

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра екології та природозахисних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 101 «Екологія»

Тема роботи: Прикладні аспекти застосування методу біотестування в екологічних дослідженнях

Виконав:  
студент Філенко Є.О.

Керівник:  
доцент Аблєєва І. Ю.

Залікова книжка  
№ 19510083

Підпис: \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Підпис: \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:  
доцент Васькін Р. А.

Підпис: \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Захищена з оцінкою  
\_\_\_\_\_  
оцінка, дата

Секретар ЕК  
старший викладач Батальцев Є. В.

Суми 2023

# СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природозахисних технологій  
Спеціальність 101 „Екологія”

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентові \_\_\_\_\_ Філенку Єгору Олеговичу \_\_\_\_\_ Група ОС-91

1. Тема кваліфікаційної роботи Прикладні аспекти застосування методу біотестування в екологічних дослідженнях

2. Вихідні дані Хімічний склад та токсичність нафти і бурового шламу. Токсичність для гідробіонтів та рослин. Якісний та кількісний склад бурових відходів. Методика визначення фітотоксичності об'єктів з допомогою «Ростового фіто-тесту».

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

1. Загальна характеристика методу біотестування.
2. Тест-об'єкти та відгуки реакції у дослідженнях із застосуванням біотестування.
3. Результати дослідження рівня токсичності відходів за допомогою «Ростового фіто-тесту»

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд	+	+				
2	Аналіз проблеми			+			
3	Оброблення результатів				+		
4	Розділ з охорони праці					+	
5	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання 30.03.2023 р.

Керівник \_\_\_\_\_

д.т.н., доц., доц. Аблєєва І. Ю.

## РЕФЕРАТ

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 56 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 58 сторінок, у тому числі 5 рисунків, перелік джерел посилання на 7 сторінках, 1 додаток.

Мета роботи – полягає у встановленні рівня впливу ксенобіотиків на прикладі нафти та бурових відходів на ґрунтові та водні екосистеми методами біотестування.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі завдання:

- здійснити літературний огляд за досліджуваною проблематикою;
- проаналізувати особливості впливу на екосистеми від забруднення нафтою та відходами буріння;
- проаналізувати та застосувати методику біотестування для визначення фітотоксичного ефекту від ксенобіотиків на живі організми;
- надати рекомендації щодо удосконалення методики біотестування.

Об'єкт дослідження – ґрунтові та водні екосистеми, зокрема їх біотична складова, що зазнали впливу від забруднення нафтою та буровими відходами.

Предмет дослідження – особливості застосування методів біотестування під час вивчення впливу нафти та бурових відходів на живі організми.

У кваліфікаційній роботі розглянуто екологічну проблему забруднення компонентів довкілля нафтою та вплив на живі організми. Проаналізовано ефективність та особливості застосування методики фітотестування з використанням певних видів рослин як тест-об'єктів. Надано рекомендації щодо вдосконалення методики біотестування для екологічних досліджень. Розглянуто правила техніки безпеки під час роботи в лабораторії.

*Ключові слова:* АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, БІОТЕСТУВАННЯ, ГІДРОБІОТИ, ЕКОСИСТЕМИ, НАФТА, ФІТОТОКСИЧНІСТЬ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Літературний огляд за досліджуваною тематикою.....	7
1.1 Аналіз екологічної проблеми забруднення ґрунту нафтою.....	7
1.2 Оцінка стану забруднення водного середовища внаслідок аварійних розливів нафти.....	10
1.3 Забруднення атмосферного повітря сполуками сульфуру.....	15
1.4 Аналіз фітотоксичності нафти та бурових відходів.....	17
1.5 Постановка задач дослідження.....	19
Розділ 2 Біотестування як метод досліджень.....	20
2.1 Особливості методу біотестування для оцінки токсичності об'єктів.....	20
2.2 Методика застосування біотестування для визначення фітотоксичності бурових відходів та нафти.....	25
2.3 Аналіз основних тест-об'єктів та тест-реакцій на прикладі гідробіонтів.....	30
Розділ 3 Прикладні аспекти та рекомендації щодо застосування біотестування.....	33
3.1 Фітотестування як експрес-метод оцінки токсичності забруднених ґрунтів.....	33
3.2 Розрахунок ступеня фітотоксичності забруднених ґрунтів.....	35
3.3 Рекомендації щодо удосконалення методики біотестування у комплексних екологічних дослідженнях.....	40
Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	44
4.1 Техніка безпеки при роботі з небезпечними речовинами, токсикантами.....	44
4.2 Розрахунок штучного освітлення в лабораторному приміщенні.....	45
Висновки.....	49
Перелік джерел посилання.....	50
Додатки.....	57

Підп. і дата					<b>ОС 19510083</b>						
Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		
Інв.№поділ.	Розроб.	Філенко			Прикладні аспекти застосування методу біотестування в екологічних дослідженнях				Літ.	Аркуш	Аркушів
	Перев.	Аблєєва							4	58	
	Н.Контр.	Батальцев							СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ОС-91		
	Затв.	Пляцук									

## ВСТУП

Протягом усього життєвого циклу будь-яка сировина впливає на навколишнє середовище. У випадку нафти і нафтопродуктів, вони мають токсичний і канцерогенний вплив на живі організми. Оскільки всі речовини в природі, раніше або пізніше, включаються в природний кругообіг, небезпечні ксенобіотики призводять до погіршення якості умов проживання, а в результаті – до зростання захворюваності та смертності. З одного боку, нафта є цінною сировиною для нафтопереробної та нафтохімічної галузей виробництва, а з іншого – виступає як серйозний забруднювач при потраплянні в навколишнє середовище. Забруднення навколишнього середовища нафтою та нафтопродуктами призводить до порушення екологічної рівноваги та природного балансу екосистем, токсичного впливу на всі живі організми, включаючи людину. Найсуттєвішою та визначальною причиною техногенного навантаження на природне середовище є аварійні розливи нафти під час її видобування та транспортування, кількість яких щороку зростає з різних причин. Внаслідок цього змінюються як фізико-хімічні параметри ґрунтів, підземних і поверхневих вод, так і чітко простежуються фізіологічні зміни в мікро-, міко- та фітоценозах, що проявляються від інгібування ферментативної активності до летальних наслідків, залежно від концентрації нафтопродуктів.

Актуальні питання стосуються підвищення техногенної безпеки об'єктів, які забруднені нафтопродуктами, та зменшення техногенного впливу на компоненти природного середовища. Для визначення максимально допустимого екологічного навантаження на довкілля, що виникає внаслідок ситуацій, пов'язаних з наявністю нафти та нафтопродуктів, ефективним методом є фітотоксичний аналіз. За допомогою біотестування можна оцінити ступінь токсичності різних концентрацій нафти для конкретного живого організму, враховуючи його екологічну валентність. Результати цього аналізу дозволяють

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
										5
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					

встановити, наскільки шкідливими є різні дози нафти та її вплив на оточуюче середовище.

Мета роботи полягає у встановленні рівня впливу ксенобіотиків на прикладі нафти та бурових відходів на ґрунтові та водні екосистеми методами біотестування.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі завдання:

- здійснити літературний огляд за досліджуваною проблематикою;
- проаналізувати особливості впливу на екосистеми від забруднення нафтою та відходами буріння;
- проаналізувати та застосувати методику біотестування для визначення фітотоксичного ефекту від ксенобіотиків на живі організми;
- надати рекомендації щодо удосконалення методики біотестування.

Об'єкт дослідження – ґрунтові та водні екосистеми, зокрема їх біотична складова, що зазнали впливу від забруднення нафтою та буровими відходами.

Предмет дослідження – особливості застосування методів біотестування під час вивчення впливу нафти та бурових відходів на живі організми.

Методи дослідження – аналітичні, біотестування, системний аналіз.

Фітотестування впливу нафти має велике практичне значення у контексті оцінки токсичності та екологічного ризику, пов'язаного з нафтовим забрудненням. Фітотестування може використовуватися для оцінки ефективності методів очищення та ремедіації забруднених ділянок. Шляхом порівняння реакції рослин нафто-забруднених ділянок з контрольними ділянками оцінено ефективність застосованих методів та визначено найбільш придатні для відновлення середовища.

Фітотестування дозволяє визначити екологічну валентність нафтопродуктів, тобто їх токсичність для різних живих організмів. Це допомагає встановити гранично допустиму концентрацію нафти в середовищі, яка не перевищує припустимий рівень токсичності для біологічних систем.

Підп. і дата	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Інв.Методл.	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк
ОС 19510083										

# РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ДОСЛІДЖУВАНОЮ ТЕМАТИКОЮ

## 1.1 Аналіз екологічної проблеми забруднення ґрунту нафтою

Нафта і нафтопродукти мають значний негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема на ґрунтово-рослинний покрив і тваринний світ. Забруднення ґрунту нафтою відбувається на різних етапах використання нафти: під час буріння, переробки, зберігання, транспортування і ліквідації обладнання.

Нафта і нафтопродукти визнані у світі пріоритетними забруднювальними речовинами [1, 2]. При попаданні нафти у ґрунт вона розподіляється та проникає вглиб ґрунту. Це може спричинити виснаження родючості ґрунту, оскільки нафта й нафтопродукти всмоктуються капілярними силами і можуть залишатися в ґрунті тривалий час. Це ускладнює ріст і розвиток рослин, а також має шкідливий вплив на ґрунтових мікроорганізмів та мешканців ґрунту.

