

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природозахисних технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 183 “Технології захисту навколишнього середовища”

Тема: Відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів

Завідувач кафедри

Пляцук Л.Д.

\_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи

Черниш Є.Ю.

\_\_\_\_\_

(підпис)

Консультант

з охорони праці

Васькін Р.А.

\_\_\_\_\_

(підпис)

Виконавець

студент групи ТС-81/1

Захарова В.А.

\_\_\_\_\_

(підпис)

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладної екології  
Спеціальність 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Захаровій Владиславі Андріївна

Група ТС-81/1

1. Тема випускної роботи: Відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів

2. Вихідні дані: Положення про Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник затверджене Міністерство екології та природних ресурсів України від 26 квітня 2016 року №174 , Закон України «Про затвердження державних санітарних правил «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» N 2935 ( z0098-21 ) від 17.12.2020, дані з наукометричної бази даних Scopus та вітчизняних фахових видань.

3. Перелік обов’язково графічного матеріалу:

1. Екологічна проблематика забруднення ґрунтів важкими металами та радіонуклідами
2. Огляд технологічних рішень для біоремедіації ґрунтів
3. Розробка комплексного біотехнологічного рішення для рекультивації ґрунтів

4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2, 3	4, 5	6, 7	8	9
1	Написання вступу, розділу 1	+	+	+			
2	Оброблення результатів дослідження, написання розділів 2, 3			+	+		
3	Написання розділу 4					+	
4	Оформлення роботи						+

5. Дата видачі завдання 30 березня 2022 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

доцент Черниш Є.Ю.  
(посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку використаних джерел, який містить 44 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 48 сторінок, у тому числі 3 таблиці, 12 рисунків.

*Мета роботи* є розробка комплексного технологічного рішення ремедіації забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів. Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі *завдання*:

- здійснити огляд шляхів відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів;
- обґрунтувати підхід до процесів фіксації важких металів та радіонуклідів у ґрунтах з використанням біотехнологічних методів;
- провести аналіз існуючих технологічних рішень інтенсифікації процесів біоремедіації ґрунту;
- визначити можливі напрями застосування гібридних біокомпозитів для зв'язування важких металів та радіонуклідів;
- розробити комплексне біотехнологічне рішення для рекультивації ґрунтів забруднених важкими металами та радіонуклідами.

*Об'єкт дослідження* – ґрунти забруднені важкими металами та радіонуклідами.

*Предмет дослідження* – розроблення технологічного рішення ремедіації ґрунтів із залученням гібридних біокомпозитів в межах сталого розвитку територій, забруднених радіонуклідами та важкими металами.

У кваліфікаційній роботі надана характеристика шляхів відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів. Проведено аналіз технологічних рішень інтенсифікації процесів біоремедіації ґрунту. Розроблено біотехнологічні рішення комплексного характеру для рекультивації ґрунтів забруднених важкими металами та радіонуклідами.

*Ключові слова*: ҐРУНТИ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, РАДІОНУКЛІДИ, БІОХІМІЧНІ СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ, БІОРЕМЕДІАЦІЯ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
<b>РОЗДІЛ 1 ЕКОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМАТИКА ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ</b>	
ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА РАДІОНУКЛІДАМИ.....	7
1.1 Важкі метали у ґрунтах радіоактивно забруднених екосистемах.....	7
1.2 Стала концепція розвитку ґрунтових ресурсів Чорнобильської зони відчуження.....	8
1.3 Огляд шляхів відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів.....	10
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ БІОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ.....</b>	
2.1 Методологічний підхід до процесів фіксації важких металів та радіонуклідів у ґрунтах з використанням біотехнологічних методів.....	15
2.2 Технологічна інтенсифікація процесів біоремедіації ґрунту.....	18
2.3 Гібридні біокомпозиції для зв'язування важких металів та радіонуклідів.....	23
2.4 Розробка комплексного біотехнологічного рішення для рекультивації ґрунтів забруднених важкими металами та радіонуклідами.....	28
<b>РОЗДІЛ 3 СТАЛИЙ СОЦІО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК ТЕРИТОРІЙ, ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ</b>	
3.1.....	31
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	
4.1.....	36
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

<b>ТС 18510212</b>				
Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.	Захарова			
Перев.	Черниш			
Н.Конт	Васькін			
Затв.	Пляцук			
<i>Відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів</i>				
		Літ.	Аркуш	Аркушів
			4	48
СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС – 81/1				

## ВСТУП

В наш час гострою проблемою у світі є забруднення ґрунтів і технології для вирішення цих проблем. В Україні понад 3,5 млн га лісових земель потрапили в зону радіоактивного забруднення аварійними викидами Чорнобильської АЕС. Сучасна радіаційна ситуація в радіоактивно забруднених лісах зумовлена складним комплексом факторів, які визначають інтенсивність біологічного кругообігу радіонуклідів у екосистемах. До головних відносять: щільність радіоактивного забруднення ґрунту, склад радіонуклідів, фізичні та агрохімічні властивості ґрунтів.

Останнім часом проведено велику кількість досліджень, спрямованих на розвиток альтернативних методів деконтамінації та реабілітації забруднених територій. Запропоновано цілий ряд сучасних технологій ремедіації ґрунтів: екстракційні методи, що передбачають застосування хімічних реагентів, внесення у ґрунт сорбентів, проте найбільш поширеними є іммобілізація поллютантів, різні варіанти електрокінетичних методів очищення ґрунтів та фіторемедіація. Незважаючи на те, що альтернативні методи рекультивації ґрунтового середовища мають недоліки, проте вважаються більш ефективними з екологічної та рентабельними з економічної точки зору.

**Мета роботи** – аналіз і дослідження біохімічних підходів до ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів, розробка та пошук альтернативного способу очищення та відновлення забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів.

Для виконання роботи були поставлені такі **завдання**:

- здійснити огляд шляхів відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів;
- обґрунтувати підхід до процесів фіксації важких металів та радіонуклідів у ґрунтах з використанням біотехнологічних методів;

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

						<b>ТС 18510212</b>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат			5



# РОЗДІЛ 1 ЕКОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМАТИКА ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА РАДІОНУКЛІДАМИ

## 1.1 Важкі метали у ґрунтах радіоактивно забруднених екосистемах

Земельні ресурси — сукупність ресурсів земної території як основа господарської діяльності людей, засобу виробництва та її біопродуктивності. До таких ресурсів належать землі, що використовуються або можуть бути використані людиною. В Україні переважаючими є ресурси сільськогосподарського використання. Земля — основна та найважливіша частина природних ресурсів; головна природна основа сільськогосподарського виробництва. Земельні ресурси вважаються одним із первинних факторів виробництва[1].

Ґрунт є унікальним незамінним природним ресурсом, накопичувач сонячної енергії, основа життя рослин, тварин і людини, а також природний індикатор забруднення навколишнього середовища. Він діє як сполучна ланка між всіма компонентами біосфери, і водночас, як біогеохімічний бар'єр. Через прояв ґрунтами рефлекторності і сенсорності їх слід використовувати в якості об'єктивного інформаційного блоку, при оцінці геохімічного стану всього біогеоценозу. Звідси випливає еколого-гігієнічна роль ґрунтів і ґрунтового покриву [2].

Однак, наслідки аварії на ЧАЕС призвели до забруднення радіонуклідами та важкими металами сільськогосподарських угідь дванадцяти областей України. Радіаційному контролю підлягають 50 тис. гектарів найродючіших земель [3].

Забруднення ґрунтів важкими металами викликає глобальний інтерес з боку сучасної науки у зв'язку з підвищенням техногенного впливу на навколишнє природне середовище. Небезпека від важких металів визначається тим, що на відміну від органічних забруднювачів вони

Інв.№подл.						<b>ТС 185102012</b>	Арк
Підп. і дата							7
Взаєм.інв.№							
Інв.№дубл.							
Підп. і дата							
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат			

не руйнуються, а переходять з однієї форми в іншу, зокрема включаються у склад солей, оксидів, металоорганічних сполук [4].

Термін «важкі» застосовують для металів, питома вага яких перевищує 5 г/см<sup>3</sup>, або атомний номер більше 20, хоча існує й інше визначення, за яким до важких металів належить понад 40 хімічних елементів із атомною масою вище 50 ат. од.[5].

Забруднення важкими металами, в основному, має локальний характер. Найбільше забруднені території зустрічаються поблизу промислових центрів, великих виробництв, будови транспортних магістралей. Важкі метали потрапляючи у ґрунт, постійно мігрують, при цьому переходячи в ту, чи іншу форму хімічних сполук. Їхня частина піддається гідролізу, інші можуть утворювати важкорозчинні сполуки та закріплюватися у ґрунтовому середовищі. У ґрунті важкі метали можуть перебувати у трьох станах: необмінному, обмінному, водорозчинному.

Причому в процесах акумуляції та трансформації металів приймають участь всі види вбирної здатності ґрунтів. Рослини, як і всі живі організми, можуть протидіяти підвищенню концентрації важких металів лише до певної межі. А подальше збільшення їхньої концентрації веде до пригнічення і загибелі живих організмів. Наслідком накопичення важких металів у верхніх шарах ґрунту є збіднення видового складу рослин та мікроорганізмів і погіршення умов росту та розвитку культурних рослин[6].

## 1.2 Стала концепція розвитку ґрунтових ресурсів Чорнобильської зони відчуження

Ерозія ґрунтів призводить до втрати поверхневих шарів ґрунту, що містять запаси органічних і мінеральних поживних речовин, до часткового або повного руйнування ґрунтових горизонтів і можливого оголення підґрунтових

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 18510212	Арк
						8



шарів, що обмежує ріст кореневої системи рослин, а також до таких наслідків за межами ділянки ерозії, як збитки приватних і державних інфраструктур, зниження якості води та замулення водойм.

Органічна речовина ґрунту (ОРГ) відіграє центральну роль у збереженні функцій ґрунту й запобіганні його деградації. Ґрунт є найбільшим резервуаром органічного вуглецю на планеті й відіграє найважливішу роль у регулюванні клімату й пом'якшенні наслідків зміни клімату шляхом балансу викидів парникових газів зв'язуванням вуглецю. Тому ОРГ має стратегічне значення для адаптації до зміни клімату та пом'якшенні його наслідків, а світові запаси ОРГ мають бути стабілізовані або збільшені[7].

Чорнобильська катастрофа створила радіоактивну обстановку на значній території України небезпечною для здоров'я людей і навколишнього середовища радіаційну обстановку. Специфіка цього забруднення полягає в тому, що ядерні вибухи викликають розкладання ізотопів і радіонуклідів до молекулярного та атомного стану, і потрапляючи на місцевість, проявляються у вигляді хімічно активних речовин (окислюються, розчиняються, мігрують, тощо), тобто переходять із ґрунту в повітря, воду, рослини і таким чином начебто розсмоктуються.

Радіаційний стан навколишнього середовища в Чорнобильській зоні відчуження істотно змінився в порівнянні з першим після аварійний роком. Нині, після розпаду коротко існуючих радіонуклідів, основні дозові навантаження на людей і ландшафт формуються за рахунок цезію-137, стронцію-90, трансуранових елементів.

