у легені людини досить використати засоби індивідуального протипилового захисту — марлеву пов'язку, респиратори будь-яких типів, головний убір [5,18,22,24].

Зменшити надходження радіонуклідів у продукти рослинництва можна за допомогою агроеліоративних заходів (внесення до ґрунту необхідних добрив та меліорантів допомагає знизити надходження радіонуклідів із ґрунту до врожаю); підбором культур і сортів, що накопичують радіонукліди в мінімальному ступені (різні рослини мають не однакову здатність накопичувати радіонукліди).

Зменшивши надходження радіонуклідів з ґрунту в рослини, які йдуть на корм худобі (агроеліоративні заходи, підбір кормових культур);

### З НОРМИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ, НАСЛІДКИ ПОРУШЕННЯ

Радіаційна безпека - це комплексна науково-практична дисципліна, що займається проблемами захищеності людей від шкідливого впливу іонізуючих випромінювань. Норми радіаційної безпеки (НРБ) є основним документом у системі державного регулювання, у якому регламентуються основні дозовані межі, допустимі рівні впливу іонізуючого випромінювання та інші вимоги щодо обмеження опромінення людини. Норми радіаційної безпеки є основним документом у системі державного регулювання, у якому регламентуються основні дозовані межі, допустимі рівні впливу іонізуючого випромінювання та інші вимоги щодо обмеження опромінення людини. НРБ у концентрованому вигляді відображають у певний історичний період наукові уявлення про дію іонізуючого випромінювання на людину, на продукти харчування, цілі та принципи радіаційного захисту, основні дозиметричні та радіометричні величини, що використовуються в системі обмеження опромінення професійних працівників та населення від різних видів радіаційного впливу [7].

Основними документами, якими регламентується радіаційна безпека в Україні, є: Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97 та Основні санітарні правила роботи з радіоактивними та іншими іонізуючими речовинами ОСП-72/87. У НРБУ-97 наведено систему добових меж та їх застосування, а також зазначено три категорії людей, які можуть зазнати опромінення:

А - персонал, який безпосередньо працює з радіоактивними речовинами;

Б - особи, що безпосередньо не працюють із радіоактивними речовинами, але за умови розміщення їх на робочих місцях або місцях проживання можуть потрапити під дію опромінення;

В Україні розроблена низка нормативно-правових актів та нормативних документів:

- Закон України Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів;
- ДСТУ 7517:2014 Хліб із пшеничного борошна. Загальні технічні умови;
- Державні санітарні норми та правила (ДСНП) Медичні вимоги до якості та безпечності харчових продуктів та продовольчої сировини ;
- Державні гігієнічні правила і норми (ДГПН) Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах;
- Державні санітарні правила і норми (ДСанПіН) 8.8.1.2.3.4-000-2001 Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті.
- Гігієнічні нормативи (ГН) 6.6.1.1-130-2006 Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді;
- Постанова Кабінету Міністрів України від 04.01.99 р. №12 Про затвердження переліку харчових добавок, дозволених для використання у харчових продуктах, а також інших методичних та нормативних документів. [27,28,29,30,31,32,33,34]

*Граничнодопустима доза* - найбільше значення індивідуальної дози за рік, котре при рівномірному впливі протягом 50 років не викликає в стані здоров'я персоналу несприятливих змін, які виявляються сучасними методами.

*Межа дози* - це найбільше середнє значення індивідуальної еквівалентної дози за календарний рік, при якому рівномірне опромінення протягом наступних 70 років не може призвести до несприятливих змін у стані здоров'я людей, які можуть бути виявлені сучасними методами [27].

Для населення, що проживає на територіях зазнали радіонуклідного забруднення, основним критерієм для ухвалення рішення про те, чи варто вживати продукти харчування вирощені на присадибних ділянках є допустимі рівні радіонуклідів у продуктах.



Україна, як і більшість країн світу, усвідомлює глобальність проблеми якості і безпеки харчових продуктів і вважає її пріоритетним напрямком. Велика кількість різних захворювань виникає внаслідок споживання неякісних і небезпечних харчових продуктів, спалахи харчових отруєнь із певною періодичністю фіксуються у різних країнах, а це свідчить про необхідність змін у підходах до безпеки. Перевіреною і надійною системою для захисту споживачів є застосування системи НАССР як системи керування безпекою харчових продуктів, що передбачає аналіз ризиків і контроль критичних точок. Ця система гарантує безпеку продукції на всіх етапах харчового ланцюжка, вона допомагає виявити усі ті критичні точки, що можуть негативно вплинути на безпеку готового продукту, а також усунути ці критичні точки і постійно проводити моніторинг [2]

Зазначимо, що в перші роки після аварії на ЧАЕС в Україні, було запроваджено допустимі рівні вмісту радіонуклідів. У 1986 і наступні роки допустимі рівні були значно більшими. За допомогою цих даних можна зрозуміти наскільки посилюються допустимі рівні з часом, що пов'язано з поліпшенням радіоекологічної обстановки пов'язаної з розпадом радіонуклідом та суттєвим зниженням їх міграційних властивостей (завдяки цьому рівні накопичення радіонуклідів у продуктах харчування знижуються в кілька разів). Рівні були встановлені після аварії Чорнобильської АЕС, Бк/кг [14].

Нормативи запроваджуються з метою подальшого зниження дози внутрішнього опромінення населення України шляхом обмеження надходження радіонуклідів з продуктами харчування та стимуляції створення і дотримання виробниками необхідних умов для одержання чистої продукції на радіоактивно забруднених територіях. Контроль за дотриманням Нормативів покладається на заклади державної санітарно-епідеміологічної служби МОЗ України.

Таблиця 3.1 - Допустимі рівні вмісту цезію-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) в продуктах харчування).[14].

Держава	Україна	
	1986	2019
Рік виведення нормативу		
Хліб, борошно, зернові	600	20-50
Молоко	370	100
М'ясо, м'ясні продукти	600	200-400
Риба	600	150
Овочі, фрукти	600	40-70

Таблиця 3.2 - Значення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді (Бк/кг, Бк/л).[14].

	Назва продукту	$^{90}\text{Sr}$ (Бк/кг, Бк/л)	$^{137}\text{Cs}$ (Бк/кг, Бк/л)
1	Хліб, хлібопродукти	5	20
2	Картопля	20	60
3	Овочі (листові коренеплоди, столова зелень)	20	40
4	Фрукти	10	70
5	М'ясо і м'ясні продукти	20	200
6	Риба і рибні продукти	35	150
7	Молоко і молочні продукти	20	100
8	Яйця (в одному яйці)	2	6
9	Вода	2	2
10	Молоко згущене і концентроване	60	300
11	Молоко сухе	100	500
12	Свіжі дикоростучі ягоди і гриби	50	500
13	Сушені дикоростучі ягоди і гриби	250	2500
14	Лікарські рослини	200	600
15	Інші продукти	200	600

## 4 МОНІТОРИНГ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

### 4.1. Основні мета і задачі радіаційного контролю

Довгі роки великі території нашої планети зазнавали і зазнали радіоактивного забруднення. Це відбувається внаслідок аварій на атомних електростанціях, неякісного поховання радіоактивних відходів, недбалої утилізації технічних пристроїв, що містять радіоізотопи, а також через випробування ядерної зброї. З часом радіоактивні речовини мігрують за допомогою атмосферних та інших природних процесів, утворюють на земній поверхні нові зони та плями, порушуючи екологію.

Розробка радіаційного контролю та технології ведення сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення довкілля – актуальні проблеми сучасної радіобіології, радіоекології та радіаційної безпеки.

Оскільки напіврозпад багатьох радіоактивних елементів обчислюється десятками, тисячами і навіть мільйонами років, то проблема не зникне сама собою, а супроводжуватиме життя людства як у найближчому, так і далекому майбутньому [16].

Отже, радіологічний моніторинг є нормою життя і діяльності у державі. Радіаційний неруйнівний контроль – полягає у контролюванні дотримання норм радіаційної безпеки та основних санітарних правил роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання. Радіаційний контроль є частиною екологічного моніторингу і повинен охоплювати усі основні види дії іонізуючого випромінювання на людину. Метою радіаційного контролю є отримання інформації про індивідуальні і колективні дози опромінення персоналу, пацієнтів і населення, а також показники, що характеризують радіаційну обстановку території. Відповідно до санітарних норм встановлені три категорії осіб, що можуть підлягати опроміненню.

*Категорія А* (професійні робітники) - особи, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо із джерелами іонізуючих випромінювань.

*Категорія Б* - обмежена частина населення - особи, які не працюють безпосередньо із джерелами іонізуючого випромінювання, але можуть зазнавати впливу радіоактивних речовин та інших джерел випромінювання, що використовуються на підприємстві або виводяться у зовнішнє середовище, внаслідок їх проживання чи працевлаштування поблизу зони радіаційного впливу.

*Категорія В* – загальне населення області, країни.

Програма радіаційного контролю в організації, де планується поводження з джерелами випромінювання, розробляється на стадії проектування. У проекті радіаційного об'єкту мають бути визначені види, об'єм і порядок проведення контролю, перелік технічних засобів і штат працівників. Види і об'єм радіаційного контролю можуть приводитись залежно від конкретної радіаційної обстановки в цій організації і на прилеглий території. Залежно від об'єму і характеру робіт радіаційний контроль здійснюється службою радіаційної безпеки або особою, що відповідальною за радіаційний контроль, має спеціальну підготовку. Адміністрація радіаційного об'єкту розробляє і затверджує програму радіаційного контролю з урахуванням особливостей і умов необхідних робіт. Радіаційний контроль організацій і територій передбачає проведення контролю і обліку індивідуальних доз опромінення працівників (персоналу) і населення. Контроль і облік доз опромінення персоналу і населення повинні проводитися з урахуванням вимог Державного реєстру джерел іонізуючого випромінювання. Результати радіаційного контролю використовуються для оцінки радіаційної обстановки, встановлення контрольних рівнів радіації[14].

Встановлено, що різні органи і тканини тіла людини мають різну радіочутливість. Виділяють, так звані, критичні органи. Це органи і частини тіла, найбільш вразливі в разі опромінення. Встановлено три групи критичних органів відповідно до зменшення рівня радіочутливості. До першої групи відносять усе тіло людини і кістковий мозок; до другої групи належать щитовидна залоза, печінка, селезінка, нирки, легені, шлунково-

кишковий тракт, жирова тканина; у третій групі шкіряний покрив, кісткова тканина, кисті, передпліччя, голені та стопи. Таким чином, об'єктами радіаційного контролю є: персонал груп А і Б при дії на них іонізуючого випромінювання у виробничих умовах; пацієнти при виконанні медичних рентгенорадіологічних процедур населення при дії на нього природних і техногенних джерел випромінювання; місце існування людини [1;5;19].

Перераховані вище радіонукліди часто зустрічаються в практиці радіаційного контролю у відселених зонах, а також в районах часткового забруднення. Вживання людини в умовах, що склалися, можливе тільки з регулярним моніторингом радіаційної обстановки за допомогою індивідуальних засобів дозиметричного контролю в місцях постійного проживання та ведення трудової діяльності. У зв'язку з цим найбільш актуальним завданням є перевірка щодо забруднення радіонуклідами продуктів харчування для людини і кормів для худоби, що виростають на даних територіях [14].

Забезпечення радіаційної безпеки при підвищеному вмісті радіонуклідів у довкіллі нерозривно пов'язане з нормуванням концентрації їх в об'єктах навколишнього середовища та організмі людини. Не є винятком у цьому відношенні нормування надходження радіоізотопів в організм сільськогосподарських тварин, і вміст радіоактивних речовин в кормах для сільськогосподарських тварин продуктивного напрямку. Тому найважливіше завдання радіоекологічної служби (обласних, крайових, республіканських відділів та лабораторій) — визначення радіоактивності в основних компонентах раціону для тварин та у продуктах тваринництва на підвідомчій території.