Крім того, нафта і нафтопродукти містять шкідливі речовини, такі як вуглеводні, оксид вуглецю та тверді частинки. Ці речовини можуть мати токсичний вплив на рослинний покрив і тваринний світ, що призводить до порушення екологічного балансу в екосистемі.

Забруднення ґрунту нафтою і нафтопродуктами має серйозні наслідки для ґрунтово-рослинного покриву та екосистеми загалом. Основні проблеми, пов'язані з цим забрудненням, включають [3]:

1. Втрата родючості ґрунту: нафта і нафтопродукти можуть позбавляти ґрунт родючості, оскільки всмоктуються його капілярними силами і можуть затримуватися в ньому тривалий час. Це призводить до зниження доступу рослин до необхідних поживних речовин і елементів, несприятливо впливає на ріст і розвиток рослин [3].

2. Порушення фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунту [3]: забруднення нафтою призводить до руйнування ґрунтових структур і

Підп. і дата						
Інв.Модул.						
Взаєм.інв.№						
Підп. і дата						
Інв.Методл.						
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						7

диспергування ґрунтових часток, що впливає на водопроникність і фільтраційний режим ґрунтів. Це може спричинити затоплення ґрунту і порушення водно-лугового режиму, що має важливе значення для рослинного росту.

3. Вплив на азотний режим ґрунту: забруднення нафтою може призвести до збільшення вмісту вуглецю в ґрунті і зниження співвідношення між вуглецем і азотом. Це може порушити азотний режим ґрунту і пригнічувати ріст і розвиток рослин, оскільки азот є необхідним елементом для синтезу білків і інших життєво важливих сполук [4].

4. Токсичність для рослин і тварин: нафта і нафтопродукти містять шкідливі речовини, які можуть бути токсичними для рослин і тварин. Вони можуть спричинити пошкодження клітин, зупиняти фізіологічні процеси і впливати на розмноження і виживання організмів [5].

Природні екосистеми мають певну здатність до самоочищення від забруднень, включаючи нафту і нафтопродукти. Фізико-хімічні та мікробіологічні процеси можуть сприяти розкладанню вуглеводнів у ґрунті і природному середовищі. Однак, якщо джерело забруднення не усунуто вчасно, нафта і нафтопродукти можуть нагромаджуватися і призводити до негативних змін у ґрунтах, водних екосистемах і рослинному покриві.

Забруднення нафтою може призвести до зміни рН ґрунтового розчину, підвищення в'язкості і щільності ґрунтової маси, що погіршує повітряно-водний режим ґрунту [5]. Ґрунти, забруднені нафтопродуктами, втрачають здатність вбирати і утримувати вологу [6], створювати анаеробні умови і порушувати вуглецево-азотний баланс. Це призводить до втрати родючості ґрунту, збільшення ерозії й інших негативних наслідків.

Так, забруднення ґрунтового покриву нафтопродуктами може мати серйозні наслідки для фізико-хімічних властивостей ґрунту і його родючості. Нафтопродукти можуть спричинити зміни вмісту поглинутих основ кальцію і

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						8



магнію, що може впливати на рівновагу між різними поживними речовинами у ґрунті [7, 8].

Забруднений ґрунт може також бути джерелом накопичення токсичних сполук, оскільки перетворення нафти може призводити до утворення більш токсичних речовин. Це створює ризик для людини через трофічні ланцюги, коли забруднений ґрунт впливає на рослини, які потім можуть бути використані в харчуванні людей, або через забруднення ґрунтових вод і атмосферного повітря [9].

Концентрація нафти або нафтопродуктів у ґрунті впливає на ступінь забруднення та на наслідки для екологічного стану навколишнього середовища. При зростанні концентрації нафтопродуктів у ґрунті відбуваються наступні зміни:

1. Концентрація до 100 мг/кг: немає ознак екологічної шкоди. Тобто, при такому рівні вмісту нафтопродуктів у ґрунті негативні наслідки ще не проявляються.

2. Концентрація від 400 мг/кг: виникає фітотоксична дія нафтозабруднення. Це означає, що нафтопродукти починають негативно впливати на рослини, зменшуючи їх ріст та розвиток.

3. Концентрація від 2000 мг/кг: мікробіоценоз ґрунту пригнічується. Нафтопродукти стають токсичними для мікроорганізмів, які зазвичай забезпечують природні процеси самоочищення та розкладання в ґрунті.

4. Концентрація від 20000 мг/кг: починається повна деградація ґрунту. Високий рівень нафтозабруднення призводить до серйозного порушення екологічної рівноваги, знищення мікроорганізмів, погіршення структури ґрунту та втрати його родючості [10].

Ці порогові значення слугують орієнтиром для оцінки рівня забруднення ґрунту і визначення наслідків для екологічного стану навколишнього середовища. Якщо концентрація перевищує границю самоочищення, то забруднення стає небезпечним і вимагає додаткових заходів для очищення.

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

Вказані заходи, що можуть бути вжиті під час розроблення та експлуатації нафтогазових родовищ, спрямовані на запобігання забрудненню ґрунту та збереженню рослинності, є важливими для зменшення негативних екологічних наслідків. Деякі з цих заходів включають [3]:

1. Відділення нафтошламів з бурових вод і їх вивезення до спеціально відведених місць. Це допомагає уникнути забруднення ґрунту і водних джерел нафтопродуктами.

2. Зменшення використання промивних розчинів шляхом повторного використання бурових вод і поліпшення методів очищення. Це зменшує обсяги викидів забруднених вод і зменшує негативний вплив нафтопродуктів на ґрунт.

3. Використання нових способів пересування бурових веж, таких як пневматичні пристрої, може зменшити ризик розливу нафтопродуктів і забруднення ґрунту.

4. Впровадження мікробіологічного очищення ґрунтів від нафтозабруднень може сприяти деградації нафтопродуктів та відновленню екологічної рівноваги в ґрунтовій системі.

5. Будівництво систем збору та перероблення нафтового газу і газоконденсату допомагає уникнути викидів та розливів цих шкідливих речовин у природне середовище, включаючи ґрунт [11].

Ці заходи є важливими для зменшення впливу нафтопродуктів на ґрунт та довкілля. Їх використання може сприяти збереженню природних екосистем і запобіганню екологічним проблемам, пов'язаним з нафтовидобувною промисловістю.

## 1.2 Оцінка стану забруднення водного середовища внаслідок аварійних розливів нафти

Нафта є одним з найнебезпечніших забруднювачів природних водойм. Її властивості, такі як в'язкість та хімічний склад, визначають її негативний вплив

Підп. і дата
Інв.Модул.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.Методл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						10

на довкілля, зокрема на водні ресурси. Нижче наведено основні компоненти нафти [12]:

1. Парафіни (алкани): ці речовини становлять до 90 % загального складу нафти. Вони мають стійкі молекули з прямими або розгалуженими ланцюгами вуглецю. Деякі легкі парафіни можуть бути добре розчинними у воді та володіють високою леткістю.

2. Циклопарафіни: ці насичені циклічні з'єднання становлять від 30 % до 60 % загального складу нафти. Вони містять кільця з 5–6 атомами вуглецю. Циклопарафіни дуже стійкі і погано піддаються біорозкладанню.

3. Ароматичні вуглеводні: ці ненасичені циклічні з'єднання складають від 20 % до 40 % загального складу нафти. Вони містять циклічні структури, які мають на 6 атомів водню менше, ніж циклопарафіни. Ароматичні вуглеводні можуть бути одинарними, біциклічними або поліциклічними з'єднаннями. Вони можуть бути леткими, наприклад, бензол, толуол, ксилол, нафталін, або поліциклічними, наприклад, пірен.

4. Олефіни (алкени): ці ненасичені нециклічні з'єднання становлять до 10% загального складу нафти. Вони мають прямі або розгалужені ланцюги з одним або двома атомами водню біля кожного атома вуглецю в молекулі [12].

Цей хімічний склад нафти визначає її токсичність та негативні наслідки для довкілля, коли вона потрапляє до водних середовищ, спричиняючи забруднення та шкоду екосистемі.

Буріння, як складова частина нафтовидобувного процесу, може мати негативний вплив на навколишнє середовище. Основні проблеми пов'язані з утворенням великих обсягів відходів та можливими аварійними ситуаціями. Основні забруднюючі речовини, які потрапляють до навколишнього середовища внаслідок буріння, включають [13]:

1. Відпрацьовані промивальні рідини: під час буріння використовуються рідини для промивки свердловини. Ці рідини можуть містити хімічні речовини, такі як кислоти, лужні розчини, поверхнево-активні речовини та інгібітори.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510083

Арк

11

Після використання вони стають відпрацьованими промивальними рідинами, які потрібно належним чином утилізувати, оскільки вони можуть містити шкідливі речовини.

2. Видалена порода у вигляді бурового шламу: під час буріння утворюється видалена порода, яка міститься в надрах. Ця порода може містити різні мінерали та речовини, які, випадаючи на поверхню, можуть бути потенційно шкідливими для навколишнього середовища.

3. Бурові стічні води: під час процесу буріння утворюються стічні води, які містять різні речовини, включаючи нафтопродукти, хімічні розчини, солі та інші забруднюючі речовини. Ці стічні води потребують належної обробки та утилізації перед їх викидом або поверненням у природне середовище.

При аварійних ситуаціях великі обсяги нафтопродуктів можуть проникати у ґрунтові та поверхневі води, створюючи серйозне забруднення. Це може призводити до шкоди для екосистем, загрози для тваринного та рослинного життя, а також спричиняти пожежі та інші небезпечні ситуації [14].