Чорнобильський біосферний заповідник було створено від 26 квітня 2016 року Указом Президента України. Заповідник розташований в Іванківському і Поліському районах Київської області в межах зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи [8]. Основні завдання Заповідника зображені на рисунку 1.1[9].

Підп. і дата	
Інв. № добул.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

							ТС 18510212	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат				9



Рисунок 1.1 – Схема основних завдань створення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника

Особливістю забезпечення ефективного управління екологічною мережею Чорнобильського біосферного заповідника має стати радіаційна безпека, зменшення пожежної небезпеки, перенесення і міграції радіонуклідів на прилеглі території [10].

### 1.3 Огляд шляхів відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів

Технології очищення (відновлення) деградованих ґрунтів, забруднених важкими металами, включають механічне видалення шару забрудненого ґрунту, стабілізацію металів у ґрунті за допомогою хімічних сполук та вирощування рослин-гіперакумуляторів іонів важких металів (фітореMediaція)[11].

Для зменшення або ліквідації техногенного забруднення агроландшафтів

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ТС 18510212					Арк
										10
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						



Фіторемедіація (від грецького “фітон” – рослина та латинського “ремедіум” – відновлювати) – це метод сучасної технології очищення забруднених ґрунтів із використанням зелених рослин. Фіторемедіацію визнали ефективним та економічно вигідним методом очищення ґрунтів після того, як було виявлено та вивчено здатність ряду рослин накопичувати в пагонах у десятки-сотні разів більше важких металів у порівнянні з іншими рослинами[12].

Фіторемедіацію відносять до групи технологій, які використовують рослини для зменшення, вилучення, сорбції або деактивації екологічних токсинів, насамперед антропогенного походження, з метою відновлення забруднених ділянок до стану їх придатності для приватного чи громадського використання. Фіторемедіація не вимагає використання інтенсивних методів або геологічних технологій, оскільки підпорядкована природним, синергетичним відносинам між рослинами, мікроорганізмами та навколишнім середовищем.

В даний час існують дві стратегії використання рослин для «вилучення» важких металів із ґрунтів [14]. Перша з них передбачає використання рослин – наднакопичувачів, таких як *Thlaspi caerulescens* (Талабан альпійський) або *Alyssum bertolonii* (Бурачок муровий). Ці рослини специфічно поглинають один або два метали, накопичення у них невеликої біомаси корелює з дуже високими концентраціями металу у пагонах. Друга стратегія заснована на використанні високопродуктивних рослин, які не є металоспецифічними, та формують велику надземну біомасу, проте кількість важких металів у ній порівняно невисока. Необхідні властивості рослин-акумуляторів металів наступні[15]:

- Відсутність географічних переваг і швидке зростання;
- висока біопродуктивність;
- здатність утворювати продукцію комплексного застосування;
- сильна коренева система;
- здатність до гіперакумуляції важких металів;

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 18510212					Арк
										12
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						

- висока стійкість до важких металів;
- швидкий транспорт металів до надземних органів;
- здатність до акумулювання кількох металів;
- стійкість до хвороб та шкідників.

Здатність рослин очищати ґрунти від іонів важких металів обмежена багатьма факторами. Серед них можна назвати такі як доступність металу в ґрунті для поглинання корінням рослин, швидкість поглинання його корінням, транспорт металу з кореня в пагін, а також стійкість рослини.

Фіторе mediaція включає наступні етапи[16]:

1. Висаджування рослин тих видів, які здатні акумулювати відповідні метали.
2. Забезпечення можливості зростання культур.
3. Збирання зеленої маси з подальшим спалюванням або компостуванням для переробки металів. Ця процедура може за необхідності повторюватись кілька років, доки рівень забруднення в ґрунті не знизиться до допустимих меж. При спалюванні рослин, золу необхідно розміщувати у могильники для небезпечних відходів.

Наявність високих концентрацій металів у ґрунті призводить до їх накопичення у дикорослій флорі та сільськогосподарських культурах, що супроводжується забрудненням харчових ланцюгів. Високі концентрації металів роблять ґрунт непридатним для росту рослин, у зв'язку з чим порушується біорізноманіття. Забруднені важкими металами ґрунти можуть бути відновлені хімічними, фізичними та біологічними способами. Загалом їх можна віднести до двох категорій:

Метод ex-situ вимагає видалення забрудненого ґрунту для обробки на або поза ділянкою, та повернення обробленого ґрунту на початкове місце. Послідовність методів ex-situ, що використовуються для очищення забруднених ґрунтів, включає екскавацію, детоксифікацію та/або розкладання контамінанту фізичними або хімічними способами, внаслідок чого контамінант піддається стабілізації, осадженню, іммобілізації, спалюванню

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 18510212	Арк 13
-----	-----	----------	-------	-----	-------------	-----------

або розкладанню [17].

Метод in-situ передбачає очищення забрудненого ґрунту без його екскавації. Reed та ін. визначили технології ремедіації in-situ як розкладання або трансформацію контамінанта, іммобілізацію зниження біодоступності і відділення контамінанта від ґрунту.

Метод in-situ кращий, ніж ex-situ, внаслідок його низької вартості та щадного впливу на екосистему. Традиційно метод ex-situ передбачає видалення забрудненого важкими металами ґрунту та його поховання, що не є оптимальним вибором, оскільки поховання забрудненого ґрунту поза ділянкою просто переносить проблему забруднення в інше місце; при цьому існує певний ризик, пов'язаний із транспортом забрудненого ґрунту.

Розведення важких металів до прийняттого рівня шляхом додавання в забруднений ґрунт чистого ґрунту та їх змішування, покриття ґрунту інертним матеріалом може бути альтернативою очищенню ґрунту в межах забрудненої ділянки. Іммобілізація неорганічного контамінанта може бути використана як ремедіаційний метод для забруднених важкими металами ґрунтів[17].

Сучасні фіторемедіаційні технології можуть базуватись на різних методологічних підходах – це фітоекстракція, ризофільтрація, фітодеградація. Перш ніж використати ту або іншу технологію, необхідно ретельно проаналізувати простір, що підлягає відновленню, установити тип токсичного з'єднання [18].

Наявність підвищених концентрацій металів у ґрунті призводить до їх накопичення у дикорослій флорі та сільськогосподарських культурах, що супроводжується забрудненням харчових ланцюгів. Високі концентрації металів роблять ґрунт непридатним для росту рослин, у зв'язку з чим порушується біорізноманіття. Забруднені важкими металами ґрунти можуть бути відновлені хімічними, фізичними та біологічними способами.

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

						ТС 18510212	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат			14

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ БІОРЕМЕДІАЦІЇ ГРУНТІВ

### 2.1 Методологічний підхід до процесів фіксації важких металів та радіонуклідів у ґрунтах з використанням біотехнологічних методів

У більшості випадків, пов'язаних з ядерними чи радіаційними інцидентами, найбільшому радіонуклідному забрудненню у решті решт буває піддана поверхня Землі – ґрунти і водойми. Але якщо при забрудненні водойм радіоактивність за рахунок динамічних процесів досить швидко розбавляється у великих об'ємах води і у значній мірі виходить із зони безпосереднього забруднення, як це частково сталося за аварії на АЕС «Фукусіма-1», то у випадках забруднення суходолу, тобто ґрунту, вона піддається змінам досить повільно.

Існує поняття «час напівочищення ґрунту від радіонукліду». Це час, протягом якого радіоактивність ґрунту за рахунок природних і, можливо штучних, факторів зменшується удвічі. Безперечно, якщо мова йде про довгоживучі штучні радіонукліди, то основну роль тут грає процес фізичного розпаду – тобто час піврозпаду радіонукліду, який не залежить від будь-яких чинників і являє собою постійну величину. Проте, є й багато інших чинників природного характеру, які суттєво впливають на очищення ґрунту від радіонуклідів[19].

Дані, наведені у табл. 2.1 , свідчать, що з часом після аварії на Чорнобильській АЕС ефективність контрзаходів у зменшенні надходження радіонуклідів в рослини знижується, а роль природних процесів, у котрі основний внесок припадає на розпад радіоактивних ядер, зростає. І є всі підстави вважати, що з переносом радіоактивності у більш глибокі шари роль цього процесу стане вирішальною.

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
15

Таблиця 2.1. Відносний внесок природних процесів і контрзаходів у зменшенні переходу  $^{137}\text{Cs}$  з ґрунту в продукцію рослинництва, %

Процеси і заходи		Період					
		1986-1996		1996-2006		2006-2016	
Природні процеси	Розпад ядер	20	0	40	0	0	0
	Вертикальна міграція	10		10		0	
	Горизонтальна міграція	20		10		0	
	Винос з рослинністю	10		10		0	
Штучні процеси	Вапнування	25	0	15	0	0	0
	Внесення добрив	25		15		0	

Для порівняльних оцінок родючості ґрунтів обов'язково проводиться бонітування ґрунтів – оцінювання родючості за їхніми природними особливостями та продуктивністю, виражене у 100-бальній системі. В Україні цей показник варіює від 22–32 балів для дерново-підзолистих піщаних і глинисто-піщаних ґрунтів до 65–100 балів для різних видів чорноземів. Безперечно, процеси деградації впливають на таку «бальність». Традиційно деградованими ґрунтами прийнято вважали такі, що погіршили окремі свої властивості і зменшили родючість внаслідок несприятливих природних процесів, зокрема ерозії.

Однак, останнім часом до чинників деградації стали відносити і антропогенні чинники, у тому числі забруднення різними токсикантами, у тому числі й радіонуклідами. Радіонуклідне забруднення не може не впливати на ціноутворення ґрунту.

Мікроорганізми ґрунту мають здатність впливати на біодоступність і поглинання важких металів, а також можуть сприяти зростанню та

Підп. і дата	
Інв. № доубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 18510212	Арк
						16



зменшувати токсичний вплив забруднюючих речовин на рослини. Близько 80% наземних рослин є симбіотичними мікроорганізмами.

Багато видів, що населяють ризосферу, здатні існувати в середовищі, забрудненому важкими металами, стабільності мікробіоти ґрунту обумовлена як вродженими, так і набутими механізмами адаптації.

Характерні для нього мікроорганізми (внутрішня біоремедіація) можуть бути внесені в забруднений ґрунт або виділені з певного середовища, а потім внесені в забруднене (біоаугментація).

Біоаугментація – введення (у вигляді біопрепаратів) спеціалізованих мікроорганізмів, чужорідних для середовища проживання, які були попередньо виділені з природних джерел або спеціально генетично модифіковані та відібрані. Відбувається знищення забруднюючих речовин різними видами мікроорганізмів за рахунок активізації аборигенної мікрофлори або внесення певних культур мікроорганізмів у ґрунт, використання комплексних біопрепаратів та інших методів для створення оптимального середовища для розвитку окремих груп мікроорганізмів, які розкладають забруднювачі.

Ґрунт стає придатним для вирощування рослин. Внесені мікроорганізми розкладають основну масу забруднень, зменшують їх негативний вплив на біоту і тим самим стимулюють процеси самоочищення [20]. Доцільність їх використання обумовлена відсутністю розвиненого природного мікробіологічного ценозу з впливом забруднення.

