

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.02

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та хімії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **«Впровадження фітореMediaційних технологій на ґрунтах,
забруднених нафтою та нафтопродуктами»**

Виконала: студентка 4-го курсу, групи 401-ВТ .
Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища
Булавенко А.А.

Керівник роботи:
к.т.н., доцент Ілляш О.Е.

Рецензент ДП: Директор технічний "ТОВ Кадоган Україна"
Тягун Ю.М.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та хімії
Освітній рівень – бакалавр
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____/_____/_____
(підпис) (ПІБ)
_____20____ року
(дата)

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

студенту Булавенко Анні Анатоліївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Впровадження фіторе mediaційних технологій на грунтах , забруднених нафтою та нафтопродуктами

Керівник роботи Ілляш Оксана Едуардівна, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» від «__» _____ 2024 року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

(дата)

3. Вихідні дані до роботи Наукові праці вітчизняних та зарубіжних авторів з питань забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами, нормативно-правові документи у сфері охорони довкілля, статистичні дані щодо стану ґрунтів Полтавського регіону, матеріали екологічного моніторингу, результати досліджень з фіторе mediaції, а також дані щодо фізико-хімічних властивостей ґрунтів і біологічних характеристик рослин-фіторе mediaнтів.

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

Аналіз основних джерел та шляхів забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами та впливу нафтопродуктів на фізико-хімічні і біологічні властивості ґрунтів. Вивчення процесів міграції нафти у ґрунтах різних типів та їх накопичення у рослинах. Характеристика ґрунтів Полтавського регіону та огляд сучасних методів очищення забруднених ґрунтів. Характеристика процесів фіторемедіації та їх механізмів. Аналіз світового досвіду застосування фіторемедіації та обґрунтування застосування фіторемедіаційних технологій для очищення ґрунтів від нафтопродуктів. Підбір ефективних рослин-фіторемедіантів для умов Полтавського регіону та розробка рекомендацій щодо впровадження фіторемедіації на досліджуваній території.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Основні джерела забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами; 2. Таблиця поширення ґрунтів за умови формування ґрунтового покриву Полтавщини; 3. Біотестування ґрунтів забруднених нафтою та нафтопродуктами та основні методи їх відновлення; 4. Карта ґрунтів Полтавського регіону; 5. Карта розвитку нафтової промисловості в Полтавській області. 6. Таблиці характеристик рослин-фіторемедіантів; 7. Схема (етапи) фіторемедіації ґрунтів, забруднених нафтою; 8. Застосування фіторемедіаційних технологій у світовій практиці; 9. Схема застосування фіторемедіації для очищення ґрунтів Полтавської області від нафтопродуктів.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

Студент

(підпис)

Булашенко А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ілляш О.Е.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ НАФТОЮ ТА НАФТОПРОДУКТАМИ.....	8
1.1. Основні шляхи забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами.....	8
1.2. Вплив нафти і нафтопродуктів на властивості ґрунту.....	10
1.3. Міграція нафти у ґрунтах різних типів.....	13
1.4. Накопичення нафтопродуктів у рослинах.....	14
1.5. Характеристика ґрунтів Полтавського регіону.....	15
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД НАФТОПРОДУКТІВ.....	22
2.1. Біотестування ґрунтів для визначення вмісту нафти.....	22
2.2. Основні методи відновлення ґрунтів.....	26
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ.....	32
3.1. Загальна характеристика процесів ремедіації.....	32
3.2. Застосування методів фіторемедіації у світовій практиці.....	36
3.3. Застосування методів фіторемедіації для очищення ґрунтів від нафтопродуктів.....	38
РОЗДІЛ 4. ПІДБІР РОСЛИН ДЛЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ ПОЛТАВСЬКОГО РЕГІОНУ.....	44
4.1. Особливості застосування та характеристика рослин фіторемедіантів.....	44
4.2. Шляхи застосування методів фіторемедіації для очищення ґрунтів на Полтавщині.....	52
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	62

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Впровадження фіторемедіаційних технологій на ґрунтах, забруднених нафтою та нафтопродуктами</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Булавенко А.А.						4	61
Перевір.	Ілляши О.Е.							
Реценз.								
Н. контр.								
Зав.кафедрою	Ілляши О.Е.					НУПП ім. Ю. Кондратюка, кафедра ПЕ та Х		

ВСТУП

Актуальність роботи. Забруднення довкілля нафтою й нафтопродуктами вважається одним із наймасштабніших і найнебезпечніших видів впливу людини на довкілля і на саму себе. Значення нафти у житті людства продовжує бути невід’ємною складовою для нормального існування, так як вона використовується у безлічі галузей промисловості. Суспільство вже давно розуміє шкідливі наслідки від діяльності нафтопромислового комплексу і займається пошуком шляхів зниження навантаження на довкілля та і на саму людину.

Забруднення нафтопродуктами відбувається в процесі видобування, транспортування, переробки нафти, використання нафти та нафтопродуктів. Майже всі галузі економіки використовують нафту та її похідні, і як наслідок – колосальне утворення забруднювачів різного роду, порушення екологічної рівноваги, нездатність екосистем до самовідновлення. Самоочищення та саморегуляції. Забруднення ґрунтів нафтовими вуглеводнями призводить до втрати їх родючості, основної характеристики ґрунтів для ведення сільськогосподарського землеробства.

Існує багато різноманітних підходів, як до зменшення потрапляння забруднювачів у навколишнє середовище, та і до їх ліквідації. Але до цього часу це не вирішує проблему. Тому, поряд із загальновідомими традиційними методами, не припиняється пошук інших, альтернативних, безпечних і природних методів відновлення довкілля.

Ґрунти, як середовище існування живих організмів, є найбільш вразливими до забруднення, оскільки являють відносно нерухомими і малорухомими. В той же час це одне з найважливіших джерел утворення первинної продукції, яка є першою ланкою екологічної піраміди.

Зараз відомо багато різноманітних способів відновлення порушених екосистем. Але ці способи найчастіше малоефективні та досить дорогі. Крім того, вони зазвичай приводять до вторинного забруднення. Стандартні підходи можуть бути ефективні на невеликих локальних територіях забруднення.

									Арк.
									5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Останнім часом, у світовій практиці все частіше застосовують біологічне очищення антропогенно порушеного довкілля за допомогою рослин, які не тільки самі беруть активну участь у процесах фітореMediaції, але й сприяють розвитку мікрофлору ґрунтів, підвищуючи ефективність процесів відновлення природних умов. Спільна симбіотична робота детоксикаційного потенціалу мікроорганізмів і рослин може бути дуже ефективною.

Мета роботи полягає у дослідженні процесів фітореMediaції, їх видів, значення, розробці та обґрунтуванні ефективних підходів до впровадження фітореMediaційних технологій для очищення ґрунтів, забруднених нафтою та нафтопродуктами, з урахуванням природно-кліматичних та ґрунтових умов Полтавської області.

Завдання роботи:

1. Охарактеризувати існуючі методи очищення ґрунтів від нафтового забруднення.
2. Розглянути сутність і механізми процесів фітореMediaції.
3. Проаналізувати досвід застосування фітореMediaційних технологій у світовій практиці.
4. Підібрати найефективніші види рослин для очищення ґрунтів Полтавського регіону від нафти.
5. Обґрунтувати можливість практичного застосування фітореMediaції на досліджуваній території.

Об’єкт дослідження: ґрунти, забруднені нафтою та нафтопродуктами .

Предмет дослідження: процеси та технології фітореMediaції ґрунтів, забруднених нафтою та нафтопродуктами.

Наукова складова роботи полягає у дослідженні рослин біореMediaнтів, які можна застосовувати у відновленні земель Полтавського регіону.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати роботи можуть застосовуватися при розробці комплексної схеми відновлення ґрунтів, забруднених нафтовими поліюантами.

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Структура роботи. Робота складається з вступу, чотирьох розділів з підрозділами, висновків, списку використаних літературних та інформаційних джерел, додатків. Загальний обсяг – сторінок машинописного тексту.

					401 ВТ 20108	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1. ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТВ НАФТОЮ ТА НАФТОПРОДУКТАМИ

1.1 Основні шляхи забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами

Проблема забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами була і залишається досить актуальною. [1,5,13] Нафтові вуглеводні є широко розповсюдженими промисловими полютантами, які потрапляють у природне середовище внаслідок нафтових розливів при добуванні, транспортуванні, зберіганні та переробці нафти [10, 14]

Розвиток промисловості постійно потребує збільшення використання нафти та нафтопродуктів у багатьох галузях. Не зважаючи на зростаючі темпи використання альтернативних джерел енергії, нафта залишається важливим енергоносієм.

Кожного року тонни нафти потрапляють на поверхню Світового океану, у поверхневі та ґрунтові води, згораючи, забруднюють атмосферу. Більшість земель тією чи іншою мірою потерпають від забруднення нафтопродуктами. Сильніше це спостерігається в регіонах, через які проходять нафтопроводи, а також де багато підприємств по переробці нафти, хімічних підприємств, що використовують нафту в якості вихідної сировини. [10, 22, 27]

На території, де господарська діяльність людини зведена до мінімуму (заповідники, заказники, малоосвоєні землі), нафтові вуглеводні розсіюються і транспортуються з повітряними і водними потоками.

Існують імпакті нафтові забруднення, що мають конкретне джерело і створюють значне одноразове навантаження на ґрунт, воду чи інші об'єкти, при аварійних розливах, або інших аварійних ситуаціях. Шкода від таких забруднень досить значна.

Відповідна реакція біогеоценозів на забруднення нафтою та нафтопродуктами обумовлюється багатьма факторами: це і багатоконпонентний склад нафти, наявність у ній токсичних речовин, гетерогенність та різноманітність самих екосистем, постійна зміна самих природних зовнішніх факторів.

Забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами проявляється у збільшенні концентрацій цих речовин до рівня, при якому відбуваються зміни у характеристиці ґрунтів: порушується екологічна рівновага в ґрунтовій екосистемі

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

тим самим погіршують надходження до них вологи. У результаті порушується вільний вологообмін, ґрунт втрачає здатність вбирати і утримувати вологу, необхідну для рослин та мікроорганізмів. Крім змін властивостей ґрунтів, нафта викликає глибокі порушення у функціонуванні бактерій ґрунту. [6, 17, 24]

Дослідження впливу забруднення нафтовими поліюгантами на мікробну систему ґрунтів, проведені багатьма авторами, зафіксували зміну не тільки чисельності, але і складу ґрунтових мікроорганізмів. Було відзначено збільшення чисельності амоніфікуючих, денітрифікуючих, сульфатредуючих бактерій, мікроміцетів, дріжджів і зменшення чисельності нітрифікуючих і целюлозоруйнівних бактерій і актиноміцетів. Максимум чисельності мікроорганізмів відповідає горизонту ферментації і знижується за профілем ґрунтів у міру зменшення концентрацій вуглеводнів. Причиною стимулюючої дії нафти і нафтопродуктів на ґрунтову біоту є те, що при низьких концентраціях нафти вона служить енергетичним субстратом для мікроорганізмів.

Тривалий вплив нафти на ґрунт призводить до змін його мікробіологічних властивостей. У нафтозабруднених ґрунтах виявляються майже всі групи мікроорганізмів, що беруть участь в окисно-відновних процесах та трансформації азоту. З'являються спеціалізовані форми мікроорганізмів, які мають здатність окислювати газоподібні й ароматичні вуглеводні.