Аварійні розливи нафтопродуктів є серйозною проблемою, що призводить до значного забруднення водного середовища і негативного впливу на екосистеми. Існує кілька джерел забруднення нафтою, включаючи стоки з континентів, природні витіки з надр, буріння на шельфі, викиди з суден у море та катастрофи суден.

Морські перевезення нафти і нафтопродуктів, зокрема танкерні перевезення, є одним із найбільших джерел забруднення. Аварії, скиди промивних та баластних вод з танкерів призводять до утворення постійних полів забруднення на морських шляхах. Навіть безаварійна робота морського транспорту може спричинити втрати нафти.

У разі аварій, коли відбувається розлив великих обсягів нафти, забруднення може охоплювати значну площу морської поверхні [14]. Це має серйозні наслідки для морських екосистем, природних ресурсів, рибного

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.Методл.	Підп. і дата						Арк
										12
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					

промислу і загального стану морського середовища. Під час аварій з розливом нафти до 40–50 тис. т уражається водна поверхня площею близько 100 км<sup>2</sup> [15].

Аварії та викиди на підводних нафтопроводах є одним із джерел забруднення, які сталися з регулярністю. Навіть при невеликих масштабах викиду, тривалість витоку нафти може спричинити серйозні наслідки. Забруднення нафтою може відбуватися з різних джерел, включаючи стоки річок з берегів, протікання нафтопродуктів через ґрунт та розташовані поблизу портів нафтоперегінні заводи [16].

Нафта, що потрапляє в океан, може мати широкий спектр негативних наслідків для морських екосистем, включаючи загибель морського життя, забруднення пляжів, вплив на рибний промисел та здоров'я людей, які залежать від морських ресурсів. Це серйозна проблема, і необхідно здійснювати постійний контроль над нафтопереробними заводами, удосконалювати технології переробки та вживати заходів для запобігання аваріям та розливам.

Аналіз джерел та форм нафтових забруднень показує, що їх походження розподіляється наступним чином [12]:

- 28 % нафтових забруднень становлять річкові води, які містять нафту у різних формах;
- 23 % нафтових забруднень походить від скидів з суден у море, що виникають під час нормальної експлуатації, за якої основною формою забруднення є водонафтові емульсії, а також розчинена форма нафти, твердоподібна та плівкова;
- 17 % нафтових забруднень спричиняють скиди нафти та нафтопродуктів у портах або припортових акваторіях, включаючи втрати під час завантаження бункерів наливних суден [12];
- 10 % нафтових забруднень походять з берега разом з промисловими відходами та стічними водами, що містять емульговану, розчинену та плівкову нафту [12];

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510083

Арк

13

- 10 % нафтових забруднень надходять з атмосфери у розчиненому та газоподібному стані;
- 6 % нафтових забруднень пов'язано з катастрофами суден, бурових у морі, коли утворюються суцільні поля, слики та плівки з емульгованої чи розчиненої нафти;
- 5 % нафтових забруднень становлять зливневі стоки у вигляді емульгованої, розчиненої та плівкової нафти [12];
- 1 % нафтових забруднень спричиняє буріння на шельфі, і ці забруднення складаються з емульгованої, розчиненої та плівкової нафти [14].

Ці дані візуалізовано на рис. 1.1.

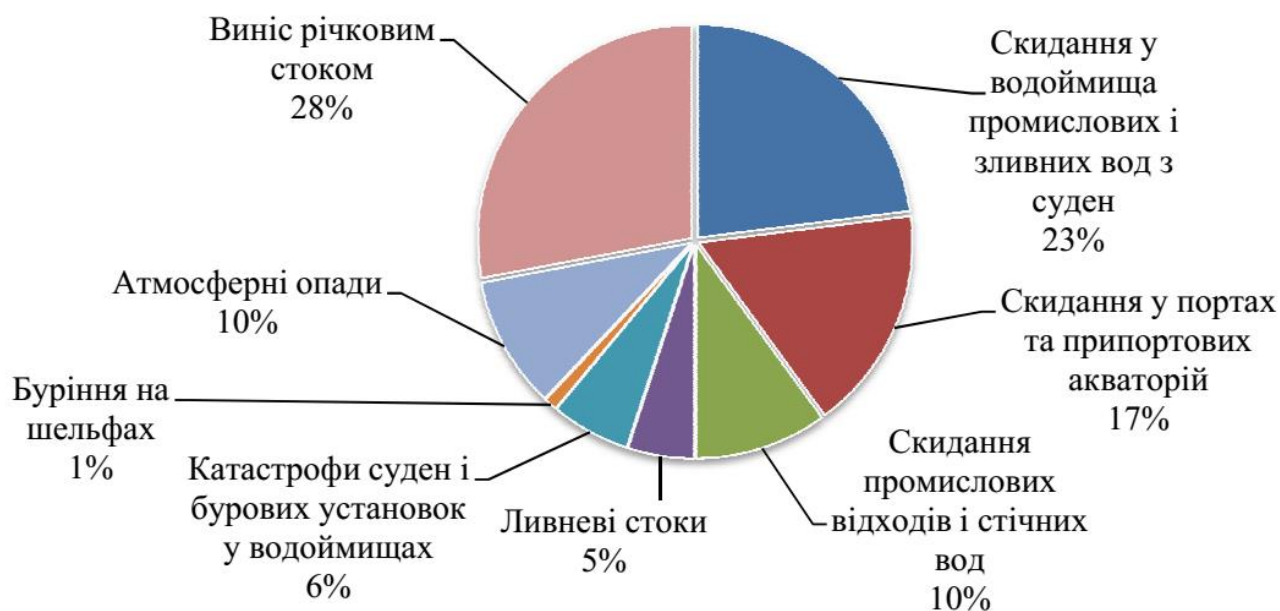


Рисунок 1.1 – Розподіл джерел надходження нафти до водного середовища [17]

Нафтова плівка, що утворюється на поверхні води, має негативний вплив на екосистему водойм. Вона перешкоджає газообміну між водою та атмосферою, що знижує вміст кисню у воді. Це може призвести до задущення та вимирання водних організмів. Згустки мазуту, які осідають на дно, також наносять шкоду донним мікроорганізмам, які зазвичай відіграють важливу роль у самоочищенні води [17].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

Крім того, нафтова плівка змінює проникнення світла у воду. Вона може впливати на склад та інтенсивність світлового спектра. Товсті плівки нафти можуть поглинати інфрачервоне випромінювання [18].

Усі ці процеси, пов'язані з нафтовими забрудненнями, мають негативний вплив на водну екосистему, знижують рівень кисню у воді, порушують фотосинтез та вимирають морське життя, зокрема донні організми [3].

Нафта і нафтопродукти справляють негативний вплив на морські біоценози через різноманітні механізми. Плівки нафти порушують обмін енергією, теплом, вологою і газами між океаном і атмосферою. Вони також впливають на фізико-хімічні та гідрологічні умови, на клімат Землі і на баланс кисню в атмосфері [18].

Отже, нафта й нафтопродукти, крім своєї самостійної шкідливої дії, можуть підсилювати негативний вплив інших забруднюючих речовин на морські екосистеми, що створює значний ризик для біорізноманіття та здоров'я людей, які споживають продукти морського походження.

З метою запобігання забрудненню морів нафтою необхідно спрямовувати зусилля на вдосконалення технологічних процесів добування, транспортування, зберігання, переробки та використання нафти і нафтопродуктів. Пріоритетним завданням є уникнення скиду стічних вод, що містять нафту. Стічні води, що містять нафту, становлять джерело глобального забруднення нафтою гідросфери, приносячи близько 75% нафтових забруднень у Світовий океан [14].

### 1.3 Забруднення атмосферного повітря сполуками сульфуру

Видобування нафти може призводити до забруднення атмосферного повітря сполуками сульфуру. Одним з основних джерел викидів сульфурних сполук під час видобування нафти є випаровування сірководню ( $H_2S$ ) з нафтових родовищ. Сірководень утворюється внаслідок біологічних і хімічних процесів

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.Медубл.	Підп. і дата						Арк
					ОС 19510083					

під землею і може бути виділений у повітря під час буріння свердловин, обробки і транспортування нафти.

Сполуки сульфуру, такі як діоксид сульфуру (SO<sub>2</sub>), також можуть утворюватися під час спалювання нафти або нафтопродуктів у промислових процесах, таких як рафінування нафти та виробництво паливних масел. Викиди SO<sub>2</sub> в атмосферу сприяють формуванню смуг туману, кислотного дощу та інших негативних наслідків для довкілля та здоров'я людей.

Оксиди сірки (SO<sub>x</sub>) є шкідливими для повітря і здоров'я людей. Вони випускаються в атмосферу внаслідок спалювання вуглеводнів, включаючи нафту та вугілля, а також паливних масел і виробництва сульфатів.

Діоксид сірки (SO<sub>2</sub>) є основним оксидом сірки, який викидається в атмосферу. При вдиханні великих концентрацій SO<sub>2</sub> може викликати подразнення дихальних шляхів, погіршення дихання, астму, бронхіт та інші захворювання легень [19]. Триоксид сірки (SO<sub>3</sub>) також є токсичним і може спричиняти опіки шкіри та органів при взаємодії з ними.

Крім того, SO<sub>x</sub> може реагувати з водяною парою в повітрі, утворюючи сірчану кислоту (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Це призводить до утворення кислотних дощів, які мають негативний вплив на рослини, ґрунт, рибу та інші водні організми. Кислотні дощі можуть зруйнувати ліси, забруднювати водні ресурси і пошкоджувати екосистеми [20].