Переваги використання: вибірковість та можливість видалення штамів мікроорганізмів, які руйнують ґрунтові токсиканти.

Недоліки використання: ефективність мікробних культур не однаково висока через вузький діапазон сприятливих умов експлуатації; ризик прояву явища виродження мікроорганізмів до досягнення необхідного рівня

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
17

очищення ґрунту; ризик порушення природного мікробіоценозу при використанні мікробних культур.

## 2.2 Технологічна інтенсифікація процесів біоремедіації ґрунту

Доведено, що рослини можна застосовувати для очищення ґрунтів, ґрунтових вод як від важких металів (ВМ) та радіонуклідів [21]. Існує декілька технік фіторемедіації:

1) Фітоекстракція - рослини накопичують забруднюючі речовини в збірній біомасі, тобто в пагонах;

2) Фітофільтрація -секвестрація (Sequester) токсичних елементів, включаючи метали, шляхом поглинання або біосорбції (biosorption) з забруднених стічних вод рослинами ;

3) Фітостабілізація - обмеження рухливості та біодоступності забруднюючих речовин шляхом їх іммобілізації;

4) Фітоволетілізація - перетворення забруднюючих речовин в летючу форму потім їх випуск до атмосфери;

5) Фітодеструкція - деградація органічних ксенобіотиків за допомогою рослинних ферментів в рослинних тканинах;

6) Ризодеградація -деградація органічних ксенобіотиків ризосферними мікроорганізмами;

7) Фітодесалінація - видалення надлишкових солей із солончаків галофітами.

Для очищення ex-situ забрудненого ґрунту та інших матеріалів можуть використовуватися різноманітні конструкції біореакторів, включаючи реактори з нерухомим шаром (твердофазний біореактор) і суспензію з перемішуванням (шламовий біореактор). Суспензійні (шламові) реактори в основному використовуються для біологічної обробки забрудненого ґрунту (рис. 2.1). Кількість ґрунту в суспензійних реакторах при перемішуванні може становити до 30% від загального об'єму. Їх переваги перед твердофазними

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

					<b>ТС 18510212</b>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат		18

реакторами полягають у легшому управлінні, кращому управлінні процесом, можливості забезпечення більш високого рівня аерації. Вони не схильні до замулювання, засмічення відкладенням і зваженими частинками, надлишку біомаси. З іншого боку, конструкція підвісних реакторів є складнішою, споживає більше енергії та вимагає великих витрат на очищення відпрацьованого повітря [24].

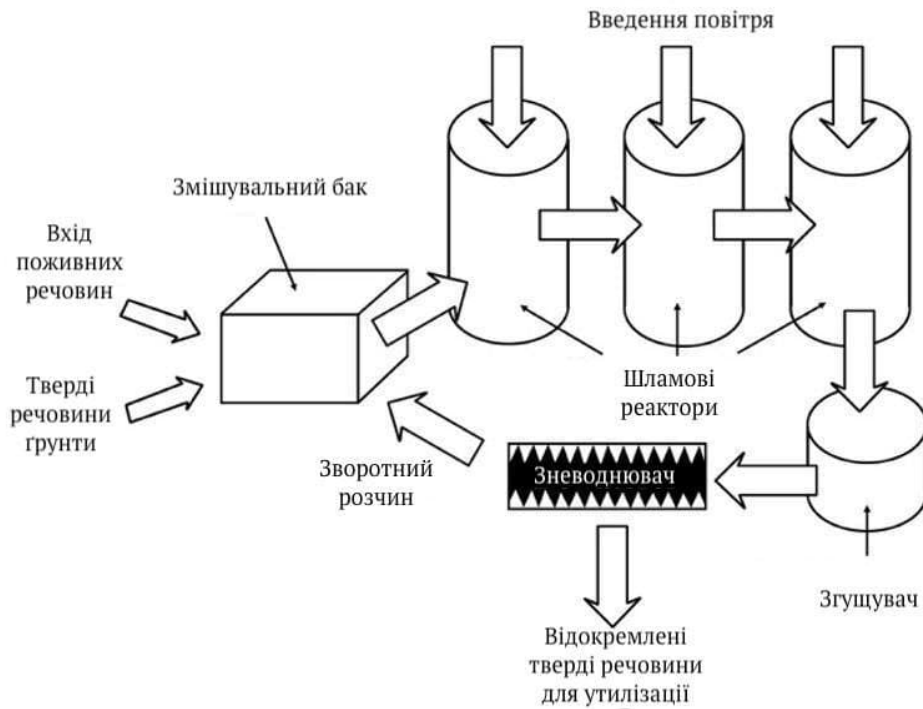


Рисунок 2.1 – Обробіток ґрунту за допомогою шламового біореактора

Аеробні біогеохімічні бар'єри можуть створюватися шляхом міграції підземних вод з високим вмістом  $Sr^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ . Внаслідок утворення вугільної кислоти при окисленні мікроорганізмами внесених у зону контакту органічних субстратів відбувається осадження карбонатів, а також процеси біовилуговування [25].

Розвиток залізоокислюючих бактерій в аеробних умовах сприяє утворенню  $Fe_3^+$ , який взаємодіє з фосфатом з утворенням нерозчинних сполук. Біологічно ініційоване відновлення сульфату супроводжується утворенням сульфідів ТМ, що відбувається наступним чином [26].

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 18510212

Арк  
19

У цих реакціях  $\text{CH}_2\text{O}$  — органічний вуглець, а  $\text{Me}_2^+$  — двовалентний катіон НМ (рис. 2.2).

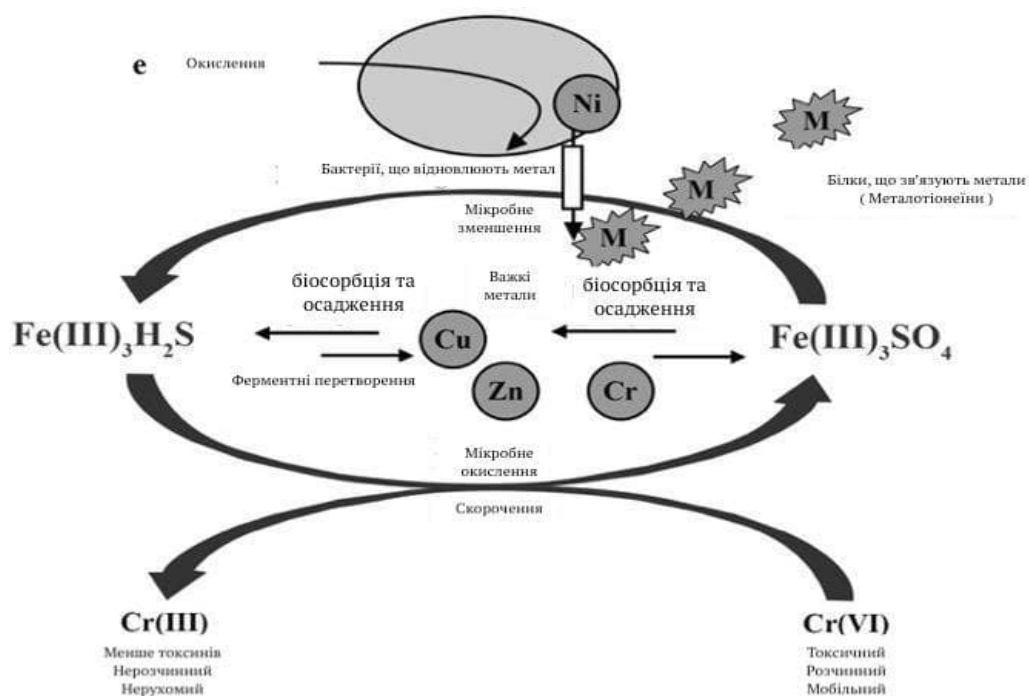


Рисунок 2.2 – Осадження металів із забрудненого ґрунту мікроорганізмами

Біологічний екран може бути організований шляхом аерації ділянки ґрунту в напрямку, перпендикулярному до руху ґрунтових вод. Забруднення може біологічно окислюватися або десорбуватися повітряним потоком [27].

Методи електрокінетичної активації біодеградації включають використання електричного струму, що забезпечує міграцію мікроорганізмів, власним зарядом, у забруднену зону та підвищення швидкості, ефективності рівномірного очищення ґрунту [26].

Ультразвук використовується для активації біодеградації, яка включає руйнування великих агрегатів ґрунту для підвищення доступності забруднюючих речовин для мікроорганізмів [28].

Електрокінетична санація пов'язана з пропусканням через землю постійного електричного струму низької напруги (20-40 мА/кв. сантиметр) з різницею потенціалів у кілька вольт за певний інтервал часу від 5-10 до 120-150хв. може проводитися в місці забруднення, коли електроди встановлені

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 18510212	Арк
						20

в ґрунті на місці, або в спеціально обладнаному реакторі [29].

Процеси електрокінетики включають пропускання електричного струму низької інтенсивності між катодом і анодом, закладеними в забруднений ґрунт (рис. 2.3).

Іони та дрібні заряджені частинки, крім води, транспортуються між електродами. Аніони рухаються до позитивного електрода, а катіони – до негативного. Електричний градієнт ініціює рух шляхом електроміграції (заряджений хімічний рух), електроосмосу (переміщення до рідини), електрофорезу (переміщення заряджених частинок) та електролізу (хімічні реакції через електричне поле).

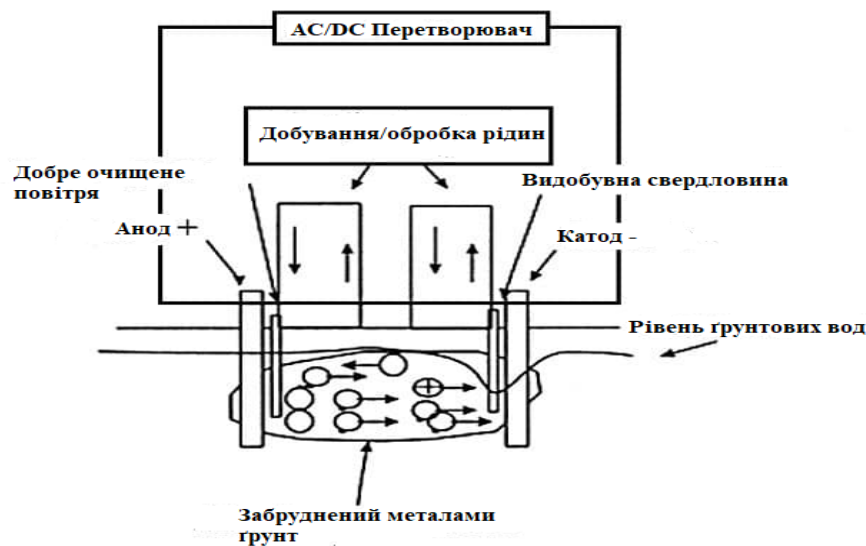


Рисунок 2.3 – Електрокінетичний процес рекультивації ґрунту. Буферні розчини додають і видаляють продувними та екстракційними лунками [30]

Поліпшенню умов аерації ґрунту сприяє також біодеградація забруднення ґрунтів шляхом продування ґрунтів і підземних вод повітрям різного тиску в поєднанні з внесенням поживних речовин через лунки повітрям або розпиленням мікрочастинок поживних розчинів.