Мета радіометричної експертизи об'єктів нагляду (фуражу, води, продуктів тваринництва — м'яса, молока, яєць тощо) — виявити ступінь та джерела їхнього радіоактивного забруднення та не допустити для згодовування тваринним кормів та використання в їжу людям продуктів, забруднених радіонуклідами вище допустимих концентрацій [2].

Основне завдання радіологічних відділів та груп - контроль за радіоактивною забрудненістю об'єктів ветеринарного нагляду та продуктів харчування, що випускаються підприємствами м'ясної та молочної промисловості, а також продукції тваринництва та рослинництва, що надходить на ринки. З метою виконання завдань щодо контролю за радіоактивною забрудненістю об'єктів нагляду радіологічні відділи виконують такі функції: організують відбір проб об'єктів та проводять дослідження на наявність радіоактивних речовин; проводять за єдиними методиками радіометричні, радіохімічні, спектрометричні дослідження основних компонентів раціону сільськогосподарських тварин, у тому числі птиці (грубі, соковиті, концентровані корми, коренеклубнеплоди), води,

Підходи до організації поточного контролю можуть бути різними, залежно від масштабів поширення радіоактивних речовин та характеру забруднення навколишнього середовища [2].

#### 4.2 Етапи і методи радіаційного контролю

Прийнята система радіаційного контролю включає ряд послідовно виконуваних етапів: вимірювання рівня радіації на місцевості (польова радіометрія та дозиметрія), відбір проб та підготовка проб до дослідження, пряме визначення радіоактивності експресними методами, радіохімічний поділ радіонуклідів, радіометрія виділених радіонуклідів, розрахунок активності та складання висновку. Методи радіаційного контролю можна розділити на радіометричні, радіохімічні та спектрометричні.

Радіометричні методи включають польову радіометрію та дозиметрію, експресне визначення радіоактивності, радіометрію зольних залишків та радіохімічних препаратів. Польова радіометрія і дозиметрія—один із перших етапів радіаційного контролю довкілля та об'єктів сільськогосподарського виробництва, який має багато мети. Якщо польову радіометрію та дозиметрію проводять у звичайних ситуаціях (за відсутності радіоактивного

забруднення), можна отримати цінні відомості про рівні природної радіоактивності, з якими в подальшому порівнюють дані про радіоактивні забруднення, що утворилися в результаті радіаційних аварій або випробувань ядерної зброї.

Цей метод дозволяє своєчасно виявити випадки підвищеного рівня радіації та прийняти екстрені рішення щодо заходів захисту населення та сільськогосподарських тварин. Польова радіометрія та дозиметрія — провідний метод контролю за радіоактивним забрудненням продуктів рослинництва та тваринництва не лише на територіях радіоактивного забруднення, а й за їх межами, куди сільськогосподарська продукція надходить у результаті господарської діяльності. Методи польової радіометрії та дозиметрії найрізноманітніші і залежать від абсолютних величин радіації, що підлягає вимірюванню, та розмірів площі, яку слід обстежити.

Якщо площа обстеження невелика, вимірювання можуть проводити піші дозиметристи. У разі обстеження великих територій використовують спеціальні автомобілі, на яких змонтовано необхідні прилади (автогамма-зйомка). За потреби може бути використана повітряна гамма-зйомка. Для вимірювання рівня радіації на території використовують прилади, передбачені табельним оснащенням радіологічних підрозділів ветеринарної служби: ДП-5В, УРП-68-О1, ДРГ-О1Т1, ДБГ-О1Н, МКС-01 та ін.

Обов'язково мають бути методики проведення радіаційного контролю. Наприклад, «Інструкція з наземного обстеження забруднених територій», «Методичні рекомендації щодо оцінки радіаційної обстановки у населених пунктах» тощо. Різновиди експресних методів - вимірювання сумарної радіоактивності бета-і гама випромінюючих нуклідів, експрес-методи вимірювання  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ ,

Система радіаційного контролю передбачає виконання наступних етапів:

- вимірювання рівня радіації на місцевості (польова радіометрія, дозиметрія);
- відбір проб і підготовку їх до дослідження;
- визначення радіоактивності експресними методами;
- радіохімічний розподіл радіонуклідів;
- радіометрія виділених радіонуклідів;
- розрахунок активності.

Ці етапи дають можливість отримати інформацію про радіоактивний фон та рівень радіоактивності середовища.

Методи радіаційного контролю поділяються на радіометричні, радіохімічні, спектрометричні

Відомі наступні радіометричні методи:

- польова радіометрія і дозиметрія,
- експресне визначення радіоактивності,
- радіометрія золи, радіохімічних препаратів

На першому етапі здійснюють польову радіометрію і дозиметрію з метою контролювання радіоактивного забруднення продукції сільського господарства та інших об'єктів. На невеликих територіях вимірювання проводять дозиметристи без допоміжного транспорту. За умов обстеження великих площ використовують спеціальні автомобілі з вмонтованими у них необхідними приладами.

За допомогою дозиметричних приладів визначають кількість та якісний склад іонізуючих випромінювань. Дозиметрія дає можливість здійснити:

- пошук джерела випромінювання, визначення його виду, кількості та енергії;
- визначення ступеню впливу випромінювання на об'єкт, що опромінюється.

Використовують радіометри і дозиметри, радіометри-дозиметри



Дозиметр – вимірювальний прилад для вимірювання дози або потужності дози іонізуючого випромінювання

Радіометр – прилад для вимірювання і визначення густини потоку іонізуючих випромінювань, активності радіонуклідів.

Спектрометр – прилад для вимірювання розподілу іонізуючих випромінювань за енергією часток чи фотонів.

Експрес-метод визначення питомої та об'ємної активності гамма-випромінюючих радіонуклідів у воді, продуктах харчування, продукції рослинництва та тваринництва заснований на вимірюванні за допомогою приладу УРП-68-01 потужності дози випромінювання від чисто вимитих та подрібнених проб масою 0,7 кг (для більшості проб), розміщених у літровій банці або посудині Марінеллі, та перерахунку її в одиниці активності за формулою

$$g = N_o K \quad (4.1)$$

де  $g$  – питома активність проби, Бк/кг;  $N_o$  – потужність дози опромінення проби без фону (мкР/год);  $K$  – коефіцієнт перерахунку.

Методику можна застосувати у разі радіоактивного забруднення від  $2,10^3$  до  $4,10^4$  Бк/л (кг). Подрібненою пробкою заповнюють кювету і вимірюють швидкість зчитування за період не більший 1000с.

2. *Експрес метод визначення питомої і об'ємної активності бета-випромінюючих радіонуклідів.* Здійснюється шляхом вимірювання швидкості зчитування частинок з „товстошарових” препаратів з наступним розрахунком активності за формулою:

$$g = (N - N\phi) / P \quad (4.2)$$

де  $g$  – питома активність проби, Бк/кг;  $N$  – швидкість зчитування частинок проби з фоном, імп/с;  $N\phi$  – швидкість зчитування частинок фону, імп/с;  $P$  – чутливість радіометра.

За малої концентрації радіонуклідів в пробах сумарну бета-активність проби визначають за зольним залишком. Відібрані проби спалюють та озолюють з метою збільшення концентрації радіонуклідів. Золю розтирають до стадії дрібного порошку, наносять на стандартну підніжку 200 – 300 мг золи, рівномірно розподіляють і вимірюють швидкість відліку стаціонарним радіометром.

Питому активність розраховують за формулою:

$$A = N_0 K_{xv} K_{oz} / m \quad (4.3)$$

де  $A$  – питома активність досліджуваної проби, Кі/кг (л), Бк/кг(л);

$N_0$  – швидкість зчитування проби без фону, імп/хв;

$K_{xv}$  – коефіцієнт перерахунку імпульсів за хвилину в активність,

$K_{oz}$  – коефіцієнт озолення, який дорівнює масі золи в грамах, одержаної при озоленні 1 кг проби;

$m$  – маса золи, взятої для радіометрії, г.

Щоб визначити коефіцієнт зв'язку готують 4-5 препаратів масою 200-300 мг із висушеного КСІ (еквівалентної маси препарату), вимірюють швидкість зчитування за тих же умов, в яких проводили вимірювання препарату. Коефіцієнт зв'язку розраховують за формулою:

$$K_{zv} = A_{КСІ} / N_0 \times 2,222 \times 10^{12} \quad (4.4)$$

де  $A_{КСІ}$  – активність еталона КСІ, расп/хв. (для наважки 300мг дорівнює 228 расп/хв.);

$N_0$  – швидкість зчитування еталону без фону, імп/хв. у відсотках;

$2,222 \times 10^{12}$  – коефіцієнт перерахунку розпадів, Кюрі.

*Радіохімічні методи* встановлюють рівень радіоактивного забруднення через виділення радіонуклідів методами аналітичної хімії: екстракції, осадження, хроматографії. Як правило, з метою радіологічного контролю аналіз здійснюють за алгоритмом:

- відбір і підготовка проб об'єктів дослідження;
- внесення носіїв та мінералізація проб;
- очистка виділених радіонуклідів від сторонніх нуклідів і супутніх мікроелементів;
- ідентифікація і перевірка радіохімічної чистоти;
- радіометрія виділених радіонуклідів;
- розрахунок активності і висновки.

Відібрані радіологічними відділами зразки повинні бути типовими для досліджуваного об'єкта, а маса – достатньою для проведення радіохімічного аналізу (після озолення – 20- 40г).

Під час відбору проб в контрольованих пунктах вимірюють гамма-фон приладом СРП-68-01 на відстані 0,7-1 м від ґрунту і 1-1,5см від об'єкта. Дані про гамма-фон записують у супроводжувальному документі. [5]

#### 4.3 Методи і прилади реєстрації та вимірювання іонізуючого випромінювання

Для реєстрації і вимірювання іонізуючого випромінювання у приладах застосовують відомі фізичні методи:

- збирання і реєстрація електронів та іонів, що вивільнюються в процесі іонізації;
- обстеження флуоресценції речовини, що поглинає іонізуюче випромінювання;
- використання та аналіз хімічних реакцій, які виникають внаслідок іонізуючого випромінювання;

- вимірювання тепла, яке утворюється за умов поглинання іонізуючого випромінювання.

Серед параметрів іонізуючого випромінювання, які підлягають реєстрації, слід виділити:

- тип випромінювання;
- енергію квантів або частинок;
- величину потоку або швидкості зміни потоку квантів або частинок;
- часовий або просторовий розподіл іонізуючого випромінювання.

Реєстрація будь-якого виду випромінювання базується на взаємодії випромінювання з речовиною детектора. Детектор – пристрій, на вхід якого надходять іонізуючі частинки і на виході з'являються відповідні сигнали. В залежності від типу детектора сигналом можуть бути імпульси струму (іонізаційний детектор); шляхи світла (сцинтиляційний детектор); бульбашки пари (бульбашкова камера); краплинки рідини (камера Вільсона) та ін.