Крім того, SO<sub>x</sub> можуть реагувати з іншими забруднюючими речовинами, такими як амоніак (NH<sub>3</sub>), формуючи частинки аерозолів, які сприяють утворенню смогу та туману. Це може призводити до зниження якості повітря, погіршення видимості та загрози здоров'ю.

Діоксид сульфуру міститься у викидах виробництв сульфатної кислоти, сульфату амонію, що переробляють тверде паливо, металургійних, керамічних, теплових електростанцій, капролактаму, лінолеуму, толю, пінопласту, мінераловолокнистих плит, цукровобурякових, харчових, текстильних, паперу [21].

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
										16
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					



#### 1.4 Аналіз фітотоксичності нафти та бурових відходів

Відходи буріння можуть становити серйозну екологічну проблему, особливо коли йдеться про забруднення ґрунту та водних ресурсів. Буровий розчин і буровий шлам містять різні забруднюючі речовини, які можуть бути шкідливими для навколишнього середовища та здоров'я людей.

У відходах на водній основі, як правило, присутні солі, важкі метали та хімічні речовини, які використовуються у бурінні. Карбонат натрію і кальцію призводять до засолення ґрунту, що зменшує доступність води для рослин і може призвести до їх некротизації, всихання та передчасної загибелі [22]. Іони натрію і хлору мають найбільш токсичний вплив на рослини, оскільки вони підвищують осмотичний потенціал ґрунтового розчину і порушують обмін речовин, зокрема нітрогену і сірки. Засолення ґрунту також може призводити до пошкодження структури і функціональної здатності хлоропластів, пригнічення асиміляційної функції рослин, збільшення проникності біологічних мембран, сповільнення росту і розвитку рослин, а також зростання рівня вільних радикалів і оксидативного стресу.

Особливо чутливою до солей є генеративна сфера рослин, тобто процеси, пов'язані з утворенням насіння і розмноженням. Під впливом солей може відбуватись пригнічення проростання насіння і утворення генеративних клітин через порушення різноманітних процесів, таких як гормональна рівновага, синтез білкових молекул і нуклеїнових кислот [23].

Отже, засолення ґрунту спричиняє різноманітні негативні наслідки для рослин, які можуть проявлятись у зниженні їх врожайності, зменшенні росту та загибелі [24].

У відходах на олійній основі, основним забруднюючим компонентом є нафта або нафтопродукти. Ці речовини можуть мати високу концентрацію вуглеводнів і інших забруднюючих речовин. Якщо такі відходи потрапляють у ґрунт, вони можуть мати шкідливий вплив на рослини і ґрунтові мікроорганізми.

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.Методл.	Підп. і дата	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
											17

Крім того, може відбуватися проникнення забруднюючих речовин у підземні води, що загрожує водним ресурсам [25].

Напрямки впливу нафтового забруднення на рослини можуть включати [24]:

1. Проникнення компонентів нафти через кореневу систему рослин, що може спричинити мутагенні реакції та вплинути на фізіологічні процеси. Це може призводити до порушення розвитку рослин, змін фенологічних характеристик (наприклад, квітіння, листопад) та недостатнього росту.

2. Зміни фізичного та хімічного складу ґрунту, що виникають внаслідок нафтового забруднення. Нафта може змінювати структуру ґрунту, погіршувати його водопроникність та впливати на хімічні властивості. Це може призводити до некоректного збереження вологи, недостатнього доступу до поживних речовин та порушення біологічних процесів у ґрунті.

3. Порушення біологічних характеристик ґрунту. Нафтове забруднення може впливати на мікроорганізми, які є важливими для біологічної активності ґрунту. Це може призводити до порушення процесів декомпозиції органічних речовин, циркуляції поживних речовин та стійкості екосистеми ґрунту.

Ці негативні ефекти нафтового забруднення на рослини та ґрунт можуть мати подальший вплив на екосистеми, оскільки рослинний покрив та ґрунт є ключовими компонентами біологічного різноманіття та екологічної стійкості [10].

Фітотоксичність ґрунту є важливим показником, який використовується для оцінки впливу токсичних речовин на розвиток рослин. Фітотести дозволяють виявити токсичні властивості ґрунту та водного середовища шляхом спостереження за ростом та морфологічними характеристиками рослин.

Під час фітотестування, рослини використовуються як індикатори токсичності і реагують на екзогенний хімічний вплив шляхом змін у проростанні насіння, розвитку кореневої системи та пагонів. Основними

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

критеріями оцінки токсичності є зниження схожості насіння та інтенсивності росту рослин протягом певного періоду часу.

Фітотести мають бути виразними, зручними та простими у проведенні, а також повторюваними та надійними у отриманні результатів. Вони також повинні бути економічними та об'єктивними. Ці методи дозволяють оцінити токсичність ґрунту та інших середовищ і виявити потенційні небезпеки для рослинного життя та екосистем в цілому [26].

### 1.5 Постановка задач дослідження

Аналізуючи літературні джерела та наукові роботи екологічної проблеми забруднення ґрунтового покриву, водного середовища та атмосферного повітря нафтою та нафтопродуктами можна дійти висновку, що постає необхідність:

- проаналізувати особливості впливу на екосистеми від забруднення нафтою та відходами буріння;
- проаналізувати та застосувати методику біотестування для визначення фітотоксичного ефекту від ксенобіотиків на живі організми;
- надати рекомендації щодо удосконалення методики біотестування.

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.Медубл.	Підп. і дата						Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					Арк
										19

## РОЗДІЛ 2 БІОТЕСТУВАННЯ ЯК МЕТОД ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Особливості методу біотестування для оцінки токсичності об'єктів

Біотестуванням називається окремий випадок біоіндикації, коли у вільно живучих організмів, що знаходяться в стандартизованих умовах, досліджуються ушкодження або відхилення від норми, викликані впливом несприятливих факторів (токсичних речовин) [27].

Біотестування дає можливість з великою вірогідністю визначати ступінь загальної токсичності об'єкта досліджень. Методи біотестування відрізняються високою чутливістю і дозволяють визначати токсичні речовини в концентрації до 10–8 % [27].

Так, наприклад, при використанні в якості біотеста люмінесцентних бактерій зниження рівня їх люмінісценції на 50 % і більше в досліді в порівнянні з контролем через 30 хв. після впливу аналізованої пробою оцінюється як токсичний вплив проби.

Також токсичною вважається проба, якщо при використанні в якості тест-об'єкта одноклітинних водоростей відбулося зниження їх чисельності на 50 % і більше в досвіді в порівнянні з контролем за 72 години біотестування і т.д.

Біотестування – оцінка токсичності об'єкта зовнішнього середовища по його впливу на біологічну тест-систему [28].

Використання генетично однорідних лабораторних культур є важливою умовою для правильного проведення біотестування. Це дозволяє забезпечити подібність і відтворюваність результатів досліджень та максимальну чутливість до токсичних речовин [28]. Лабораторні культури піддаються перевіркам чутливості та утримуються в спеціальних умовах, які відповідають стандартам.

У біотестуванні для характеристики впливу токсичних речовин на середовище використовуються життєві функції або критерії токсичності. Ці

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510083

Арк

20

критерії відображають відгук тест-об'єкта (наприклад, рослини або організми) на шкідливу дію речовини і можуть включати зниження проростання насіння, зміни у розвитку кореневої системи, зміну біохімічних параметрів або інші морфологічні та фізіологічні зміни. Використання таких життєвих функцій дозволяє оцінити ступінь токсичності і вплив токсичних речовин на організми та екосистеми [28].

У біотестуванні використовують різні тест-функції як показники для оцінки впливу токсичних речовин на різні об'єкти. Нижче наведені приклади тест-функцій, що використовуються для різних об'єктів:

- для інфузорій, ракоподібних, ембріональних стадій молюсків, риб, комах: виживаність (смертність) тест-організмів;
- для ракоподібних, риб, молюсків: плідність, виявлення аномальних відхилень у ранньому ембріональному розвитку організму, ступінь синхронності дроблення яйцеклітин [27];
- для культур одноклітинних водоростей і інфузорій: загибель клітин, зміна (приріст або збиток) чисельності клітин у культурі, коефіцієнт ділення клітин, середня швидкість росту, добовий приріст культури;
- для рослин: енергія проростання насіння, довжина первинного кореня та інші параметри, що відображають розвиток і ріст рослин [28].

Ці тест-функції дозволяють оцінити реакцію тест-об'єктів на токсичні речовини та виявити можливі зміни в їх розвитку, рості, виживаності або розмноженні. Використання таких тест-функцій є важливим для виявлення токсичних впливів на організми та екосистеми.

Біотестування, як правило, використовують до хімічного аналізу, тому що цей метод дозволяє провести експрес-оцінку природного середовища й виявити "гарячі точки", що вказують на найбільш забруднені ділянки акваторії (території, полігона). На ділянках, де методами біотестування виявлені які-небудь відхилення й досліджуване середовище характеризується як токсичне, аналітичним шляхом необхідно встановити причини цього явища [28].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						21

Використання біотестування передбачає дотримання певних вимог для отримання достовірних результатів [29].

Відносна швидкість проведення досліджень: Біотестування повинно бути здійснене в розумних термінах, щоб отримати результати в прийнятний строк. Швидкість проведення досліджень залежить від конкретного тесту, типу тестового організму і цілей дослідження.

