С. Мазур
Студент IV курсу ОР Бакалавр
спеціальність **G2** *«Технології захисту навколишнього середовища»*
науковий керівник: **В. В. Курятников**
канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри екології та охорони довкілля

ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОСТІ РАДІОНУКЛІДІВ У ВОДІ ТА В ПРОДУКТАХ ХАРЧУВАННЯ

Актуальність дослідження: Іонізуючі випромінювання при впливі на організм людини можуть викликати два види ефектів, які клінічною медициною відносяться до хвороб: детерміновані порогові ефекти (променева хвороба, променевий опік, катаракта) спостерігаються при дозах більше 1 Гр та стохастичні безпорогові ефекти (злоякісні пухлини, лейкози).

Штучні радіонукліди та продукти їхнього розпаду, які є канцерогенними отрутами у Cs та у Sr, підвищують радіаційний фон. Також вони включаються до біологічних циклів міграції і надходять з питною водою та продуктами харчування безпосередньо в організм тварин і людини, тим самим створюють множинність джерел зовнішнього та внутрішнього опромінення населення.

Мета роботи: Опанування методики визначення об'ємної та питомої активності гамма-випромінюючих радіонуклідів цезію-137 і калію-40 у воді, продуктах харчування та інших об'єктах навколишнього середовища з використанням гамма-радіометра.Вимірювання активності радіонуклідів у воді та харчових продуктах необхідне: для оцінки радіаційної безпеки, контролю за дотриманням нормативів, запобігання надходженню забруднених продуктів до споживача, моніторингу радіаційного забруднення після аварій.

Результати досліджень та їх аналіз: Основну частину опромінення населення становлять природні джерела радіації — приблизно 2,4 мЗв/рік (78%), тобто за 70 років життя накопичується доза 168 мЗв (70 × 2,4 мЗв/рік), і близько 0,5–1,5 мЗв/рік — від техногенних джерел.

До аварії на Чорнобильській АЕС рівень експозиційної дози (РЕД) в Білорусі залежно від району вимірювання становив від 0,02 до 0,12 мкЗв/год. Найнижче значення РЕД спостерігалося в районі Мозиря — 0,02 мкЗв/год, а в північних районах республіки — 0,12 мкЗв/год, де наявні глинисті осадові породи, як правило, збагачені ураном.

Під впливом іонізуючого випромінювання в організмі виникають процеси іонізації та збудження атомів і молекул у тканинах, що призводить до пошкодження клітинних структур з утворенням радикалів. На клітинному рівні іонізація як наслідок опромінення може призводити до пошкодження

клітин.

Головним критерієм зменшення дози внутрішнього опромінення є зниження надходження радіонуклідів із ґрунту до харчових ланцюгів та виробництво продукції з вмістом радіонуклідів у межах допустимих рівнів.

Продукти харчування сільськогосподарських та природних екосистем мають різний внесок у дозу внутрішнього опромінення населення. Перехід цезію-137 у харчові ланцюги в сільськогосподарських екосистемах зазвичай нижчий, ніж у природних.

Певні види грибів і дичини містять відносно високі кількості радіоактивного цезію порівняно з сільськогосподарською продукцією.

За хронічного споживання забруднених цезієм-137 продуктів харчування еквівалентна доза внутрішнього опромінення розраховується за формулою:

$$H_{внутр} = k \sum m_i \cdot A_{mi}, \quad (1)$$

де k– дозовий коефіцієнт для цезію, що дорівнює $1{,}3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк;

m_i– річне споживання i-го продукту харчування, кг;

A_{mi}– питома активність i-го продукту, Бк/кг.

Для запобігання несприятливому впливу іонізуючого випромінювання впроваджується гігієнічне нормування опромінення людини, що є важливим заходом у системі забезпечення радіаційної безпеки населення.

Рівень техногенного радіаційного впливу підлягає нормуванню. Нормування — це визначення кількісних показників радіаційного впливу, які характеризують безпечні рівні їхнього впливу на стан здоров’я і умови життя населення.

