

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 699.85:351.862

А.В. Писарев<sup>1</sup>, А.Ф. Лазутський<sup>2</sup>, С.А. Тузіков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національна академія Національної гвардії України, Харків

<sup>2</sup> Факультет військової підготовки НТУ «ХПІ», Харків

<sup>3</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОСОБЛИВОСТІ ДЕЗАКТИВАЦІЇ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ПРИ ЗАБРУДНЕННІ РАДІОАКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ ПРИ АВАРІЯХ НА РАДІАЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

*У статті розглянуто характер радіоактивного забруднення харчової сировини рослинного і тваринного походження, продуктів харчування та обґрунтовано особливості та способи дезактивації їх під час ліквідації наслідків аварій на радіаційно-небезпечних об'єктах.*

**Ключові слова:** радіоактивне забруднення, закон природного радіоактивного розпаду, активність радіонуклідів, дезактивація, коефіцієнт дезактивації.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В загальній проблемі забезпечення радіаційної безпеки суттєве місце відводиться питанням захисту продуктів харчування, води, фуражу, джерел води від можливого радіоактивного забруднення (РЗ). Забруднення продукції рослинництва і тваринництва може бути поверхневим і глибинним внаслідок прилипання та проникання радіоактивних частинок і структурним – під час всмоктування радіонуклідів (РН) через поверхню листя і надходження з ґрунту через кореневу систему [5–7]. Радіоактивне забруднення харчової сировини – тваринних та рослинних організмів – приводить до забруднення продовольства. Крім того самі продукти харчування можуть бути забрудненими радіоактивними речовинами (РР).

Це і визначає необхідність вирішення актуальної проблеми щодо ліквідації РЗ. За вмісту РР у сільськогосподарській продукції понад допустимі норми необхідно проводити дезактивацію [2; 4].

**Аналіз публікацій.** Опису особливостей РА забруднення присвячена значна кількість публікацій. Наприклад, у роботах [1; 5–8] розглянуто поверхневе, глибинне і структурне забруднення різноманітних поверхонь, їх характеристики і механізми утворення. Основним джерелом надходження радіонуклідів (РН) у раціон після ймовірної аварії на радіаційно-небезпечних об'єктах стане молоко, м'ясо й частково зелені овочеві культури (салат, петрушка, зелений лук тощо) так й решта продуктів. У працях [9–11] детально висвітлені способи і засоби дезактивації споруд, техніки і інших матеріальних цінностей, але про харчові продукти, сільськогосподарську продукцію написано недостатньо.

**Мета статті** – розглянути умови і особливості РА забруднення продовольства та обґрунтувати особливості і способи їх дезактивації.

### Виклад основного матеріалу

Особливості радіоактивного (РА) забруднення харчової сировини визначають особливості подальшої дезактивації. Очікувані середні значення питомої активності харчових продуктів у районі випадання РН <sup>137</sup>Cs (чисельник) <sup>90</sup>Sr (знаменник) у Бк/кг дорівнюють: зерна злаків – 5,44/5,92; листові овочі – 60,3/18,5; картопля – 1,85/4,07; столові коренеплоди 1,48/5,55; м'ясо яловичина – 11,1/1,48; свинина -3,7/0,15; молоко – 2,96/5,17 [6–7]. З наведених даних витікає, що за цих умов забруднення продуктів харчування нижче припустимих норм.

РА речовини, потрапляючи у рослини розподіляються у них. У яблуках РН <sup>90</sup>Sr по більшій частині знаходяться у шкуринці, а у м'якоті потрапляє менше половини [1]. Значна частина цього РН в цибулі переходить в лушпайки. Питома активність РН <sup>90</sup>Sr розподіляється у пшениці наступним чином: зерно – 0,81, висівки – 2,21, борошно – 0,16 Бк/кг, а у рисі: зерно і висівки – 0,18 Бк/кг, після молоття – 0,04 Бк/кг, зернопродукти, пшениця, рис і решта забруднюються головним чином із зовнішньої сторони, а у висівки переходе більша частина РН.

У яйцях РН <sup>90</sup>Sr зосереджуються головним чином у шкаралупі: питома активність складає 13,0 Бк/кг, у яєчній масі вона знижується до 0,06 Бк/кг.