Головна складова частина будь-якого детектора – чутливий об'єм, в якому енергія іонізуючого випромінювання у процесі взаємодії із речовиною перетворюється в певний вид сигналу. Речовина, що являє собою чутливий об'єм, може бути газом, рідиною, твердим тілом, що дає відповідні назви детекторам: газові, рідинні, твердотілі. [5]

#### *Іонізаційний метод реєстрації і дозиметрії*

Під час руху будь-якого виду іонізуючого випромінювання у газах в результаті іонізації утворюються електрони і позитивні іони. Отже, за умов проведення іонізації в шарі газу між двома електродами з різними потенціалами, електрони та іони будуть рухатися в напрямку до відповідних електродів, спричиняючи появу струму у колі. Такі газові іонізаційні детектори по суті – конденсатори, заповнені газом, їх називають іонізаційними камерами. Іонізаційні камери поділяються за такими основними ознаками: за принципом дії (струмові, імпульсні); за

конструктивним оформленням (плоскі, циліндричні, сферичні); за призначенням (реєстрація альфа-, бета-, гамма -випромінювання) та інші.

Зовнішній вигляд камери наведено на рис. 4.1.

Утворення кожної іонної пари супроводжується втратою енергії близько 34 еВ ( $1 \text{ еВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ). Якщо припустити, що іонізуючі частинки проходять через камеру зі швидкістю  $N \text{ (с}^{-1}\text{)}$  і кожна з них втрачає енергію  $E \text{ (МеВ)}$ , то величину заряду, що збирається на електродах за одиницю часу, можна визначити за виразом:

$$Q(\text{Клс}^{-1}) = NEe \times 10^6 / 34 \quad (4.5)$$

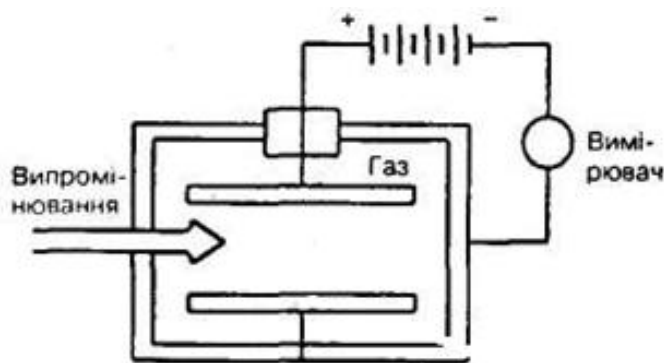


Рис. 4.1 – Зображення іонізаційної камери

Прикладання напруги величиною кілька сотень вольт дає можливість збирати на електродах всі електрони й позитивні іони. Іонізаційні детектори, в яких застосовується принцип газового підсилення, називаються газорозрядними лічильниками. Широке використання газорозрядних лічильників для реєстрації іонізуючих випромінювань зумовлено їх високою чутливістю, можливістю реєстрації різних типів випромінювання, великим вихідним сигналом, простотою дозиметрів і радіометрів з цим типом детекторів.

*Лічильник Гейгера-Мюллера* – газорозрядний детектор, що працює через проходження через нього заряджених частинок.

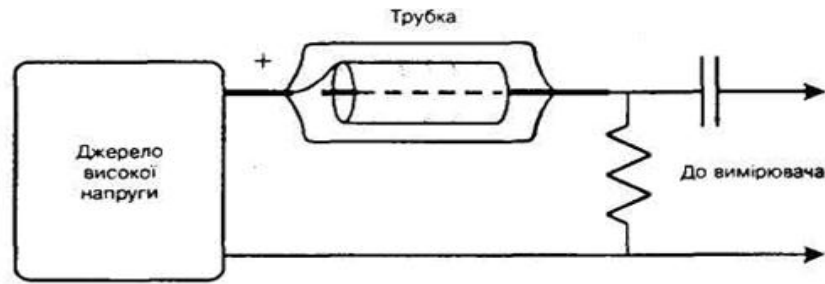


Рис 4.2 – Зображення лічильника Гейгера–Мюллера

Принцип дії полягає в тому, що до електродів прикладають напругу величиною кілька сотень вольт. За проходження іонізуючої частинки в газі утворюються вільні електрони, що рухаються до центрального електрода. Поблизу електрода напруженість електричного поля зростає, електрони прискорюються і здійснюють іонізацію газу. Виникає коронний розряд, що поширюється вздовж електрода і супроводжується спалахами. Кількість електричних імпульсів за одиницю часу дорівнює кількості іонізуючих частинок. Вперше лічильник розробив у 1908 році Г.Гейгер і Е.Резерфорд для реєстрації альфа-випромінювання. У 1928 році Г.Гейгер і його аспірант В.Мюллер у результаті подальшого вдосконалення зробили можливим реєстрацію лічильником інших типів частинок і випромінювання. У 1947 році С.Г. Лібсон розробив модель лічильника на основі галогенів. Це дало можливість підвищити довговічність приладу шляхом зниження напруги з 1000-1500 В до 400-600 В. [3,4].

*Пропорційний лічильник* утворює сигнал, амплітуда якого пропорційна енергії, виділеної у його об'ємі частинкою, яка реєструється. Конструкція детектора (рис. 2.3) передбачає наявність центрального електрода, до якого прямують електрони, що вивільняються завдяки іонізації. Напруженість поля  $E$ , що утворюється на відстані  $r$  від електрода, дорівнює:

$$E = U / [r \ln d_1 / d_2] \quad (4.6)$$

де  $U$  – прикладена напруга (В),

$d_1$  – діаметр лічильника,

$d_2$  – діаметр центрального електрода.

Поблизу електрода напруженість електричного поля настільки велика, що первинні електрони набувають енергії, достатньої для вторинної іонізації. Внаслідок цього на центральний електрод надходить лавина електронів. Відношення повної кількості зібраних на електроді електронів до їх первинної кількості називають коефіцієнтом газового підсилення; величина його може сягати 10<sup>2</sup>-10<sup>4</sup>.



Рис. 4.3 – Схема пропорційного лічильника

*Напівпровідниковий детектор* є аналогом іонізаційної камери з твердотілим чутливим об'ємом. Густина речовини чутливого об'єму в напівпровіднику приблизно на три порядки вище густини газу в іонізаційній камері, а енергія утворення пари носіїв на порядок нижче, що дає збільшення поглинутої енергії в одиниці об'єму напівпровідника в 10<sup>4</sup> раз. Висока чутливість і невеликі розміри – основна перевага напівпровідникових детекторів. В основі їх лежить іонізація атомів твердого тіла, за якої утворюються вільні електрони в зоні провідності і дірки у валентній зоні. Частинка, що проникає в кристал, генерує в ньому додаткові електронно-діркові пари. Носії заряду (електрони і дірки) під впливом прикладеного електричного поля переміщуються до електродів, і в електричному ланцюзі утворюється електричний імпульс, який підсилюється і реєструється. У напівпровідникових лічильниках використовують германій, кремній, CdTe, HgI.

*Трекові детектори* також базуються на іонізації атомів або молекул. Тут утворені в результаті іонізації іони, фіксують за допомогою конденсації перенасиченої пари у камері Вільсона або пароутворення перегрітої рідини у бульбашко вий камері. В іскровій камері фіксують утворення розрядів у газах.

#### *Сцинтиляційний метод дозиметрії*

Метод базується на використанні сцинтиляторів – речовин, що поглинаючи альфа-, бета-частинки або гамма-кванти, випромінюють світло. Відбувається збудження і іонізація атомів і молекул речовини під час проходження через неї заряджених частинок. Через короткий час вони повертаються на свої попередні енергетичні рівні. Це супроводжується виділенням світлової енергії. Спектр виділеного світла залежить від структури енергетичних рівнів атомів і молекул речовини. Сцинтилятори класифікуються за рядом ознак. Розрізняють органічні і неорганічні сцинтилятори.

*Сцинтиляційний лічильник* – детектор, який складається із речовини, що люмінесціює під впливом заряджених частинок, та фотоелектронного помножувача (рис. 4.4). Заряджена частинка проходить крізь речовину, що супроводжується іонізацією атомів і молекул та їх збудженням. Повернення атомів і молекул із збудженого стану в основний, як зазначено вище, супроводжується випромінюванням кванта видимого або ультрафіолетового діапазону. Кожний такий світловий спалах (сцинтиляція), реєструється за допомогою фотоелектронного помножувача, електричні імпульси з виходу якого подаються на систему реєстрації. Типовими матеріалами для сцинтиляційних лічильників є кристали ZnS(Ag), NaI(Tl), CsI(Tl) (у дужках указано активатор, що викликає сцинтиляції в кристалі), кадмієві та кальцієві солі вольфрамової кислоти, галіди літію, а також органічні сцинтилятори – антрацен  $C_{14}H_{10}$ , стильбен  $C_{14}H_{12}$ , розчини толуену, ксілену, фенілциклогексану.

Сцинтиляційний лічильник вперше був представлений у 1903 році. В.Крукс на покритому ZnS екрані спостерігав явище сцинтиляції під



мікроскопом. У сучасних приладах світло за допомогою світловодів передається на фотопомножувачі, де за рахунок їх кількості отримують підсилення сигналу в мільярди разів.

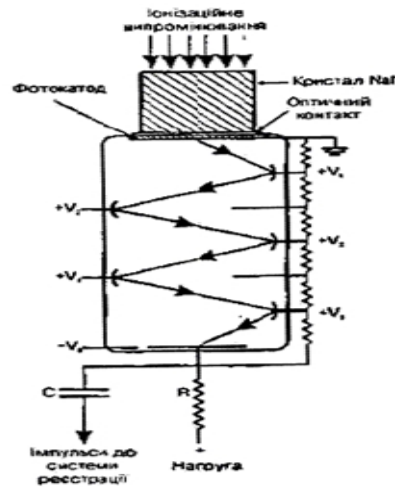


Рис. 4.4 Схема сцинтиляційного лічильника

### *Люмінесцентні методи дозиметрії*

У радіометрії до люмінесцентних відносять лише методи радіофотолюмінесценції і радіотермолюмінесценції.

Методи базуються на використанні люмінофорів (сцинтиляторів) – речовин, що світяться у разі збудження. Утворені в люмінофорі під дією іонізуючого випромінювання носії заряду (електрони) локалізуються в центрах захоплення, в результаті чого відбувається накопичення поглинутої енергії, яка потім може бути звільнена за умов додаткового збудження. Додаткове збудження здійснюють шляхом освітлення люмінофору ультрафіолетовим випромінюванням певної довжини хвилі або нагрівання. Оптичні ефекти, які спостерігають в результаті випромінювання світла, використовують у якості міри поглинання енергії.

Складаються термолюмінесцентні детектори з камери, зв'язаної з системою нагрівання, фотоелектронним помножувачем, підсилювачем та термо-парою для вимірювання температури. Широке розповсюдження одержали термолюмінесцентні дозиметри на основі алюмофосфатного скла (метод ІКС).

### Фотографічний метод дозиметрії

Вплив іонізуючого випромінювання на фотоемульсію викликає ефект, подібний до впливу видимого світла. Фотографічний метод отримав широке розповсюдження для індивідуального дозиметричного фотоконтроля (ІФК) в полях фотонного,  $\beta$ -випромінювань, теплових і швидких нейтронів. У методі застосовують плівки, де шар емульсії (бромисте срібло на желатиновій основі) має в десятки разів більшу товщину, ніж у звичайних фотоплівках. Це значно підвищує ефективність взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною. Механізм взаємодії полягає в поглинанні іонізуючого випромінювання речовиною шляхом фотоелектричного процесу, завдяки якому енергія випромінювання передається електрону. Цей електрон іонізації утворює інші вільні електрони, що взаємодіють з позитивними іонами срібла і змінюють їх розподіл на плівці. Рівень потемніння плівки оцінюється за допомогою денситометра за виразом:

$$D = \lg(I_0 / I) \quad (4.7)$$

де  $D$  – густина срібла на плівці,  $I_0$  – інтенсивність випромінювання, що падає на плівку,  $I$  – інтенсивність випромінювання, що пройшло через плівку. Величина  $D=2$  відповідає затемненій плівці, через плівку з  $D = 1$  можна читати текст.

