

УДК 621.039

*В.В. Токаревський, д-р техн. наук (Інститут проблем Чорнобиля)**М.А. Петрова, канд. техн. наук (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)**І.М. Крпін (Національний університет «Львівська політехніка»)*

## ОЧИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗЧИНІВ ДЕЗАКТИВАЦІЇ ҐРУНТІВ

Розглянуто питання дезактивації ґрунтів на радіоактивно забруднених територіях. Наведено технологічну схему дезактивації ґрунтів з циркуляцією технологічного розчину. Експериментально досліджено очищення розчинів, що утворюються внаслідок дезактивації ґрунту, сорбційним методом. Застосування фероціанідів заліза, міді та міді-калію на глинистій матриці дозволяє практично повністю видалити Cs-137 (коефіцієнт дезактивації – 1000) і повернути розчин для повторного використання.

**Ключові слова:** рідкі радіоактивні відходи, дезактивація території, дезактивація ґрунту, фероціанідні сорбенти.

Дезактивація належить до комплексу робіт, спрямованих на повне усунення негативних наслідків, спричинених надзвичайною ситуацією з потраплянням у навколишнє середовище радіоактивних речовин. Концепція безпеки полягає у технічній і технологічній готовності до подолання наслідків аварій, саме тому велика увага приділяється їх передбаченню, аналізу та організації засобів протистояння.

На сьогодні в пунктах тимчасової локалізації радіоактивних відходів у Зоні відчуження зберігається близько 700 тис. м<sup>3</sup> радіоактивно забрудненого ґрунту, ще 100-150 тис. м<sup>3</sup> буде додано в процесі будівництва нового безпечного конфайнмента [1].

При реалізації проектів виводу з експлуатації об'єктів атомної енергетики та радіаційно небезпечних об'єктів, при реабілітації територій, що зазнали радіоактивного або хімічного забруднення в результаті промислово-господарської діяльності людини, а також у ряді інших випадків, актуальним стає питання поводження із забрудненим ґрунтом.

Найбільш радикальний захід боротьби з забрудненням ґрунтів – видалення поверхневого забрудненого шару, та покриття місця незабрудненим шаром, що виключає міграцію. Такий спосіб є надзвичайно дорогим і його слід застосовувати при вмісті забруднювачів, що перевищує гранично допустимий в 1000 і більше разів.

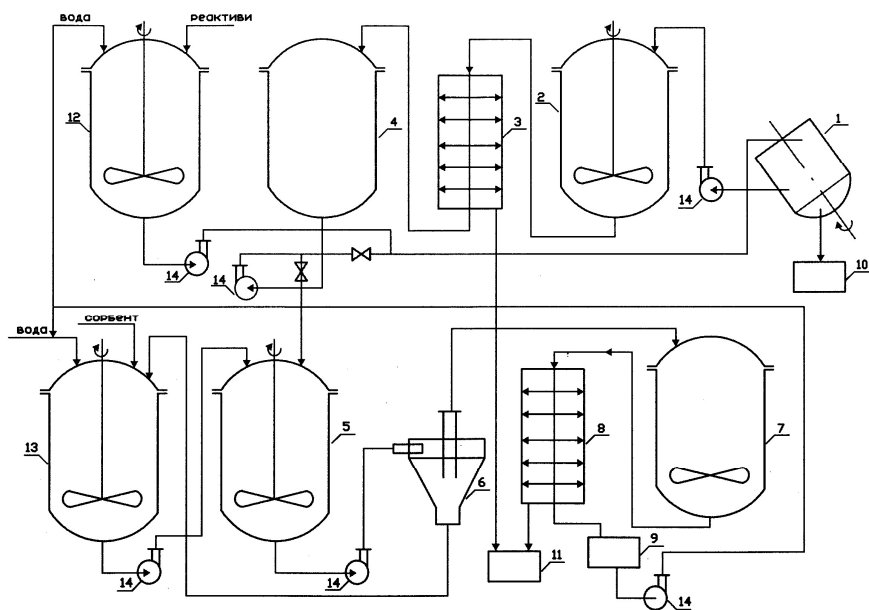
Роботи з видалення верхнього шару ґрунту розпочаті у м. Мінамі-Сома в 25 км від АЕС "Фукусима-1". Ковш екскаватора знімає верхній шар ґрунту, при цьому землю поливають зі шланга, щоб запобігти розпорошенню радіоактивних частинок у повітрі. Рівень опромінення на поверхні після проведення таких заходів знижується у 35 разів.