Основними причинами зниження чисельності нітрифікаторів є зниження кількості кисню в ґрунті, в результаті порушення, під дією нафтового забруднення, газового та водного режимів ґрунтів. Друга причина зниження процесу нітрифікації, характеризується тим, що нітрифікатори - хемолітотрофи дуже чутливі до наявності в середовищі органічних сполук та великої кількості легкозасвоюваних органічних речовин, що затримує їх нормальний розвиток. Розкладання нафти і нафтопродуктів супроводжується збільшенням вмісту водорозчинних продуктів метаболізму, що обмежує ріст і розвиток нітрифікуючих бактерій. [21]

Крім того, в нафтозабруднених ґрунтах спостерігається інтенсифікація процесів денітрифікації в результаті надлишку органіки, слабо лужної реакції середовища і низького окисно-відновного потенціалу. Процеси денітрифікації -

						401 ВТ	20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				12

небажане явище в нафтозабруднених ґрунтах, особливо з точки зору загального напрямку самоочищення, так як відбувається збіднення ґрунту азотом, що, в свою чергу, в умовах різкого збільшення біомаси мікроорганізмів та іммобілізації азоту служить фактором, що обмежує швидкість самоочищення ґрунту. [28]

1.3 Міграція нафти у ґрунтах різних типів

При забрудненні нафтою та її похідними у ґрунті відбуваються фізико-хімічні перетворення, розпад нафтових вуглеводнів до сполук, які можуть бути дуже токсичними. Ці політанти накопичуються в ґрунті, а також адсорбуються рослинами.

Взагалі нафта, як хімічна речовина, є складною сумішшю різноманітних вуглеводнів, яка розкладається дуже повільно. Зазвичай у процесі трансформації нафта проходить низку перетворень: окиснюється, вступає у різні біохімічні реакції, розкладається, і кінцевим етапом цих перетворень є вуглекислий газ та вода. [8] Коли нафта просочується зверху в глибину ґрунту, то сорбція відбувається так:

- спочатку поглинаються високомолекулярні сполуки, це різні смолисті та бітумні фракції, поліциклічні сполуки;
- глибше потрапляють більш низькомолекулярні речовини. [20]

Перші погіршують структуру ґрунту, порушують водний баланс, а другі являються дуже токсичними, особливо для мікроорганізмів, які погано їх розкладають. Легкі фракції вуглеводнів здатні випаровуватися у атмосферу ще з поверхні ґрунту. У ґрунтах, які підлягають підтопленню ґрунтовими водами, розпад нафти та нафтопродуктів уповільнюється, і спричиняє затримку їх у верхніх горизонтах. [16]

Газоконденсат не такий шкідливий, але також впливає на ґрунтовий покрив та біоту. Він зазвичай розливається великими плямами, погіршуючи доступ кисню у ґрунт, зменшує аерацію, яка так необхідна ґрунтовим мікроорганізмам та іншій ґрунтовій біоті.

					401 ВТ 20108	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На піщаних землях та супісках нафтопродукти просочуються рівномірно, а на важких глинистих ґрунтах та суглинках, їх проникання нагадує нерівномірну, мозаїчну картину.

Спочатку, після попадання нафти та нафтопродуктів у ґрунт, процеси розкладу відбуваються швидко, і кількість нафтопродуктів у ґрунті знижується до 50%. Потім же вони уповільнюються і без додаткового втручання можуть тривати досить довго. [8, 9, 10, 11]

Дослідження закономірностей процесів міграції та накопичення нафтопродуктів, які змодельовані в системі „ґрунт – забруднювач – доза – час – ефект”, показали, що своєрідність їхньої поведінки пов’язана з різними особливостями техногенного навантаження, специфікою фізичного стану і складу ґрунтів.

Коли концентрації нафтопродуктів у ґрунті призводить до виникнення негативних змін у екосистемах, зменшується їх здатність до самоочищення та самовідновлення, то ґрунти вважаються забрудненими і це може призвести до їх деградації, і як наслідок руйнування самих біогеоценозів.

Найстійкішими до нафтових забруднень виявляються чорноземи різних типів. Крім того вони також мають найбільшу здатність до забезпечення ефективної фіторемедіації. Глинисті, сірі лісові ґрунти та їх різновиди – будуть менш стійкими до нафтового забруднення і, відповідно, процеси самоочищення та фіторемедіації проходять повільніше. [12]

1.4 Накопичення нафтопродуктів у рослинах

Забруднення ґрунтів нафтопродуктами чинить негативний вплив на життєдіяльність рослин і носить неоднозначний характер.

Численними роботами встановлено, що забруднення ґрунту нафтою і нафтопродуктами призводить до сповільнення росту, розвитку, періоду вегетації рослин. Першопричиною є порушення водного балансу, живлення а також киснева недостатність. Хоч рослини здатні самі виділяти кисень у атмосферу, та для функціонування ризосферних мікроорганізмів, проходження метаболічних процесів у ґрунті він вкрай необхідний. [14, 19]

У той же час, деякими дослідниками зазначалося стимулюючу дію нафти на ріст рослин. На перших стадіях забруднення, та при невеликих концентраціях нафти, мікроорганізми «харчуються» вуглеводнями нафти, і покращують властивості ґрунту і ріст рослин. Встановлено, що вирішальне значення має ступінь забруднення (доза нафти), і агрохімічний фон. В ґрунтах з підвищеним вмістом органічної речовини низькі дози забруднення (1г/кг) посилюють вегетацію рослин тест - об'єктів. Вплив нафтозабруднених проявляється з дози 15-30 г/кг. У ґрунтах з низькими агрохімічними показниками внесення забруднювача позначається на розвитку тест-культур при найнижчих дозах. [6]

В основі стимулюючої дії вуглеводнів нафти на рослини лежать три фактори:

- дія на рослини ростових речовин, наявних у нафті;
- внесення в ґрунт додаткової органічної речовини;
- мінеральні елементи, що поліпшують живлення рослин;
- збільшення площі живлення вцілілих рослин і зменшення конкуренції внаслідок проріджування травостою.

Нафта, як і інші забруднюючі ґрунт хімічні речовини, крім непрямого впливу (порушення властивостей ґрунтів) надає на рослини і пряму дію, яка полягає в надходженні нафти з ґрунту в рослину і порушенні його метаболізму. При цьому значне забруднення ґрунтів змінює фізіологічне протікання процесів фотосинтезу, негативно впливаючи на фотосинтетичний апарат рослин. Деякими дослідниками встановлено, що несприятлива дія нафтопродуктів на функціонування рослинності проявляється вже при внесенні її в дозі вище 50 мг/кг.

Токсичний вплив нафти проявляються у пошкодженні клітинних мембран, деградації рослинних тканин, погіршення їх фізіологічних властивостей, пошкодження репродуктивного апарату. В результаті порушується час і синхронність квітування рослин, утворення нормального насіння.

У деяких випадках спостерігається мутагенний та тератогенний ефект, що тягне за собою виникнення небажаних мутацій, які можуть закріпитися у наступних поколіннях. А це призведе до виродження виду. Біологічні аномалії

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

можуть появитися у виникненні карликовості, скручування стебел, листя та квітів, недорозвиненість насінневого апарату, що провокує безпліддя рослин.

Ці зміни можна пояснити акумуляцією в клітинах рослин ПАУ, що мають канцерогенні та мутагенні властивості. На забруднених ділянках, при наявності суцільного покриття нафтовою плівкою, уздовж лінії нафтопроводів, відзначається повна загибель рослинності. [25]

Високі концентрації компонентів нафти в ґрунтах завжди пригнічують життєдіяльність рослин. При цьому вплив в істотній мірі залежить від хімічної природи вуглеводнів. Так, наприклад, вивчення гербіцидних властивостей індивідуальних вуглеводнів показує, що активність сполук зростає в такій послідовності: парафіни, олефіни, нафтени, ароматичні вуглеводні. Гербіцидна дія парафінових вуглеводнів посилюється з підвищенням молекулярної ваги, але до певної межі, після чого вона слабшає.

Найбільшою фітотоксичністю володіють легкі фракції нафти на прикладі нафтоконденсатної суміші.

Відзначимо, що фізіолого-біохімічні механізми впливу аліфатичних та ароматичних вуглеводнів на вищі рослини до теперішнього часу повністю не вивчені, проте аналіз існуючих літературних даних дозволяє зробити деякі висновки. Зокрема, деякі експериментальні дані, вказують на те, що вищі рослини здатні через коріння поглинати вуглеводні і трансформувати їх, за допомогою включення в процеси метаболізму. Так, було показано, що проростки пшениці та жита, вирощені на різних ґрунтах і поживних розчинах, до яких додавали 3,4-бензапірен, засвоюють цей вуглеводень корінням. При цьому засвоєний корінням жита 3,4-бензапірен транспортується в надземні органи в незміненому вигляді. [13]

Раніше вважалось загальноприйнятим, що вищі рослини здатні лише синтезувати сполуки ароматичного ряду, а використання запасеної в них енергії, розрив ароматичних (бензольних) ядер здійснюється в природі мікроорганізмами. Після проведених досліджень, де вперше було показано експериментальним шляхом здатність рослин до розщеплення бензольного ядра, з'явилися численні дані, що вказують на те, що вищі рослини використовують сполуки ароматичного

Рівнинні ділянки та тераси переважно вкриті степовою і лучно-степовою рослинністю, а правобережній частині річок – широколистяними лісами.

У південній частині області – ґрунти формувалися в районах неглибокого залягання ґрунтових вод з невеликим вмістом солей, а у південній за умов кращого зволоження. Також на їх формування вплинула давньогосподарська діяльність людини. [4, 6]

В результаті цього на Полтавщині сформувалися такі типи ґрунтів:

- чорноземи типові мало- і середньогумусні потужні із вмістом гумусу 4-6%;
- чорноземи залишково-солонцюваті потужні; солонцюваті; солончакуваті і осолоділі із вмістом гумусу 4-4,5%;
- чорноземи звичайні, із вмістом гумусу 5-6%
- сірі лісові та інші опідзолені ґрунти, вміст чорнозему 1,6-4%;
- лучно-чорноземні солонцюваті, місцями осолоділі із вмістом гумусу 4,3-5,6%;
- лучні (в т.ч. солонцюваті) і алювіальні лучні, вміст чорнозему 3,1-5,3%;
- лучно-болотні, більшою мірою солонцюваті, із вмістом гумусу 5-5,9%;
- болотні; торфувато- і торфово-болотні, вміст гумусу 6-10%;
- торфовища;
- дерново-підзолисті, з гумусом 0,7-1,3%. [7]

Як бачимо у Полтавській області переважають чорноземи і опідзолені ґрунти. Найбільше різних видів чорноземів переважно відведені під сільськогосподарські угіддя для ведення рослинництва. Вони характеризуються високим вмістом гумусу, що сприяє високій родючості. Гумусовий шар утворився в результаті утворення великої кількості відмерлих рослинних решток на лучних степових ділянках з оптимальним водним режимом. Присутність землерийних тварин сприяла утворенню зернисто-грудочкової структури, яка забезпечувала оптимальне мінеральне живлення рослин. [9]

Висновки до першого розділу:

1. За свідченнями літературних джерел, забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами - небезпечна екологічна проблема на сучасному етапі розвитку суспільства. Основні джерела такого забруднення виникають у процесі видобутку, транспортування, переробки, зберігання та використання нафти і нафтопродуктів. Особливу небезпеку чинять аварійні виливи нафти, пошкодження трубопроводів, втрати під час експлуатації обладнання та наслідки воєнних дій, які спричиняють значне техногенне навантаження на ґрунтовий покрив.

2. Встановлено, що потрапляння нафти у ґрунт призводить до змін його фізичних, хімічних та біологічних. Нафтопродукти, що потрапляють у ґрунт знижують водопроникність і аерацію, порушують водний та азотний режими, змінюють рН середовища, спричиняють гідрофобність ґрунтових частинок і погіршують умови росту рослин. Внаслідок нафтового забруднення змінюється склад ґрунтової мікробіоти, пригнічуються процеси нітрифікації, знижується родючість ґрунтів та їх здатність до самовідновлення.