У ненасиченій зоні встановлюється ряд вентиляційних екранів. За допомогою вентилятора вдувається повітря, стимулюється розкладання забруднення. Зазвичай ряд пасивних «емісійних екранів» розташовується на

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 18510212

Арк  
21

відповідних відстанях залежно від характеристик забруднення.

Зазвичай ряд пасивних «емісійних екранів» розташовується на відповідних відстанях залежно від характеристик забруднення. Біоventиляція стимулює біодеградацію шляхом вдування повітря, на відміну від екстракції ґрунтової пари, коли компоненти забруднення висмоктуються з ґрунту. Значне місце розташування забруднення. Наприклад, цей метод слід розглядати там, де забруднення розташоване під будівлею або поблизу (рис.2.4).

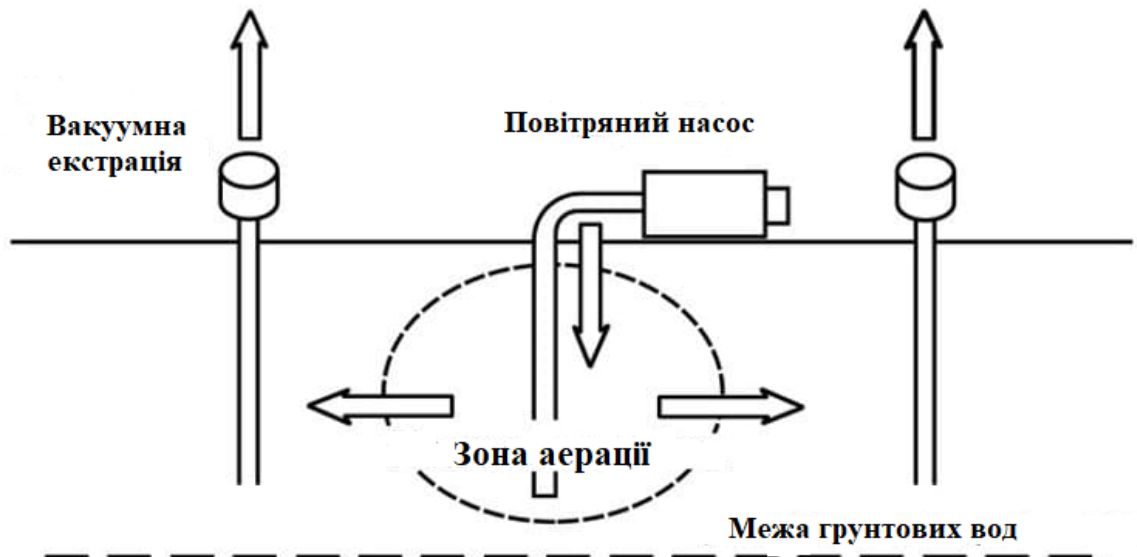


Рисунок 2.4 – Типова система біоventиляції ґрунту [31]

Зазвичай у методології біоремедіації використовуються такі види мікроорганізмів: Bacillus, Arthrobacter, Pseudomonas, Enterobacter, Aspergillus, Penicillium, Rhizopus, Rhodotorula, Candida utilis. Процес санації ґрунту мікробами здійснюються за допомогою таких механізмів, як біоосадження, біосорбція, біоаккумуляція, біоасиміляція, біовилузування, біодеградація та біотрансформація [32].

Іони важких металів та радіонукліди зазвичай можуть адсорбуватися функціональними групами, такими як карбоніл, карбоксил, сульфгідрил, фосфат, сульфат, аміно та гідроксил групи, що присутні на поверхні бактерій.

Здатність бактерій до поглинання іонів важких металів зазвичай варіюється від 1 мг/г до 500 мг/г [33]. В адсорбції іонів важких металів важливу та радіонуклідів роль відіграють позаклітинні полімерні речовини, що

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
22

складаються з білків, ліпідів, нуклеїнових кислот і складних вуглеводнів. Ці речовини на поверхні бактеріальної клітини можуть запобігти токсичності важких металів та проникненню у внутрішню клітинну область (рис.2.5) [34].



Рисунок 2.5 – Узагальнення методів ремедіації територій забруднених важкими металами та радіонуклідами. Відповідно до даних [35]

Для покращення процесів біосорбції використовують підхід біостимуляції, що включає стимулювання зростання мікроорганізмів на забрудненій ділянці ґрунту з метою введення речовин, що корегують рН, поживних речовин, поверхнево-активних речовин та кисню [36].

### 2.3 Гібридні біокомполіти для зв'язування важких металів та радіонуклідів

При перебуванні ґрунтової екосистеми в критичному стані, при якому система стає нестійкою щодо флуктуацій і виникає невизначеність, виникає пролонгуюча токсична дія на природні та штучні фітоценози [22, 23]. В ході природних аеробно-анаеробних перетворень відбувається формування стійкої

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.Недубл.	Підп. і дата	ТС 18510212					Арк
										23
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						

твердої фракції з флукційним домінуванням в ній сульфідів та/або карбонатів і металоорганічних комплексів. Ці групи малорозчинних і нерозчинних сполук часто розглядаються окремо. Але вони при взаємодії ґрунтової мікробіоти утворюються спільно і є природним бар'єром проти дії токсикантів, ізолюючи їх від кореневої системи рослин. При цьому природні біохімічні механізми, які лежать в основі реалізації екологічної протекторної функції, в повній мірі не вивчені.

Основна їх особливість – системно-синергетичний характер перетворень. Він може обумовлювати дисфункцію цих механізмів при збільшенні рівня антропогенного навантаження на екосистему.

Під час реалізації заходів з відновлення ґрунтового комплексу при внесенні біокомпозиту відбувається збільшення частки металів, що міцно пов'язані в мінерально-органічній структурі. Утворені сполуки важких металів у системі «ґрунтовий комплекс – біогенний композит» є стабільними при низьких значеннях рН (2,0 од.) і відносяться до фракцій, які є стійкими до хімічних та мікробіологічних впливів. Одним із матеріалів, що може бути використаний в гібридних біокомпозитах є біочар.

Біочар володіє унікальними фізико-хімічними властивостями(рис.2.6), такими як: висока катіонообмінна ємність, рН, пористість, велика площа поверхні та велика кількість кисневмісних функціональних груп (рис.2.7). Як сировиною для піролізу з отриманням біочару можуть бути різні види біомаси, отриманої з відходів: соснової тирси, рослинні залишки (кукурудзи), бройлерного посліду, осаду стічних вод, зневодненого ставкового мулу.

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

						ТС 18510212	Арк 24
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат			



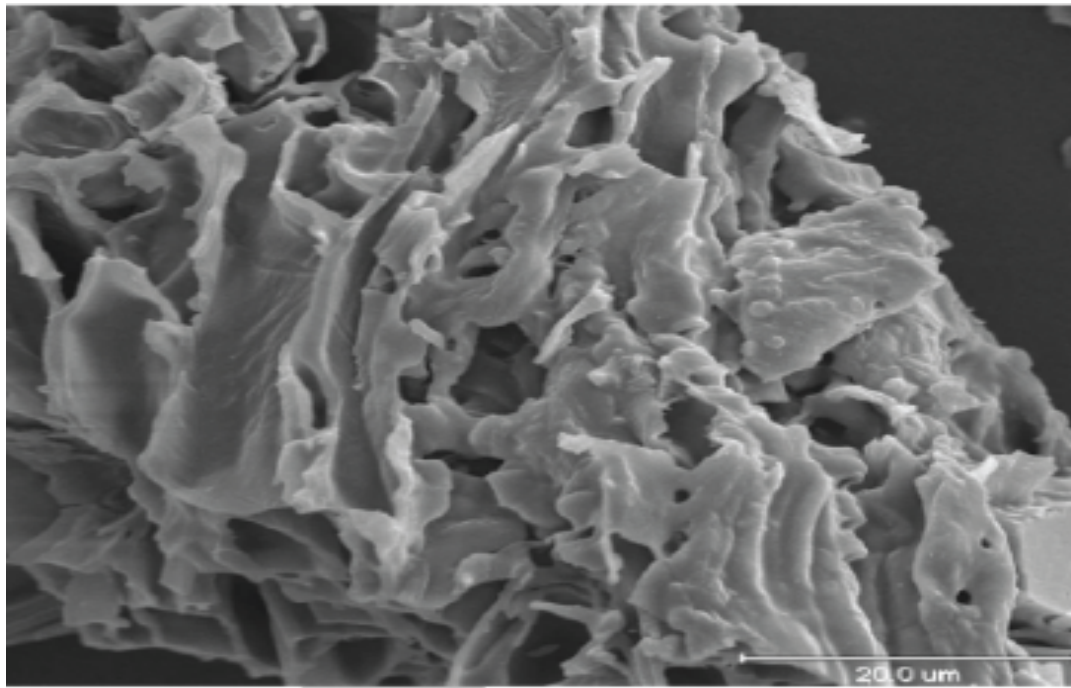
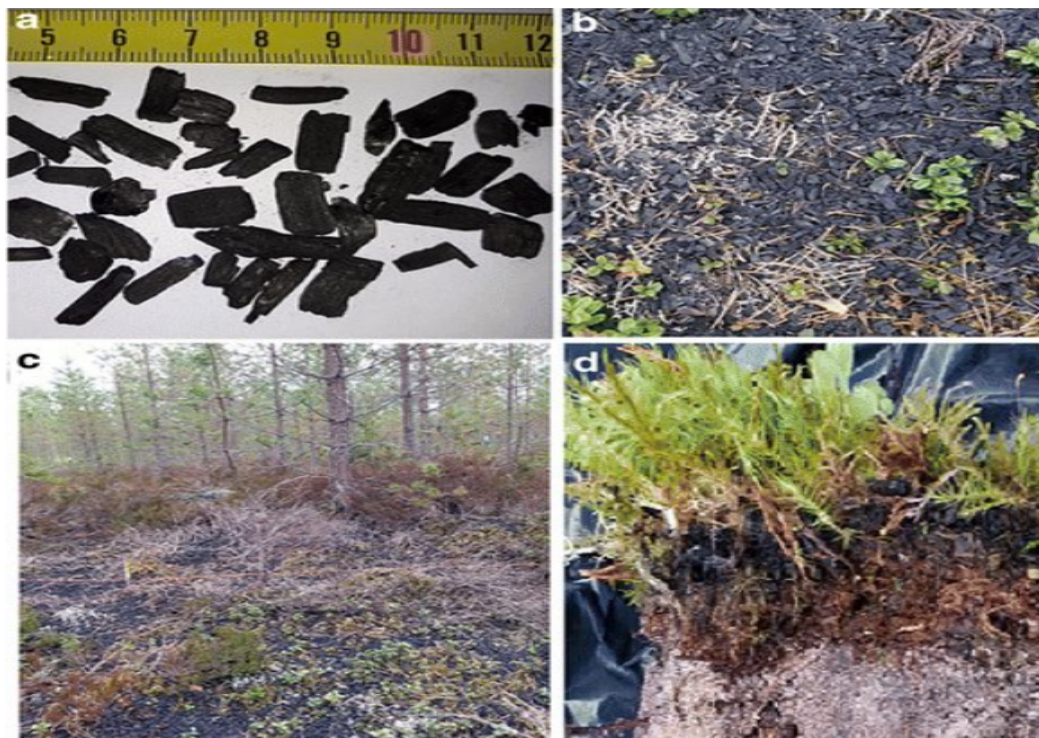