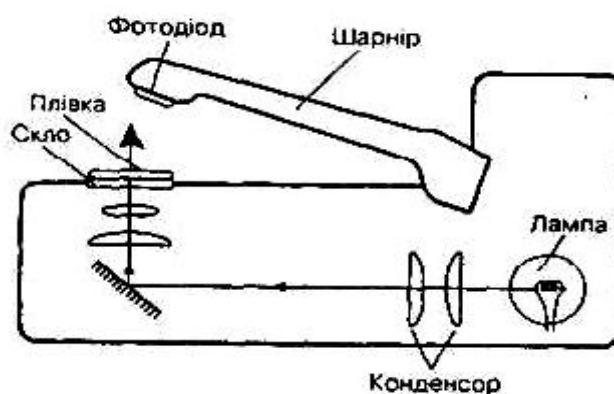


Рис.4.5 - Оцінка потемніння плівки за допомогою денситометра

За конструктивними властивостями приладів і характером проведення контролю радіаційної обстановки у польових чи стаціонарних умовах лабораторій прилади поділяють на чотири групи:

- радіометри і дозиметри для індивідуального контролю;
- переносні прилади для групового дозиметричного контролю;
- переносні прилади для групового дозиметрично-радіаційного технологічного контролю;
- стаціонарні прилади і багатоканальні установки для безперервного дистанційного дозиметричного і радіаційного контролю.

Для експресних вимірювань питомої активності цезію-137 використовують двоканальні радіометри РУБ-01П6, РКГ-05, РУГ-91, спектрометр „Прогрес-спектр”. Широко відомі наступні прилади радіаційного контролю: альфа-, бета-, гама-, нейтронний радіометр-дозиметр ДКС-96, портативні спектрометри "Прогрес-Спектр"; пристрої малого фону УМФ-2000 тощо [5;19; 20].

## 5 РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ПРОДУКТІВ В ГРАНУЛЬОВАНОМУ СТАНІ

### 5.1 Споживчі матеріали у гранульованих фазах

Використання матеріалів, які знаходяться у гранульованих (мікро-механічних) станах є притаманним багатьом галузям виробництва та технологій. Наприклад, саме гранульовані матеріали складають переважний відсоток продукції, яка виробляється, споживається, чи використовується в окремих стадіях будівельної, легкої та харчової, хіміко-фармацевтичної, металургійної та деяких інших видах промисловості. Різноманітність та різноплановість застосувань таких матеріалів потребує вміння надійно визначити їхні макроскопічні властивості із урахуванням зовнішніх впливів, які виникають при маніпулюванні ними. Суттєву роль відіграє також зв'язок між макроскопічними властивостями гранульованого матеріалу (наприклад, впорядкуванням у вигляді кристалізації) та макроскопічними його параметрами, які суто визначають його здатність підтримувати штатні режими та забезпечувати необхідне маніпулювання ними (скажімо, затримувати, чи пропускати випромінювання різної природи, утримувати навантаження завдяки арочному ефекту, чи уникати агрегації при перемішуванні). Один із прикладів, в якому суттєво відбувається необхідність існування алгоритмів спрямованого маніпулювання макроскопічними параметрами за допомогою зовнішнього впливу є конструкції в яких використовуються захисні модулі, що містять гранульовану речовину. Такі «гранульовані екрани» потенційно можуть достатньо надійно виконувати свої штатні функції і при цьому володіють очевидним, у порівнянні із монолітними системами перевагами. Так, зокрема, вони:

- a) уникають радіаційного охрупчування;
- b) прості в маніпулюванні;

- c) припускають ущільнення та розпушення;
- d) легкі у заміні та транспортуванні;
- e) економічні (у сенсі отримання та експлуатації).

ж)але складні з очки зору аналізу вмісту інкорпорованих домішок(у тому числі радіаційно небезпечних)

Взагалі, задачі про суміші займають помітне місце в інженерних моделях прогнозування стану навколишнього середовища. Так, наприклад робота [36], присвячена прогнозуванню переносу осадів та морфологічної динаміки річок (що є складним завданням у річках із гравійним руслом, де осадові суміші мають різний розмір частинок). Автори показують що проблема бінарної упаковки має важливе значення для коректного розрахунку пористості гравійного шару. На практиці, вона може поєднуватися з розрахунками динамічних моделей транспортування осадів для прогнозування морфологічної динаміки в річках із гравійним руслом.

Теоретичні моделі гранульованих матеріалів, які дозволяли б описувати та прогнозувати їхні властивості розроблені досить ретельно для випадків конкретних умов їх створення та використання, зокрема розмірності, щільності впакування, характеру зовнішнього впливу. Нажаль, досі не існує універсальної теорії гранульованих матеріалів, яка враховує всі властивості що спостерігаються. [36] Але в багатьох конкретних випадках вдається запропонувати більш менш адекватні моделі опису їх спостерігаючих властивостей [37,38,39].

Матеріали, які застосовуються, наприклад, в атомних реакторах, відчувають вплив інтенсивних потоків іонізуючого випромінювання, головним чином, швидких нейтронів, що є продуктами поділу ядерного палива. Нейтрони, взаємодіючи з речовиною, передають свою енергію атомам за допомогою пружних зіткнень, а також служать джерелом утворення швидких заряджених частинок (електронів, протонів,  $\alpha$ -часток). Кінцевий підсумок цих процесів зводиться до руйнування впорядкованого розташування атомів у кристалічній ґратці металу й утворенню сторонніх

атомів, наприклад, гелію й водню. Сукупність внесених опроміненням змін структури матеріалу прийнято називати радіаційним ушкодженням. [40]

Характерним явищем, яке може супроводжувати радіаційне ушкодження матеріалу є зсув атомів з вузлів кристалічної решітки й утворення точкових дефектів - вакансій і міжвузельних атомів. Типовою рисою опромінення швидкими нейтронами є виникнення в опромінюваному матеріалі, каскадів атомних зіткнень, що призводять до утворення мікроскопічних областей структурного ушкодження з високою концентрацією точкових дефектів. Під впливом температури початковий стан ушкодження змінюється в результаті термічно активованої міграції точкових дефектів, що супроводжується їхньою взаємною рекомбінацією, анігіляцією на стоках, утворенням або дисоціацією скупчень.

В радіаційній галузі відомо, що крихке руйнування металів на практиці має місце за умов досягнення критерію міцності 500-600 МПа. З'ясовано [41-42], що опромінений метал містить концентратори напружень у вигляді крихких тріщин причиною яких може виступати також і пластична деформація.

Зрозуміло, що такого роду процеси протікають за абсолютно іншими сценаріями у гранульованій речовині, будь-якого ступеню впакування. Така речовина, так би мовити, вже є повністю охрупченою. Тому використання мікромеханічних систем в якості, наприклад, захисних модулів, які знаходяться у безпосередньому контакті із радіаційним опроміненням виглядає привабливою інноваційною ідеєю.[42,43,44] Безумовно, що найбільш ефективним буде такий матеріал в якому вдається відносно простим способом досягнути і максимального ущільнення (компактизації). Водночас по відношенню до радіаційного контролю гранульованих матеріалів, їх екзотична поліморфна топологія ускладнює задачу моніторингу та знижує якість аналізу. В цьому напрямку варто запропонувати більш складний протокол радіаційних досліджень сипучих продуктів на вміст радіоактивних домішок та компонентів.[45,46]

## 5.2 Визначення змісту радіонуклідів цезію і калію в різних пробах ячменя методом гамма-радіометрії

Радіо-дозиметричний аналіз гранульованих матеріалів містить принципову складність визначення наявності радіаційно активних домішок в його об'ємних частинах. Традиційні методи радіаційного аналізу таких матеріалів, як сипучі системи полягають у дослідженні, як поверхневого радіаційного фону, так і аналізу наявності радіоактивних компонентів у об'ємних пробах. З урахуванням особистостей поведінки гранульованих матеріалів, методика визначення алгоритму відбору проб вимагає врахування можливих помилок у визначенні наявності радіаційних домішок внаслідок природної анізотропії сипучого матеріалу та його специфічної неоднорідності.

Головною метою є освоєння методики гамма-радіометричного визначення з використанням РУГ-91 об'ємної і питомої активності продуктів харчування, води, сировини та інших матеріалів, зумовленої вмістом в них цезію-134, цезію-137 і калію-40.

Зміст радіонуклідів в продуктах харчування, воді, будівельних матеріалах, ґрунті і інших джерелах випромінювання оцінюється по їх активності. Активність ( $A_n$ ) – міра інтенсивності розпаду та радіоактивних речовин. Це кількість розпадів ядер атомів радіоактивної речовини в одиницю часу (в секунду), тобто кількість розпаду ядер:  $A_n = dN / dt$ , де  $dN$  – очікуване число спонтанних ядерних перетворень, що відбуваються за проміжок часу  $dt$ . Для обчислення маси по відомій активності радіонукліда використовується залежність

$$m = \frac{A_n A T_{1/2}}{\ln 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \quad (5.1)$$

де  $A_n$  – активність радіонукліда, Бк;  $m$  – маса радіонукліда, г;

$A$  – масове число радіонукліда;  
 $T_{1/2}$  – період напіврозпаду, с.

При радіометричному контролі продуктів харчування, сировини виникає необхідність визначення часу, після закінчення якого питома активність знижується до допустимого рівня. Час зниження питомої активності до допустимого рівня. Час зниження питомої активності до допустимого рівня визначається залежністю:

$$t = \frac{\ln \frac{A_t}{A_0} T_{1/2}}{0,693} \quad (5.2)$$

де  $A_0$  – початкова активність проби, Бк;

$A_t$  – активність, відповідна допустимому рівню, Бк;

$T_{1/2}$  – період напіврозпад радіонукліда;

$t$  – час зниження активності до допустимого рівня.

Для характеристики забрудненості продуктів харчування, води, будівельних матеріалів, ґрунтів і т. д. використовуються: питома активність  $A_m$ , рівна активності одиниці маси джерела (Бк/кг або Кі/кг); об'ємна активність  $A_v$ , що характеризує активність одиниці об'єму джерела (Бк/м<sup>3</sup> або Кі/м<sup>3</sup>), і поверхнево активність  $A_s$ , яка визначає активність одиниці поверхні джерела (Бк/м<sup>2</sup> або Кі/км<sup>2</sup>).

Якщо щільність проби відрізняється від 1 кг/л, питому активність проби можна знайти за формулою:

$$A_m = \frac{A_v}{\rho} \quad (5.3)$$

Де:  $\rho$  – щільність проби,  $\rho = m/v$

Радіометрія тісно пов'язана з дозиметрією, так як радіометрія характеризує самі джерела випромінювання, а дозиметрія кількісно оцінює їх взаємодія з речовиною. Якщо взяти середні норми харчування за рік (молоко - 332 кг, хліб і крупи - 133 кг, овочі листові - 37 кг, коренеплоди і



фрукти - 118 кг, м'ясо - 63 кг), то доза  $E$  еф внутрішнього поступлення по цезію<sup>37</sup> становить для місцевості з поверхневим забрудненням:  $A_s = 185$  кБк/ $m^2$  (5 Кі/ $км^2$ ), або 3,35 мЗв/рік; за забрудненням  $A_s = 1480$  кБк/ $m^2$  (40 Кі/ $км^2$ ) або 26,5 мЗв/рік, що значно більше норми перевищення ефективної дози над природним радіаційним фоном –1 мЗв/рік. Радіоактивні речовини можуть знаходитися поза організмом і опромінювати його зовні; в цьому випадку говорять про зовнішньому випромінюванні. Або ж вони можуть виявитися в повітрі, яким дихає чоло століття, в їжі або у воді і потрапити всередину організму; такий спосіб опромінення називають *внутрішнім*.