3. Досліджено, що характер міграції нафти у ґрунтах залежить від гранулометричного складу, вологості, типу ґрунту та виду нафти. У процесі вертикального просочування легкі фракції проникають у нижні горизонти ґрунту та можуть спричинити забруднення підземних вод, а смолисті компоненти накопичуються у верхньому гумусовому шарі. Найбільш стійкими до нафтового забруднення є чорноземи, які характеризуються високою здатністю до природного самоочищення.

4. Встановлено, що нафтове забруднення негативно порушує процеси фотосинтезу, дихання, водообміну та живлення рослин, спричиняє пригнічення росту, виникнення мутацій органів і навіть загибель рослин.

5. Охарактеризовано ґрунтовий покрив Полтавської області, в якому переважають чорноземи різних типів, що мають високий вміст гумусу, високу природну родючість. Їм притаманна висока здатність до самоочищення.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД НАФТОПРОДУКТІВ

2.1. Біотестування ґрунтів з метою визначення рівня нафтопродуктів

Аналітичний контроль забруднених об'єктів навколишнього середовища нафтопродуктами, за традиційних методів, відноситься до розділу аналітичної хімії. [6, 17] Існують такі методики визначення вмісту нафти і нафтопродуктів у ґрунтах: гравіметричний, флуориметричний, УФ-спектрофотометричний, метод ІК-спектроскопії, метод газової хроматографії ГХ, метод каналної тонкошарової хроматографії. [15, 22] Але ці методи мають ряд недоліків, що обмежують точність і достовірність отриманих результатів. [21] Насамперед це пов'язано зі складним і багатокомпонентним складом нафти та нафтопродуктів, які містять велику кількість різних вуглеводнів, смолисто-асфальтенових речовин та домішок. Через це важко виділити всі компоненти забруднювача і точно визначити їх концентрацію. [14, 27, 29]

Ще одним недоліком є трудомісткість і тривалість аналізів. Для отримання достовірних результатів потрібна складна підготовка проб, очищення екстрактів та використання дорогого лабораторного обладнання. Деякі методи потребують висококваліфікованого персоналу та суворого дотримання умов проведення досліджень. [15, 21, 22]

Отже, хімічні методи визначення нафти у ґрунтах є недосконалими через складність складу нафти, вплив властивостей ґрунту, недостатню селективність методик, неповне вилучення забруднювачів та складність проведення аналізів. Саме тому для оцінки нафтового забруднення часто застосовують комплексний підхід, поєднуючи хімічні, фізико-хімічні та біологічні методи дослідження.

[17, 21]

Біоіндикація - використання організмів або угруповань організмів, чий вміст певних елементів або сполук, а також морфологічна, гістологічна або клітинна структура, метаболічні та біохімічні процеси, поведінка та популяційна організація дають інформацію щодо якості навколишнього середовища або природи змін цього середовища. [1, 13]

В технології очищення ґрунту від нафтових забруднень активно розвиваються напрямки, що використовують біологічні методи. При цьому

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- оцінку шкідливого впливу токсикантів на людину й живу природу можна проводити на ранніх стадіях забруднення, особливо якщо це однорічні рослини з коротким періодом вегетації;

- вони є досить недорогими і природними для довкілля. [1, 5, 6]

Недоліками цих методів може бути виявлення загального токсичного ефекту, а не уточнення конкретного компонента нафти, та його концентрації у ґрунті. Крім того, результат біотестування дуже залежить від властивостей самого ґрунту (кислотності, структури, вологості, вмісту гумусу). [6, 21]

Реакція тест-об'єктів напряду корелює з їх фізіологічним станом, температурою, кількістю та інтенсивністю опадів, умовами освітлення, генетичними особливостями самих живих організмів. Необхідна також більша вибірка об'єктів та повторюваність дослідів для отримання достовірних результатів.

Біотестування для оцінки ступеня забрудненості ґрунтів нафтопродуктами можна проводити, використовуючи фізико-хімічні та біологічні реакції біоіндикаторів. Біологічні методи оцінювання включають загальну схожість насіння на забруднених територіях, інтенсивність росту надземних та підземних частин рослин, кількість та якість утвореного насіння. Якщо дозволяє тривалість дослідів, аналізують схожість насіння, яке утворилося у попередньо вирощених рослин на токсичному ґрунті.

Показова відповідна реакція на зміни у ґрунті спостерігається у редиски, різних видів салату та мікробних організмів.

Характерним є те, що за допомогою рослин можна тестувати якість ґрунту у лабораторних умовах – тоді це біотестування, і рослини – тест-об'єкти. Так отримують інформацію про токсичність конкретних зразків ґрунту, забруднених хімічними поллютантами, незалежно від їхнього походження.

Якщо ж такий аналіз проводять у природних умовах, за допомогою рослин що ростуть на забруднених ґрунтах – це біоіндикація, і рослини, відповідно – біоіндикатори.

Вплив забруднювачів аналізують за станом не лише рослинних організмів, а і всього біоценозу в цілому. Це дозволяє оцінити характер забруднення, його

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

розповсюдження по трофічним ланцюгам, ступінь акумуляції та розкладу до простих, нешкідливих речовин для природних угруповань.

Хоча біологічні методи індикації мають свої недоліки, так як і фізико-хімічні, але вони доповнюють одні одних і дозволяють зробити найбільш реалістичну оцінку стану ґрунтового покриву, забрудненого антропогенною діяльністю людини. [20]

Нафта і нафтопродукти, які потрапили у ґрунт, змінюють фізико-хімічні властивості, діяльність ґрунтових ферментів, що тягнуть за собою зміни у показниках обміну біогенних елементів, таких як азот, сірка, фосфор, вуглець, кисень, макро- та мікроелементи. До таких змін дуже чутлива ґрунтова

мікробіота, активність якої є відповідною реакцією на присутність у середовищі забруднення. Це дає реальну оцінку токсичних властивостей ґрунту, що характеризується наявністю у ньому комплексу хімічних забруднювачів та метаболітів хімічних речовин.

Біологічні показники, за допомогою яких оцінюють стан та якість ґрунтів, досить різноманітні. Серед них є інтегральні показники біоактивності: ґрунтовий газообмін, наявність біологічно активних речовин у ґрунті, активність ґрунтової мікрофлори. [21]

Незважаючи на те, що для біомоніторингу та біоіндикації використовують нижчі рослини, мікроорганізми, ґрунтові тваринні угруповання безхребетних, найбільш інформативними і простими об'єктами є вищі рослини. Використання їх у біоіндикації нафтозабруднених ґрунтів має переваги:

- 1) рослини - первинні ланки трофічних ланцюгів;
- 2) їх роль у накопичення різноманітних забруднювачів є першочерговою;
- 3) внаслідок зростання на ґрунтовому субстраті, вони постійно зазнають впливу від накопичення в ньому нафтових поллютантів та продуктів їх розкладу;
- 4) вони досить чутливі та швидко відтворювані.

Насіння та проростки рослин як тест-об'єкти, несуть достовірну інформацію про рівень забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами. [22]

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для об'єктивного дослідження використовують насіння каліброване за розміром: просо, салат, конюшина, сорго, редька, пшениця, жито, ячмінь. Оцінкою негативного впливу є погана схожість насіння, немасова поява сходів, погана швидкість росту проростків, неоднакова довжина коренів та пагонів.

Використовують такий показник, як індекс проростання насіння (GI, %)

$$GI = (G_{\text{досл}} \cdot L_{\text{досл}}) / (G_{\text{контр}} \cdot L_{\text{контр}}) \times 100\%$$

G — схожість насіння ; L — середня довжина кореня

Якщо GI більше 80%, токсичність ґрунту відсутня; 50-80% - середня; менше 50% - висока; менше 20% - дуже висока.

таким чином має швидке відображення токсичного ефекту.

2.2. Основні методи відновлення ґрунтів

Нафта і нафтопродукти розкладаються у природних умовах досить тривалий період часу. Іноді продукти їх розкладу виявляються набагато токсичнішими ніж первинні продукти. [14, 29]

Після розливів продуктів нафтовидобування та нафто використання на ґрунтовий покрив - відновлення біогеоценозів може тривати кілька років.

Отже, реабілітація ґрунтів після забруднення нафтовими вуглеводнями потребує застосування комплексного підходу із залученням різноманітних методів. До них відносять механічні, фізико-хімічні, термічні, біологічні. [17, 22]

Механічні включають зняття верхнього шару ґрунту, використання різних сорбентів для збору нафти, створення бар'єрів для запобігання поширення забруднення. [6, 10] Сорбенти адсорбують нафту і завдяки пористій структурі утримують її. В якості таких сорбентів застосовують солому, торф, лушпиння, подрібнені кукурудзяні качани. Їх поглинальна здатність досить висока, але вони досить швидко піддаються деструкції та розкладанню. Ефективними визнані мінеральні та органо-мінеральні сорбенти (органоглини, вермікуліт, мінералізований торф). Вони всмоктують нафтові вуглеводні разом з водою. Найдоцільніше їх використовувати перед фіторемедіацією. [7]

Загальноновизнана міжнародна практика використання сорбентів застосовується на відносно невеликих ділянках забруднення із невеликою

					401 ВТ 20108	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількістю нафтопродуктів. Сорбенти недорогі, та їх недоліком вважається неоднакова здатність до поглинання на різних типах ґрунтів, та вибірковість у поглинанні різних нафтових вуглеводнів.

Фізико-хімічні включають використання таких сорбентів як торф, полімерні сполуки, окислення озоном.

Термічні методи – це спалювання, піроліз, які руйнують структуру ґрунту. Хоч вони швидкодіючі, але дорогі і впливають на його структуру.

Біологічні методи базуються на використанні живих організмів та різних природних біосистем. До них можна включати біостимуляцію, внесення різних біологічно активних добавок для стимуляції розвитку нафторозкладаючої ризосфери та мікроорганізмів. Використання рослин для очищення

нафтотоксичних ґрунтів – це фітореMediaція. Для прискорення очищення ґрунту використовують біоаугментацію – внесення у ґрунт спеціальних штамів бактерій. Якщо забруднення охоплює не дуже великі території застосовують компостування ґрунту, де у компостні купи (біскупи) вносять вермікультуру для швидшого детоксикаційного ефекту. Крім того, дощові черви покращують фізико-хімічні властивості ґрунту, пропускаючи ґрунт через травну систему подрібнюють органічні залишки, розрихлюючи землю – покращують доступ кисню, збільшують чисельність бактерій – нафтодеструкторів, виділяючи спеціальні ферменти. І в кінцевому результаті відновлюють родючість ґрунту та збільшують вміст гумусу. [4, 19, 21, 28]

Класифікація методів ліквідації забруднень, спричинених функціонуванням нафтопромислового комплексу має різні варіанти.

Ми можемо привести одну з них, наведену у таблиці 2:

					401 ВТ 20108	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2 Класифікація методів ліквідації нафтових забруднень у ґрунтовому покриві.

1. Локалізація нафтових забруднень		
Механічні методи Обвалування забруднень	Фізико-хімічні методи Піно-, плівко-, геле-, структуруючі, сорбенти	
2. Збір нафтопродукту з ґрунту		
Механічні методи Збір в рідкому стані спеціальним обладнанням(насоси)	Фізико-хімічні методи Збір у зв'язаному стані сорбуючими матеріалами (сорбційний метод)	
3. Зниження вмісту нафтопродукту в ґрунті до залишкового рівня		
Термічні методи Захоронення забруднюючого ґрунту	Фізико-хімічні методи Хімічний Екстракційний (очисні комплекси) Дренування ґрунту Пневматичне фракціонування	Біологічні методи Інтенсифікація природної біодеградації нафтопродуктів Агротехнічні заходи Біопрепарати (на основі бактерій або ПАР) Гумінові кислоти Фітомеліорація

Роблячи порівняльну характеристику методів очищення ґрунтів від нафтопродуктів, слід зауважити, що найбільш швидкодіючими є термічні та механічні методи. З тим же вони є і найбільш вартісними. Зрозуміло, що найбільш природними та екологічними являються біологічні методи.