Рисунок 2.6 – Структура пор біочару



а - Розмір часток біочару становив 5-10 мм; б - Біочар розкидався вручну поверхню ґрунту; д - Лишайники виростили поверх шару біочару через рік після додавання біочару [37]

Рисунок 2.7 – Властивості біочару

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 18510212

Арк  
25

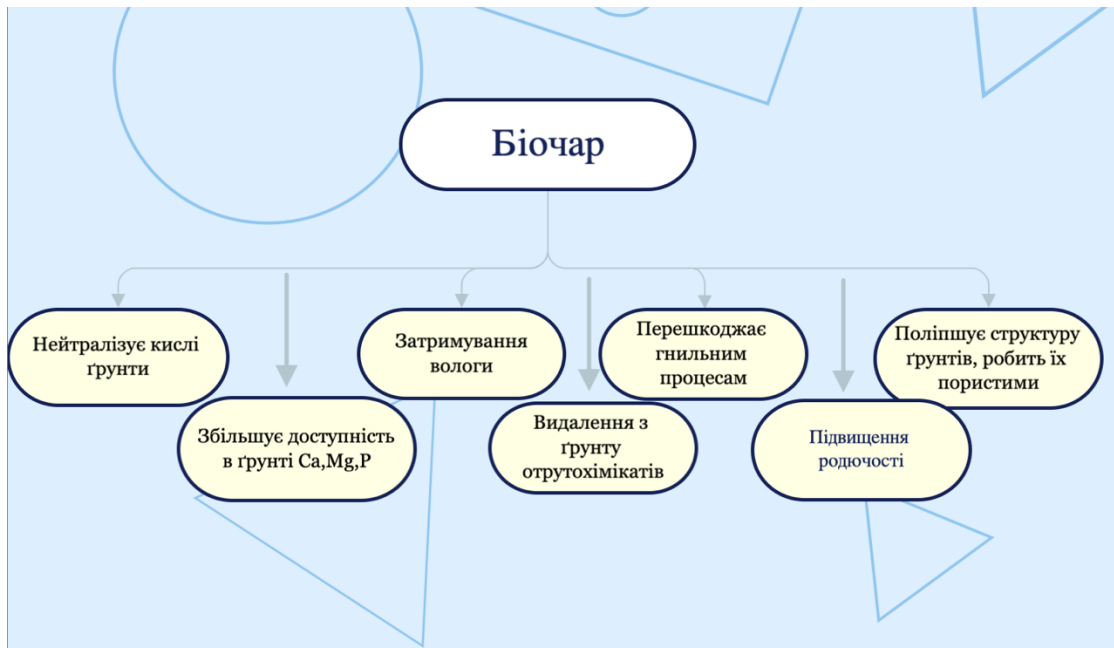


Рисунок 2.8 – Основні характеристики біочару

Біочар, завдяки своїй низькій вартості, простоті в експлуатації та високій ефективності, вважається перспективним сорбентом для видалення U(VI) та Th(IV) з водних розчинів. У роботі [38] досліджено та обґрунтовано, що на видалення як U(VI), і Th(IV) впливав рН, тоді як на адсорбцію U(VI) спостерігалось вплив лише іонної сили.

В адсорбції U(VI) і Th(IV) були виявлені такі властивості, як ендотермічність, зростаюча випадковість, здійсненність, спонтанність та температурна сприятливість реакції адсорбції (U:  $\Delta H_0 = 36,28$ ,  $\Delta S_0 = 108,84$  та  $\Delta G_0 < 0$ ; Th :  $\Delta H_0 = 63,42$ ,  $\Delta S_0 = 134,12$  та  $\Delta G_0 < 0$ ). Ці результати наголосили на важливості біочару як потенційно екологічного адсорбенту та надали практичну стратегію для відновлення радіоактивних забруднювачів.

Крім збільшення загального вмісту поживних речовин, піроліз поліпшив доступність поживних речовин, виняток для азоту і заліза. Біочар молочного гною має вміст азоту 1,7%, однак термічна обробка перетворила це на недоступні форми рослин і тому вважається незначною.

Біочар забезпечував на 13% більше доступного фосфору, ніж гнійна, з 1,2% біочарної маси як P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, тобто так, як було б надруковано на етикетці добрив.

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
26

Цікаво, що збільшення доступного фосфору було пов'язано з 10-кратним зниженням вимивного фосфору. Біочар також продемонстрував на 59% більше доступного калію, ніж гній з 1,6% маси біочару, як  $K_2O$  (табл.2.1).

Таблиця 2.2 – Доступні поживні речовини

Елемент	Гній(добриво)		Біочар		Зміна через піроліз	
	Вилуговуванні	Доступні	Вилуговуванні	Доступні	Вилуговуванні	Доступні
	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг		
Фосфор	409,8	4505,9	35,8	5088,2	-91%	13%
Калій	7372,8	8114,2	9399,9	12891,2	27%	59%
Кальцій	31257,5	80671,0	33720,8	142276,8	8%	76%
Магній	2785,9	6578,6	291,1	7654,5	-90%	16%
Сірка	179,5	681,0	125,4	750,5	-30%	10%
Залізо	1,6	41,7	0,0	8,9	-100%	-79%
Марганець	7,1	109,3	6,2	176,6	-13%	62%
Цинк	1,9	69,2	0,5	85,0	-74%	23%

Загалом, біочар як ґрунтова добавка має перспективу використання, завдяки його здатності іммобілізувати токсикантів, у тому числі радіонукліди, та знижувати їх поглинання рослинами. Є необхідність проведення довгострокових досліджень різних груп рослин, типів ґрунтів, ефективності поглинання поживних речовин, фітодоступності та протоколів послідовної екстракції.

Такі дослідження допоможуть краще зрозуміти екологічні ризики використання компосту, отриманого з осаду стічних вод або біочара як ґрунтової добавки.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

						ТС 18510212			Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат					27

## 2.4 Розробка комплексного біотехнологічного рішення для рекультивації ґрунтів забруднених важкими металами та радіонуклідами

Попередні дослідження в лабораторії Сумського державного університету моделювали механізми впливу біогенного композиційного матеріалу [39] на основі мулу та фосфогіпсу на захисні функції ґрунту та описували динаміку мікробного біому ґрунту в системі «біотичний компонент – біогенний продукт (дигестат) – токсикант (ТМ)» зі стимулюючою дією біокомпозиту.

Це потребує подальшого визначення еколого-біохімічних аспектів впливу органо-мінерального біокомпозиту на розвиток природних ґрунтових мікроорганізмів та процес формування сприятливих біохімічних умов для відновлення порушених земель.

Впровадження комплексної біотехнології рекультивації ґрунтів вимагає чіткої і структурованої побудови технологічних схем руху матеріальних потоків.

Основні організаційні вимоги до біотехнологічної схеми включають наступне:

- простота виконання та автоматизація обладнання;
- доцільність розміщення обладнання відповідно до напрямку матеріальних потоків;
- вибір оптимального режиму роботи технологічного обладнання – безперервного або періодичного;
- проведення процесів у постійних умовах;
- викиди парникових газів від систем біологічної очистки (рис. 2.5);
- вибір кінцевого продукту переробки.

у газгольдері, з якого потім потрапляє до очисних споруд та використовується у якості теплового та енергетичного джерел.

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
28

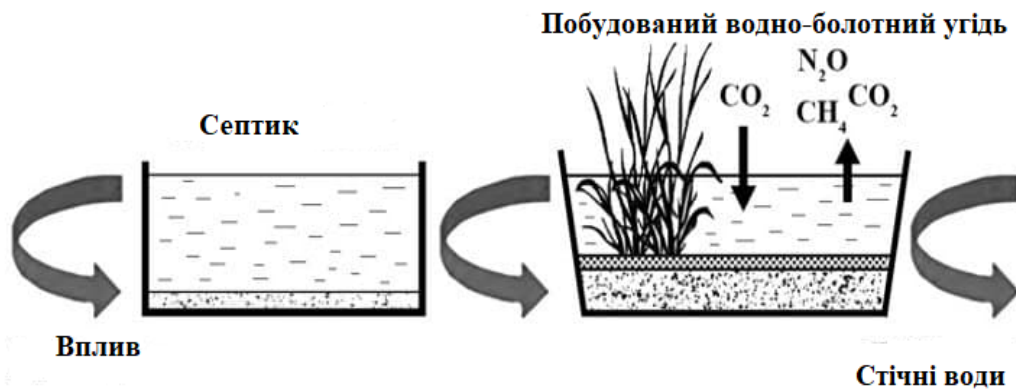
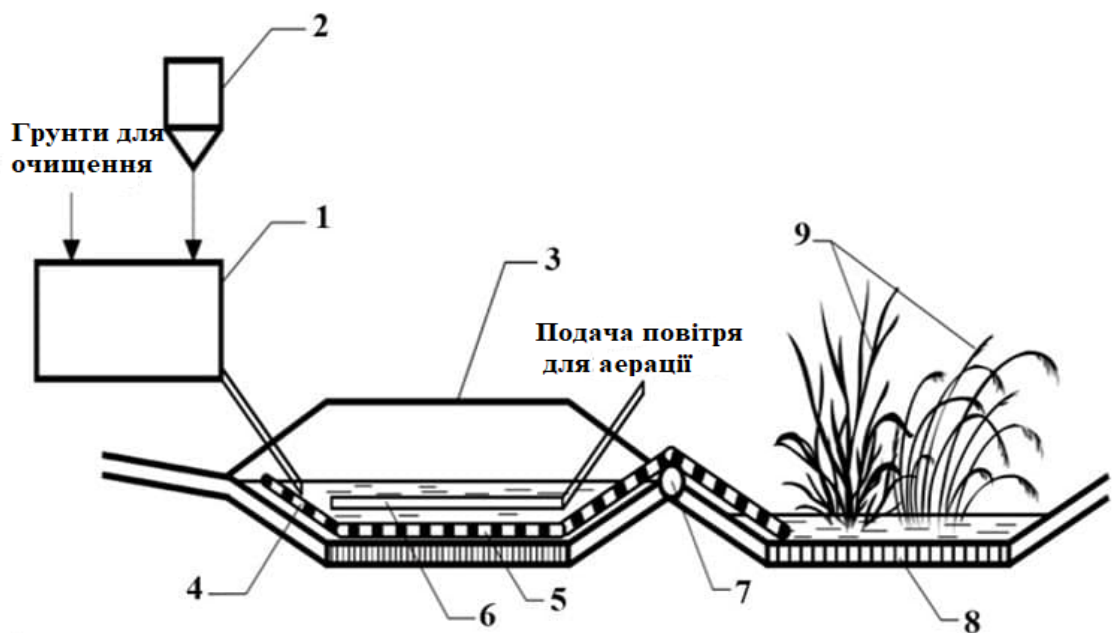


Рисунок 2.9 – Викиди парникових газів від систем біологічної очистки

На основі обробки та аналізу теоретичних та експериментальних даних розроблено технологічну схему анаеробних установок для біодетоксикації ґрунту (рис. 2.10).