Загалом, реабілітація територій шляхом зняття та захоронення ґрунту не виправдала себе, оскільки зберігання великих об'ємів низькоактивного або мало забрудненого, або ґрунту у сховищах є фінансово- та ресурсозатратним.

Активно йде пошук та апробація технологій дезактивації ґрунту. Існують проекти реабілітації територій науково-технічного центру „Курчатовський інститут” (м. Москва, Росія) та майданчика Васильєвського острова (м. Санкт-Петербург, Росія) з переробкою та дезактивацію 10500 м<sup>3</sup> та 3600 м<sup>3</sup> радіоактивного ґрунту відповідно [2]. Українськими вченими [1] розроблена економічно-ефективна технологія дезактивації радіоактивного ґрунту шляхом його механічного фракціонування та вилуговування радіонуклідів. При застосуванні даного методу досягається 90% вилучення радіонуклідів, що дає змогу прогнозувати можливість повернення ґрунту у господарське використання. Для створення екологічно безпечної безвідходної технології дезактивації необхідно організувати замкнутий цикл циркуляції технологічного розчину. Економічний аспект є надзвичайно важливий при розробці технологій дезактивації радіоактивно забруднених ґрунтів, тому на всіх етапах процесу необхідно застосовувати найменш матеріально- та ресурсозатратні технології.

Установка для дезактивації ґрунтів із циркуляцією технологічного розчину зображена на рис. 1. Для приготування технологічного розчину в апарат з мішалкою 12 подається вода і речовини, що використовують для вилуговування радіонуклідів. Приготований розчин подають в ємність 1, в яку попередньо завантажено ґрунт. Після відмивання ґрунту технологічним розчином його разом з суспендованими частинками відкачують в напірну ємність 2. Звідти розчин надходить в центрифугу 3, де з нього виділяються радіоактивні частинки ґрунту. Промивання проводять, доки ґрунт не стане відповідати вимогам безпеки, після чого він вивантажується у вагонетку 10 і вивозиться із зони дезактивації. Активні частинки ґрунту з центрифуги 3 вивантажуються в баки-контейнери 11 для подальшого захоронення.

Забруднений технологічний розчин, що знаходиться в ємності 4, відкачують в сорбційний апарат 5, оснащений мішалкою. Туди ж з ємності для приготування суспензії сорбенту 13 подається сорбент. При інтенсивному перемішуванні в апараті відбувається сорбція радіонуклідів модифікованим сорбційним глинистим матеріалом. З апарата 5 суспензія насосом подається через гідроциклон 6, де відбувається первинне відділення розчину від частинок сорбенту, в напірну ємність 7. Для остаточного відділення активних суспендованих частинок розчин спрямовують в центрифугу 8, де відбувається остаточне відділення суспендованих частинок сорбенту. Дезактивований розчин подається повторно на стадію відмивання активного ґрунту. Окрім того, його можна подавати із ємності 9 в апарат приготування сорбційного матеріалу 13. Сорбційний матеріал з певною активністю після гідроциклону повторно надходить в ємність для приготування сорбційного матеріалу 13. Після доведення до необхідних технологічних параметрів його можна багатократно використовувати в сорбційному апараті 5. При досягненні критичної активності пульпу сорбційного матеріалу перекачують в напірну ємність 7, звідки вона надходить в центрифугу 8 для повного відділення від рідкої фази. Одержаний сорбційний матеріал з критичною активністю завантажується в баки-контейнери 11 для подальшого захоронення.