Достовірні та відтворювані результати: Біотестові результати повинні бути точними і мають бути повторюваними при повторному проведенні дослідження. Це означає, що методика дослідження повинна бути чітко описана, а експериментальні умови повинні бути контрольованими та стандартизованими.

Використання об'єктів з однорідними властивостями: Важливо використовувати об'єкти, які є генетично однорідними і мають подібні властивості. Це дозволяє знизити варіацію результатів, спричинену різницею в чутливості організмів до токсичних речовин.

Діапазон погрішності: Допустимий діапазон погрішності повинен бути визначений і вказаний для конкретного біотесту. Зазвичай, погрішність не повинна перевищувати 20 % у порівнянні з іншими методами тестування, щоб забезпечити достатню точність результатів [30].

Ці вимоги спрямовані на забезпечення надійності, повторюваності та об'єктивності результатів біотестування, щоб забезпечити його використання в якості ефективного інструмента для оцінки токсичності речовин і їх впливу на організми та екосистеми (Додаток А, таблиця А.1) [31].

Існують різні методи біотестування з використанням тих чи інших тест-об'єктів. Розглянувши методи біотестування, їх можна класифікувати за такими ознаками [32]:

- за тест-об'єктом;
- за тест-системою;
- за тест-реакцією;
- за ступенем прояву тест-реакції;

Підп. і дата	Інв. №дубл.	Взаєм. інв. №	Підп. і дата	Інв. Методл.						Арк
										22
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					

- за тест-критерієм;
- за тривалістю біотестування;
- за засобом реалізації методу.

Тест-об'єкти є чутливими біологічними елементами, які можуть бути використані для виявлення токсичності середовища. Вони можуть бути представлені різними рівнями організації живих систем, від ферментативних систем і клітин до цілих організмів або популяцій організмів.

Використання тест-об'єктів дозволяє отримати сигнальну інформацію про токсичність середовища шляхом спостереження за їх реакцією на зовнішній вплив. Це може включати зміни в фізіологічних, біохімічних, морфологічних або поведінкових характеристиках тест-об'єктів [32].

Важливо відзначити, що тест-об'єкти повинні мати відомий ступінь наближення до дійсних екологічних умов, що мають виявити токсичність. Це означає, що вони повинні бути репрезентативними для природних популяцій організмів та здатними реагувати на токсичні речовини аналогічним чином.

Використання тест-об'єктів у біологічних тестах дозволяє проводити оперативний аналіз рівня токсичності середовища без необхідності складних хімічних аналізів. Це ефективний підхід для оцінки якісного та кількісного рівня забруднення різних типів середовищ, включаючи стічні, скидні, циркуляційні, природні води та інші.

За тест-об'єктом методи біотестування можна поділити на:

- тести на організменному рівні (тест-організми: бактерії, мікроорганізми, водорості, безхребетні, молюски, риби, вищі рослини, які поділяються за систематичним найменуванням);
- тести на клітинному рівні (органели клітин);
- тести на генетичному рівні (мутагенність) [30].

Тест-система – просторово обмежена сукупність чутливих біологічних елементів (тест-організмів) і середовища, в якому вони знаходяться. Тест-система може складатися з групи організмів одного виду спільноти декількох

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

біологічних видів, цілої екосистеми. В результаті дії токсичної речовини тест-об'єкт або вся тест-система зазнає певної деформації [30].

В залежності від тест-об'єкту, який знаходиться в тест-системі, останні можна поділити на ряд рівнів: молекулярний; субклітинний; клітинний; органо-тканинний; організменний; популяційно-видовий; мікро-, мезо-, макрокосм.

Тест-реакція – одна із закономірно виникаючих реакцій відгуку тест-системи або тест-організму на вплив комплексу зовнішніх факторів, що тестуються [33]. За ступенем прояву тест реакції судять про токсичність досліджуваного зразка [33].

Тест-реакцією можуть бути такі зміни стану організму: генетичні; біохімічні; фізіологічні; анатомічні; морфологічні; поведінкові; біоритмічні.

За ступенем прояву тест-реакції біотести поділяють на [34]:

– тести на гостру токсичність (загибель організмів або зміна поведінки протягом 5 діб);

– тести на слабку токсичність (у довгостроковому досліді у організмів знижуються основні біологічні функції, вони погано ростуть, гірше розмножуються, менш життєздатні);

– тести на нетоксичність (відсутність прояву токсичного ефекту навіть у ряді поколінь).

Характер токсичності може бути: токсичність (організм); цитотоксичність (клітина); генотоксичність (генетичні показники) [34].

Тест-критерій – це показник по якому проводять оцінку змін стану тест-системи. В якості тест-критеріїв можуть використовуватись такі ознаки: виживаність, плодючість, аномальні відхилення у ранньому ембріональному розвитку, ступінь синхронності подрібнення яйцеклітин, рухливість, поведінкові реакції та періодичність їх повторюваності (для вищих організмів); загибель клітин, зміни чисельності клітин в культурі, коефіцієнт поділу клітин, середня швидкість росту, добовий приріст культури (для культур одноклітинних водоростей та інфузорій) [34]; енергія проростання насіння, схожість, довжина

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510083

Арк

24



первинного кореня, зміна морфофізіологічних (або фізіолого-біологічних) показників (для вищих рослин).

За тривалістю біотестування тести поділяють на: експресні методи (визначення гострої токсичної дії); довгострокові методи (визначення хронічної токсичної дії).

За засобом реалізації методу: без застосування приладів (візуальні спостереження); за допомогою приладів (мікроскоп, люмінометр, флуориметр, електрокардіограф або електроенцефалограф, фотоелектрокалориметр, спектрометр, спектрофотометр) [34].

## 2.2 Методика застосування біотестування для визначення фітотоксичності бурових відходів та нафти

Біотестування є важливим методом для визначення класу небезпеки відходів нафтовмісного бурового шламу, що утворюється під час буріння нафтових свердловин. Цей метод базується на вимірюванні змін біологічної активності забруднених зразків порівняно з контрольними зразками. При проведенні біотестування зразків використовуються різні тест-об'єкти, які представляють різні екологічні групи.

Проведення біотестування на цих тест-об'єктах дозволяє оцінити рівень токсичності зразків бурового шламу та визначити їх клас небезпеки. За результатами біотестування можна зробити висновки про вплив цих відходів на живі організми та екологічну стійкість екосистем [28].

Щоб оцінити ступінь забрудненості ґрунтів за рівнем пригнічення ростових процесів, було розроблено градації або ранжування. Таке ранжування дозволяє класифікувати ґрунти залежно від ступеня їх забрудненості. Для кількісної оцінки ступеня забрудненості ґрунтів запропоновано коефіцієнт забрудненості ґрунтів ( $K_{зг}$ ) [35]. Цей коефіцієнт дозволяє числово визначити

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510083

Арк

25

ступінь забрудненості ґрунту і є одним з інструментів для порівняльної оцінки різних забруднених ділянок (табл. 2.1) [35].

Таблиця 2.1 – Приклад градаційного ранжування ступенів забрудненості ґрунтів та їх коефіцієнта забрудненості [35]

Ступінь забруднення	Фітотоксичний ефект, %	Коефіцієнт забрудненості $K_{зг}$
Незабруднені	0–20,0	1,1
Слабко забруднені	20,1–40,0	1,2
Помірно забруднені	40,1–60,0	1,3
Сильно забруднені	60,1–80,0	1,4
Дуже сильно забруднені	80,1–100,0	1,5

Коефіцієнт дисбалансу росту ( $K_{др}$ ) використовується для визначення ступеня порушення ростових процесів рослин під впливом конкретних речовин. Цей коефіцієнт допомагає кількісно оцінити рівень дисбалансу росту і побудувати варіаційну криву, що відображає зміни в рості рослин.

Параметри коефіцієнта дисбалансу росту ( $K_{др}$ ) визначаються на основі статистичного аналізу даних, отриманих з експериментів. Зважаючи на специфічність реакцій рослин та важливість врахування суттєвого дисбалансу, було обрано відповідні діапазони для оцінки рівнів дисбалансу росту (табл. 2.2) [35].

Таблиця 2.2 – Градації ступенів дисбалансу ростових процесів [35]

Ступінь дисбалансу росту	Коефіцієнт варіації пригнічення росту коренів та паростків, %	Коефіцієнт дисбалансу росту $K_{др}$
Відсутній	0–50,0	0
Слабкий	50,1–100,0	0,02
Помірний	100,1–300,0	0,04
Сильний	300,1–1000,0	0,06
Дуже сильний	Понад 1000,1	0,08

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

Використання коефіцієнта дисбалансу росту ( $K_{др}$ ) дозволяє більш точно оцінити ступінь впливу речовин на ріст рослин і визначити наступну градацію їх фітотоксичності ( $K_{зг}$ ).

Формула для розрахунку сумарного показника фітотоксичності  $Z_f$  може бути визначена наступним чином [35]:

$$Z_f = \sqrt[n]{(K_{1зг} + K_{1др}) \cdot (K_{2зг} + K_{2др}) \cdot \dots \cdot (K_{nзг} + K_{nдр}), n \geq 2, \quad (2.1)}$$

де  $Z_f$  – сумарний показник фітотоксичності;

$K_{зг}$  – коефіцієнт забрудненості згідно з табл. 2.1;

$K_{др}$  – коефіцієнт дисбалансу росту згідно з табл. 2.2;

$n$  – кількість тест-культур для біодіагностики.