Овочі і фрукти, що мають рівну поверхню (помідори, яблука, сливи тощо) забруднюються головним чином ззовні, а на випадок шорсткої поверхні складної конфігурації, наприклад капуста, персики, малина тощо – РА забруднення можуть просякати у глибину.

Якщо сипучі харчові маси знаходяться у ємності або навалом, то РА забруднення можуть просякати усередину цих мас, зокрема для зерна на 5–6 см борошна – 0,5–1,0, крупи – 1–2, солі – 0,5–1 і цукру до 1,2 см.

Для харчових продуктів, що підлягають дезактивації, у залежності від питомої активності передбачаються наступні заходи: повна заборона використання у їжу, на відгодування скотини та переробку; зміна технології зберігання, переробки і способів подальшого використання; вживання в їжу за певних умов.

Продовольство, як правило, зберігається в тарі, мішках, ящиках, полімерних упаковках. Тара здатна утримувати 80–100% РА забруднень, тобто слугує

своєрідним ізолювальним середовищем. Тому першочергово підлягає дезактивації тара – протирання щітками, пиловідсмоктуванням, струмом води, вологим тампоном та іншими способами. В усіх випадках, у тому числі у процесі дезактивації, треба запобігати можливості потрапляння РА забруднення у харчові продукти.

До дезактивації продовольства треба підходити дуже ретельно. Способи дезактивації продовольства слід розглядати в залежності від його стану – твердого, сипучого або рідкого – із урахуванням особливостей самого продукту (рис. 1).

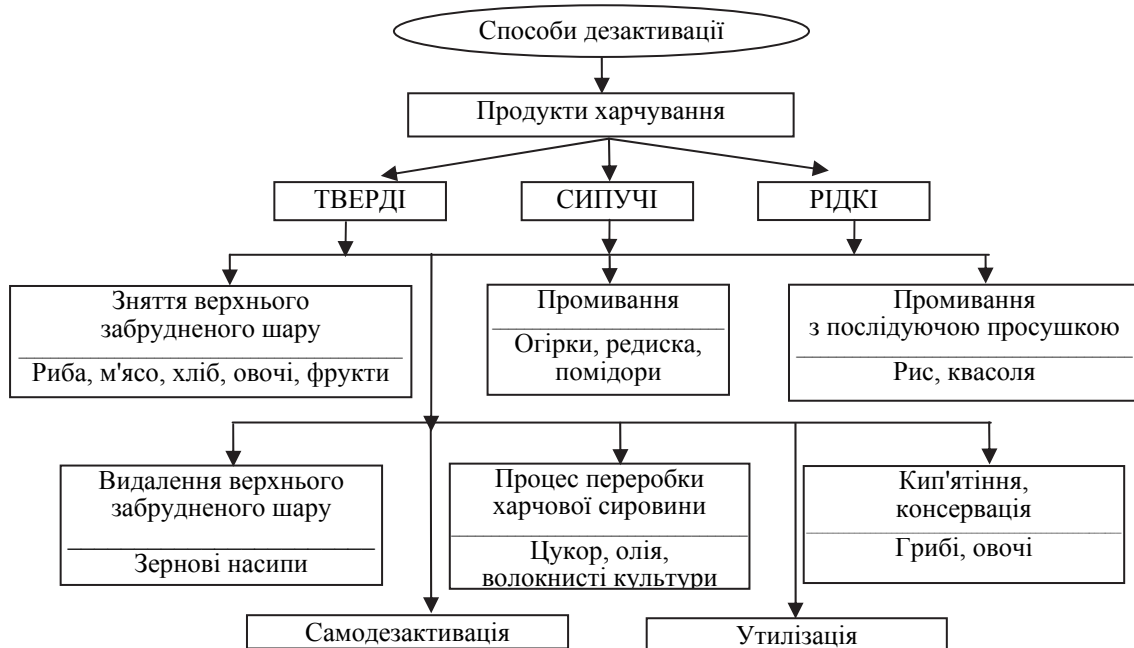


Рис. 1. Основні способи дезактивації

Дезактивація шляхом зняття поверхневого шару є характерною для таких продуктів, як риба, м'ясо, хліб, вершкове масло, овочі і фрукти тощо. В окремих випадках продукти залишають на тривале зберігання для самодезактивації. У відповідності до закону природного розпаду активність окремого РН із бігом часу зменшується за експоненціальним законом у відповідності до рівняння:

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t},$$

де  $A_0$  і  $A_t$  – активність РН у початковий момент та по витoku часу  $t$  після його виникнення;

$\lambda$  – постійна розпаду даного РН пов'язана з періодом напіврозпаду, це коли активність РН знижується вдвічі, тобто  $A_0/A_t=2$ .