Гранично допустимі дози опромінення населення регламентує ГН № 213 від 28.12.2012. Цей гігієнічний норматив встановлює межі опромінення, надходження та вміст радіонуклідів в організмі осіб, чия робота пов'язана з джерелами іонізуючого випромінювання, а також для населення в цілому; допустимі концентрації радіонуклідів в атмосферному повітрі, у воді та продуктах харчування.

Вимірювання об'ємної та питомої активності гамма-випромінюючих радіонуклідів. Зовнішнє опромінення відбувається від джерел, розташованих поза організмом. Доза зовнішнього опромінення формується головним чином за рахунок впливу гамма-випромінювання.

Альфа- та бета-випромінювання не роблять суттєвого внеску у загальне зовнішнє опромінення живих організмів, оскільки переважно поглинаються повітрям і шкірою.

Дія радіонуклідів, що потрапили всередину організму, триває протягом усього часу, доки вони не будуть виведені з організму внаслідок обмінних процесів та радіоактивного розпаду. Основним дозоутворювальним елементом є цезій-137.

Доза внутрішнього опромінення залежить від характеру випромінювання (альфа-, бета-, або гамма-випромінювання), енергії випромінювання та ефективного періоду напіввиведення з організму ($T_{еф}$):

$$1/T_{еф} = 1/T_{½} + 1/T_{б}, \quad (2)$$

де $T_{½}$ період напіврозпаду радіонукліда;
$T_{б}$ — період біологічного напіввиведення з організму (табл. 2).

Таблиця 1 – Залежність періоду біологічного напіввиведення цезію-137 з організму людини від віку

Вік людини, років	10	20	30	40	50	60	70	80
$T_{б}$, діб	60	90	110	125	135	145	150	155

Організм людини, навіть при одноразовому надходженні радіонукліда, піддається тривалому впливу радіації (внутрішньому опроміненню). Поглинута доза випромінювання (D, Гр), створена в органі після одноразового надходження радіонуклідів, дорівнює:

$$D = E_{еф} \cdot A_m \cdot (1 - \exp(-0{,}693 \cdot t / T_{еф})) \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}, \quad (3)$$

де $E_{еф}$ — ефективна енергія випромінювання, МеВ;
A_m — питома активність радіонукліда, Бк/г; t — час, діб.

Таблиця 2 – Середні значення коефіцієнта технологічної (кулінарної) обробки

Технологічна операція	**$K_{т.о}$**
Відварювання м’яса, кип’ятіння 10 хв	0,4
Сепарація молока на вершки	0,1
Переробка молока на сир	0,1
Очищення митої картоплі від шкіри	0,5
Вимочування грибів у 2%-му розчині солі	0,2
Відварювання грибів у 2%-му розчині солі	0,2
Помел зерна пшениці на біле борошно	0,5
Помел зерна жита на біле борошно	0,4
Лущення зерна та зняття плівки	0,2

Для оцінки надходження радіонуклідів із ґрунту в рослини використовується коефіцієнт переходу $K_п$, який розраховують за формулою:

$$K_п = A_m / A_s, \quad (4)$$

де A_m — питома активність рослинної продукції, Бк/кг;
A_s — щільність забруднення ґрунту радіонуклідом, кБк/м².

Для зниження активності продуктів під час технологічної та кулінарної обробки використовують коефіцієнт технологічної (кулінарної) обробки, який

розраховують за формулою:

$$K_{т.о} = A_{m(після)} / A_{m(до)}, \quad (5)$$

де $A_{m(після)}$ – питома активність після обробки, Бк/кг;
$A_{m(до)}$ – до обробки, Бк/кг.

Апаратура для дозиметричних і радіометричних досліджень. Для якісного та кількісного аналізу складу випромінювання, а також радіонуклідного складу розроблено цілий сектор приладів. Залежно від способу застосування і методу реєстрації даних прилади можна класифікувати як: гамма-спектометри; бета-спектометри; альфа-спектометри; спектрометри вимірювання людини СВЛ; радіометри; дозиметри; радіометри радону.