**Рис. 1.** Принципова технологічна схема пілотної установки для дезактивації радіоактивних ґрунтів із замкнутим циклом використання технологічного розчину з використанням сорбційних матеріалів:

1 – ємність-міксер; 2 – напірна ємність; 3 – центрифуга; 4 – прийомна ємність; 5 – сорбційний апарат; 6 – гідроциклон; 7 – напірна ємність; 8 – центрифуга; 9 – проміжна ємність; 10 – вагонетка-тара для транспортування промитого ґрунту із зони дезактивації; 11 – баки-контейнери для зберігання і подальшого захоронення активного сорбційного матеріалу і активних частинок ґрунту; 12 – ємність для приготування технологічного розчину; 13 – ємність для приготування глинистого сорбенту; 14 – насос.

Апаратурне оформлення процесу дає змогу здійснювати очищення не лише ґрунту, але і води, забрудненої радіонуклідами. В цьому випадку радіоактивна вода подається в апарат сорбції 5, і процес відбувається згідно з описаною схемою. Очищена вода, що збирається в проміжній ємності 9 і відповідає санітарним нормативам, зливається у відкриту водойму.

Проведено дослідження процесів очищення відпрацьованих технологічних розчинів дезактивації ґрунтів від Cs-137. Для очищення розчинів застосовано фероціаніди заліза, міді, та міді-калію, одержані та вивчені в [5]. Відпрацьовані технологічні розчини, що утворюються в процесах дезактивації ґрунту, значно відрізняються за хімічним та радіохімічним складом, кількістю та динамікою надходження. Екологічно безпечний технологічний процес очищення розчинів, окрім видалення радіонуклідів, має забезпечувати:

- очищення від шкідливих домішок (наприклад, важких металів) з отриманням на виході води, що відповідає вимогам державних гігієнічних нормативів [6-7];
- ефективне видалення радіонуклідів з рідких радіоактивних відходів (РРВ), що містять високі концентрації іонів (більше 1 г/л), що виступають конкурентами радіонуклідів (іони натрію та кальцію);
- простоту кондиціонування вторинних відходів у стан твердих відходів, які підлягають захороненню у стаціонарних сховищах.

Результати очищення відпрацьованих технологічних розчинів дезактивації ґрунтів від Cs-137 наведено у табл. 1.

**Таблиця 1**

*Очищення рідких відходів від Cs-137 на модифікованих глинистих сорбентах*

Сорбент	Вміст конкуруючих іонів	Розчин до очищення		Розчин після очищення		Коефіцієнт дезактивації
		Активність, Бк/дм <sup>3</sup>	Тип РРВ	Активність, Бк/дм <sup>3</sup>	Тип РРВ	
Заліза фероціанід на глинистій матриці	5 г/л натрію хлориду, рН = 6,5	10 <sup>7</sup>	СА	1,8·10 <sup>4</sup>	НА	570
		5,0·10 <sup>4</sup>	НА	0	-	∞
Міді фероціанід на глинистій матриці		10 <sup>7</sup>	СА	1,2·10 <sup>4</sup>	НА	870
		5,0·10 <sup>4</sup>	НА	55	НА	900
Міді-калію фероціанід на глинистій матриці		10 <sup>7</sup>	СА	5,4·10 <sup>4</sup>	НА	190
		5,0·10 <sup>4</sup>	НА	78	НА	600
Заліза фероціанід на глинистій матриці	11 г/л кальцію хлориду рН = 6,5	10 <sup>7</sup>	СА	1,9·10 <sup>4</sup>	НА	530
		3,0·10 <sup>4</sup>	НА	590	НА	50
Міді фероціанід на глинистій матриці		10 <sup>7</sup>	СА	1,3·10 <sup>4</sup>	НА	790
		3,0·10 <sup>4</sup>	НА	115	НА	270
Міді-калію фероціанід на глинистій матриці		10 <sup>7</sup>	СА	1,8·10 <sup>4</sup>	НА	550
		3,0·10 <sup>4</sup>	НА	125	НА	250

*Примітка.*

НА – низькоактивні РРВ (активність менше 3,7·10<sup>5</sup> Бк/л); СА – середньоактивні РРВ (активність 3,7·10<sup>5</sup> – 3,7·10<sup>10</sup> Бк/л) [6].

Очевидно, що при застосуванні фероціанідів на глинистій матриці можна досягнути практично повного очищення РРВ від Cs-137. Коефіцієнти дезактивації надзвичайно високі і становлять 100-1000.