Фрукти і овочі, що мають шорстку поверхню і складну конфігурацію, перед вживанням треба ретельно помити, а, у яблук, груш, персиків та решти подібних продуктів зняти шкуринку. Промивання особливо ефективно, коли забруднення трапилося РА частинками.

Наприклад, помідори, огірки, редиска, зібрані з деяких ділянок 30 км зони у Чорнобилі після рете-

льного промивання і відділення бадилля ставали безпечними до вживання.

Деякі види продуктів (рис, квасоля тощо) після промивання необхідно ретельно висушити. При забрудненні коренеплодів (картопля, цибуля, морква, буряк тощо) короткоживучими РН їх можна залишити в полі на деякий час для природного РА розпаду. Після збирання врожаю коренеплоди ретельно очищають від ґрунту, промивають й ще раз очищають. Легко підлягають очищенню такі продукти, що захищені природним ізолювальним шаром, що усувають перед вживанням, наприклад, зерно, горох, капуста, квасоля, картопля, цитрусові, диня тощо.

Дезактивацію зернового насипу здійснюють усуненням верхнього забрудненого шару, запобігаючи перемішування з нижчими шарами. Тому верхній забруднений шар знімають пневматичними пристроями для навантаження зерна. Можливе нанесення на поверхню зерна борошністого зметення і заливка його водою; після висихання утворюється шкоринка, що виконує роль дезактивуючої плівки, знімається разом з РА забрудненнями. Таким чином дезактивують боро-

шно, що зберігається у насипу. Якщо РА забруднення у глибину зернових продуктів, тоді зерно необхідно промити, для чого використовують млинові мийні машини, потім зерно висушують. Дезактивація зернових насипів – процес трудомісткий, що потребує постійного дозиметричного контролю.

Дезактивація продовольства здійснюється у процесі перероблення харчової сировини. Подібним чином дезактивується цукор, що отримується із цукрового буряка, маляничні та волокнисті культури. Дезактивацію продуктів супроводжувало консервування. У процесі підготування продуктів до консервування їх насамперед промивають і бланшують, тобто обробляють паром. При цьому видаляють РА речовини. Коли консервують овочі і фрукти, що забруднені РН  $^{90}\text{Sr}$ , КД досягає 6. КД під час дезактивації у процесі консервування решти продуктів складає: шпинату – 1,3; зеленого горошку – 3,5; моркви – 1,3; помідорів – 1,5; персиків – 2,0 [1; 8]. Кип'ятіння сухих губчастих і пластинчастих грибів на

протязі 30 хвилин дозволяє витягти 77% РН  $^{137}\text{Cs}$  [2]. Під час варіння овочів видаляється приблизно половина РН  $^{35}\text{C}$ .

З усіх харчових продуктів особливе значення набуває дезактивація молока [3–4; 9–10]. Точніше вивільнення молока від РА забруднень по аналогії з водою слід було б назвати очисткою, але цей термін по відношенню до молока не прижився. Молоко є одним із основних джерел надходження в організм РН [2].

Після Чорнобильської катастрофи у молоці були переважно РН  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  і особливо  $^{131}\text{I}$ . РН йоду добре адсорбуються у шлунку корови, а потім потрапляють до молока. На практиці можна використовувати наступні способи дезактивації молока – технологічний та іонообмінний, а також за допомогою сорбентів [3; 11] (рис. 2). Технологічний спосіб полягає у переробці забрудненого молока на вершки, сметану, масло, сир, сухе згущене молоко, при цьому отримується продукт з значно низькою місткістю РН, значно нижче припустимих норм.