В даний час і в перспективі на забруднених основну радіаційну небезпеку для населення становлять цезій-137, стронцій-90 і плутонієві радіонукліди, що входять до складу «гарячих» частинок ядерного палива, викинутих вибухом. В основному «гарячі» частинки випали недалеко від АЕС. Велика кількість стронцію-90 зосередивши в 30-кілометровій зоні і навколо неї. Летючий цезій-137 віднесений на великі відстані.

Допустимі рівні вмісту радіонуклідів цезію і стронцію в харчових продуктах та питній воді розроблені з метою зниження дози внутрішнього опромінення населення.

Для вимірювання сумарної активності гамма- випромінюючих ізотопів цезій-134, а також активності природного ізотопу калій-40, що містяться в продуктах харчування та об'єктах навколишнього середовища, призначений гамма-радіометр РУГ-91 «АДАНИ».

Принцип дії гамма-радіометра заснований на підрахунку числа світлових імпульсів, що виникають під дією гамма- квантів в сцинтиляційних детекторі. Число зареєстрованим них в одиницю часу світлових імпульсів пов'язано з активністю досліджуваного зразка. Функціональна схема, яка пояснює принцип дії гамма-радіометра, наведена на малюнку

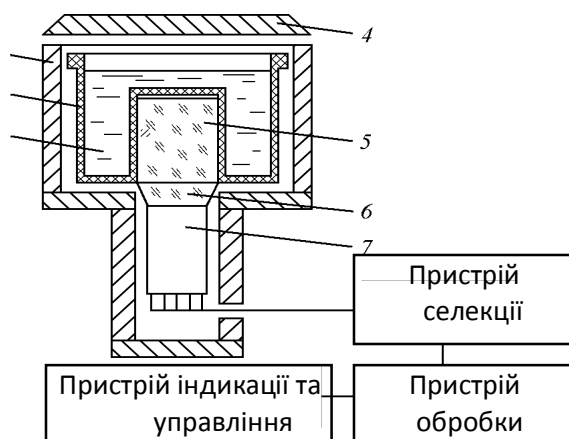


Рис.5.1 - Функціональна схема гамма-радіометра РУГ-91:

1 - проба; 2 - кювета; 3 – свинцевий захисний екран;

4 – захисна кришка; 5 - сцинтилятор - CsI (Tl);

6 - світловод; 7 – фотоелектронний помножувач

Досліджуваний зразок 1 (ячменя) розміщений в кюветі 2, в якості якої використовується посудина Марінеллі об'ємом 0,5л.

Кювету з пробою встановлюється всередину свинцевого захисного екрана 3, що зменшує вплив зовнішнього фонового випромінювання. Зверху екран закривається свинцевою захисною кришкою

4. Світлові спалахи, що виникають в сцинтилятор 5, через світловод 6 потрапляють на фотокатод фотоелектронного помножувача 7 і перетворюються в електричні імпульси, які після посилення надходять в пристрій селекції.

Пристрій селекції робить сортування імпульсів по їх амплітудам (пропорційно енергії гамма-квантів).

Пристрій обробки управляє роботою пристрою селекції і обчислює характеристики іонізуючого випромінювання. Пристрій індикації і управління задає режим роботи гамма-радіометра і відображає на табло результат вимірювання. [45,46].

За даними результатами розрахунків :

Таблиця 5.1 - Дані результатів вимірювань і обчислень

№	Об'ємна активність $A_v$ , кБк/л, і питома активність $A_m$ , кБк/кг	Проба(ячміння) Об'єм 1000 мл Маса 770 г Пит. Вага 1.4 кг/л	
		<b>Sr-90</b>	<b>Cs-137</b>
	$A_v$	150	80
	$A_m$	194,8	103,8
	Маса радіонукліду в пробі, г	$3,71 \cdot 10^{-8}$	$3,16 \cdot 10^{-8}$

### 5.3 Визначення активності радіонуклідів цезію і йоду в пробах методом гамма-радіометрії

Основними факторами, що зумовлюють небезпеку радіонуклідів для людини, є: вид і енергія випромінювання, період напіврозпаду, фізико-хімічні властивості, розподіл по органам і тканинам людини, швидкість виведення з організму.

Ступінь біологічного дії різних видів випромінювання залежить від проникаючої і іонізуючої здатності. Енергія випромінювання має прямий зв'язок з вражаючою дією радіонукліда: чим вона більше, тим сильніше ураження.

Найбільш небезпечними для людини є радіонукліди йода, стронцію, цезію. Природний йод представлений стабільним ізотопом йод-127 і 24 радіоактивними ізотопами. Ізотопи йоду становлять небезпеку в початковий період (перші 2-3 місяці) після радіаційної аварії. Йод попадає в організм з повітрям і їжею.

В даний час для протипроменевого захисту застосовуються *радіопротектори*, які вводяться в організм за 20-30 хв до опромінення.

Такий захист застосовується при короткочасному віз дії великих доз іонізуючого випромінювання здійснюватиме (від 1 Гр і вище), а також при

променевої терапії пухлин і не застосовується при хронічному опроміненні малими дозами.

З багатьох вивчених засобів найбільш ефективними і перспективними є радіопротектори, віднесені до двох класам хімічних сполук *амінотіолов* і *індолілалкіламіни*. Захисний ефект амінотіолов полягає в досягненні порогової концентрації радіопротектора в клітинах критичних органів (кровотворної системи і черевині) при загальному опроміненні або в клітинах інших захищаються органів і тканинах при локальному радіаційному впливі.

Наявні радіопротектори і їх поєднання знижують негативні ефекти опромінення в 1,5-2 рази. Радіонукліди, що надійшли всередину організму, накопичуються в окремих органах і тканинах, які тривалий час випромінюють. Тому попереднє застосування радіопротекторів, навіть тривалий час діють, неефективно. Хімічна профілактика переслідують в цьому випадку іншу мету - не допустити накопичення радіонукліда в критичних органах.

Найбільш ефективним методом захисту щитовидної залози від радіоактивних ізотопів йоду є прийом всередину лікарських препаратів стабільного йоду (йодна профілактика). Концентруючись в щитовидній залозі, радіоактивний йод опромінює її і викликає функціональні порушення, які проявляють через кілька років і виражаються збільшенням або зменшенням залози, освітою пухлин, які потребують хірургічного втручання.

Захисний ефект препарату значно знижується в разі його прийому більш ніж через 2 години після надходження в організм парадіоактивного йоду.

Однак навіть через 6 годин після разового поступання йоду-131 прийом препаратів стабільного йоду може знизити поглинену дозу на щитовидну залозу приблизно в два рази. Тому йодна профілактика повинна бути виконана як можна швидше. Одноразовий прийом встановленої дози стабільного йоду (калію йодиду) забезпечує захисний ефект в протягом 24 год.

Оскільки неможливо виключити ймовірність повторного викиду, для підтримки такого рівня захисту необхідні повторні прийоми препаратів стабільного йоду (калію йодиду) - 1 раз на добу протягом всього терміну, коли можливе надходження радіойоду, але не більше 10 діб для дорослих і не більше 2 діб для вагітних жінок і дітей до 3 років.

*Шляхом нанесення на шкіру.* Захисний ефект нанесення настоянки йоду на шкіру можна порівняти з її прийомом всередину в тих же дозах. Настоянка йоду наноситься тампоном у вигляді смуг на плече, гомілку. Цей спосіб захисту особливо прийнятний у дітей молодшого віку (до 5 років).

Для виключення опіків шкіри можливо використовувати НЕ 5% -ю, а 2,5% -ю настоянку йоду.

Особливістю радіаційного впливу цезію-137 є яскраво виражена нерівномірність його накопичення в різних життєво важливих органах людини. Дослідження показали, що в життєво важливих органах (нирки, печінку, серце) рівні накопичення цезію-137 в 10-100 разів більше, ніж в середньому у всьому тілі людини.

Наприклад, при середньому вмісті цезію-137 50 Бк/кг на все тіло, накопичення цезію-137 в нирках досягає 3000-4000 Бк/кг, серцевої м'язі-більш 1000 Бк/кг. При цьому проявляється токсична дія цезію-137 і загальне негативний вплив цезію-137, свинцю і нітраті:

$$A_t = A_0 e^{\frac{-0,693t}{T_{1/2}}} \quad (5.4)$$

де  $A_t$  – активність радіонукліда, Бк;

$m$  – маса радіонукліда, г;

$A$  – масове число радіонукліда;

$T_{1/2}$  – період напіврозпаду радіонукліда, с;

$A_0$  – активність джерела в початковий момент часу ( $t = 0$ );

$t$  – поточний час, якому відповідає активність речовини  $A_t$ .

У даній роботі для визначення активності радіонуклідів Використується радіометр РКГ-02А / 1 (див рис. 5.2).

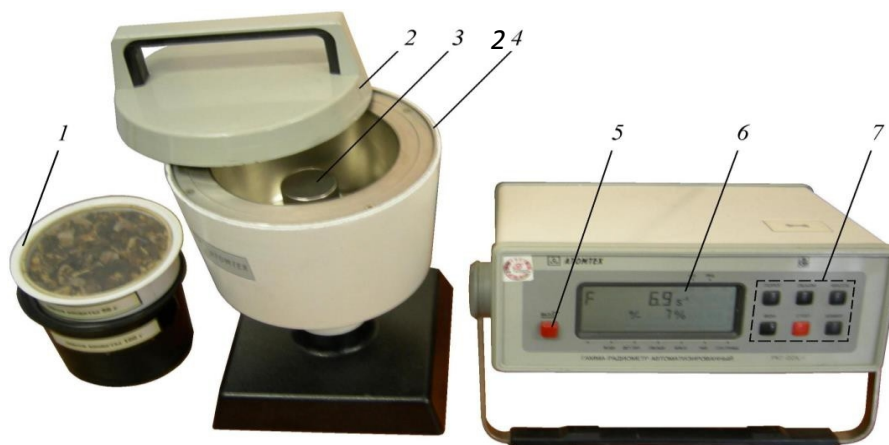


Рис 5.2 - Загальний вигляд гамма-радіометра автоматизованого РКГ-02А / 1: а блок детектування (БД):

1 – посудина Марінеллі з пробєю;

2 – знімна кришка БД; 3 – скінтілятор NaI (Тl); 4-свинцева захист;

Б – блок обробки інформації: 5 – кнопка включення приладу;

6 – екран індикатора; 7 – блок кнопок управління приладом

Принцип дії радіометра заснований на підрахунку числа імпульсів, що виникають в скінтіляційних детекторі при потраплянні в його чутливий об'єм гамма-квантів. Число зареєстрованих в одиницю часу імпульсів пропорційно активності досліджуваного зразка.

Конструкція приладу дозволяє встановлювати в нього посудину Марінеллі об'ємом 0,5л або плоский посудину об'ємом 0,2л.

Результати вимірювання активних проб

Таблиця 5.2 Основні показники визначення вмісту радіонуклідів

Найменування проби	Об'єм, л	Маса, кг	Питома вага, г/см <sup>3</sup>	Час вимірювання, с	Питома активність, Бк/кг	Об'ємна активність, Бк/л
ячмінь	1	0,77	1.4	50	3,2	1.73

#### 5.4 Визначення бета активності продуктів харчування методом радіометрії їх зольних залишків

При визначенні активності різних видів продукції рослинного і тваринного походження використовується радіометр їх зольних залишків при малих значеннях питомої активності досліджуваних проб. При озоленні досліджуваних проб нелеткі радіонукліди концентруються в малих обсягах, що спрощує їх радіометр і в значній мірі підвищує точність вимірювань відношення маси озоленої проби  $m_3$  до її маси  $m$  в сирому вигляді називають *коефіцієнтом озолення*  $q$ :

$$q = \frac{m_c}{m} \quad (5.5)$$

Питома активність досліджуваної сирої проби ячменя:

$$A_m = \frac{q}{m_c} A_c \quad (5.6)$$

де  $A_3$  – активність зольного залишку, Бк/пробу.