Але всі ці методи є лише частиною довготривалого процесу реабілітації нафтозабруднених ґрунтів. Завершальним етапом вважають рекультивацію. Вона базується на заходах, які виключають деградацію земель, відновлення їх родючості до рівня найбільш сприятливого для вирощення сільськогосподарських культур, або для їх придатності цільовому призначенню.

Якщо за певних причин рекультиваційні заходи здійснити неможливо, можна консервувати землі. Щоб це не відбувалося марно, на них доцільно проводити засів фітореMediaційних рослин. Це зменшить їх подальшу деградацію і вплив порушених ґрунтів на оточуюче середовище.

Реалізуючи заходи по рекультивації необхідно ліквідувати джерело забруднення.

За загальноприйнятими технологіями рекультивація земель здійснюється поетапно. Технічний етап рекультивації нафтозабруднених ґрунтів полягає у зведенні земляних насипів із застосуванням важкої бульдозерної техніки та інших ефективних механізмів. Проводять планування та формування відкосів, створення гідротехнічних та меліоративних споруд.

Іноді проводять локалізацію ґрунтів по периметру, а всередині проводять рекультивацію. Створюють стримуючі дамби, канали, бар'єри, збирання нафти проводять за допомогою сорбентів. Поверхню, де розлитий нафтопродукт переводять у желеподібний чи твердий стан.

Біологічний етап рекультивації – це комплекс агротехнічних, біологічних, фітомеліоративних, фітореMediaційних заходів спрямованих на прискорення біологічного очищення земель від нафти і для створення умов для відновлення екологічних функцій ґрунту та їх природної продуктивності.

Слабо забруднені ґрунти можна залишати під самовідновлення, середньо забруднені можна відновити внесенням добрив і розпушування ґрунту, а сильно забруднені потребують внесення не лише добрив, а й сорбентів та біопрепаратів.

Біотехнологічні і агротехнічні заходи біологічного етапу рекультивації спрямовані на максимальну активізацію нафтоокислювальної мікрофлори. Необхідна підтримка сприятливого водного режиму, що забезпечує надходження поживних речовин у розчиненому вигляді для ефективного функціонування ґрунтових мікроорганізмів. У ґрунті повинно бути певне співвідношення таких елементів як вуглець, азот та фосфор. Так як при нафтових розливах це співвідношення зміщується в сторону вуглецю, то спостерігається недостача азоту. Тому для компенсації цих процесів застосовують комплексні добрива.

дозволяє значно прискорити розклад вуглеводнів і підвищити ефективність очищення ґрунтів.

4. Обов'язковим елементом відновлення нафтозабруднених ґрунтів є рекультивація, яка включає рід заходів по відновленню природних властивостей та родючості ґрунтів.

5. Ефективність очищення ґрунту залежить від багатьох факторів, що обумовлює вибір відповідних методів та технологічних підходів.

					401 ВТ 20108	Арк.
						31
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Застосування фітореMediaційних технологій проводиться з урахуванням багатьох факторів: тип забруднювача, глибина його проникання у ґрунт, кліматичні умови та рельєф території, властивості і типи ґрунтів, тощо.

ФітореMediaційні технології ґрунтуються на різних біологічних процесах видалення та знешкодження забруднювачів - це фітоекстракція,

фітовипаровування, фітостабілізація, фітодеградація, ризофільтрація, та інші. Перш ніж використати ту або іншу технологію, варто провести ретельний аналіз місця, яке підлягає очищенню та відновленню, установити, які саме токсичні сполуки присутні у ґрунті, їх концентрацію, глибину проникнення в ґрунт, тип ґрунту та його гранулометричний склад, наявність ґрунтових вод, кількість опадів у період вегетації й т.д. [21, 28]

Біологічні методи очищення ґрунтів базуються на використанні живих організмів (мікроорганізмів, грибів, рослин та тварин) та біологічних процесів за їх участю для відновлення забруднених ґрунтів після потрапляння нафти та нафтопродуктів. Найважливішу роль у цих процесах відіграють рослини у взаємодії з ґрунтовими мікроорганізмами, що здатні розкладати, трансформувати, та засвоювати забруднювачі, використовувати їх у процесах життєдіяльності.

Фітоочищення (фітореMediaція) використовує рослини для видалення з ґрунтового середовища забруднень з ґрунту. Рослини, що накопичують забруднення висіваються чи висаджуються на ґрунти для очищення. Вони коренями всмоктують токсичні речовини разом з водою і накопичують їх у вегетативних надземних органах. [22]

Дослідженнями показана можливість використовувати комах, черв'яків для розкладання органічних речовин. Застосування дощових черв'яків з цією метою називають вермікомпостуванням. Ці тваринні організми харчуються органічними рештками і відновлюють родючість ґрунту.

Є різні підходи до класифікації методів фітореMediaції. За механізмом дії, типом забруднювача(органічні, неорганічні, радіонукліди, важкі метали), за середовищем очищення (ґрунт, вода, атмосфера).

Як свідчить аналіз класифікація методів фітореMediaції за механізмом видалення забруднювачів є найбільш інформативною.

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

рослини, де за допомогою ферментів (пероксидаз та гідрогеназ) відбувається розрив зв'язків, окиснення та гідроліз. Поліциклічні ароматичні вуглеводні розкладаються гірше, тому доцільно фітодеградація комбінувати з ризодеградацією. [16, 19]

Кінцевими продуктами цих реакцій є прості органічні сполуки, вуглекислий газ та вода.

Майже всі рослини здатні до фітодеградації. Але вони повинні мати швидкий та активний метаболізм, розвинену кореневу систему.

Це люцерна, райграс, костриця, з деревних рослин: тополя, верба. Фітодеградація, як і інші методи фіторемедіації екологічно безпечна, в процесі ефективно руйнуються забруднювачі, проста в застосуванні. [9, 24]

Ризодеградація (Rhizodegradation) – це осадження та руйнування на поверхні коренів та в кореневих тканинах хімічних забруднюючих речовин, що знаходяться у середовищі, яке оточує кореневу систему рослини, завдяки біотичним і абіотичним процесам. Найефективніше відбувається руйнування дизпалива, алканів, легких фракцій нафти.

Коренева систем рослини виділяє біологічно активні речовини, серед яких амінокислоти, органічні кислоти, жирні кислоти, ферменти та інші, що є поживним середовищем для мікроорганізмів. Ці речовини стимулюють мікробіологічну активність у руйнуванні забруднюючих речовин кореневою системою рослин. [21]

Навколо кореневої системи рослин формується біологічно активна зона з високою концентрацією мікроорганізмів. Це відбувається завдяки виділенням кореневою системою рослин цукрі, амінокислот, органічних кислот, які дають бактеріям поживні речовини і стимулятори росту. До нафтоокислюючих бактерій відносять роди *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhodococcus*.

У процесі ризодеградації рослини виконують непрямую функцію у очищенні, але важлива їх роль у покращенні аерації ґрунту, регуляції вологості, стимулюванні діяльності мікрофлори. [28]

В процесі ризодеградація зниження концентрації нафти та нафтопродуктів, залежно від умов досягає 60-90%.

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Основними найбільш ефективними методами фітореMediaції нафтозабруднених територій є ризодеградація та фітодеградація, а також комбiнування цих методiв. Хоча рослини комбiнують цi методи самостiйно, завдяки своїм природним особливостям.

3.2 Застосування методiв фiтореMediaції у свiтовiй практицi

У краiнах ЄС активно впроваджуються так званi “м’якi технологiї ремедiації” (GROs), що включають фiтореMediaцію.

У США та Канадi фiтореMediaція застосовується для: очищення територiй пiсля нафтового забруднення, рекультивації вiйськових полiгонiв, вiдновлення шахтних земель. Часто використовують: тополь, вербу — для фiтоекстракції i фiтодеградації, гiрчицю, соняшник — для вилучення важких металiв. Пiсля аварiї на шахтах активно використовують фiтостабiлiзацію. У штатах Техас i Аляска — очищення ґрунтiв вiд нафти за допомогою трав’янистих рослин. Програми EPA (Environmental Protection Agency) пiдтримують фiтореMediaцію як дешеву альтернативу.

У Китаї та краiнах Азiї через масштабне забруднення ґрунтiв важкими металами (кадмiєм, свинцем, миш’яком) фiтореMediaція активно впроваджується на державному рiвнi. Використовують: рисовi системи з контрольованою водою, спеціальнi сорти рослин, що здатнi розкласти забруднювачi у великих кiлькостях. Iнтегрується з концепцією “зелених мiст” i природоорiєнтованих рiшень (NBS). Китай активно впроваджує фiтореMediaцію через масштабне забруднення ґрунтiв. Основнi особливостi: використання спеціальних сортiв рослин , iнтеграція з агротехнологiями , державнi програми очищення ґрунтiв.

Європейський проєкт CLEANSOIL тестував методи фiтореMediaції на територiї України та показав ефективнiсть при забрудненнi нафтопродуктами. Проєкт GREENLAND (Gentle Remediation of Trace Element Contaminated Land) — довiв ефективнiсть фiтореMediaції на понад 16 полiгонах. У Францiї застосовують рiпак i гiрчицю для очищення вiд кадмiю. У Нiмеччинi — використання енергетичних культур (верба, тополя) з одночасним отриманням бiомаси.

У свiтовiй практицi знайшли рiзнi технологiчнi напрямки.

					401 BT 20108	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Пiдпис	Дата		

У Європі та США для ремедіації ґрунтів застосовують технічні культури, такі як *Miscanthus giganteus* (міскантус гігантський), *Phalaris arundinacea* (канарник очеретяний). Вони мають розвинену кореневу систему, стійкі до токсичних речовин та здатні відновлювати ґрунти за кілька років.

У Китаї, де забруднення земель спостерігається на більшості сільськогосподарських територіях, фіторемедіаційні технології розвиваються швидко. Тут для очищення ґрунту від миш'яку застосовують рослини папороті, що добре накопичують біомасу разом з цією отруйною сполукою. Також цікаве використання рослини міскантусу. Це багаторічна трава з родини злакових, яка виконує свою фіторемедіативну функцію за допомогою ризодеградації. Маючи потужну кореневу систему міскантус сприяє розвитку ризосфери та розкладаючи нафтові токсиканти, очищує ґрунт та збільшує його родючість.

Туреччина також активно розвиває фітотехнології. Для очищення ґрунту тут поряд із міскантусом вирощують ричину та дикий артишок. Стабілізуючи забруднення, ці рослини накопичують велику біомасу, яку надалі використовують у біоенергетиці в Туреччині.

Розвиток нафтової промисловості вимагає пошуків ефективних рослин, для деградації нафтових вуглеводнів.

Дослідженнями доведено високу ефективність вирощування швидкорослих дерев (тополя, верба) на ділянках, забруднених нафтою та нафтопродуктами. Ці рослини здатні переносити високі концентрації забруднень та стимулювати розвиток нафтоокислюваних бактерій.

Швидке відновлення поверхневого шару ґрунту можна проводити застосовуючи суміші, що включають *Avena sativa* (овес), *Vicia faba* (боби), *Festuca* (костриця). Ступінь очищення досягає 86% .