- 1 - бункер для змішування подрібненого ґрунту та біокомпозиту;
- 2 - дозатор біокомпозиту, що містить біочар;
- 3 - біореактор;
- 4 - скребковий транспортер;
- 5 - ізольоване дно;
- 6 - система аерації;
- 7 - електропривод;
- 8 - платформа;
- 9 - рослини фіторемерації

Рисунок 2.10 – Біотехнологічне рішення комплексної ремедіації ґрунту

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 18510212

Арк  
29

Технологічна схема працює наступним чином. Подрібнений ґрунт забруднений важкими металами та радіонуклідами, разом з ґрунтовою добавкою (наприклад біочаром), що подається з дозатора (2), надходить у бункер для змішування (1). Ця суміш надходить у біореактор (3) по трубопроводу, виконаному у вигляді траншеї з ізольованим дном (5) зі скребковим транспортером (4), по якому переміщується ґрунт.

Над конвеєром влаштована система аерації (6), завдяки якій в біореактор подається повітря для покращення умов аерації. Біореактор оснащений електроприводом (7) і покритий зверху герметичним непрозорим полімерним покриттям.

Попередньо очищений ґрунт скребковим транспортером (4) подається на спеціальну площадку (8), де висаджується рослини - репродукти (9) для подальшого очищення, моніторингу та контролю вмісту забруднюючих речовин.

Таким чином, очищення ґрунту від важких металів та відновлення його родючості за рахунок покращення умов для розвитку ґрунтової мікробіоти пропонується у двостадійному процесі:

- 1) аеробний обробіток ґрунту разом з ґрунтовою добавкою (біочаром);
- 2) етап фіторемедіації для очищення.

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 18510212					Арк
										30
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						

### РОЗДІЛ 3 СТАЛИЙ СОЦІО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК ТЕРИТОРІЙ, ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Відсутність економічного механізму компенсації підвищених витрат у суб'єктів господарювання на постраждалих територіях створює серйозні перешкоди та для розвитку індивідуального та приватного підприємництва:

– підвищені витрати на оплату праці у зв'язку з використанням вахтового методу, здійсненням значних додаткових виплат стимулюючого характеру та оплатою, відповідно до чинного законодавства, більш тривалих відпусток;

– підвищені (у зв'язку з відповідними вищими витратами на оплату праці) обов'язкові відрахування до соціальних фондів (фонд зайнятості та фонд соціального захисту), що відносяться на собівартість продукції (робіт, послуг);

– підвищений (у зв'язку з відповідними вищими витратами на оплату праці) надзвичайний податок, що також включається до собівартості продукції (робіт, послуг);

– підвищений (відповідно до збільшення доданої вартості) податок на додану вартість;

– підвищена вартість використовуваних сировини та матеріалів, вироблених на постраждалих територіях.

Компенсація зазначених додаткових витрат, які за об'єктивними причинами змушені нести суб'єкти господарювання, що функціонують на забруднених територіях, має стати головним завданням економічного механізму, що регулює виробничо-фінансову діяльність зазначених суб'єктів.

При цьому він повинен бути органічно вписаний в загальну систему заходів, що здійснюються фінансово-економічному оздоровленню постраждалих районів та загальну систему управління народним господарством країни.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	



Тільки в такому випадку можна розраховувати на максимальне підвищення ефективності виробництва та досягнення бажаної конкурентоспроможності продукції (робіт, послуг), що випускається підприємствами, розташованими у районах радіоактивного забруднення. Використовуючи вказаний механізм, органи державного управління повинні будуть, не втручаючись до оперативно- господарську діяльність підприємств, створювати для них нормальні умови функціонування, не гірше за ті, які мають підприємства однакового виробничого профілю, розташовані у чистих районах. Виходячи з цього, економічний механізм функціонування суб'єктів господарювання забруднених районів має забезпечувати:

- всебічний облік об'єктивних факторів, що спричиняють відхилення від нормальних умов господарювання на забруднених територіях;
- застосування форм та методів економічного регулювання, найбільш повно відповідальних особливостей та напрямів діяльності суб'єктів господарювання на забруднених територіях;
- ув'язування форм і методів економічного механізму, що формується з чинною загальною системою державного регулювання фінансово- економічну діяльність суб'єктів господарювання.

Для підвищення рівня управління соціально-економічним розвитком постраждалих територій від наслідків катастрофи на ЧАЕС доцільно організувати розробку спеціальних регіональних програм соціально- економічного розвитку територій(рис.3.1). У цих програмах особливу увагу слід приділити:

- спеціальним заходам щодо подолання наслідків катастрофи на ЧАЕС;
- ефективного використанню економічного потенціалу та місцевих природних ресурсів;
- формування ринкової інфраструктури, привабливої для малого та середнього бізнесу;
- розвитку виробничої та соціальної інфраструктури постраждалих територій, що забезпечує безпечну та повноцінну життєдіяльність населення;

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
32



- забезпечення отримання екологічно чистої сільськогосподарської, лісової та іншої продукції, що володіє конкурентоспроможністю на внутрішньому та зовнішньому ринках;
- інвестиційним проектам, необхідним для ефективного та комплексного соціально-економічного розвитку постраждалих територій.



Рисунок 3.1 – Еколого-соц-економічні переваги скоординованого розвитку територій, що відновлюються після аварії на ЧАЕС за даними із [40]

Важливим напрямом є біоремедіація ґрунтів, зокрема із використанням різних видів біопрепаратів. Наприклад, біочар має значний потенціал для цього та екологічно безпечний. Якщо врахувати весь вміст поживних речовин і вуглецю, біочар із гною ВРХ має вартість від 26,86 до 28,33 гривень за кг (табл.3.1). Цей розрахунок базується на середньозваженій оптовій ціні окремих компонентів у комерційно доступних органічних добривах, як показано нижче. Більша частина вартості, 23,32 грн/кг, виникає з вуглецю біочару.

Оцінка продукту, проведена GreenTree Garden Supply, замінила весь комерційний біочар (80% C) біовугіллям молочного гною (43% C) на основі вуглецю. Додатковий вміст поживних речовин у біочарі із гною ВРХ знизило оптову вартість матеріалу для двох продуктів на 2,26% та 0,19% [41].

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
33

Якщо врахувати весь вміст поживних речовин і вуглецю, біовугілля молочного гною має вартість від 26,86 до 28,33 гривень за фунт. Цей розрахунок базується на середньозваженій оптовій ціні окремих компонентів у комерційно доступних органічних добривах, як показано нижче. Більша частина вартості, 23,32грн/фунт, виникає з вуглецю біовугілля.

Таблиця 3.1 – Комерційна вартість

	Фосфат гірський			Кістковий шар			Кісткове борошно			Добриво біочар	
		Індивідуальна цінність	Біочар кг	%	100% кг	Біочар грн/ кг	%	100% Грн/ кг	Біочар грн/ кг	%	Біочар грн/ кг
Оптова ціна		25,4			20,8			93,1			
Всього P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	9,8	2,0	32	8,5	1,3				4,1	←
Доступні P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		2,0	0,6	16	3,9	0	9	44,9	1,9	1,2	←
Всього K <sub>2</sub> O		0,6	1,3	34	-			-		2,2	2,6
Всього Са	5	12,4	0,6		8,5	0,6	1	48,1	2,6	1,6	←
Всього Mg		0,6	1,3		-					2,6	3,2
Всього S		-			-					0,4	0,6
Всього С		-								43,3	51,4

Оцінка продукту, проведена GreenTree Garden Supply, замінила весь комерційний біовугілля (80% С) біовугіллям молочного гною (43% С) на основі вуглецю. Додатковий вміст поживних речовин у біовугіллі молочного гною знизило оптову вартість матеріалу для двох продуктів на 2,26% та 0,19%.

Практичною проблемою для виробництва біовугілля з гною є його вологість. Відпрацьоване тепло від спалювання біогазу могло б задовольнити цю вимогу за наявності належної інфраструктури. Крім того, гази, що супроводжуються піролізу, можна модернізувати, а потім спільно спалювати разом із біогазом для виробництва електроенергії для живлення піролізу на фермі. Застосування біовугілля на полях підвищить родючість і компенсує надходження поживних речовин.

Інв.Неподл. Підп. і дата  
Взаєм.інв.№ Інв.Недубл. Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 18510212

Арк  
34

Органічне землеробство є можливим комерційним застосуванням біовугілля для молочного гною. Біовуглець є конкурентоспроможним за ціною з іншими органічними джерелами фосфору, і органічні фермери звикли розповсюджувати великі обсяги як добрива.

Додаткове добриво (особливо N) буде змішано з біовугіллям для досягнення бажаного балансу та концентрації поживних речовин, а кінцевий продукт буде містити біовугілля, щоб підвищити родючість ґрунту в довгостроковій перспективі. Розрахунок перспективності реабілітації проводився за трьома напрямками:

- сільської урбанізованої території;
- лісових угідь;
- сільськогосподарським угіддям.

Для практичної реалізації геоінформаційної системи у схемах управління реабілітацією необхідно:

- на основі розробленої методики створити програмний продукт;
- відпрацювати алгоритми оцінки ефективності додаткових захисних заходів лісовому, сільському господарствах та на урбанізованих територіях;
- визначити джерела отримання необхідної вихідної інформації;
- створити організаційну структуру, призначену для практичної реалізації комплексу завдань, з метою інформаційного забезпечення запланованих розрахункових експериментів на основі спеціального програмного забезпечення.

Необхідно конкретизувати систему критеріїв оцінки радіаційно-екологічної, соціальної та економічної ефективності захисних заходів та способи їх розрахунку у сільському, лісовому господарствах та на урбанізованих територіях.

Інв. №подл.	Підп. і дата
Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.
Підп. і дата	
Підп. і дата	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 18510212

Арк  
35

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Усі роботи з радіоактивними речовинами(РР) мають бути організовані таким чином, щоб забезпечувалася радіаційна безпека персоналу і населення, а також охорона навколишнього середовища від радіоактивного забруднення.

Вимоги, що забезпечують радіаційну безпеку таких робіт, викладені в "Основних санітарних правилах роботи з радіоактивними речовинами й іншими джерелами РВ ОСП-72/87".

Це вимоги до розміщення установок; організації робіт і робочих місць; одержання, обліку, зберігання і перевезення джерел радіоактивного випромінювання; вентиляції, пилогазоочищення, опалення, водопостачання і каналізації; зберігання, видалення і знешкодження радіоактивних відходів.