Приклади декількох з них: Дозиметр-радіометр побутовий АНРИ-01 “Сосна” призначається для індивідуального користування населенням з метою контролю радіаційної обстановки на місцевості, в жилих і робочих приміщеннях.

Дозиметр «Прип'ять» призначений для індивідуального або колективного використання під час вимірювання: а) еквівалентної експозиційної дози гамма-випромінювання; б) густини потоку бета-випромінювання; в) чистоти земної поверхні, ґрунту, житла, продуктів харчування, одягу тощо; г) рівнів сумарного радіоактивного забруднення довкілля. Принцип дії радіометра базується на накопиченні та збереженні амплітудних спектрів імпульсів у блоці детектування БД. Амплітуда імпульсів, пропорційна енергії гамма-випромінювання, перетворюється в цифровий код, який зберігається в запам’ятовуючому пристрої БД. Інформація із запам’ятовуючого пристрою зчитується блоком обробки інформації і після обробки виводиться на рідкокристалічний індикатор.

Гамма-радіометр РКГ-АТ1320А призначений для вимірювання об’ємної та питомої активності гамма-випромінюючих радіонуклідів цезію-137 і калію-40 у воді, харчових продуктах, кормах, ґрунті, промисловій сировині та інших об’єктах навколишнього середовища. Діапазон вимірювання об’ємної (питомої) активності радіонуклідів цезію-137 і калію-40 відповідає даним, наведеним у табл. 3.

Відібрання та підготовка проб

Вода:

- Об’єм: 1–5 літрів (залежно від методу)
- Можна консервувати азотною кислотою (для збереження елементів)
- Фільтрування (якщо вода мутна)
- Випарювання до сухого залишку — для підвищення чутливості

Харчові продукти:

- Гомогенізація: перемелювання в однорідну масу

- Сушка в сушильній шафі до постійної маси
- У разі аналізу β- або α-випромінювачів — золація в муфельній печі (500–600°C)
- Хімічне вилучення цезію, стронцію або плутонію (наприклад, з допомогою селективних смол або осадження)

Таблиця 3 – Діапазон вимірювання об'ємної (питомої) активності Cs-137, K-40, Бк/кг

Ємність посудини	**Cs-137**	**K-40**
Посудина Марінеллі (1,0 л)	$3{,}7\text{-}1*10^5$	$50\text{-}2*10^4$
Плоска посудина (0,5 л)	$20\text{-}4*10^5$	$200\text{-}2*10^4$
Посудина Дента (1,0 л)	$50\text{-}1*10^6$	$500\text{-}2*10^4$
Ящик (10 л)	$20\text{-}1*10^5$	$100\text{-}2*10^4$

Висновки:

1. Контроль радіонуклідів у воді та продуктах харчування — критично важливий для гарантування безпеки населення, особливо у зонах, які зазнали радіаційного забруднення (наприклад, після аварії на ЧАЕС). Для цього застосовуються точні методи спектрометрії, а результати порівнюються з гігієнічними нормативами.

2. Визначення об'ємної та питомої активності гамма-випромінюючих радіонуклідів цезію-137 і калію-40 у воді, продуктах харчування та інших об'єктах навколишнього середовища з використанням гамма-радіометра запобігання надходженню забруднених продуктів до споживача, моніторингу радіаційного забруднення після аварій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. Одеса: ТЕС, 2016. 100 с.

2. Герасимов О.І. Технології захисту навколишнього середовища : підручник. Одеса: ТЕС, 2019. 268 с.

3. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища : навч. посібник. Одеса: ТЕС, 2018. 228с.

4. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) ДГН 6.6.1-6.5.001-98. Київ: МЗУ, 1998. 135с.

5. Герасимов О.І., Курятников В.В., Кудашкіна Л.С., Співак А.Я., Кільян А.М. Методи організації радіаційної безпеки : навч. посібник. Одеса: ОДЕКУ, 2022. 183 с. ISBN 978-966-186-213-4.

6.Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : підручник. Київ: Світ, 2003. 288 с.