У країнах заходу часто застосовують поєднання фіторемедіації з додаванням біопрепаратів на основі мікроорганізмів, які пришвидшують деградацію важких фракцій нафти.

У посушливих регіонах для фіторемедіації ґрунтів можна застосовувати навіть кактуси. Ці сукуленти зв'язують нафтопродукти та важкі метали у ґрунті чим запобігають їх міграції. Кактус опунція може накопичувати деякі метали.

Завдяки кореневій системі, що глибоко проникає у ґрунт, кактуси можуть витягувати забруднення, що проникає у нижні шари. Але вони не є гіперакумулянтами і ростуть лише у сухих умовах.

В Україні під час воєнних дій актуальним є використання фіторемедіаційних біоценозів (бобові + злаки) для очищення ґрунтів, забруднених пальномастильними матеріалами) внаслідок воєнних дій, що є найбільш перспективним та недорогим методом для регенерації великих територій.

3.3. Застосування методів фіторемедіації для очищення ґрунтів від нафтопродуктів

Нафта та нафтопродукти є екологічно шкідливими речовинами, які при потраплянні в довкілля (ґрунти, воду повітря) порушують, пригнічують, погіршують життєві процеси. Відбувається зміни у обміні речовин ґрунтових мікроорганізмів, погіршується мікробне самоочищення ґрунту, змінюється співвідношення між природними угрупованнями ґрунтових співтовариств. В наслідок цього падає родючість ґрунтів.

У процесах деструкції нафти та її компонентів, як зазначалося вище не останню роль відіграють рослини у співпраці з симбіотичними мікроорганізмами. [16]

Біорозклад нафти в ґрунті (біоремедіація) є одним із найбільш перспективних та екологічно чистих методів очищення. Його суть полягає у використанні природної здатності мікроорганізмів разом з вищими рослинами розкладати органічні забруднювачі.

Процес розкладання органічних забруднювачів нафти відбувається завдяки діяльності мікроорганізмів, грибів, які використовують вуглеводні для своєї життєдіяльності та фіторемедіації, яка здійснюється певними видами рослин та їх угрупованнями.

Перевагами фіторемедіаційних технологій у очищенні ґрунтового середовища від нафти та нафтопродуктів можна виділити наступні.

- Безпека для довкілля, так як не використовуються хімічні речовини та агресивні реагенти;

- Немає необхідності видаляти забруднене середовище чи перевозити на спеціальні території;
- Не потребує спеціального обладнання та робочої сили, так як очищення здійснюють рослини та бактерії;
- Позитивний економічний ефект.

Недоліками фіторемедіації є те, що даний метод очищення не можна застосовувати при високих дозах нафтового забруднення, які перевищують порогові показники. У цьому випадку у ґрунті буде недостатній вміст кисню для повного окиснення нафтопродуктів і життєдіяльності мікроорганізмів та рослин.

Фіторемедіація може тривати досить довго, починаючи з періоду вегетації рослин – кілька місяців, і при сильному забрудненні – кілька років.

Здійснювати фіторемедіаційних період неможливо у зимовий період, так як більшість рослин – фіторемедіантів не є вічнозеленими. Таке очищення дуже залежне від природно-кліматичних умов, властивостей ґрунту тощо.

Рослини відіграють величезну роль у ефективному здійсненні біоремедіації.

Деякі рослини, або макрофіти, мають здатність акумулювати нафтові вуглеводні у своїй біомасі, адсорбувати на поверхні коренів, піддавати їх метаболічним перетворенням. У дослідженнях метаболізму толуолу в проростках кукурудзи, квасолі і виноградної лози була знайдена залежність інтенсивності поглинання толуолу від віку рослин. Краще адсорбують дорослі, зрілі рослини. [21] В рослинних тканинах існують різні механізми окислювання толуолу: в одних випадках він може гідроксилуватися без додаткового окислювання метильної групи; в інших (частіше реалізованих) – метил-радикал окисляється до карбоксилу. Відома участь вищих водяних рослин у самоочищенні водойм, наприклад елодеї канадської (*Elodea canadensis*) [22], стійкість якої до різних ксенобіотиків пов'язана з високим рівнем активності пероксидази в рослинах.

Неодноразові дослідження підтверджують ефективність використання деревних та кущових видів рослин для очищення ґрунту від нафтопродуктів.

Це акація, різні види клену, обліпиха, верба, тополя.

Акація, або, як правильно, робінія псевдо акація, досить поширена на території України і Полтавщини зокрема. Вони є досить ефективним очисником

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

грунту за рахунок затримки у прикореневій зоні вуглеводнів нафти. Так як акація – це бобова рослина, на її коренях розвиваються бульбочкові бактерії, здатні фіксувати з повітря атмосферний азот. Таким чином удобрювати ґрунт і стабілізувати метаболічні процеси у ньому. Ця деревна рослина закріплює ґрунт, запобігає ерозії. Акація стійка до забруднень, невибаглива до умов середовища, але діє досить повільно. Тому її найкраще комбінувати з аборигенними трав'янистими видами рослин.

Обліпіха характеризується тим, що може рости на піщаних та деградованих ґрунтах. У її кореневій системі розвиваються бактерії, що розкладають нафту і виділяються ексудати, які покращують життєдіяльність мікроорганізмів. Хоча обліпіха – це не бобова рослина, але вона також вступає в симбіоз з актиноміцетами і збагачує ґрунт азотом, стимулюючи умови існування нафтових деструкторів. Перевагою обліпіхи є її надзвичайна стійкість до нафтових вуглеводнів, та здатність утворювати дуже розвинену та щільну ризосферу. Основні механізми дії обліпіхи як фіторемедіанта – фітостабілізація та ризодеградація.

Ефективність очищення ґрунту за участю обліпіхи залежить від рівня забрудненості. Найбільша ефективність виявлена на слабо та середньо забруднених ґрунтах. [31]

Різні види кленів широко представлені в Україні (ясенелистий, гостролистий, американський, польовий). Вони є досить стійкими до техногенного забруднення, добре ростуть на бідних ґрунтах. Добре розгалужена коренева система сприяє ущільненню ґрунту та зменшує рухливість забруднень. Корені клену стимулюють розвиток активної мікробної ризосфери. Пряме виділення нафти невисоке, швидке очищення не прогнозується, але їх роль у стабілізації та відновлення територій безперечна.

Найкраще з процесами очищення ґрунтів від нафтових токсикантів справляються багаторічні дорослі рослини, так як кожного року у них відростають нові органи та пагони (формуються із сплячих бруньок). Тому, якщо навіть деякі відмирають після високих концентрацій забруднювачів, утворюються нові, здатні до фіторемедіації. [11, 18]

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Відомий метод очищення нафтозабруднених ґрунтів за допомогою осоки гостролистої, який дозволяє знижувати рівень нафти й нафтопродуктів у ґрунті за короткий час, покращувати його біологічні та фізико-хімічні властивості, є екологічно безпечним і недорогим. Ця методика рекомендована для використання під час реалізації програм загальнодержавного та регіонального рівнів для боротьби з деградацією земель в Україні. [12] Ефективність цього методу полягає у тому, що зростання рослин прискорює біодеградацію нафтових вуглеводнів у ґрунт, коли рівень забруднення складає 48 г/кг. При збільшенні концентрації нафти у два рази період деградації зростає також у два рази. Це вимагає проведення додаткових фіторекультивацийних робіт.

Підземні кореневища та корені осоки створюють канали для аерації і покращуючи структуру ґрунту, його водно-повітряні і адсорбційні властивості, кислотність та збагачують ґрунт мінеральними речовинами разом з епіфітною мікрофлорою. Рослини з добре розвиненими кореневищами можна рекомендувати для фіторекультивациї територій, забруднених нафтою і нафтопродуктами.

Фіторемедіація не вимагає спеціального устаткування, робочої сили й додаткових витрат. Рослини являються природною частиною біогеоценозів. Цим пояснюється й висока економічна вигода методу. Крім того, рослинність робить ділянку, ще більше привабливою.

Використання фіторемедіації доцільно для тих випадків, коли після виключення дії індустріального забруднювача, ґрунт забруднений нафтопродуктами настільки сильно, що природним шляхом протягом кількох років цей рівень не знизиться, і в той же час не настільки високо, що забруднений ґрунт треба вивозити, оскільки на ньому не можуть рости рослини. [24] Фіторемедіація економічно доцільна на окремих ділянках району з уповільненою динамікою забруднення (території, що відносяться до категорії віддаленого екологічного ризику), на більшій частині території із загрозливою динамікою забруднення (категорія близького екологічного ризику), а також в умовах кризової динаміки забруднення після припинення дії джерела забруднення. Для ситуації з деструктивною динамікою забруднення застосування фіторемедіація можливо в комплексі з різними прийомами рекультивациї. [18]

					401 ВТ 20108	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до третього розділу:

1. У світовій практиці фіторе mediaція прогресивний напрямок “зелених” технологій відновлення ґрунтів. Вона активно застосовується в Європі, США, Китаї та інших країнах, особливо для рекультивації промислових територій і міських земель. Попри певні обмеження, цей метод вважається перспективним завдяки поєднанню екологічності, економічності та можливості масштабування.

2. До основних механізмів фіторе mediaції відносять ризофільтрацію, ризодеградацію, фітодеградацію, фітоекстракцію, фітостабілізацію та фітотранспірацію. Встановлено, що кожен із цих методів має переваги та обмеження, а їх ефективність залежить від типу забруднення, властивостей ґрунту, глибини залягання поллютантів та біологічних характеристик самих рослин.

3. Процеси фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів відбуваються за рахунок активізації ґрунтової мікрофлори у ризосфері. Кореневі виділення рослин (ексудати) стимулюють розвиток мікроорганізмів нафтодеструкторів, які забезпечує біорозкладання вуглеводневих сполук і знижують токсичність ґрунту .

4. Фіторе mediaція перспективна для очищення ґрунтів, забруднених нафтою та нафтопродуктами. Рослини сприяють активізації мікробіологічних процесів, покращують фізико-хімічні властивості ґрунту, підвищують його аерацію та водопроникність. Це прискорює процеси біодеградації вуглеводнів. Виявлено ряд рослин, стійких до нафтового забруднення, які можуть бути ефективно використані для фіторекультивації.

5. Найефективнішим є використання змішаних фітоценозів (злакові, бобові, дерева), оскільки це забезпечує комплексний вплив на ґрунт: покращення аерації, структури, біологічної активності та прискорення процесів біодеградації нафтопродуктів.

6. Використання методів фіторе mediaції має певні обмеження: залежність від природно-кліматичних умов, тривалість самого процесу очищення (від місяців до років), обмежена глибина на якій коренева система може вбирати та накопичувати токсичні речовини у рослинній біомасі, при високій концентрації пригнічується життєдіяльність рослин і бактерій .

									Арк.
									42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

7. Отже, фітореємедіація є екологічно безпечним, економічно доцільним і перспективним методом відновлення ґрунтів, який доцільно застосовувати як самостійно, так і в комплексі з іншими методами реємедіації для підвищення ефективності очищення довкілля.

					401 ВТ 20108	Арк.
						43
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4. ПІДБІР РОСЛИН ДЛЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ ПОЛТАВСЬКОГО РЕГІОНУ

4.1. Особливості застосування та характеристика рослин фіторемедіантів

Видовий склад рослин придатних для фіторемедіації взагалі, а конкретно для ґрунтів забруднених нафтою та нафтопродуктами, вивчений не досить добре. Тому він не такий великий. Існують вимоги до рослин-фіторемедіантів, що застосовуються для відновлення нафтозабруднених ґрунтів:

Рослини повинні відповідати таким вимогам:

- мати добре розвинену кореневу систему, яка глибоко проникає у шари ґрунту;
- бути стійкими до токсичних вуглеводнів нафти;
- швидко рости і накопичувати велику надземну біомасу,
- утворювати щільний травостій;
- добре співіснувати з нафтоокиснювальними мікроорганізмами, створюючи добре розвинену ризосферу;
- адаптуватися до місцевих ґрунтово-кліматичних умов;
- рости на нафтозабруднених ґрунтах і накопичувати біомасу;
- бажано бути багаторічними;
- добре переносити умови стресу.