Рис. 2. Способи дезактивації молока

У зв'язку з тим, що РН  $^{90}\text{Sr}$  поєднується з білками, необхідно зруйнувати ці з'єднання і перевести цей РН у розчинну фазу. Для цього молоко підкислюють лимонною або соляною кислотами, з якими стронцій утворює розчинні солі. У подальшому ці солі легко видаляються разом із сироваткою і масляною, що отримуються у процесі переробки молока.

При сепаруванні основна маса РН, особливо йоду і цезію, видаляються із знежиреним молоком, а вершки, що отримуються, утримують значно менше РН. Чим вища жирність вершків, тим менше у них РН – при знежирюванні можуть видалятися близько 90% РН  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ . Під час сколочування вершків у масло трапляється подальше видалення РН. Як підсумок у продукті залишається лише 1...3% с початкової кількості РН. Основна частина залишається у сироватці. У пряженому маслі РН залишається ще менше, ніж у вершковому:  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  практично відсутні, а вміст РН  $^{131}\text{I}$  знижується до десятих частин відсотку у відношенні до вмісту у первинному молоці. Необхідно враховувати, що при довготривалому зберіганні вершкового масла, а також і пряженого (щонайменше понад рік) здійснюється дезактивація за рахунок природного РА розпаду.

Для отримання казеїну і сиру необхідно згорання молока. У випадку виготовлення сиру сичужним способом (російський, голландський, костромський тощо) до 80% РН  $^{90}\text{Sr}$  переходить у готовий продукт. На випадок використання кислотного способу виробництва кисломолочних сирів і харчового казеїну РН  $^{90}\text{Sr}$  створюють розчинні солі, що виводяться разом із сироваткою у процесі пресування продукту. При використанні цього способу до 80% РН  $^{131}\text{I}$  і  $^{137}\text{Cs}$ , також як і при сичужному способі залишаються у продукті. Згущене сухе молоко рекомендується виготовляти при забрудненні продукту короткоіснуючими РН  $^{131}\text{I}$ , а використовувати готовий продукт можна тільки після 6...12 місяців його зберігання. Сироватка і маслянка, що залишилися після переробки зазвичай знищуються.

Таким чином, технологічні способи дозволяють щонайменше у 3...4 рази зменшити РА забруднення готового продукту. Якщо забруднення молока у 2...3 рази перевищує припустиму норму для РН  $^{131}\text{I}$ , то молоко переробляється на всі види молочних продуктів. Коли забруднення перевищує норму у 3 рази, а у РН період напіврозпаду складає до 20 діб, то можна виробляти усі види молочних продуктів, окрім вершків і сметани.

Власне дезактивація молока здійснюється шляхом іонного обміну і застосуванням сорбентів [3]. Іонообмінна адсорбція здійснюється з використанням катіоніта КУ-2-8 у змішаній формі. Проходить видалення з молока РН катіонів цезію і стронцію. Після катіоніта обробка молока здійснюється аніоном АВ-17-8 у гідроксидній формі або хлороформі. У аніоніті йде видалення аніонів РН  $^{131}\text{I}$ . Процес дезактивації містить наступний цикл: підготовку іонітів і за необхідністю їх регенерацію; фільтрацію через катіоніт і аніоніт; миття і регенерацію іонітів.

В якості сорбенту можливе використання модифікованого силікагелю, який має вибірку адсорбцію по відношенню до РН цезію і частково до РН стронцію. На даному етапі дослідження способів дезактивації продовольства необхідно вирішити таку наукову задачу, як обґрунтування та проведення кількісної оцінки ефективності дезактивації і оцінку доцільності її проведення.

## Висновки

1. Найбільш перспективними способами дезактивації твердих, сипучих і рідких продуктів харчування є: зняття верхнього РА зараженого шару; промивання; промивання з послідовним просушуванням; видалення верхнього РА забрудненого шару; процес переробки харчової сировини; кип'ятіння і консервація.

2. Дезактивація молока специфічна; вона може здійснюватися у процесі перероблення молока і з використанням іонітів і сорбентів. Перевагу слід віддати технологічним способам дезактивації, що дозволяють отримати готові безпечні продукти харчування.