Ця формула дозволяє об'єднати вплив різних речовин на фітотоксичність і отримати загальний показник. Розрахунок сумарного показника фітотоксичності  $Z_f$  дозволяє оцінити загальний вплив різних речовин на рослини і здійснити узагальнення щодо ступеня фітотоксичності ґрунту (табл. 2.3) [35].

Таблиця 2.3 – Ступені загальної фітотоксичності ґрунтів за сумарним показником  $Z_f$  [35]

Ступінь фітотоксичності ґрунту	Сумарний показник фітотоксичності $Z_f$
Дуже слабкий	1,11–1,15
Слабкий	1,16–1,25
Помірний	1,26–1,35
Сильний	1,36–1,45
Дуже сильний	Понад 1,46

Важливо відзначити, що проведення біотестування дозволяє отримати додаткову інформацію про вплив відходів на конкретні організми і сприяє більш

Підп. і дата
Інв. № докл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № докл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

точній оцінці їх потенційної шкідливості. Це допомагає вибрати оптимальну технологію утилізації відходів бурового шламу, забезпечуючи максимальну безпеку для навколишнього середовища.

Для оцінки фітотоксичності водних витяжок з бурових шламів використовується метод визначення швидкості проростання насіння при пророщуванні насіння в чашках Петрі. Цей метод дозволяє виявити вплив бурових шламів на проростання насіння рослин і оцінити їх токсичність.

*Метод визначення фітотоксичності ґрунтів.* Фітотести, в яких використовуються рослини, є широко застосовуваними для виявлення токсичності ґрунту і води. Рослини можуть адекватно реагувати на хімічний вплив шляхом зміни схожості насіння, інтенсивності проростання коренів і пагонів, що робить їх індикаторами токсичності [36].

Оцінка токсичності ґрунту, забрудненого буровими відходами та нафтою, проводилась частково за допомогою методу біотестування згідно з методикою ДСТУ ISO 11269-2:2002 [36]. Для проведення тестування було обрано два види рослин: пшеницю м'яку (*Triticum aestivum L.*) і капусту (*Brassica napus L.*). Пшениця м'яка належить до класу Однодольні (*Monocotyledones*) і родини Злакові (*Poaceae*), тоді як капуста належить до класу Дводольні (*Dicotyledones*) і родини Хрестоцвіті (*Brassicaceae*).

Вимогами методики передбачено використання принаймні двох видів рослин, що належать до різних категорій або класів. У даному випадку, пшениця м'яка представляє клас Однодольні, а капуста – клас Дводольні. Такий підхід дає можливість оцінити вплив забруднювачів на різні групи рослин і отримати більш повне уявлення про їхню фітотоксичність та відповідь на забруднення ґрунту. Використання різних видів рослин у тестуванні дозволяє отримати більш репрезентативні результати і оцінити вплив забруднювачів на різні аспекти росту і розвитку рослин.

Модифікована методика проведення фітотестування на підставі досліджень авторів [26] включає такі кроки: 20 г випробуваного ґрунту

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						28

поміщають у скляні чашки Петрі, які зволожуються 5 мл дистильованої води. На поверхню ґрунту в кожному чашку поміщають 20 попередньо відкаліброваних насінин редиски. Після 3-денної інкубації в термостаті при 24 °С оцінюють схожість насіння у відсотках, враховуючи число пророслих насінин редиски. Також вимірюють середню довжину пагона і кореня у проростків редису, що представляє собою відношення сумарної довжини пагонів або кореня до числа пророслих насіння [26].

Отримані результати дозволяють оцінити токсичність ґрунту шляхом порівняння з контрольними зразками. Зниження схожості насіння та зміна довжини пагонів і коренів можуть свідчити про токсичний вплив бурових відходів і нафти на рослинний розвиток. Всхожість насіння розраховували за формулою:

$$\text{Всхожість} = \frac{\text{Число насінин, що проросли}}{\text{Загальне число насінин}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Для визначення рівня токсичності ґрунту, використовувався чистий ґрунт як контроль. Вимірювання проводилися у трьох повтореннях для кожного варіанту дослідження. Враховувалась різниця у (%) вивчених показників між забрудненим ґрунтом і контрольним чистим ґрунтом (рис. 2.1).

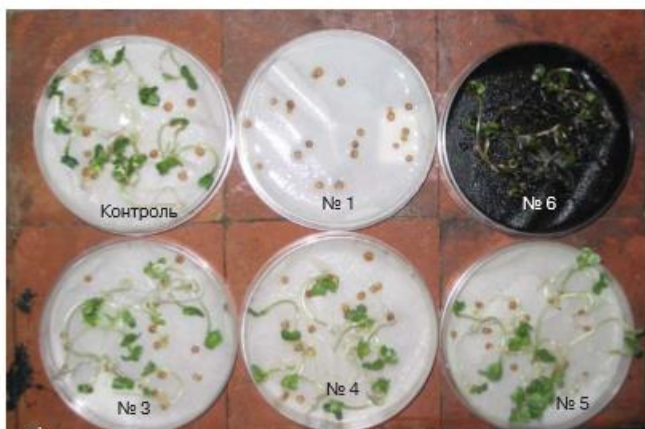


Рисунок 2.1 – Результати проростання насіння капусти

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

Якщо різниця показників була меншою за 10 %, то це вважалось незначною відмінністю від контролю і ґрунт вважався екологічно чистим. Різниця показників у діапазоні 10–30 % вказувала на слабку токсичність ґрунту. Різниця показників в діапазоні 30–50 % свідчила про середню ступінь токсичності ґрунту. Якщо різниця показників перевищувала 50 %, то це свідчило про високу ступінь фітотоксичності ґрунту [37].

Визначення фітотоксичного ефекту від впливу нафти та бурових відходів на всхожість, довжину кореня та довжину пагона проведено з використанням формул 2.3 і 2.4 [38].

$$\Phi E = \frac{X_0 - X_1}{X_0} \cdot 100 \%, \quad (2.3)$$

де  $X_0$  – параметр у контрольному зразку, од.;

$X_1$  – параметр в експериментальному зразку, од. [38].

Такий підхід дозволяє оцінити рівень впливу забруднення на рослини і визначити його токсичність у порівнянні з контролем.

### 2.3 Аналіз основних тест-об'єктів та тест-реакцій на прикладі гідробіонтів

Чутливість організмів, які використовуються в якості тест-об'єктів, є однією з важливих характеристик методик біотестування. Ця чутливість визначається здатністю організмів реагувати на наявність токсичних речовин у їхньому середовищі мешкання. Дослідники багатьох країн провели оцінку понад 1,5 тис. видів прісноводних і морських гідробіонтів з метою відбору найбільш чутливих та показових тест-об'єктів для різних токсичних забруднюючих речовин. У цьому дослідженні були використані різні види організмів, такі як водорості, бактерії, безхребетні та риби.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

За результатами цих досліджень, основними тест-об'єктами, які використовуються для оцінки токсичності і забрудненості вод, є гіллястовусі ракоподібні, зокрема види дафній. Ці організми легко культивуються в лабораторних умовах, що робить їх зручними для проведення біотестів.

Варто зазначити, що хоча біотести на окремих видів і культурах гідробіонтів надають певну інформацію про токсичність окремих речовин і забруднених вод, вони мають свої обмеження. В природних водоймах взаємодіють багатокomпонентна біота та відбуваються міжпопуляційні зв'язки, які можуть впливати на реакцію організмів на токсичне середовище. Тому, для отримання більш повної екологічної інформації, необхідно поєднувати результати біотестів з іншими методами та враховувати комплексні процеси, які відбуваються в натуральних умовах.

Для біотестування відходів бурового шламу можуть бути використані такі тест-об'єкти, як ракоподібні (*Daphnia magna*, *Artemia salina*), хірономід (*Chironomus gr. Salinarius*) та молюски (*Dreissena rostriformis*). Ці організми відносяться до різних екологічних груп і можуть бути використані для виявлення токсичності водних середовищ [39].

Визначення токсичності бурових шламів для зоопланктону здійснюють шляхом біотестування водних витяжок з використанням в якості тест-організмів рачків *Daphnia magna Straus*. У результаті визначення гострої токсичності водних витяжок з бурових шламів з використанням в якості тест-організму *Daphnia magna Straus* встановлено, що за показником середньої летальної концентрації ЛК<sub>50</sub> (загибель 50 % і більше) витяжки з усіх вивчених проб бурових шламів є нетоксичними [40].

Експерименти по визначенню токсичності шламів для бентосних організмів проводились на личинках комарів-звінців виду *Chironomus dorsalis Meigen* (родина *Chironomidae*, ряд *Diptera*). Враховувалися такі індикаторні характеристики: виживання личинок, їх дратівливість (у відповідь на механічний подразник), етологічні і структурні (морфологічні) зміни. У

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

результаті експериментальних випробувань встановлено, що вивчена проба бурового шламу не є токсичною для хірономідій [41].

Крім цього, було проведено дослідження впливу бурового шламу на ембріональний і постембріональний розвиток акваріумних рибок *Brachydanio rerio*. Згідно з результатами проведених експериментів виявлено, що представлений зразок не надав шкідливого впливу на ікру і личинок риб. Загальний відсоток виживання ікри та личинок риб у водних витяжках досліджених бурових шламів склав 93,3 %. Отже, для ембріонального і постембріонального розвитку *Brachydanio rerio* водна витяжка з проби бурового шламу була не токсична [42].