Фіторемедіація найефективніше відбувається завдяки використанню місцевих видів рослин, а не інтродукованих з інших країн чи генетично модифікованих.

Вітчизняні вчені проводили дослідження рослин перспективних для фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів. Враховували відсутність пригнічення росту, хороший розвиток кореневої системи. Найкращі результати показали злакові рослини. Їх перевагою є мочкувата коренева система з великою площею поверхні кореня і багатьма кореневими волосками. Вона здатна глибоко проникати у ґрунт (до трьох метрів). Крім того злаки насичують ґрунт біологічно активними речовинами, які самі ж і виділяють в процесі їх життєдіяльності.

					401 ВТ 20108	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для проведення технології фітофлавоноїзації можна використовувати рослини сорго, люцерну та конюшину, також жито, з деревних порід добре справляється тополя, верба. Тополю взагалі рекомендують висаджувати біля нафтопереробних підприємств.

Це стимулює ріст мікроорганізмів та підсилює розкладання нафти та нафтопродуктів. Види з довгим корінням характеризуються високою стійкістю до несприятливих умов нафтозабруднених екотопів. Це райграс багаторічний, житняк широколистий, вівсяниця лучна, просо посівне пирій повзучий, костриця червона, тонконіг лучний.

Використовуються рослини з родини бобових стійкі до нафтового забруднення (Fabaceae), завдяки розвитку на їх коренях симбіотичних бульбочкових бактерій, що фіксують атмосферний азот. Це - *Vicia faba* (бібкінський), конюшина біла та повзуча, люцерна посівна, лядвенець рогатий. [3]

У корневих екsudатах злаків домінують органічні кислоти, а кореневі виділення бобових багатші амінокислотами й іншими органічними сполуками.

Для фітоочищення нафтозабруднених територій можна використовувати мати й мачуху, кульбабу лікарська, спориш пташиний.

Стійкість до нафтозабруднених ґрунтів рослин осоки шорстковолосої (*Carex hirta* L.), ми вже згадували раніше. Осока поширена рослина Полтавщини, яка росте не лише у прибережній частині водойм, а й на добре зволжених ділянках, навіть на полях. Ця рослина має добре розвинене кореневище і може захоплювати (наче у пастку) забруднювачі у концентрації 100 г/кг. Зарості осоки позитивно впливають на фізико-хімічні та мікробіологічні властивості ґрунту, покращують повітряно-водний режим, стимулюють зростання чисельності й активності ґрунтової мікробіоти, що забезпечує біодеградацію нафти у ґрунті. [24]

Серед культурних видів, які добре здійснюють фіторемедіацію є – кукурудза, соняшник, кормові боби, соя, жито, гірчиця, ріпак. [3]

Трав'янисті рослини: костриця (*Festuca* spp.), тимофіївка (*Phleum pratense*), райграс (*Lolium perenne*) - швидко формують дернину, покращують структуру ґрунту, активізують мікрофлору.

					401 BT 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Тонконіг лучний — багаторічна, дернинна злакова рослина, яка відзначається високою щільністю трав'янистого покриву та швидким відновленням. За рахунок густого травостою укріплює ґрунт і стабілізує міграцію шкідливих нафтових вуглеводнів. Тонконіг дуже поширений як в Україні, так і в Полтавській області, сприяє розвитку корисної ґрунтової мікрофлори. Хоча його здатність для очищення вважається середньою, він є важливим елементом стабілізації ґрунтів у фітореMediaційних агроценозах.

Гірчиця — культурна однорічна рослина, з коротким вегетаційним періодом. Завдяки виділенню біологічно активних речовин володіє бактерицидною дією і у сільському господарстві часто використовується як сидерат.

Гірчиця позитивно впливає на мікробіологічні процеси, стимулює розкладання вуглеводнів нафти.

Вона ефективна на початкових стадіях фітореMediaції і видаляє поверхневі забруднення.

Недоліком можна вважати однорічність та короткотривалий ефект.

Обмеження

- короткотривалий ефект
- однорічна культура

Тополя — деревна рослина з високою швидкістю росту, що має потужну кореневу систему та високу здатність до транспірації.

Відповідно механізми дії включають фітоекстракцію, фітодеградацію, фітовипаровування.

Тополя витягує забруднювачі з глибоких шарів, розкладає їх і виділяє шляхом транспірації. Ефект фітореMediaції довготривалий. Але так як це потужне дерево, необхідні площі для висаджування.

Пирій повзучий — багаторічна злакова рослина з розвиненою кореневищною системою. Поширений по всій території України, і на Полтавщині. Virізняється високою життєздатністю та швидко заселяє деградовані та забруднені ґрунти. Коренева система пирію дуже розгалужена і разом з

					401 ВТ 20108	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

hybridum) – базова рослина для очищення ґрунту при нафтовому забрудненні, універсальний та ефективний варіант.

Ріпак (ярий — Brassica rapa, озимий — Brassica napus) найефективніший для довготривалої фітореMediaції, особливо в поєднанні з іншими рослинами.

Гірчиця та її види дуже ефективна для інтенсивного запуску процесів фітореMediaції.

Біб кінський (Vicia faba) - підвищує ефективність очищення на середньо- та сильно забруднених нафтопродуктами ґрунтах, забезпечує подальший ріст трав'янистих рослин, знижує фітотоксичність, не потребує внесення додаткових добрив та мікробіологічних препаратів.

Соняшник (Helianthus annuus) та кукурудза (Zea mays) — будучи культурними, зерновими сільськогосподарськими рослинами є універсальними фітореMediaнтами, що поєднують здатність до основних механізмів здійснення очищення ґрунту від нафтових поллютантів (фітоекстракції, ризофільтрації та ризодеградації).

Верба(рід Salix) —досить поширене дерево, яке застосовують у довготривалому очищенні ґрунтів від органічних забруднень, надзвичайно ефективна.

Осока (гостролиста - Carex acuta, пухирчаста — Carex vesicaria, лисяча — Carex vulpina) незамінний, добре досліджений, надзвичайно ефективний очищувач. Обмежується використання необхідністю рости на зволжених ґрунтах.

Далі можна розмістити такі рослини, як тимофіївка, конюшина, костриця, тонконіг, пирій – основна роль яких – стабілізуюча та допоміжна.

Детальніша характеристика рослин, рекомендованих для Полтавського регіону наведена в додатку А.

4.2. Шляхи застосування методів фітореMediaції для очищення ґрунтів на Полтавщині

Так як для Полтавської області характерні у значній кількості чорноземи, та видовий склад рослин, що здатні ефективно здійснювати фітореMediaції представлений місцевим видами, то вищеперелічені методики будуть досить ефективні для очищення ґрунтів від нафтових токсикантів.

										401 BT 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							52

Кількість місцевих види рослин, за допомогою яких можна проводити фіторе mediaцію, є досить великою. Базуючись на проведених дослідженнях можемо надати певні рекомендації.

З родини злакових доцільно застосовувати житняк ширококолосьий (*Agropyron pectiniforme Roem. et Schult.*), який невибагливий до ґрунтів і добре поглинає бензопіренові та бензантраценові сполуки. Вівсяниця лучна (*Festuca pratensis*) очищає ґрунт від нафти та її дизельних фракцій. Просо посівне (*Panicum miliaceum*) стійке до засухи, видаляє антрацен та пірен. Райграс багаторічний (*Lolium perenne*) також невибагливий злак, добре розкладає нафтові похідні.

Родина бобових представлена люцерною посівною (*Medicago sativa*) з потужною кореневою системою, що очищує від бензолу, піренів, нафталінів тощо. Люпин багатолістий (*Lupinus polyphyllus*) характеризується накопиченням значної біомаси і ефективно очищує ґрунт від нафти. Соя культурна (*Glycine max*) має дуже гарну схожість, насичує ґрунт азотом, та здатна очищувати ґрунт від антрацену.

З родини вербових використовують тополю та вербу, які невибагливі до ґрунтів, стримують ерозію та здійснюють глибоке комплексне очищення.

Для збільшення ефективності в очищенні ґрунтів забруднених нафтовими токсикантами доцільно використовувати рослини у складі агроценозів. Для Полтавщини це суміші трав: вівсяниця, конюшина, тимофіївка; кострець, тимофіївка, костриця, люцерна; люцерна, буркун; пирій, люцерна, кострець; пирій, еспарцет.

Для більш сухих, степових ділянок – житняк, кострець, люцерна; пожитницю комбінують з конюшиною.

Досить дієвими є методики поєднання основних фіторе mediaнтів з допоміжними:

райграс – бобові – тимофіївка (допоміжна);

райграс - соняшник – тимофіївка (допоміжна);

соняшник – бобові - злаки (допоміжні);

біб кінський – конюшина – вівсяниця.

					401 BT 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

адаптивністю до забруднених умов і здатністю швидко колонізувати деградовані території, виконуючи функції стабілізації та початкового відновлення ґрунтів.

5. Встановлено, що максимальна ефективність фіторе mediaції досягається не при використанні окремих видів рослин, а при формуванні багатокomпонентних агроценозів, які поєднують трав'янисті, бобові, технічні та деревні культури. Такий підхід дозволяє забезпечити комплексне очищення ґрунту на різних глибинах, підвищити активність ґрунтової мікробіоти та прискорити процеси біодеградації нафтопродуктів.

6. Отже, застосування різних груп рослин у складі спеціально підібраних агроценозів є науково обґрунтованим і перспективним напрямом для відновлення забруднених ґрунтів, що може бути ефективно впроваджений у практику природоохоронних заходів Полтавської області.

					401 ВТ 20108	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було досліджено проблему забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами та обґрунтовано доцільність застосування фіторемедіаційних технологій для їх очищення.

1. Забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами є однією з найбільш актуальних екологічних проблем, що виникає внаслідок видобутку, транспортування, переробки та зберігання нафти, а на даному етапі внаслідок воєнних дій. Значний вплив мають аварійні виливи та техногенні навантаження, які призводять до деградації ґрунтового покриву.
2. Нафтове забруднення спричиняє суттєві зміни фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту: зниження аерації, порушення водного режиму, зміну кислотності, пригнічення мікробіологічної активності та зменшення родючості.
3. Процеси міграції нафтопродуктів у ґрунтах залежать від їх складу, типу ґрунту та природно-кліматичних умов. Легкі фракції проникають у глибші горизонти, тоді як важкі накопичуються у верхньому шарі, що ускладнює процес самоочищення. Найефективніше проходять процеси фіторемедіації на чорноземах, які є типовими для Полтавщини.
4. Проаналізовано сучасні методи очищення ґрунтів, серед яких механічні, хімічні та біологічні. Визначено, що традиційні методи є ефективними, але часто дорогими та екологічно небезпечними.
5. Фіторемедіація є перспективним, екологічно безпечним і економічно доцільним методом очищення ґрунтів від нафтових забруднень. Основну роль у цьому процесі відіграють не лише рослини, а й мікроорганізми ризосфери.
6. Для умов Полтавської області найбільш ефективними є злакові та бобові рослини (райграс, костриця, люцерна, конюшина), які сприяють активізації процесів біодеградації нафти та відновленню родючості ґрунтів.

7. Запропоновано практичні рекомендації щодо впровадження фітореMediaційних технологій, зокрема використання травосумішей, поетапне відновлення ґрунтів та контроль за станом біомаси.