## Список літератури

1. Зимон А.Д. Дезактивація / А.Д. Зимон. – М.: Атомиздат, 1975.
2. Василенко І.Я. Дезактивація продовольства / І.Я. Василенко // Гігієна і санітарія. – 1987. – № 2. – С. 64-67.
3. Донская Г.А. Основы очистки молока от радионуклидов / Г.А. Донская, В.А. Марьин, Л.И. Опарина. – М.: ВНИИЖМ, 1991.

4. Антонова В.А. Влияние способа обработки проб сушеных грибов на прочес извлечения радионуклидов цезия / В.А. Антонова // Гигиена и санитария. – 1991. – № 9. – С. 52-53.

5. Природа фізико-хімічних процесів поверхневого радіоактивного забруднення довкілля / С.О. Ковжого, А.В. Писарев, С.А. Тузіков, А.Ф. Лазутський, О.Д. Малько // Безпека життєдіяльності: Всеукраїнський наук.-попул. ж., липень – серпень, 2008. – № 7-8. – С. 30-31.

6. Лазутський А.Ф. Щодо питання визначення фізико-хімічних процесів глибокого радіоактивного забруднення / А.Ф. Лазутський, А.В. Писарев, В.О. Табуненко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. пр. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – № 16. – С. 13-17.

7. Природа фізико-хімічних процесів глибокого радіоактивного забруднення довкілля / С. Ковжого, А. Писарев, С. Тузіков, А. Лазутський, О. Малько // Культура безпеки, екології та здоров'я: Всеукраїнський наук.-попул. ж., січень, 2010. – № 1. – С. 13-14.

8. Лазутський А.Ф. Щодо питання визначення фізико-хімічних процесів поверхневого радіоактивного забруднення / А.Ф. Лазутський, А.В. Писарев, В.О. Табуненко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. пр. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ "ХПІ", 2010. – № 17. – С. 31-35.

9. Деякі аспекти дезактивації твердих поверхонь ультразвуком / С.О. Ковжого, А.В. Писарев, А.Ф. Лазутський, В.А. Молодцов, В.О. Табуненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Вип. 107. «Механізація сільськогосподарського виробництва». – Х.: ХНУТСГ, 2011. – Т. 2. – С. 276-281.

10. Деякі аспекти дезактивації з використанням розчинів на основі поверхнево-активних речовин / О.С. Ковжого, А.В. Писарев, С.А. Тузіков, С.В. Карманний, А.Ф. Лазутський // Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji "Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2011" Volume 23. Ekologia. Chemia I chemiczne technologie: Przemysł. Nauka i studia. – 2011. – С. 16-19.

11. Підвищення ефективності дезактивації за рахунок одночасного застосування різних способів дезактивації / А.В. Писарев, А.Ф. Лазутський, В.А. Молодцов, С.А. Тузіков, В.О. Табуненко // Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика: зб. наук. пр. XI міжнар. наук.-метод. конф. – Донецьк: ПП "Лавис", 2012. – С. 174-178.

Надійшла до редколегії 24.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.Д. Калугін, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ОСОБЕННОСТИ ДЕЗАКТИВАЦИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ ПРИ АВАРИЯХ НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

А.В. Писарев, А.Ф. Лазутский, С.А. Тузіков

В статье рассмотрен характер радиоактивного загрязнения пищевого сырья растительного и животного происхождения, продуктов питания и обоснованы особенности и способы дезактивации их во время ликвидации последствий аварий на радиационно-опасных объектах.

**Ключевые слова:** радиоактивное загрязнение, закон естественного радиоактивного распада, активность радионуклидов, дезактивация, коэффициент дезактивации.

## FEATURES OF DECONTAMINATION OF FOOD STUFFS AT CONTAMINATION RADIO-ACTIVE MATTERS AT FAILURES ON RADIATION-DANGEROUS OBJECTS

A. Pisarev, A. Lazutskiy, S. Tuzikov

Character of radio-active contamination of food raw material of vegetable and animal origin is considered in the article, food stuffs and features and methods of decontamination are grounded them during liquidation of consequences of failures on radiation-dangerous objects.

**Keywords:** radio-active contamination, law of natural radio-active disintegration, activity of radionuclides, decontamination, coefficient of decontamination.