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.Медубл.	Підп. і дата						Арк
					ОС 19510083					



## РОЗДІЛ 3 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БІОТЕСТУВАННЯ

### 3.1 Фітотестування як експрес-метод оцінки токсичності забруднених ґрунтів

Пошук достовірних і надійних способів діагностики наслідків забруднення ґрунтів нафтою та розроблення ефективних методів ліквідації є актуальною проблемою. Діагностика наслідків забруднення включає оцінку фізико-хімічних та біологічних параметрів ґрунту, які можуть бути змінені унаслідок нафтового забруднення. Нафтопродукти проявляють токсичну і мутагенну дію, відповідно, негативно впливають на здоров'я людини [43].

Використання живих організмів (тест-об'єктів), таких як рослини або мікроорганізми, для виявлення токсичності ґрунту. Ці тести можуть включати вимірювання проростання насіння, розвитку рослин, біомаркерів або інших біологічних відповідей.

При здійсненні оцінки екологічної небезпеки нафтопродуктів для навколишнього середовища необхідно мати інформацію за такими характеристиками [44]: вміст нафтопродуктів в окремих компонентах, швидкість їхньої хімічної та біологічної деструкції, рівень токсичності нафтопродуктів стосовно живих організмів. На основі хімічного аналізу забруднених ґрунтів отримують дані про вміст нафтопродуктів у них. Однак для вивчення потенційного впливу на екосистему необхідною є оцінка через серію біотестів [44].

У біотестуванні головним критерієм оцінки забруднення є реакція та відповідь живих організмів [44]. Методи біотестування базуються на спостереженні за зворотною реакцією тест-організмів на присутність токсичних речовин у середовищі.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

Ці методи біотестування мають кілька переваг:

**Простота та доступність:** Вони не вимагають складних обладнань або спеціальних лабораторних умов. Деякі з тестів можуть бути проведені безпосередньо на місці забруднення.

**Оперативність:** Результати можуть бути отримані швидко, порівняно з іншими методами аналізу.

**Повторюваність:** Методи біотестування можуть бути легко повторені для підтвердження результатів і забезпечення надійності.

**Достовірність:** Вони дозволяють виявити реальні впливи токсичних речовин на живі організми та отримати пряму інформацію про вплив на відповідні біологічні процеси.

**Економічність:** У порівнянні з деякими іншими методами аналізу, методи біотестування можуть бути менш витратними.

Враховуючи ці переваги, методи біотестування є цінними інструментами для визначення токсичності та екологічної становища довкілля [37]. При відборі тест-об'єктів суттєвим є використання високочутливих до дії забруднювальних компонентів організмів. Також важливою вимогою є обов'язкова зворотна реакція тест організму на дію токсиканта [37].

Рослини є зручними об'єктами для біомоніторингу ґрунтів, оскільки вони постійно взаємодіють з навколишнім середовищем і можуть слугувати індикаторами токсичності та стану забруднення. Використання рослинних тест-систем у біомоніторингу ґрунтів дозволяє отримати оперативну інформацію про фітотоксичність забрудненого ґрунту [45].

Різноманітні тест-функції, такі як динаміка проростання насіння, відсоток схожості, довжина головного і бічних коренів, висота пагона та інші, можуть бути використані для оцінки впливу забруднювачів на рослини [45].

Важливим етапом використання рослинних тест-систем є калібрування, яке включає випробування тест-системи з використанням різних концентрацій забруднювачів [46].

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
										34
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					

Пошук тест-систем, які дозволяють оцінити комбінований вплив забруднювачів довкілля на біоту, є пріоритетним напрямом досліджень. Рослини мають істотні переваги перед приладами у цьому контексті, оскільки вони є відносно недорогими, легко розмножуються і мають типову відповідь на вплив забруднювачів.

Тому, враховуючи вищесказане, доцільно використовувати фітотестування як експрес-метод оцінки токсичності забруднених ґрунтів [46].

### 3.2 Розрахунок ступеня фітотоксичності забруднених ґрунтів

У зв'язку з актуальністю проблеми забруднення об'єктів довкілля нафтопродуктами проведено дослідження з метою виявлення впливу указанного ксенобіотики на проростання та ріст рослин, що визначені як основні показники тест-реакції [47].

Дослідження токсичного впливу бурових відходів, що містять нафту, на рослини під час проведення фітотестування передбачало використання різних концентрацій забруднювача у перерахунку на відсотковий вміст нафти в ґрунті. При цьому в контрольний зразок не вносили забруднювача, а в тестові зразки вносили відходи в концентрації нафти 0,2 %, 2 %, 5 %, 10 % і 15 %. Шляхом порівняння результатів забруднених зразків ґрунту з контрольним зразком без нафти, зможемо оцінити вплив нафтопродуктів на проростання та ріст рослин.

Введення насіння рослин у забруднений ґрунт дозволяє спостерігати зміни в розвитку рослин під впливом нафтопродуктів. Оцінці підлягають такі показники, як швидкість проростання насіння, висота росту рослин, довжина корінців. Ці показники дозволяють зрозуміти, як нафтопродукти впливають на здатність рослин до нормального розвитку.

Контрольний зразок без нафти дозволяє порівняти результати і встановити різницю в розвитку рослин між забрудненими та незабрудненими зразками, що

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						35

дозволить зробити висновки про токсичність нафтопродуктів та їхній вплив на рослинний організм.

Експеримент проводили протягом 5 діб. Дослідження, яке використовує початкові ростові параметри рослин на п'яту добу росту для фітотоксикологічної оцінки, має свою обґрунтовану підставу і практичні переваги.

Згідно з дослідженнями авторів [47], на п'яту добу росту рослин вже можна спостерігати достатні прояви токсичної дії нафтопродуктів. У цей період росту ще не встигають повною мірою проявитись інші пошкоджувальні фактори, які можуть бути згенеровані самою нафтою. Такий підхід дозволяє отримати надійні результати, оскільки на цій стадії вже можна оцінити вплив нафтопродуктів на ріст та розвиток рослин, а інші чинники ще не внесли значного впливу на результати.

Використання початкових ростових параметрів на п'яту добу росту має декілька переваг. Воно зменшує тривалість дослідження, оскільки результати можна отримати швидше, а це є економічно вигідним. Крім того, цей метод є надійним, оскільки на цій стадії росту рослин уже можна виявити токсичну дію нафти, що дозволяє зробити об'єктивні висновки щодо впливу нафтопродуктів на рослинний організм.

Для визначення фітотоксичного ефекту (ФЕ, %) використовували рослини та методику, описані у п. 2.2. На 5 день дослідження одержали значення тест-реакцій рослин пшениці та капусти (всхожість, довжина кореня та довжина пагона). Для обробки результатів застосовували формулу 2.3.

Для оцінки одержаних результатів використовували розроблену авторами [48] шкалу рівнів токсичності ґрунтів (табл. 3.1) [48].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Таблиця 3.1 – Шкала рівнів токсичності ґрунтів (Джура та ін., 2006) [48]

Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), %	Рівень токсичності
0-20	Відсутність або слабкий рівень
20,1-40	Середній рівень
40,1-60	Вище середнього рівня
60,1-80	Високий рівень
80,1-100	Максимальний рівень

Результати проведених розрахунків фітотоксичного ефекту для дослідних рослин відображено на рис. 3.1, 3.2 та 3.3. На рис. 3.1 наведено результати фітотестування за показниками всхожості для пшениці та капусти на 5 добу.

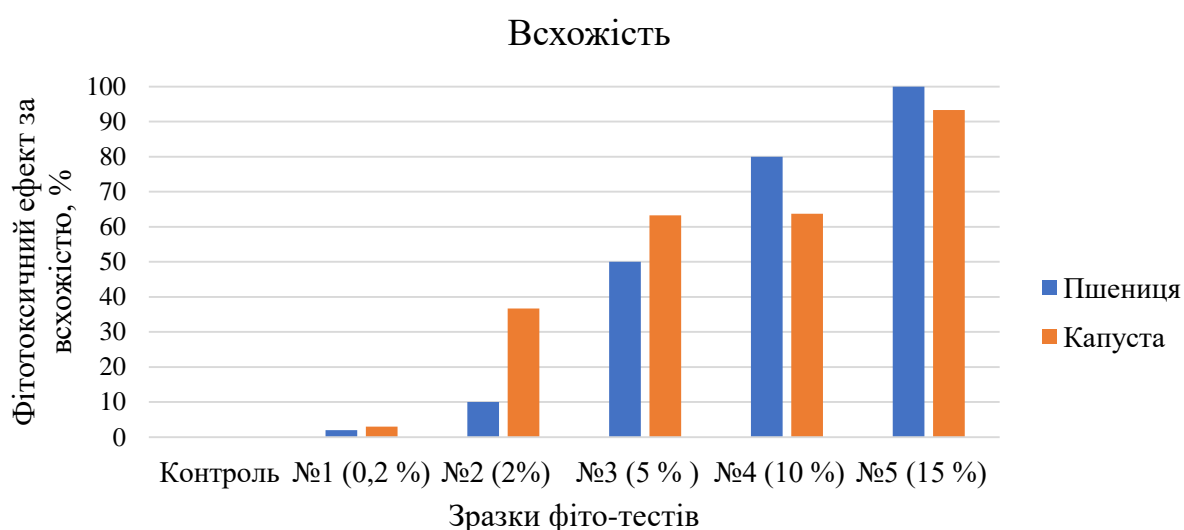


Рисунок 3.1 – Результати фітотестування за показниками всхожості

Встановлено, що за показниками всхожості рівень токсичності вище середнього спостерігається для обох рослин за концентрації нафти 5 %. За концентрації нафти 15 % спостерігається максимальний рівень токсичності.