8. Застосування фітореMediaції дозволяє знизити рівень забруднення ґрунтів, покращити їх екологічний стан та відновити продуктивність без значного техногенного втручання.

					<i>401 ВТ 20108</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58

15. Alloway B. J. Heavy Metals in Soils. Dordrecht : Springer, 2013. 613 p.
16. Atlas R. M. Petroleum biodegradation and oil spill bioremediation. Marine Pollution Bulletin. 1995. Vol. 31. P. 178–182.
17. Baker A. J. M. Metal tolerance. New Phytologist. 1981. Vol. 88. P. 563–570.
18. Cherian S., Oliveira M. Phytoremediation of organic contaminants. International Journal of Environmental Science. 2005. Vol. 2. P. 53–70.
19. Cunningham S. D., Berti W. R., Huang J. W. Phytoremediation of contaminated soils. Trends in Biotechnology. 1995. Vol. 13. P. 393–397.
20. Frick C. M., Farrell R. E., Germida J. J. Assessment of phytoremediation as an in-situ technique for cleaning oil-contaminated sites. Petroleum Technology Alliance Canada, 1999. 88 p.
21. Glick B. R. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. Biotechnology Advances. 2010. Vol. 28. P. 367–374.
22. Khan F. I., Husain T., Hejazi R. An overview and analysis of site remediation technologies. Journal of Environmental Management. 2004. Vol. 71. P. 95–122.
23. Merkl N., Schultze-Kraft R., Infante C. Phytoremediation in the tropics—the effect of crude oil on tropical plants. Bioremediation Journal. 2005. Vol. 9. P. 177–184.
24. Pilon-Smits E. Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology. 2005. Vol. 56. P. 15–39.
25. Salt D. E., Smith R. D., Raskin I. Phytoremediation. Annual Review of Plant Physiology. 1998. Vol. 49. P. 643–668.
26. U.S. EPA. Introduction to Phytoremediation. Washington, DC : United States Environmental Protection Agency, 2000. 72 p.
27. UNEP. Oil Spill Response Manual. Nairobi : United Nations Environment Programme, 2011.

Режим доступу: <https://www.unep.org/resources/report/oil-spill-response>

					401 BT 20108	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Vidali M. Bioremediation. Pure and Applied Chemistry. 2001. Vol. 73. P. 1163–1172.

29. Wuana R. A., Okieimen F. E. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and remediation. ISRN Ecology. 2011. Article ID 402647.

30. Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma L. Q. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in plants growing on contaminated sites. Science of the Total Environment. 2006. Vol. 368. P. 456–464.

Режим доступу: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/402647/>

31. Zhang X., Liu X., Li Y., Zeng G. Advances in phytoremediation of contaminated soils. Environmental Science and Pollution Research. 2010. Vol. 17. P. 1–12.

					401 BT 20108	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА"
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ НАФТИ І ГАЗУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ ТА ХІМІЇ
СТУПІНЬ ВИЩОЇ ОСВІТИ - БАКАЛАВР*



КВАЛІФІКАЦІЙНА ДИПЛОМНА РОБОТА БАКАЛАВРА

*на тему: "Впровадження фіторе mediaційних технологій на ґрунтах
забруднених нафтою та нафтопродуктами"
(графічна частина)*

*Студентка групи 401-ВТ
Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища
Керівник - доцент кафедри ПЕтаХ
к.т.н. доцент*

БУЛАВЕНКО Анна Анатоліївна

ІЛЛЯШ Оксана Едуардівна

Полтава - 2026



401-ВТ 10291733 КРБ					
Впровадження автореволюційних технологій на зручності забруднених нафтою та нафтопродуктами					
Дати	Місяць	Дінь	Місяць	Лист	Лист
Навчання	Навчання	Навчання	Навчання	КРБ	2 107
Назва розробки				Назва розробки	
Назва розробки				Назва розробки	



Таблиця 1. Поширення ґрунтів та умови формування ґрунтового покриву Полтавщини

Ґрунти	Умови формування		Характеристика профілю	
	Рельєф, умови зволоження, материнська гірська порода	рослинність	Властивості гумусового шару	
			вміст гумусу	pH
1	2	3	4	5
1. Чорнозем типові мало- і середньо-гумусні потужні	Помірно дреновані лесові вододіли і високі лесові тераси	Під лучними степами	3,8%-6,2%	5,9-6,7
2. Чорноземі залишково-солонцюваті потужні; солонцюваті; солончакуваті і осолоділі	Слабо дреновані лесові тераси Дніпра і низькі вододіли на пл. області з неглибоким сучасним, або давнім (для залишково-солонцюватих) рівнем мінералізованих ґрунтових вод	Під лучними і галофітними степами	3,7%-4,4%	6,1 - 6,9 верхній шар 6,9-7,2 нижній шар
3. Чорноземі звичайні	Дреновані і слабо дреновані лесові вододіли, пологі схили пл.-ск. частини області	Під рівнооточинчакориковидними степами	4,6%-5,9%	6,3-7,0
4. Сірі лісові та інші опідзолені ґрунти.	Переважно лесові рошчленовані і дуже рошчленовані рівнини в природних смугах	Під широколистяними лісами і чагарниками	1,6%-4,0%	5,8-6,2
5. Лучно-чорноземні солонцюваті, місцями осолоділі	На знижених лесових терас Дніпра, дніщак балок, в умовах неперіодичного підпору мінералізованих вод (2-3,5 м); осолоділі - в степових біоценозах	Під лучними степами і остепненими галофітними луками	4,3%-5,6%	6,7-7,4 (7,3-7,6у горизонті)
6. Лучні (в т.ч. солонцюваті) і алювіальні лучні	Центральні заплави річок, притерасні зниження, дніща балок на лесових, дельтовій, алювії в умовах постійного запливального зв'язу з підґрунтовими водами неглибокого рівня (1-3 м)	Під справжніми (рівнооточинчакориковидними) та галофітними луками	3,1%-5,3%	6,7-7,4 (7,3-7,6 донизу)
7. Лучно-богаті, більшою мірою солонцюваті	Заплави, западні тераси, дніща, балки в умовах досить високого поверхневого та близького ґрунтового зволоження (1-1,5 м)	Під заболоченими луками	5,0%-5,9%	7,2
8. Богаті; торф'яно- і торф'яно-богаті	Там же, в умовах постійного ґрунтового чи поверхневого перезволоження	Під низинними переважно очеретовими болотами	6,0%-10%	7,1-7,2
9. Торфовища	В заплавах Сули, Удаю, Оржиці	торф	торф	кислі
10. Дерново-підзолисті	Борівні тераси:	Під давніми сосновими і мішаними лісами	0,7%-1,3%	5,3-6,0

Біотестування ґрунтів, забруднених нафтою та нафтопродуктами, та основні методи їх відновлення

1. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ НАФТОПРОДУКТІВ У ҐРУНТІ



2. БІОТЕСТУВАННЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ



3. ОСНОВНІ РОСЛИННІ-БІОТЕСТЕРИ (ЧУТЛИВІ ТЕСТ-ОБ'ЄКТИ ДЛЯ ОЦІНКИ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ)



Пшениця
(*Triticum aestivum*)



Редис
(*Raphanus sativus*)



Салат
(*Lactuca sativa*)



Конюшина червона
(*Trifolium pratense*)



Жито
(*Secale cereale*)

4. ОСНОВНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОЮ



ПЕРЕВАГИ БІОТЕСТУВАННЯ

- ✓ Чутливе до низьких концентрацій забруднювачів
- ✓ Дозволяє оцінити інтегральний токсичний ефект
- ✓ Дає можливість раннього виявлення забруднення
- ✓ Природне, недороге та просте у використанні

НЕДОЛІКИ БІОТЕСТУВАННЯ

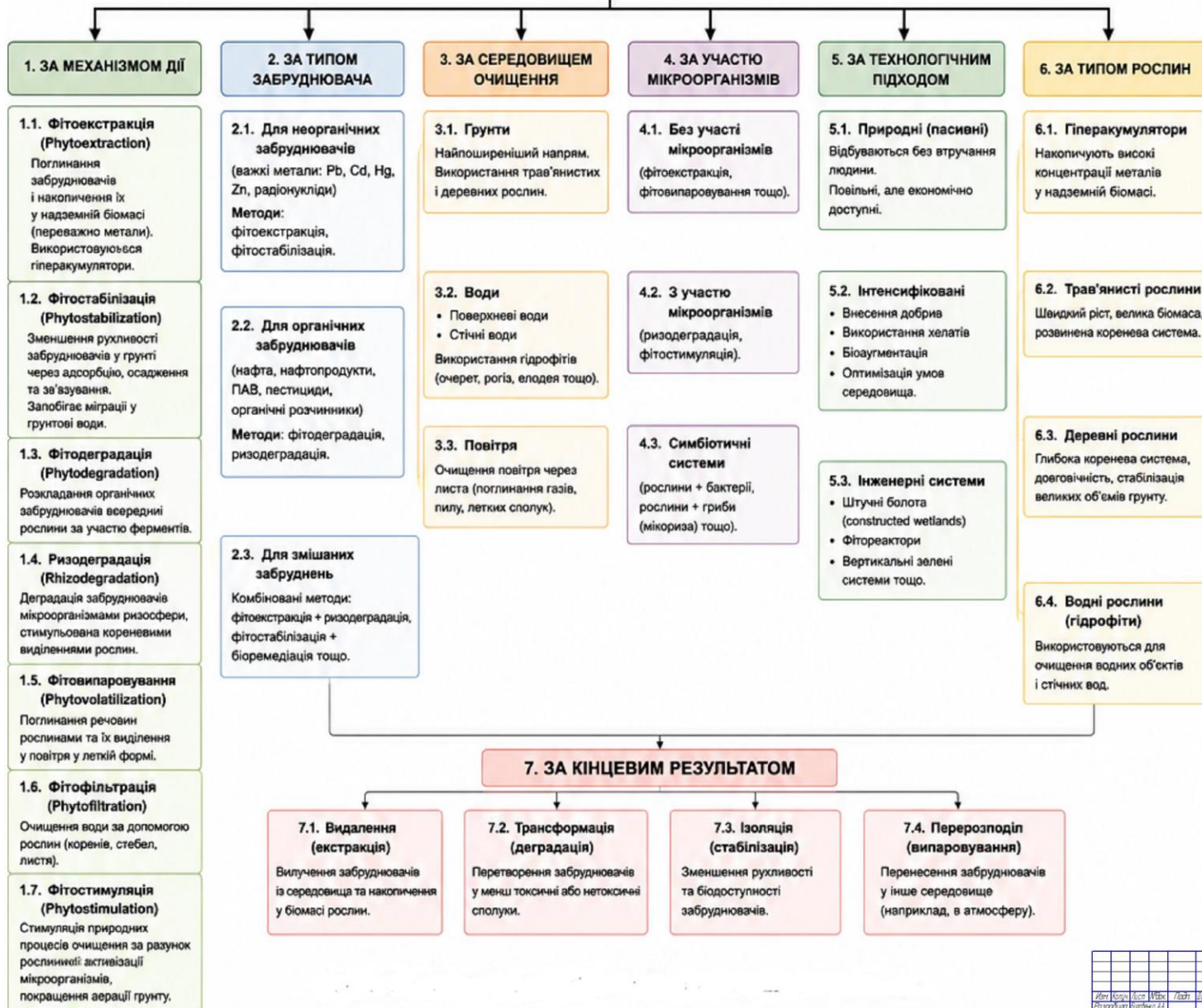
- ⚠ Не дозволяє визначити конкретний компонент нафти
- ⚠ Результати залежать від властивостей ґрунту та умов середовища
- ⚠ Потребує більшої вибірки та повторюваності дослідів
- ⚠ Реакція тест-об'єктів залежить від багатьох факторів

ВИСНОВОК

Біотестування є ефективним інструментом попередньої оцінки рівня нафтового забруднення ґрунтів. Комплексне поєднання фізико-хімічних та біологічних методів дозволяє отримати найбільш достовірну інформацію та обрати оптимальні методи відновлення територій.