Перевагами застосування сорбційних матеріалів у процесах очищення технологічних розчинів дезактивації ґрунту є:

- відсутність обмежень за кількістю сировини та низька вартість;
- простота та надійність утилізації відпрацьованого матеріалу;

- наявність високорозвиненої поверхні, яка проявляє сорбційні властивості не тільки щодо радіонуклідів, але й до інших іонів та колоїдів;
- високі ємнісні характеристики щодо Cs та Sr;
- коефіцієнти розподілу для Cs-137  $10^5 \text{ см}^3/\text{г}$  що співмірно з аналогічними величинами для деяких типів синтетичних неорганічних сорбентів, що значно дорожчі [8].

Запропоновано очищення технологічних розчинів дезактивації ґрунтів сорбційним методом із застосуванням модифікованих глинистих мінералів. Встановлено ефективність застосування сорбційних матеріалів з солевмістом 5 г/л за солями натрію та 11 г/л за солями кальцію для очищення від Cs-137.

### Список літератури:

1. **Лобач Г.А.** Дезактивація ґрунтів, забруднених в результаті аварії на ЧАЕС. 1. Обоснование способа / Г.А. Лобач, В.В. Токаревский // Вопр. хим. и хим. техн. — 2005. — №6. — С. 195-200.
2. **Чиркст Д.Э.** Опытная технология дезактивации ґрунтов, загрязненных радионуклидом  $^{90}\text{Sr}$  / Д.Э. Чиркст, Т.Е. Литвинова, О.В. Черемисина, М.И. Стрелецкая // Радиохимия. — 2001. — Т. 43, № 5. — С. 475-478.
3. **Петрова М.А.** Глинисті сорбційні матеріали та технологія їх використання в процесах очищення рідких радіоактивних відходів / Петрова М.А., Кріп І.М. // Вопросы химии и химической технологии. — 2009. — №6. — с. 135-140.
4. **Фероціанідні сорбенти на глинистій матриці у процесах сорбції радіонуклідів** / В.В. Токаревський, Г.О. Лобач, І.М. Кріп, Т.В. Шимчук, М.В. Токарчук // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. — 2008. — Вип. 9. — С. 120–124.
5. **Вплив кислотності та йонної сили сольових розчинів на сорбційне вилучення стронцію та цезію на модифікованих глинистих мінералах** / М.А. Петрова, А.Дж. Флауерс, І.М. Петрушка, І.М. Кріп // Вопросы химии и химической технологии. — 2008. — №3. — с. 116-120
6. **Вода питна.** Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання: Державні санітарні правила і норми // Офіційний вісник України — 1997. — № 16. — С. 131
7. **Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи.** - Київ: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. — 121 с.
8. **Петрова М.А.** Глинисті сорбційні матеріали та технологія їх використання в процесах очищення рідких радіоактивних відходів / Петрова М.А., Кріп І.М. // Вопросы химии и химической технологии. — 2009. — №6. — С. 135-140

*В.В. Токаревский, М.А. Петрова, И.М. Крип*

### ОЧИСТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ДЕЗАКТИВАЦИИ ГРУНТОВ

Рассмотрены вопросы дезактивации ґрунтов, образованных в результате радиоактивного загрязнения территорий. Приведена технологическая схема дезактивации ґрунтов с циркуляцией технологического раствора. Экспериментально исследована очистка растворов, образующихся в результате дезактивации ґрунтов, сорбционным методом. Применение ферроцианидов железа, меди и меди-калия на глинистой матрице позволяет практически полностью удалить Cs-137 (коэффициент дезактивации - 1000) и вернуть раствор для повторного использования.

**Ключевые слова:** жидкие радиоактивные отходы, дезактивация территории, дезактивация почвы, ферроцианидные сорбенты.

## **SOIL DECONTAMINATION TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TREATMENT**

The issues of soil decontamination formed as a result of radioactive contamination is examined. The technology of soil decontamination with solution circulation is studied. The experimental research of solutions sorption treatment is described. Application of ferric, copper and copper-potassium ferrocyanide enables Cs-137 decontamination (coefficient - 1000) and return the solution for recycling.

**Key words:** liquid radioactive wastes, territories rehabilitation, soil decontamination, ferrocyanide sorbents.