Активність золи визначається відносним (порівнювальним) та абсолютним методом.

*Відносний метод* використовується при дослідженнях активності зольних залишків, що мають масу 0,2-0,3 м. Цей метод заснований на порівнянні швидкості рахунку імпульсів, що реєструються від еталону (джерела з відомої активністю  $A$  пов) і озоленої проби  $v_c$ , активність якої невідома. [47]

Відношення швидкостей рахунку:

$$\frac{v_{yo}}{v_c} = \frac{A_{yo}}{A_c} \quad (5.7)$$

Для вимірів взяти еталон, який має такий же радіонуклідний склад, як і досліджувана проба.

Як еталон при визначенні бета-активності продукції рослинного і тваринного походження в залежності від радіонуклідного складу проб застосовують стандартні джерела випромінювання:  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ;  $^{137}\text{Cs}$ . При відсутності стандартних джерел для бета радіометрії м'яса, овочів, фруктів, крупи і т.д. в якості еталону використовують хлористий калій.

При вимірах швидкість рахунки імпульсів  $\nu$  і активність радіоактивного джерела з урахуванням самопоглинання випромінювання збігаються. Вимірювання лежать в основі *абсолютного методу* виділення активності проб. Цей метод використовується в бета-радіометрії РУБ-91.

В результаті Чорнобильської аварії в природне середовище були викинуті штучні довго живучі бета-випромінювачі  $^{238-241}\text{Pu}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та деякі інші, найбільшу біологічну небезпеку представляють радіонукліди цезію та стронцію. Ці елементи по хімічним властивостям близькі калію і кальцію.

*Цезій* - хімічний аналог калію. Активно всмоктується кореневою системою рослин і їх наземною частиною. В організм тварин цезій потрапляє з кормами, водою і повітрям. З забрудненими продуктами харчування, водою і повітрям радіоактивний цезій надходить в організм людини і поширюється по всьому тілу. Накопичується цезій в м'язовій тканини, печінки та легені.

*Стронцій* складається з чотирьох стабільних ізотопів з масовими числами  $A$  : 84, 86, 87 і 88. До продуктів ділення відносять радіоізотопи стронцію: довгоживучий  $^{90}\text{Sr}$  ( $T_{1/2} = 29,12$  років) – бета-випромінювач з енергією 546 кеВ і короткоживучий ( $T_{1/2} = 50,5$  сут) – бета-випромінювач з енергією 1463 кеВ.

Стронцій по своїм хімічним властивостям близький до кальцію. Через кореневу систему і наземну частину рослин він надходить в усі частини рослини. Шляхи надходження стронцію в організм тварини і людини такі ж, як у цезію. Особливістю дії є те, що він накопичується в кістковій тканині, залишається там тривалий час і викликає саркоми кісток. Стронцій-90 дуже



повільно виводиться з організму, для нього біологічний період напів виведення становить близько 50 років. [47]

При взаємодії бета частинок з речовиною відбувається іонізація збудження атомів, бета-частинки передають атомам свою кінетичну енергію і розсіюються.

Втрата бета-часткою енергії при кожному акті взаємодії з речовиною супроводжується зменшенням її швидкості до теплової швидкості руху речовини. Негативна бета-частинка при цьому або залишається у вигляді вільного електрона, або приєднується до нейтрального атому або позитивного іону, перетворюючи перший в негативний іон, а другий - вентральний атом.

Позитивна бета-частинка (позитрон) в кінці свого шляху, стикаючись з електроном, з'єднується з ним і анігілює (гине). В процесі анігіляції електрон і позитрон перестають існувати як речові частки і перетворюється в два гамма-кванта з енергією 0,511MeV кожен.

Багаторазові зміни напрямку бета-частинок при її взаємодії з речовиною призводять до того, що глибина проникнення (довжина пробігу) її в речовину виявляється значно менше істинної довжини шляху бета-частинки в речовині, а іонізація носить об'ємний характер.

Іонізуюча здатність бета-випромінювань залежить від енергії бета-частинок. Кожен радіоактивний джерело бета випромінювань випускає частки різної енергії - до 3MeV у природних і до 15MeV у штучних радіонуклідів. Маючи у багато разів меншу масу, ніж альфа-частинки, бета-частинки набуває значно більші швидкості. Так як заряд бета-частки в два рази менше, ніж альфа-частинки, взаємодія електричного поля бета-частинки з електронами атомів в два рази слабкіше, ніж альфа-частинки, і більш короткочасне. [47]

Середня величина питомої іонізації - *лінійна щільність іонізації* (ЛПІ) - в повітрі залежить від енергії бета-частинок і становить 100-300 пар іонів на 1 см шляху, а максимальний пробіг в повітрі досягає декількох метрів

(максимум 44 м), в біологічній тканині - сантиметри, в металах – десятки мікрометрів

Швидкість руху бета-частинок в повітрі близька до швидкості світла(250000-270 000км / с).

Внесок різних радіонуклідів в сумарну активність рослин і живих організмів на територіях, що зазнали радіо- активного забруднення, залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунту, щільності забруднення, виду рослин, структури харчування.

При радіометричному визначенні сумарної бета-активності висновок про вміст у досліджуваній пробі штучних радіо-нуклідів слід робити після зіставлення отриманих значень з її природною активністю, зумовленою наявністю калію-40.

Проби рослинних харчових продуктів вимивають, очищаючи нарізають навішеннями по 0,5-2,0 кг, поміщають в сушильну шафу і висушують при 100-120 С. Сухі проби в порцелянових чашках нагрівають на електроплитці або під інфрачервоною лампою до повного обуглювання. Пересипають в порцелянові тиглі і поміщають в муфельну піч для озолення при 400°С.

Для підготовки проб продуктів тваринного походження м'ясо відокремлюють від кісток і нарізають дрібними шматками. Сир в порцелянових чашках висушують під інфрачервоною лампою, обуглюють на електроплитці, потім переносять в порцелянові тиглі невеликими порціями і обзолюють при 400 С.

Проби прісної води об'ємом 10 – 20 л пропускають через іонообмінну колонку з іонообмінної смолою КУ-2-8 4С. Смолу витягують з колонки в фарфоровий тигель, сушать під дзеркальною лампою і прожарюють в муфельній печі при температурі 400 °С протягом 3-6 ч. Після охолодження зольний залишок аналізує на бета-радіометрі.

Для вимірювання активності в лабораторній роботі використовується автоматизований бета-радіометр питомої активності радіонуклідів РУБ-91 «АДАНИ» (надалі бета-радіометр), який призначений для вимірювання

питомої (об'ємної) активності радіонуклідів стронцію-90 в природних об'єктах і продукти харчування з відповідною підготовкою проб.

Бета-радіометр (рис.5.3) складається з блоку детекторів, в якому розташовані сцинтилятори С1 і С2 і фотоелектронні помножувачі (ФЕУ) Ф1 і Ф2, і блоку аналізаторів з кнопками управління приладом.

Сцинтилятори С1 і С2 спільно з ФЕУ Ф1 і Ф2 утворюють два детектора, діаметрально розташованих щодо досліджуваного зразка. Наявність двох сцинтиляційних детекторів забезпечує практично повний (4  $\pi$ ) кут реєстрації.



Рис.5.3 - Загальний вигляд бета-радіометра РУБ-91 «АДАНИ»:

1- досліджуваний зразок (проба); 2- предметний столик; 3-кнопка включення і виключення приладу; 4 – кнопка включення високовольтних джерел живлення ФЕУ; 5 - блок аналізаторів[47]

Принцип дії бета-радіометра заснований на аналізі амплітудного розподілу імпульсів, що виникають у сцинтиляційного датчику при попаданні в нього бета-частинок. Обчислення активності досліджуваного зразка проводиться на основі порівняння отриманого амплітудного розподілу з функціями форми, записаними в пам'яті бета-радіометра.

Бета-радіометр дозволяє проводити вимірювання в твердих і сипучих зразках, сухих продуктах харчування, а також пробах ґрунтів на фоні радіонуклідів техногенного походження: цезію-137, рутенію-106, церію-144 і природного радіонукліда калію-40. Відповідна підготовка проби (сушка,

озолення і т. Д.) Дозволяє вимірювати активності проб до 1,8 Бк/кг. Індикація калію-40 передбачена в тому випадку, якщо активність калію-40 в вимірюваній пробі становить НЕ менше 5 Бк/кг. Час встановлення робочого режиму - не більше 60 хв. Час вимірювання активності проби встановлюється в діапазоні від 100 до 10000 с. Режим роботи бета-радіометра задається за допомогою кнопок, розташованих на передній панелі блоку аналізаторів (рис.5.4).



Рис 5.4. Передня панель блоку аналізатора:

1 – цифрове табло, 2 – кнопка включення і виключення приладу; 3 - кнопка скасування помилкової команди; 4- кнопки виведення на цифрове табло активності проби; 5 – кнопка включення вимірювання фону; 6 блок кнопок завдання часу набору; 7 кнопки завдання характеристик проби

Блок 4 «РЕЖИМ ІНДИКАЦІЇ» включає:

кнопки « $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ » и « $^{40}\text{K}$ », які служать для виведення на цифрове табло 1 кількісного вмісту в пробі однакових радіонуклідів;

кнопку «ПОГРІШНІСТЬ», яка призначена для виводу на цифрове табло обчисленої похибки визначення змісту радіонуклідів в пробі.

Блок 7 «Щільність,  $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$ » містить кнопки для завдання об'ємних характеристик вимірюваної проби: «0 ... 0,7», «0,7 ... 1,2», «1,2 ... 1,7».

Виконання відповідної команди при натисканні будь-якої з кнопок підтверджується звуковим сигналом. При цьому загоряється відповідний цій кнопці світлодіод.

Світлодіоди «Бк/пр» і «кБк/пр», розташовані на цифровому табло, служать для індикації одиниці виміру обчислюється активності проби.

### **Порядок виконання роботи і обробка результатів**

1. Підключаємо мережеві шнури до живильної мережі 220 В, натискаємо кнопки «МЕРЕЖА» на блоці детекторів і блоці аналізатора, натискаємо кнопку «скидання» блоку аналізатора. Вихід бета-радіометра на робочий режим супроводжується звуковим сигналом і визначенням «0» в усіх розрядах табло.

2. Кювету з позначкою «ФОН» встановлюємо на столик блоку аналізатора, засовуємо столик до упору. Натисніть кнопку 4 на блоці детекторів і кнопку 5 «ФОН» на блоці аналізаторів. Проконтролюйте включення режиму по загорянню світло діода над кнопкою і звуковому сигналу. Натисніть кнопку «ЧАС ВИМІРЮВАННЯ · 10<sup>3</sup> С».

В процесі вимірювання фону на табло визначається зворотний відлік часу вимірювання. Після закінчення вимірів на табло висвічується значення фону в одиницях швидкості рахунку (число зареєстрованих імпульсів фону в секунду). Вимірне значення заноситься в пам'ять бета-радіометра і зберігається в ній до наступного вимірювання фону.

3. Встановіть кювету з пробою на висувний столик блоку аналізатора, засуньте столик до упору. Натисніть кнопку, відповідної щільності проби «0,7». Проконтролюйте, що над кнопкою «ФОН» НЕ горів світлодіод, в іншому випадку необхідно повторно натиснути кнопку «ФОН» для його виключення.