401-ВТ 10291733 КРБ									
Впровадження фіторемердіаційних технологій на ґрунтах забруднених нафтою та нафтопродуктами									
Дані	Копія	Лист	Варіант	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Розроблено	Зроблено	44	44	44	44	44	44	44	44
Варіант	Лист	44	44	44	44	44	44	44	44
Основні рослини-біотестери							Лист	Лист	Лист
Переваги та недоліки біотестування							Лист	Лист	Лист
Висновки							Лист	Лист	Лист
Відомості про виконавця							Лист	Лист	Лист
Відомості про замовника							Лист	Лист	Лист
Відомості про фінансатора							Лист	Лист	Лист
Відомості про виконавця							Лист	Лист	Лист
Відомості про замовника							Лист	Лист	Лист
Відомості про фінансатора							Лист	Лист	Лист

КЛАСИФІКАЦІЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДІВ



401-ВТ 10291733 КРБ

Впровадження фіторемедіаційних технологій на зрутках забруднених нафтових нафтопродуктами

№ п/п	Ім'я	Підемі	Діста	Відемі	Тіста	Сіста
1	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
2	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
3	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
4	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
5	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
6	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
7	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
8	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
9	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва
10	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва	Корвєва

Класифікація фіторемедіаційних технологій і методів
КРБ 5 10
Національний університет «Львівська політехніка»
Кафедра екології, безпеки та інженерії

ЗАСТОСУВАННЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ

Фіторемедіація – ефективний, екологічно безпечний та економічно доцільний метод очищення ґрунтів, забруднених нафтою, нафтопродуктами та важкими металами

1 США ТА КАНАДА

- Фіторемедіація застосовується для очищення після нафтового забруднення, рекультивациі військових полігонів та шахтних земель.
- Тополя та верба – для фітодеградації і фітоекстракції.
- У штатах Техас і Аляска – очищення ґрунтів від нафти за допомогою трав'янистих рослин.
- Програми EPA підтримують фіторемедіацію як дешеву альтернативу.



Тополя
(*Populus spp.*)



Верба
(*Salix spp.*)



Трав'янисті
фіторемедіанти

3 ЄВРОПЕЙСЬКИЙ СОЮЗ

- Активне впровадження «мі'яких технологій ремедіації» (GROs).
- Проекти GREENLAND та CLEANSOIL довели ефективність фіторемедіації на понад 16 полігонах.
- Використання ріпаку, гірчиці, верби та тополі для очищення ґрунтів від важких металів та нафтопродуктів.



Ріпак
(*Brassica napus*)



Верба
(*Salix spp.*)



Тополя
(*Populus spp.*)

5 УКРАЇНА

- Актуальне використання фіторемедіаційних біоценозів (бобові + злаки) для очищення ґрунтів, забруднених пально-мастильними матеріалами внаслідок воєнних дій.
- Перспективний, недорогий метод для регенерації великих територій.



Овес
(*Avena sativa*)



Боби
(*Vicia faba*)



Костриця
(*Festuca spp.*)

2 КИТАЙ ТА КРАЇНИ АЗІЇ

- Через масштабне забруднення ґрунтів важкими металами (кадмієм, свинцем, міддю) фіторемедіація впроваджується на державному рівні.
- Використовують рисові системи з контрольованою водою, спеціальні сорти рослин, що здатні розкладати забруднювачі у великих кількостях.
- Інтеграція з концепцією «зелених міст» і природоорієнтованих рішень (NBS).



Папороть
(*Pteris vittata*)



Міскантус
(*Miscanthus giganteus*)



Рисові системи
з контрольованою водою

4 ТУРЕЧЧИНА

- Активний розвиток фітотехнологій та використання енергетичних культур.
- Для очищення ґрунту поряд із міскантусом вирощують ріцину та дикий артишок.
- Рослини стабілізують забруднення та накопичують біомасу, що використовується у біоенергетиці.



Міскантус
(*Miscanthus giganteus*)



Рицина
(*Ficus communis*)



Дикий артишок
(*Cynara cardunculus*)

ІНШІ НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ У СВІТІ

Поєднання з біопрепаратами

У країнах Заходу часто застосовують фіторемедіацію разом із біопрепаратами на основі мікроорганізмів, які пришвидшують деградацію важких фракцій нафти.



Використання кактусів

У посушливих регіонах для фіторемедіації застосовують кактуси (опунції). Вони зв'язують нафтопродукти та важкі метали, запобігаючи їх міграції у ґрунт. Кактуси мають глибоку кореневу систему, але не є гіперкумуляторами.



Швидкорослі дерева

Доведено високу ефективність вирощування швидкорослих дерев (тополя, верба) на забруднених ділянках. Вони переносять високі концентрації забруднень та стимулюють розвиток нафтоокислювальних бактерій.



Трав'янисті суміші

Швидке відновлення поверхневого шару ґрунту можна проводити сумішшю *Avena sativa* (овес), *Vicia faba* (боби), *Festuca* (костриця). Ступінь очищення досягає 86%.



ЕФЕКТИВНІ ФІТОРЕМЕДІАНТИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ



Тополя
Стимулює розвиток нафтоокислювальних бактерій



Верба
Прискоро деградацію нафтових вуглеводів



Міскантус
Активує ризодеградацію, сприяє розкладанню токсикантів



Овес + боби + костриця
Швидко відновлення поверхневого шару ґрунту, ступінь очищення досягає до 86%

401-ВТ 10291733 КРБ

Впровадження фіторемедіаційних технологій на ґрунтах забруднених нафтою та нафтопродуктами

Розробка ґрунтової АБ		Інтеграція з концепцією «зелених міст» і природоорієнтованих рішень (NBS)	
Див. Корп.	Інст. Векс	Лист	Лист
Розробка ґрунтової АБ	Інтеграція з концепцією «зелених міст» і природоорієнтованих рішень (NBS)	7	10
Застосування фіторемедіаційних технологій у сільській практиці	Ефективні фіторемедіанти для очищення нафтово забруднених ґрунтів	КРБ	А1

РЕКОМЕНДОВАНІ РОСЛИНИ-ФІТОРЕМЕДІАНТИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ



НАФТОЗАБРУДНЕНИЙ ҐРУНТ ПОЛТАВЩИНИ

1. ЗЛАКОВІ КУЛЬТУРИ



- ризодеградація
- стабілізація ґрунту
- розвиток ризосфери

2. БОБОВІ КУЛЬТУРИ



- азотфіксація
- підвищення родючості
- стимуляція мікроорганізмів

3. ТЕХНІЧНІ КУЛЬТУРИ



- висока біомаса
- фітодеградація
- швидке очищення верхніх шарів

4. ДЕРЕВНІ РОСЛИНИ



- очищення глибоких шарів
- фітоекстракція
- довготривала дія

5. ПІОНЕРНІ ВИДИ



- заселення деградованих земель
- фітостабілізація
- початкове відновлення

НАЙБІЛЬШ ПЕРСПЕКТИВНІ РОСЛИНИ ДЛЯ ПОЛТАВЩИНИ

- 1** Люцерна посівна
- 2** Райграс багаторічний
- 3** Ріпак (озимий/ярий)
- 4** Гірчиця біла
- 5** Біб кінський
- 6** Верба (Salix spp.)
- 7** Осока (Carex spp.)

401-ВТ 10291733 КРБ									
Виробничий фіторемедіаційний технологічний заход на ґрунтах забруднених нафтою та нафтопродуктами									
Ім'я	Місце	Дата	Місце	Тиск	Сила	Склад	Лист	Листів	
Місцевість	Сторона	№	№	№	№	№	№	№	№
№	№	№	№	№	№	№	№	№	№
Найбільш перспективні рослини для Полтавщини									
Національний університет «Полтавський національний університет імені Петра Могили»									
Формат А1									

СХЕМА ЗАСТОСУВАННЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВІД НАФТОПРОДУКТІВ



РЕКОМЕНДОВАНІ АГРОЦЕНОЗИ ПОЛТАВЩИНИ

Райграс + бобові + тимофіївка (допоміжна)

Соняшник + бобові + злаки (допоміжні)

Біб кінський + конюшина + вівсяниця

Пирій + люцерна + кострець

Житняк + люцерна + кострець

Житняк + конюшина

РЕКОМЕНДОВАНА ПОСЛІДОВНІСТЬ ДЛЯ ПОЛТАВЩИНИ

1 рік: Злаков-бобові суміші → 2-3 роки: Соняшник, ріпак, біб кінський → 3+ роки: Верба, тополя → Відновлений ґрунт

Поступове зниження вмісту нафтопродуктів у ґрунті

Фіторемедіація – екологічно безпечний, економічно доцільний та ефективний метод відновлення нафтозабруднених ґрунтів Полтавської області.

Розвинена коренева система рослин + Активізація мікрофлори та біодеградація + Стабілізація ґрунту та екосистем = Відновлення родючості та безпечне середовище

401-ВТ 10291733 КРБ

Вироблення фіторемедіаційної технології на зразках забруднених ґрунтів на нафтопродукти

№ п/п	Ім'я	Піп	Місц	Дат	Місц	Лист	Лист
1	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
2	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
3	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
4	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
5	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
6	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
7	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
8	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
9	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан
10	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан	Степан

Рекомендовані агроценози Полтавщини

Національний університет «Полтавський національний університет імені Петра Могили»

Формат А1

Висновки

- Забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами є однією з найактуальніших екологічних проблем, що виникає внаслідок видобутку, транспортування та зберігання нафти.**
- Нафтове забруднення спричиняє суттєві зміни фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту: зниження аерації, порушення водного режиму, зміну кислотності, зменшення родючості.**
- Процеси міграції нафтопродуктів у ґрунтах залежать від їх складу, типу ґрунту та природно-кліматичних умов. Найефективніше проходять процеси фітореMediaції на чорноземах, які є типовими для Полтавщини.**
- Проаналізовано сучасні методи очищення ґрунтів. Визначено, що традиційні методи є ефективними, але часто дорогими та екологічно небезпечними.**
- ФітореMediaція є перспективним, екологічно безпечним і економічно доцільним методом очищення ґрунтів.**
- Для умов Полтавської області найефективнішими фітореMediaнтами є злакові та бобові рослини (райграс, костриця, люцерна, конюшина), які сприяють активізації процесів біодеградації нафти та відновленню родючості ґрунтів.**
- Запропоновано практичні рекомендації щодо впровадження фітореMediaційних технологій, зокрема використання травосумішей, поетапне відновлення ґрунтів та контроль за станом біомаси.**
- Застосування фітореMediaції дозволяє знизити рівень забруднення ґрунтів, покращити їх екологічний стан та відновити продуктивність без значного техногенного втручання.**

ІЛС Р. 10291733
 Полтавська область
 ІЛС Р. 10291733

						401-ВТ 10291733 КРБ		
						Впровадження фітореMediaційних технологій на ґрунтах забруднених нафтою та нафтопродуктами		
ІЛС Р. 10291733	Полтавська область	ІЛС Р. 10291733	Полтавська область	ІЛС Р. 10291733	Полтавська область	КРБ	10	107
						Результати роботи		
						Загальні висновки		
						<small>Національний університет Полтавської державної архітектури, будівництва, цивільної інженерії та інженерії</small>		
						Формат А1		