В ОСП сформульовані положення щодо вмісту радіоактивних речовин і дезактивації робочих приміщень та устаткування; про заходи індивідуального захисту й особистої гігієни; з організації радіаційного дозиметричного контролю; з попередження радіаційних аварій і ліквідації їх наслідків. Виробництво, обробка, застосування, зберігання, транспортування джерел радіоактивного випромінювання(РВ), переробка і знешкодження радіоактивних відходів здійснюється з дозволу і під контролем органів та установ Держсаннагляду, яким надається вся інформація, необхідна для оцінки можливої радіаційної небезпеки відповідної установи[42].

Необхідно конкретизувати систему критеріїв оцінки радіаційно-екологічної, соціальної та економічної ефективності захисних заходів та способи їх розрахунку у сільському, лісовому господарствах та на урбанізованих територіях.

Навколо установ із джерелами РВ у разі потреби встановлюється санітарно-захисна зона (СЗЗ) і зона спостереження (ЗС). У СЗЗ при нормальній роботі установи рівень опромінення людей може перевищити ГД, тому тут

Підп. і дата
Інв. Недубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподрл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
36

забороняється будівництво житлових будинків, а також будинків і споруд, що не стосуються роботи цієї установи. У зоні спостереження опромінення може досягати ГД, але у ній проводиться радіаційний контроль.

Розміри зон визначаються на основі розрахунку дози зовнішнього опромінення, поширення радіоактивних викидів у атмосферу і скидів у водоймища й у кожному конкретному випадку встановлюються за узгодженням із органами Держсаннагляду. Розміри ЗС звичайно в кілька разів більші, ніж СЗЗ. Наприклад, СЗЗ АБС має радіус 3-5 км, а ЗС може простягатися на відстань 20-30 км від АЕС.

Найбільш складний комплекс захисних заходів передбачається при роботі з радіоактивними речовинами у відкритому вигляді, оскільки необхідно забезпечити захист людей не тільки від зовнішнього, а й від внутрішнього опромінення і запобігти забрудненню навколишнього середовища. Така небезпека існує при роботі ядерних реакторів, у радіохімічному виробництві, особливо при проведенні ремонтів.

До основних захисних заходів належать: вибір устаткування, технологічних режимів, планування й обробка приміщень; раціональне планування робочих місць, режиму вентиляції, захисту від зовнішнього і внутрішнього опромінення, збирання й утилізації радіоактивних відходів; дотримання заходів особистої гігієни і використання засобів індивідуального захисту.

У найзагальнішому вигляді відповідно до "Основних санітарних правил роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючих випромінювань» (ОСПОРБ-99) можна вказати наступні основні принципи техніки радіаційної безпеки[43]:

1. До роботи з радіоактивними речовинами та іонізуючим випромінюванням допускаються тільки особи, які досягли 18 років, які пройшли спеціальне медичне обстеження стану здоров'я і були визнані за результатами цього обстеження придатними до зазначеної роботи. Вагітні жінки до такого роду робіт не допускаються.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

						ТС 18510212	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат			37

2. Перед початком роботи з радіоактивними речовинами та іонізуючим випромінюванням в залежності від технічного і наукового рівня і характеру робіт кожен працівник повинен пройти спеціальне навчання і скласти відповідний іспит з техніки радіаційної безпеки.

3. Всі роботи з радіоактивними речовинами та іонізуючим випромінюванням повинні проводитися в умовах найсуворішого дотримання правил радіаційної безпеки і при наявності постійного контролю з боку осіб, відповідальних за радіаційну безпеку в даній установі.

4. У приміщеннях, де проводяться роботи з радіоактивними речовинами, забороняється:

- перебування працівників без необхідних засобів індивідуального захисту;
- зберігання харчових продуктів, тютюнових виробів, косметики, домашнього одягу та інших предметів, що не мають прямого відношення до виконуваних робіт;
- прийом їжі, куріння, користування косметикою;
- паркан радіоактивних речовин в піпетку з допомогою рота (для цих цілей використовують спеціальні пристосування).

Крім того, в кожній лабораторії, на кожному підприємстві і на кожній ділянці роботи повинні строго дотримуватися місцеві правила радіаційної безпеки, складені на основі загальних правил, але враховують конкретну специфіку даної роботи з радіоактивними речовинами та іонізуючим випромінюванням.

За ступенем радіаційної небезпеки РР поділяються на чотири групи в міру зменшення небезпеки: А, Б, В, Г (табл.4.1). Залежно від групи РР і фактичної активності їх на робочому місці встановлюється три класи робіт.

Приміщення для робіт класів I і II ізолюють від інших та обладнують санпропускником, душовою і пунктом радіаційного контролю.

Підп. і дата	
Інв. Недубл.	
Взаєм. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. Методл.	

Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
38

Приміщення для робіт класу I розділяються на три зони:

– перша зона — приміщення, що не обслуговуються, де розміщуються основні джерела ІВ і радіоактивного забруднення;

– друга зона - завантаження, що обслуговується періодично під час ремонту і вивантаження РР, тимчасового зберігання і видалення радіоактивних відходів;

– третя зона - приміщення постійного перебування персоналу, для виключення можливості винесення забруднень між приміщеннями другої і третьої зони обладнується спеціальний шлюз.

розрахунках приймалися мінімальні дані щодо утворення біогазу то вмісту метану в ньому.

Таблиця 4.1 - Групи радіаційної небезпеки радіоактивних речовин

Група РНРР	Найменування радіонуклідів
Група А	Уран-232;торій-228,230; радій -226,228; кюрій – 242,248; свинець – 210
Група Б	Уран-230,233,236; торій – 227; плутоній - 241,243;радій – 223,224; йод – 125,126,129,131 та ін. У 10 разів вище, ніж для групи А
Група В	Йод – 132,135; фосфор -32; натрій-23,24% марганець -52,54,56; кобальт-56,58,60 та ін. У 10 разів вище, ніж для групи Б
Група Г	Йод-123;торій – 232,234; фосфор-33; вуглець -14; кремній – 31; тритій -3 та ін. У 10 разів вище, ніж для групи В.

Стіни, підлоги, стелі, устаткування і робочі меблі в приміщеннях для робіт класів II і I мають мати гладку поверхню і слабо сорбуючі покриття, що полегшують видалення радіоактивних забруднень.

Підп. і дата  
Інв. №дубл.  
Взаєм. інв. №  
Підп. і дата  
Інв. №подл.

Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
39

Краї покриття підлоги повинні бути закріплені й забиті врівень зі стінами. Вентиляційні й повітроочисні пристрої мають забезпечити захист від забруднення повітря всередині приміщень та зовнішнього повітря. Вентиляційні й повітроочисні пристрої мають забезпечити захист від забруднення повітря всередині приміщень та зовнішнього повітря.

До засобів індивідуального захисту умовно відносяться захисні засоби суто індивідуального користування - спецодяг та інші пристосування для захисту різних органів людини. Основне призначення засобів індивідуального захисту - захистити працюючого від попадання радіоактивних речовин всередину організму[44].

1) Халати. Всі роботи з радіоактивними речовинами проводяться тільки в халатах. Халати повинні виготовлятися з гладкою білої тканини (сатин, молескін). Воріт у халата закритий, зав'язки - на спині.

2) Шапочка. Застосовується для захисту голови і волосся від радіоактивного пилу, закріплює волосся. Виготовляється з тієї ж тканини, що і халати.

3) Нарукавники. Застосовуються для запобігання рукавів халата від забруднення радіоактивними речовинами. Нарукавники роблять з бавовняної тканини і різних пластикатів.

4) Фартух. Застосовується при роботі, під час якої можливе розбризкування радіоактивних рідин (миття посуду, переливання радіоактивних рідин, інше). Фартухи повинні бути виготовлені з пластикатів.

5) Рукавички. Всі роботи з радіоактивними речовинами у відкритому вигляді потрібно обов'язково проводити в гумових або пластикових рукавичках. Зазвичай застосовуються хірургічні рукавички. У тих випадках, коли проводяться роботи, при яких можна легко порвати хірургічні рукавички (перенесення і складання устаткування), Краще застосовувати анатомічні або інші більш товстошарові рукавички. При роботі в захисних шафах і боксах застосовуються рукавички з довгими рукавами.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
40



6) Взуття. Як основне спецвзуття при роботі з радіоактивними речовинами використовують черевики з верхом з лавсанової тканини з водостійким просоченням, а при високих рівнях забруднення - додаткове плівкове спецвзуття (бахіли, чохли, панчохи, сліди). Вибір того чи іншого взуття для захисту повинен враховувати весь комплекс умов: рівень забруднення поверхні РВ, наявність агресивних рідин (кислот, лугів тощо), можливість механічної дії (завали), кліматичні умови та інші фактори.

7) Щитки. Для захисту обличчя та очей від бета – випромінювань використовуються щитки з органічного скла.

8) Респіратори. Застосовуються для захисту дихальних шляхів від попадання радіоактивного пилу і газів. Якщо існує будь-яка ймовірність в процесі роботи виділення радіоактивних газів потрібно застосовувати респіратори з хімічними поглиначами радіоактивних газів.

Для дезактивації шкіри використовують теплу воду з милом, спеціальні засоби (що враховують хімічні властивості РВ), миючі засоби, що мають поверхнево-активні та піноутворюючі властивості, хімічні інгредієнти, що мають властивості лугів, кислот, окислювачів, комплексоутворювачів, сорбентів. Миючі засоби можуть надавати на шкіру несприятливий вплив (дратівливий, сенсibiliзуючий, токсичний), зумовлений механічною дією, знежиренням, що може супроводжуватися набряком шкіри, денатурацією білка. Дезактивацію локального забруднення рук, голови та обличчя доцільно проводити під проточною водою із застосуванням туалетного (дитячого) мила та щітки. Зменшити негативний вплив миючих засобів на шкіру дозволяє застосування живильних кремів після дезактивації.

При роботі з радіоактивними речовинами дуже важливо дотримуватися дисципліни праці, виконувати існуючі захисні заходи, застосовувати індивідуальні захисні засоби.

В цьому запорука успіху забезпечення безпечного проведення робіт, отримання необхідних наукових результатів без шкоди для здоров'я.

Підп. і дата	
Інв. Недубл.	
Взаєм. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. Неподр.	

Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
41

## ВИСНОВКИ

1. Здійснено огляд шляхів відновлення біопродуктивності забруднених важкими металами та радіонуклідами ґрунтів, зокрема проаналізовано фізико-хімічні методи обробки ґрунту, стабілізація металів за допомогою хімічних сполук та біологічні методи засновані на процесах біосорбції та біостимуляції.

2. Обґрунтовано підхід до процесів фіксації важких металів та радіонуклідів у ґрунтах з використанням біотехнологічних методів комплексного типу із залученням біокомпозитів та процесів фіторемедіації.

3. Здійснено аналіз технологічних рішень щодо інтенсифікації процесів біоремедіації ґрунту із залученням процесів аерації для стимулювання розвитку корисної мікробіоти ґрунту.