4. Натисніть одну з шести кнопок, відповідну необхідного часу вимірювання: «0,1», «0,5», «1», «2», «5», «10» (10<sup>3</sup> с) (рекомендований час 0,5 · 10<sup>3</sup> с). Над обраної кнопкою загоряється світлодіод і лунає звуковий сигнал. В процесі вимірювання активності проби на табло висвічується зворотний відлік часу вимірювання. Після закінчення вимірювання звучить сигнал і на табло висвічується величина активності для вибраного з- топа і бета-радіометр переходить в режим індикації. [46,47]

5. Якщо на табло не відображається активність радіонукліда, обробку результатів вимірювань повторіть як для зразка іншого типу. Для цього натисніть одну з кнопок «ЩІЛЬНІСТЬ, Г\*  $\text{См}^{-3}$ ». Після закінчення обробки і звукового сигналу на табло висвічується величина активності. Для індикації значення активності проби в бекерелях на пробу для іншого радіонукліда натисніть відповідну кнопку (« $^{40}\text{K}$ » або « $^{90}\text{Sr}$   $^{90}\text{Y}$ »).

6. Для індикації величини абсолютної похибки треба натиснути кнопку «ПОГРІШНІСТЬ». Якщо величина похибки перевищує граничну величину, то для підвищення точності збільште час вимірювання (див. вище). При цьому накопичені дані підсумовуються з колишнім значенням, збереженим в пам'яті радіометра. Вихід з режиму індикації похибки здійснюється повторним натисканням кнопки «ПОГРІШНІСТЬ».

7. Якщо обраний час ( $t_0$ ) вимірювання для даної проби недостатньо, то звучить зумер, а на екрані з'являється посилання, яке вказує на необхідність збільшення часу вимірювання. При натисканні відповідної кнопки часу ( $t_1$ ) розпочнеться реєстрація з зворотним відліком часу ( $t_1 - t_0$ ).

8. Якщо значення активності проби занадто велике, то на табло відображаються літери «ПП» і цифра, яка вказує номер каналу, в якому сталося переповнення. В цьому випадку натисніть кнопку «скидання» і повторіть вимірювання за меншу час.

9. При роботі з новою пробєю натисніть кнопку «скидання».

10. За закінчення роботи витягніть з блоку аналізатора кювету з пробєю, вимкніть блоки детектування і аналізатора з мережі.

Після обробки результатів вимірювань отриману активність проб порівнюємо з допустимими нормами.

Рівнями (ДУ) змісту радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  у харчових продуктах, можна зробити висновок про можливість її використання.[47]

## 5.5 Гранульовані матеріали у довкіллі

Сьогодні дослідження гранульованих матеріалів (ГМ) становлять дуже значну частину зусиль фізиків як теоретиків, так і експериментаторів [48,49]. Серед причин, що призвели до такого стану справ, зазвичай вказується прояв ГМ незвичайних для типових агрегатних станів речовини властивостей. Наприклад, такі явища як осипання насипів, флюїдизація сухих ГМ під дією зовнішніх полів, насичення тиску, ефекти "арки" і "бразильського горіха" (сплив важких домішок при віброобробці), сегрегація (поділ сухих сумішей), і деякі інші виявляються тільки в ГМ за спеціальних умов. Інша група причин стимулюють інтерес до вивчення ГМ, широко представлених як у навколишньому середовищі так і в промисловому виробництві (пудра, пісок, цемент, графіт, вугілля, зерно, сипучі порошки та суміші у харчовій, будівельній та хімічній промисловості, металургії, ґрунт та багато інші, це виняткова важливість розуміння їх фізичних властивостей підвищення ефективності сучасного промислового виробництва та можливість створення з їхньої основи принципово нових наукомістких технологій. За деякими оцінками, понад 60% всього світового виробництва має справу з ГМ різної дисперсності: від мікропудр із розмірами гранул порядку кількох мікронів до геологічних структур із розмірами окремих кам'яних монолітів у кілька метрів і більше. Нарешті, Всесвіт, з деякими поясненнями, також може бути віднесений до одного з прикладів розріджених гранульованих систем.

Абсолютна більшість унікальних властивостей гранульованої матерії спостерігалася досить давно. Досить, у зв'язку з цим, згадати спостереження Фарадеєм нелінійних хвиль на поверхні піщаного шару, поміщеного в полі віброприскорень, здійснене ним близько 160 років тому. Не можна не згадати також знання римськими будівельниками дивовижної міцності аркових конструкцій з каменю, а транспортувальниками сипучих та інших вантажів,

що мають дискретну природу, ефектів «утряси», спливання важких домішок та сегрегаційних ефектів у сухих сумішах при віброзбудженнях.

Незважаючи на наявність окремих (щодо нечисленних) досліджень, до сьогодні існувало дуже слабе розуміння тих фізичних законів, які лежать в основі ефектів і явищ, що спостерігаються в ГМ. В даний час не існує загально визнаного теоретичного підходу до опису фізичних властивостей ГМ. Тим не менш, відомий прогрес у їх вивченні досягнуто на шляху чисельного моделювання окремих властивостей на основі фізичних моделей, екстрапольованих із статистичної фізики, фізики твердого тіла та інших розділів сучасної фізики. [48]

Перед тим, як повідомити про дослідження, які робляться на шляху вивчення фізичних властивостей гранульованої матерії в нашій лабораторії, доречно коротко нагадати їх окремі зовнішні ознаки. Гранульовані системи є детермінованими розподілами великої кількості дискретних макроскопічних частинок, що взаємодіють лише за допомогою сил відштовхування. Таким чином, їх зовнішня форма повністю задається завданням граничних умов (наприклад, формою обсягу включення) і дією гравітаційних сил. Істотним є також те, що діючі між гранулами в точці контакту сили відштовхування є дисипативними за своєю природою (наприклад, навіть у стані спокою, діють сили герцевського статичного тертя). Матеріал таким чином є не рівноважною, нелінійною, дисипативною системою, динаміка якої, вимагає спеціального визначення і належить до актуальних і виключно складних завдань сучасної фізики.[49,50] Внаслідок своєї фізичної складності, гранульовані матеріали, незважаючи на зовнішню простоту (ну що, насправді може бути простіше піску, який ми звично відчуваємо ступаючи по пляжу, або ложки розчинної кави та цукру до неї), в цілому поведуться відмінно від газів, рідин і твердих тіл, хоча за деяких зовнішніх умов можуть виявляти відомі ознаки вище перелічених типових агрегатних станів.

Існують досить екзотичні явища, наприклад - "кипіння" гранульованого матеріалу, металевих сфер, які розташовані на горизонтальній підкладці, що



вібрує по вертикалі. Для того, щоб підтримувати такий стан, доводиться постійно підводити в систему енергію від зовнішнього джерела, наприклад, шляхом струсу, що здійснюється шляхом подачі сигналу низької звукової частоти на підкладку.

Необхідно пам'ятати, що будь-яка поведінка гранульованого матеріалу зовні схожа на поведінку рідини – це динамічне явище. Воно існує лише вище деякого граничного рівня інтенсивності надходження енергії до системи. Внаслідок не пружності зіткнень між гранулами ГМ практично відразу переходить у стан спокою після того, як припиняється надходження енергії ззовні. Наприклад, окрема частка, що впала на підкладку, підскакує по ній протягом деякого часу, коли такі ж гранули насипані в мішок, впавши разом з ним на підкладку майже відразу зупиняються. Наведений приклад, контрастної відмінності колективної поведінки великої кількості гранул від індивідуального (однієї гранули), демонструє роль непружних зіткнень між гранулами (дисипативних ефектів).

Прогнозування властивостей, що виявляються ГМ за різних зовнішніх умов може ґрунтуватися на моделюванні їхньої поведінки за допомогою теоретичних моделей та чисельних розрахунків з подальшою екстраполяцією отриманих результатів на реальні системи. Складність полягає в тому, що досить непросто здійснити послідовний розрахунок взаємодії двох частинок, що мають складну форму і дисперсію. Спрощуючи це завдання, приймають, що частки має форму сфер і них діють сили тяжкості, статичного чи динамічного тертя, в'язкопружності, пластичної деформації. Для розрахунку сил, які пов'язані з розсіюванням енергії, необхідно знати параметри, що характеризують матеріал гранул (такі, наприклад, як модуль Юнга). Зазначимо також, що більш менш реалістичне моделювання гранульованих систем пов'язане з урахуванням багаторазових зіткнень великої кількості частинок, і таким чином, відповідний чисельний експеримент свідомо вимагає значних ресурсів машинного часу.

Внаслідок дисипації енергії в гранульованій системі за рахунок герцевського тертя, вона перебуває у нерівноважному стані навіть за умов відсутності макроскопічного руху. Тому стандартні методи механіки або статистичної фізики не можуть бути безпосередньо застосовані для опису процесів, що відбуваються в ГМ. Моделі засновані на уявленнях про суцільне середовище, також виглядають, у загальному випадку, неадекватними у застосуванні до ГМ, оскільки останні є суттєво дискретними. Зазначимо тут можливість застосування гідродинамічного підходу до опису флюїдизованої поведінки гранульованих систем, що спостерігається у спеціальних умовах [50,51]

Вищезазначені обставини перетворюють завдання загального теоретичного опису гранульованих матеріалів, одночасно на складну та інтригуючу проблему сучасної фізики, її суміжних та прикладних дисциплін. Взагалі, рішення цього завдання має сприяти розширенню концептуальної бази фізики. Однак відзначимо, що в даний час теорія динамічних дисипативних систем поки що далека від завершеної форми.

Вищевикладеного мабуть достатньо для того, щоб уявити собі, що контроль домішок, особливо небезпечних (скажімо радіаційно небезпечних) в таких матеріалах вимагає застосування спеціальних підходів, які б враховували складності їх структуризації. Одним з таких підходів, на нашу думку, може бути аналіз зразків у різних структурованих станах, які створюються шляхом динамічної обробки матеріалу і оцінюється стробоскопічно.

## 5.6. Радіаційний контроль харчових продуктів на виробництві

Прямий аналіз радіоактивного забруднення продуктів харчування є складним метрологічним завданням, забирає багато часу та можливий лише в лабораторних умовах з використанням спеціального обладнання. Для його реалізації необхідно приготувати щонайменше 1 кг твердих зразків продуктів або не менше 1 л рідких.

Для проведення аналізу на виробництві, був використаний Випробувальний центр продукції, який є структурним підрозділом державного підприємства «Херсонський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації». Сфера акредитації випробувального центру продукції дозволяє проводити випробування всіх видів харчової продукції (у т.ч. дитячого харчування), продовольчої сировини, кормів, напоїв, алкогольної продукції, води питної, товарів побутової хімії.

Випробувальний центр продукції оснащено сучасним устаткуванням, що дозволяє проводити визначення широкого спектру показників якості та безпеки. Дослідження здійснюються в різноманітних напрямках і дають можливість провести аналіз від початкової стадії до готового продукту, що потрапляє до споживача. Випробування проводяться відповідно до вимог національних і міжнародних стандартів.

Для виконання основного завдання визначення радіонуклідів в продуктах харчування був застосований прилад гамма спектрометр енергії – випромінювання сцинтиляційний СЕГ-001» АКП – С»-150, призначений для визначення якісного та кількісного складу гамма-випромінюючих радіонуклідів в об'єктах довкілля, сільськогосподарської продукції, продуктах харчування.