4. Розглянуто напрямки застосування гібридних біокомпозитів для зв'язування важких металів та радіонуклідів, визначено можливість застосування композицій на основі дигестату з біочаром для підвищення сорбції органічних, так і неорганічних поллютантів та зниженню їх мобільності у забруднених ґрунтах.

5. Розроблено комплексне біотехнологічне рішення для рекультивації ґрунтів забруднених важкими металами та радіонуклідами з покращенням умов для розвитку ґрунтової мікробіоти та зниженням запасу обмінних форм важких металів і радіонуклідів.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк

42

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Штика О. С. Оцінка ефективності сучасних технологій ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами / О. С. Штика. // Національний авіаційний університет, м.Київ. – С. 47–60.

2. Rusanov, A. M., Blokhin, E. V., Zenina, N. N. & Miliakova, E. A. (2002). Rezultaty izucheniia zagriazneniia pochv Orenburgskoi oblasti tiazhelymi metallami i radioaktivnymi elementami [The results of the study of soil pollution in the Orenburg region with heavy metals and radioactive elements]. Vestnik OGU, 1, 98–101]

3. Vozianova, O. F., Bebeshka, V. H. & Bazyka, D. A. (2007). Medychni naslidky avarii na Chornobylskii atomnii elektrostantsii [Medical consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. Kyiv: DIA

4. С. П. Ковальова, І. А. Можарівська. Концентрація важких металів у ґрунті при вирощуванні енергетичних культур на території радіоактивного забруднення.

5. Улянич О. І., Кухнюк О. В. Органічна овочева продукція, вирощена на фоні забруднення ґрунтів у Черкаській області. Матеріали VII Міжнародної науковопрактичної конференції (м. Умань, 30 травня 2018 р.). Умань, 2018. С. 90–91.

6. Аверченко В.І. Ґрунтознавство: навч. пос. / В. І. Аверченко, Н. М. Самойленко. – Харків : Мачулін, 2018. – 118 с.

7. Воротинцева Л.І. Наукові основи сталого управління ґрунтовими ресурсами Степу України в умовах зрошення : дис... д-ра с.-г. наук / 06.01.03, Харків, 2019. 51 с.

8. Міністерство екології та природних ресурсів України. Положення про Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник. Наказ № 43 03.02.2017

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

					ТС 18510212	Арк
Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дат		43

9. Котова І., Черниш Є.Ю., Пляцук Л.Д. Чорнобильський біосферний заповідник: перспективи розвитку. Розвиток наукової думки постіндустріального суспільства: сучасний дискурс: матеріали міжнародної наукової конференції (Т. 2), 13 листопада, 2020 рік. Миколаїв, Україна: МЦНД. С.35–37.

10. Коніщук В. В. Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник у системі Пан'європейської екомережі. Агроекологічний журнал. 2016. № 1. С. 71–82.

11. Шаркова С.Ю. Агрехимические свойства серых лесных почв при загрязнении их нефтью / С.Ю. Шаркова, Е.В. Надеждина // Плодородие. – 2008. – № 4. – С. 45-51 с.

12. Линдиман А.В., Шведова Л.В., Тукумова Н.В., Невский А.В. Фиторемедиация почв, содержащих тяжёлые металлы // Экология и промышленность. 2008. № 9. 45–47 с.

13. Андреева, И.В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами / И.В. Андреева, Ф.Р. Байбеков, М.В. Злобина // Природообустройство. – 2009. - №5. – С. 5-11.

14. Hung-Yu L., Shaw-Wei S., Horng-Yuh G., Phytoremediation and the uptake characteristics of different rice varieties growing in Cd of As-contaminated soils in Taiwan // Soil Science and Plant Nutrition. 2010. V. 56. Issue 1. 31–52 p.

15. Glick, B. R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment / B. R. Glick // Biotechnology Advances. 2010. – Vol. 21. – N 5. – P. 383-393

16. Линдиман А.В., Шведова Л.В., Тукумова Н.В., Невский А.В. Фиторемедиация почв, содержащих тяжёлые металлы // Экология и промышленность. 2008. № 9. 45–47 с.

17. Янін Є. П. Ремедіація територій, забруднених хімічними елементами: загальні підходи, правові аспекти, основні способи (закордонний досвід) // Проблеми довкілля та природних ресурсів. -2014. - №3. – С. 3-105.

Підп. і дата
Інв. Недубл.
Взаєм. Інв. №
Підп. і дата
Інв. Непопл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 18510212

18. Pilon -Smits, E. Phytoremediation of Metals Using Transgenic Plants // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2014. – Vol. 21. – N 5. – P. 439-456

19. Гудков І.М., Кашпаров В.О., Паренюк О.Ю. Радіоекологічний моніторинг: навчальний посібник. м.Київ, 2018

20. Biodegradation of hydrocarbons as a solution to the problem of oil pollution. Retrieved from <http://eco.com.ua/content/biodegradaciya-vuglevodniv-yak-vyrishennya-problemy-naftovogo-zabrudnennya>

21. Paz-Ferreiro J. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review / J. PazFerreiro, H. Lu, S. Fu, A. Méndez, and G. Gascó // Solid Earth, 5, 2014. – P. 65-75

22. Ганеев И. Г. Регенирация и рекультивация техногенно деградируемых земель / И. Г. Ганеев, А. А. Кулагин // Вестник ОГУ. – 2009. – № 6. – С. 554-557.

23. Коротченко И. С. Детоксикация тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu) в системе «почва-растение» в лесостепной зоне Красноярского края: электронная монография / И. С. Коротченко, Н. Н. Кириенко. – Изд-во: ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», 2013. – Режим доступа: <http://catalog.inforeg.com/Inet/GetEzineByID/299278>

24. Balseiro-Romero, M., Monterroso, C., Kidd, P. S., Lu-Chau, T. A., Gkorezis, P., Vangronsveld, J., Casares, J. J. (2018). Modelling the ex situ bioremediation of diesel-contaminated soil in a slurry bioreactor using a hydrocarbon-degrading inoculant. *Journal of Environmental Management*, Vol. 246, pp. 840–848, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.034>

25. Han, Zuozhen, Dan Li, Hui Zhao, Huaxiao Yan, and Peiyuan Li. (2017). Precipitation of Carbonate Minerals Induced by the Halophilic Chromohalobacter Israelensis under High Salt Concentrations: Implications for Natural Environments. *Minerals* 7, no. 6: 95. <https://doi.org/10.3390/min7060095>

Підп. і дата	
Інв. Недубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. Непопл.	

Вип.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
45

26. Li, J., Yang, H., Tong, L., Sand, W. (2021). Some Aspects of Industrial Heap Bioleaching Technology: From Basics to Practice. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, doi: <https://doi.org/10.1080/08827508.2021.1893720>

27. Yanin, E. P. (2014). Remediation of territories contaminated with chemical elements: general approaches, legal aspects, main methods (Foreign experience). *Environmental and natural resource issues*, No. 3, pp. 3–105. Retrieved from [http://www.nparso.ru/images/docs/Remediation\\_of\\_the\\_territories.pdf](http://www.nparso.ru/images/docs/Remediation_of_the_territories.pdf)

28. Hazrati, S., Farahbakhsh, M., Cerdà, A., Heydarpoor, G. (2021). Functionalization of ultrasound enhanced sewage sludge-derived biochar: Physicochemical improvement and its effects on soil enzyme activities and heavy metals availability. *Chemosphere*, Vol. 269, 128767, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128767>.

29. Cameselle, C., Gouvei, S., Akretche, D. E., Belhadj, B. (2013). *Advances in Electrokinetic Remediation for the Removal of Organic Contaminants in Soils*. Organic Pollutants - Monitoring, Risk and Treatment, M. Nageeb Rashed, IntechOpen, doi: 10.5772/54334

30. Jankaitė, A., Vasarevičius, S. (2005). Remediation technologies for soils contaminated with heavy metals. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Vol. 13, No. 2, pp. 109–113, doi: 10.3846/16486897.2005.9636854

31. Guidelines on remediation of contaminated sites. Retrieved from [https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2002/87-7972-280-6/html/kap09\\_eng.htm](https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2002/87-7972-280-6/html/kap09_eng.htm)

32. Vaishali A., Babita K. Conventional and Contemporary Techniques for Removal of Heavy Metals from Soil. IntechOpen. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.98569> (Last accessed: 11.12.2021).

33. Гаргер Є. К., Войцехович О. В. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. Національна доповідь України. К.: КІМ, 2011. С.39-42.

Підп. і дата
Інв. Недубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподр.

Вип.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.

ТС 18510212

Арк

46

34. Understanding the holistic approach to plant-microbe remediation technologies for removing heavy metals and radionuclides from soil / M. Thakare et al. Current Research in Biotechnology. 2021. Vol. 3. P. 84-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2021.02.004> (Last accessed: 28.01.2022)

35. Priyadarshane M., Das S. Biosorption and removal of toxic heavy metals by metal tolerating bacteria for bioremediation of metal contamination: A comprehensive review. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021. Vol. 9. 104686. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104686> (Last accessed: 12.12.2021)

36. Assessment of heavy metal bioremediation potential of bacterial isolates from landfill soils / O. Oziegbe et al. Saudi Journal of Biological Sciences. 2021. Vol. 28, Issue 7. P. 3948-3956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.072> (Last accessed: 11.01.2022)

37. Palviainen, M., Berninger, F., Bruckman, V. J., Köster, K., de Assumpção, C. R. M., Aaltonen, H., ... Pumpanen, J. (2018). Effects of biochar on carbon and nitrogen fluxes in boreal forest soil. Plant and Soil, 425(1-2), 71–85. doi:10.1007/s11104-018-3568-y

38. (Zhao, Q., Xu, Z. & Yu, Z. Straw-derived biochar as the potential adsorbent for U(VI) and Th(IV) removal in aqueous solutions. Biomass Conv. Bioref. (2021). <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01810-5>

39. Chernysh Y., Ablicieva I., Makarekno N., Plyatsuk L., Trunova I., Burla O. (2021) Investigation of the directions of using a hybrid composition bioproduct for detoxification of a soil ecosystem contaminated with heavy metals and oil products. Biodiversity & Environment, Vol. 13, No. 1, pp. 80–94.

40. Chernysh Y., Balintova M, Shtepa V, Skvortsova P, Skydanenko M, Fukui M. Integration of Processes of Radionuclide-Contaminated Territories Decontamination in the Framework of Their Ecological-Socio-Economic Rehabilitation. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2022; 23(1):110-124.

Підп. і дата	
Інв. Недубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. Наподл.	

Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

TC 18510212

Арк  
47

41. Cornell Field Crops. Режим доступу:  
<https://blogs.cornell.edu/whatscroppingup/2018/11/29/feasibility-assessment-of-dairy-biochar-as-a-value%E2%80%90added-potting-mix-in-horticulture-and-ornamental-gardening/>

42. Березюк О. В. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.

43. Закон України: Про затвердження державних санітарних правил "Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України" N 2935 ( z0098-21 ) від 17.12.2020

44. Основи охорони праці: Навч. посіб. / В.В. Березуцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В.В.Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.

Підп. і дата	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата
Інв. №подл.				

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 18510212

Арк  
48