Рис 5.5 - Гамма спектрометр енергії - випромінювання сцинтиляційний



Рис.5.6 - Лабораторні досліді визначення радіонуклідів ячменю

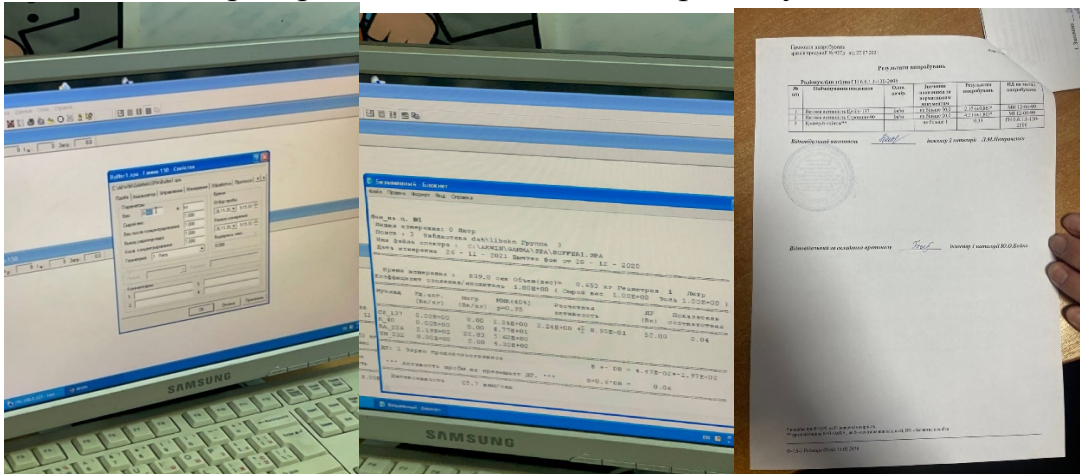


Рис 5.7 - Результати лабораторного визначення цезію в ячмені

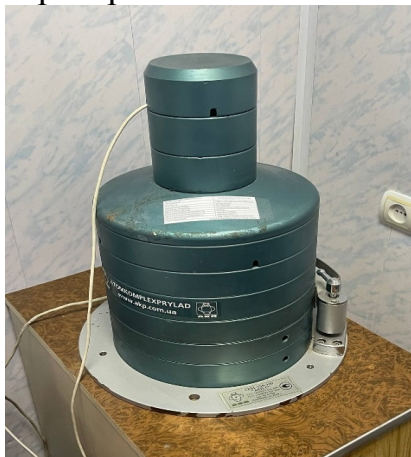


Рис.5.8 - Визначення стронцію в ячмені

Таблиця 5.3 Визначення радіонуклідів лабораторним методом

Радіонуклід	Питома активність, Бк/кг	Розширена невизначенність (2), Бк/кг	Допустимий рівень Н, Бк/кг	Відношення
<sup>90</sup> Sr	0,054	0,01	20-50	
<sup>137</sup> Cs	0,004	0,11	50	

## ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовані основні існуючі методи визначення вмісту радіонуклідів в продуктах харчування, які знаходяться у різних агрегатних станах (і, зокрема, у гранульованому стані). Порівняльний аналіз результатів радіо дозиметричного контролю промислової та харчової продукції який здійснюється альтернативними методами показав наявність помітних розбіжностей при використанні різних методів і приборів до радіаційного аналізу систем, що перебувають у різних агрегатних станах. Встановлено, що найінформативнішими методами є такі, що враховують структурні особливості фазових станів. Зокрема, у випадку систем, які знаходяться у гранульованих (сипучих) станах, такою особливістю, є необхідність відбору об'ємних проб у різних динамічних станах, які отримуються шляхом збурення системи, що досліджується (перемішування, струс). В роботі запропонована методика і алгоритм здійснення такого динамічного аналізу шляхом стробоскопічних спостережень. Перевірка вище визначених передбачень була здійснена практично в умовах лабораторії радіодозиметричного контролю на прикладі гранульованого харчового продукту зернового ячменю.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Василенко Г., Дорофєєва О., Голуб Б., Миронюк Г. Посібник для малих та середніх підприємства впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на основі концепції НАССР/ (Міжнародний інститут безпечності та якості харчових продуктів, м. Київ),167с
2. Гудков І.М., Кашпаров В.О., Паренюк О.Ю. Радіоекологічний моніторинг : навчальний посібник. Київ, 2019.188 с.
3. Синчук М. В Содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, как критерий экологической безопасности в зоне наблюдения Запорожской АЭС) Энергодар, 2018, 354с.
4. Електронний ресурс <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
- 5.Захист продуктів харчування, фуражу, води від зараження (Методичні рекомендації для начальників ЦЗ (ЦО) сільськогосподарських підприємств), Луцьк, 2013р.
5. Електронний ресурс <https://buklib.net/books/32247/>
6. Електроннийресурс [tps://sinref.ru/000\\_uchebniki/04200produkti/000.htm](https://sinref.ru/000_uchebniki/04200produkti/000.htm))
8. Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почвы и растений. – М., 1983.
9. Алексахин Р.М. Ядерная энергетика и биосфера. – М., 1982.
10. Василенко И.Я., Москалёв Ю.Н., Истомина А.Г. – Атомная энергия, 1979, т. 46, № 1, с. 40-44.
11. Василенко И.Я., Бугрышев П.Ф. и др. – Атомная энергия, 1980, т. 49, № 5, с. 299-303.
12. Василенко И.Я. – Журн.гиг.эпидемиол. (Прага), 1983, т. 27, № 1, с. 112-120.
13. Василенко И.Я., Москалёв Ю.Н. – Атомная энергия, 1982, т. 52, № 3, с. 155-158.
14. Герасимов О.І., Кальян А.М. Елементи фізики довкілля: Радіоекологія : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2003. 134 с.

15. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека. /Под ред. А.Н.Марей. – М., 1980.
16. Доклад НКДАР. Ионизирующее излучение. Источник и биологические эффекты. Доклад за 1982 г. ООН, Нью-Йорк, 1982, т. 1.
17. Итоги науки и техники. Радиационная биология. т. 4. Проблемы радиоэкологии/ Под ред. Р.М.Алексахина. – М., 1983.
18. Марей А.Н. и др. – Гигиена и санитария, 1970, № 1, с.61.
19. Марей А.Н., Зыкова А.С., Сауров М.М. Радиационная коммунальная гигиена. – М., 1984.
20. Моисеев А.А., Рамзаев П.В. Цезий-137 в биосфере. – М., 1971.
21. Павлоцкая Ф.М. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. – М., 1974.
22. Радиационная защита. Рекомендации МКРЗ. Публикация 26. – М., 1978.
23. Радиоактивность и пища человека. / Под ред. Р.Рассела. Пер. с англ. – М., 1971.
24. Романов П.Г. Количественные характеристики зависимости между уровнями загрязнения внешней среды и концентрациями радиоизотопов в некоторых видах сельскохозяйственной продукции. – М., 1963.
25. Vucopus M.I. et al. The Radioactive Fallout in Soils, Plants, Foods, Man. – Amsterdam, 1965.
26. Prediction of the Maximum Dosage in Man from the Fallout of Nuclear Debris. – Livermore, 1968.
27. Герасимов О.І. Радіаційний контроль продуктів харчової промисловості : конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2019 р., 109 с.
28. Закон України Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/771> (дата звернення 08.06.2018 р.). – Назва з екрана
29. ДСТУ 7517:2014 Хліб із пшеничного борошна. Загальні технічні умови [Електронний ресурс].–Режим доступу :URL :

- [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=77546](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77546) (дата звернення 22.07.2018 р.). – Назва з екрана
30. ДН.6.6.1.1-130-2006. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді. Державні гігієнічні нормативи, затв. наказом МОЗ України від 03.05.2006 № 256, зареєст. Мінюст України 17.07.2006 р. за № 845/12719
  31. ДСТУ 7517:2014 Хліб із пшеничного борошна. Загальні технічні умови
  32. Державні санітарні норми та правила (ДСНП) Медичні вимоги до якості та безпечності харчових продуктів та продовольчої сировини ;
  33. Державні гігієнічні правила і норми (ДГПН) Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах;
  34. Державні санітарні правила і норми (ДСанПіН) 8.8.1.2.3.4-000-2001
  35. Бетенеков Н. Д. Радиоэкологический мониторинг: учеб. Пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 208 с.
  36. Uchida T., et.al. // *J. Hydraul. Eng.* 2020. Vol. 146. P. 04020071.
  37. Герасимов О.І., Худинцев М.М., Андріанова І.С., Співак А.Я. Гранульовані матеріали в технологіях утилізації радіаційно шкідливих речовин. // Проблеми та перспективи формування Стратегії поводження з небезпечними відходами в Україні: Збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (Київ, 22-23 листопада 2016р.); Центр екологічної освіти та інформації, Київ, С. 40-42.
  38. Gerasymov O., Spivak A., Andrianova I., Sidletska L., Kuryatnikov V., Kilian A. Micro-mechanical (granular) mixtures for environmental safety technologies // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 234. Article No. 00075.
  39. Gerasymov O.I., Aliotta F., Vasi C., Chernilevska I.A. Universal micro-particle dynamics in non-uniform electric fields (from liquid to granular jet). // Abstract book. International research and practice conference: Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2018), dedicated to the 100th



Anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine, 27-30 August 2018, Kyiv, Ukraine. P. 514.

40. Герасимов О.І., Сомов М.М. Статистичний опис надлишкових властивостей бікомпонентних систем // *Український фізичний журнал*. 2015. Т. 60. № 4. С. 326-330.
41. Герасимов О.І., Загородній А.Г., Сомов М.М. Щодо аналізу структури гранульованих матеріалів // *Український фізичний журнал*. 2013. Т. 58. № 1. С. 32-39.
42. Gerasymov O.I., Andrianova I.S., Spivak A.Y., Sidletska L.M., Kuryatnikov V.V., Kilian A.M. Tightening (Compaction) of Bi-Component Micromechanical (Granular) System [Ущільнення (компактизація) впакування у бі-компонентній мікромеханічній (гранульованій) суміші] // *Science and Innovation*. 2021. Vol.17, No. 4. P. 79-88. (Published 2021-08-09) <https://doi.org/10.15407/scine17.04.079>
43. Герасимов О.І., Андріанова І.С., Сідлецька Л.М., Співак А.Я., Курятников В.В., Кільян А.М. Технології радіаційного захисту з використанням гранульованих матеріалів // *Фізика аеродисперсних систем*. 2021. № 59. С. 194-200. <https://doi.org/10.18524/0367-1631.2021.59.227384> (Опубліковано 2021-11-08)
44. Gerasymov O.I., Kuryatnikov V.V., Spivak A.Y., Sidletska L.M., Kilian A.M. Dry granular mixtures for optimization of radioactive screening technologies // VIII-ий Міжнародний з'їзд екологів (Екологія/Ecology–2021): Збірник наукових праць. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна (22-24 вересня 2021). С.41-43. <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/9348/>
45. Герасимов О.І. Радіоекологія: іонізуюче випромінювання і навколишнє середовище : Конспект лекцій. Одеса: ТЕС, 2009. 40с.
46. Курятников В.В. Фізичні основи радіометрії та дозиметрії : Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2011. 56с.

47. Чернушевич Г.А., Перетрухин В.В. Радиационная безопасность. Лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов по профилю образования «Тех-ника и технологии» /– Минск : БГТУ, 2018. – 198 с.
48. Jaeger H.M., Nagel S.R., Behringer R.P. //Rev.Mod.Phys.-1996.-68.- P.1259.
49. Duran J. Sands, powders and grains.-New York: Springer-Verlag, 2000.
50. Герасимов О.І. Фізика гранульованих матеріалів. Одеса: ТЕС, 2015. 264с
51. Герасимов О.І., Співак А.Я. Окремі задачі фізики м'якої матерії. Одеса: Гельветика, 2020. 200с.