На рис. 3.2 наведено результати фітотестування за показниками довжини коренів для пшениці та капусти на 5 добу.

Підп. і дата
Інв.Медубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.Методл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

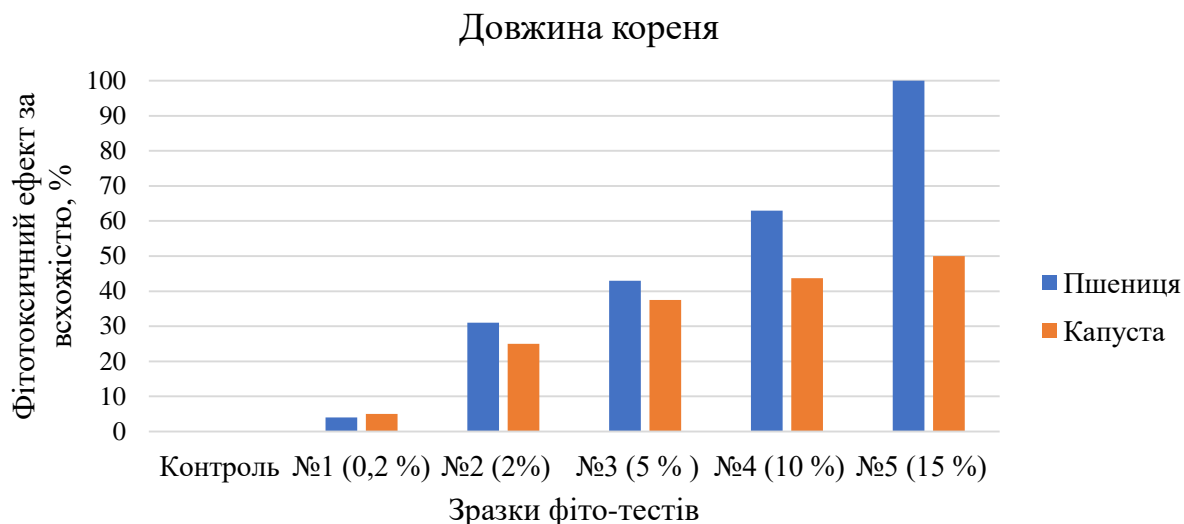


Рисунок 3.2 – Результати фітотестування за показниками довжини кореня

Встановлено, що за показниками довжини кореня рівень токсичності вище середнього спостерігається для обох рослин за концентрації нафти 5 %. За концентрації нафти 15 % спостерігається максимальний рівень токсичності для пшениці, а для капусти – вище середнього рівня.

На рис. 3.3 наведено результати фітотестування за показниками довжини пагона для пшениці та капусти на 5 добу.

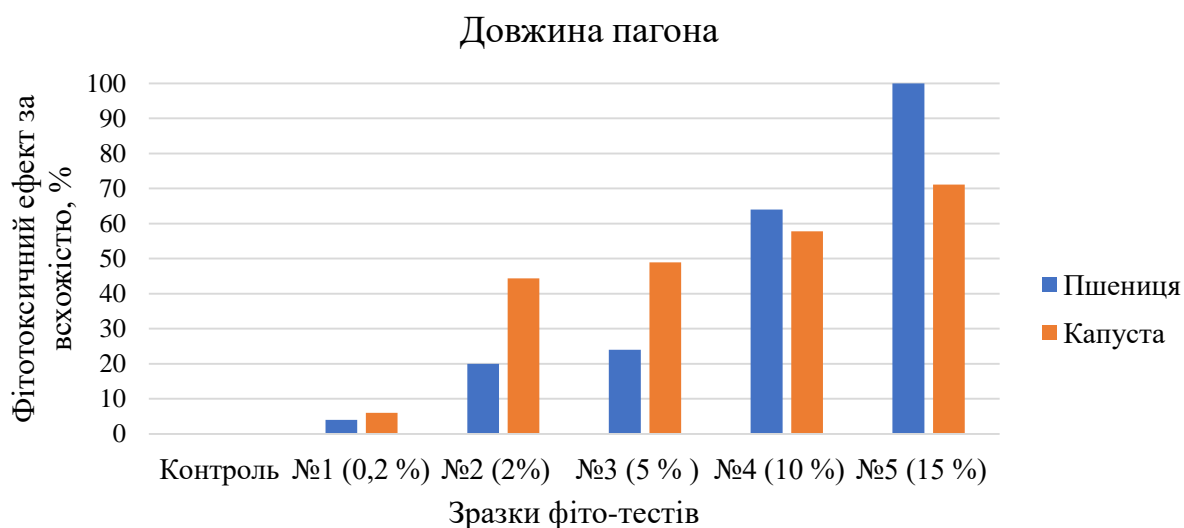


Рисунок 3.3 – Результати фітотестування за показниками довжини пагона

Підп. і дата
Інв.Медубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.Методл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

Встановлено, що рівень за показниками довжини пагона токсичності вище середнього для пшениці спостерігається за концентрації нафти 2 %, а для капусти – за концентрації 5 %. За концентрації нафти 15 % спостерігається максимальний рівень токсичності для пшениці, а для капусти – високий рівень.

За проведеними спостереженнями, вимірюваннями, розрахунками та аналізом результатів виявлено, що пшениця є однією з найбільш перспективних рослин для фітореMediaції ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Це означає, що пшениця має здатність знижувати вміст нафтопродуктів у ґрунті та використовувати їх для свого росту та розвитку.

Пшениця володіє кількома важливими властивостями, які роблять її перспективною для фітореMediaції. По-перше, пшениця має широкий розвинений корінний систему, що дозволяє їй активно акумулювати забруднюючі речовини з ґрунту. По-друге, вона має високу толерантність до наявності нафтопродуктів у ґрунті та здатність використовувати їх як джерело поживних речовин. По-третє, пшениця має швидкий ріст та велику біомасу, що дозволяє їй ефективно засвоювати забруднюючі речовини та знижувати їх концентрацію в ґрунті.

Додатковою перевагою використання пшениці для фітореMediaції є її використання як цінної кормової культури для тварин і можливість подальшого використання зібраного урожаю.

Отже, на основі проведених досліджень пшениця виявилась найбільш перспективною рослиною для фітореMediaції ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Це важлива інформація, яка може сприяти розробці ефективних стратегій фітореMediaції та відновлення забруднених ділянок ґрунту.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						39

### 3.3 Рекомендації щодо удосконалення методики біотестування у комплексних екологічних дослідженнях

Використання біотестів має кілька переваг, які роблять їх незамінним елементом контролю та запобігання забруднення:

1. Простота реалізації: багато біотестів можуть бути виконані з відносно малими зусиллями та в короткі терміни. Це дозволяє проводити біотестування швидко та ефективно.

2. Експресність: біотести часто дають швидкі результати, що дозволяє оперативно оцінити рівень токсичності або забруднення. Це особливо важливо для контролю та негайного реагування на потенційні загрози для довкілля.

3. Висока чутливість: біотести здатні виявляти навіть низькі рівні токсичності, що дозволяє виявити небезпеку, навіть коли традиційні методи хімічного аналізу не показують значних відхилень.

4. Додаткова інформація: біотестування дозволяє отримати додаткову інформацію про вплив забруднюючих речовин на живі системи. Воно враховує взаємодію між компонентами екосистеми та може виявити побічні ефекти, які не можуть бути виявлені лише за допомогою хімічного аналізу.

Однак, варто відзначити, що біотестування не може замінити повністю традиційні методи хімічного аналізу. Воно слугує додатковим інструментом для оцінки токсичності та забруднення, але його результати повинні бути поєднані з іншими даними для отримання повної карти стану довкілля [49].

У світовій практиці контролю токсичності оточуючого середовища біотестування має широке застосування. Однією з принципових особливостей біотестування є використання чутливих лабораторних культур тест-організмів з різних трофічних рівнів та систематичного положення. Це означає, що дослідники можуть проводити дослідження на різних рівнях організації живих систем, включаючи клітинний, тканинний та організмівий рівні [50]. Такий

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
										40
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					



підхід дозволяє отримати комплексну інформацію про вплив токсикантів на живі системи та їхні реакції.

Використання різних трофічних рівнів і систематичного підходу дозволяє здійснювати більш достовірні оцінки токсичності та екотоксикологічних властивостей речовин. Тест-організми репрезентують різні групи організмів, що мають різні біологічні особливості та функціональні характеристики. Це дозволяє отримати широкий спектр даних та оцінити вплив токсикантів на різні біологічні процеси і організаційні рівні.

Такий підхід до біотестування дозволяє отримати детальну інформацію про токсичність речовин і оцінити їх вплив на живі системи з більш широкою перспективою. Враховуючи складність екологічних систем та їхні взаємодії, біотестування забезпечує цінну інформацію для оцінки та контролю забруднення та збереження природних ресурсів.

Біотестування має перевагу у легкості стандартизації порівняно з іншими біологічними методами оцінки стану довкілля. Це пов'язано з тим, що біотестування дозволяє використовувати стандартизовані методики для постановки експериментів та математичної обробки результатів.

Стандартизовані методики біотестування дозволяють забезпечити однаковість умов експериментів і об'єктивність отриманих результатів. Це робить біотестування ефективним і надійним інструментом для оцінки токсичності та екотоксикологічних властивостей речовин у водних об'єктах.

Запровадження стандартизованих методик і комплексного підходу у біотестуванні дозволяє забезпечити порівняльність результатів досліджень і спростити процес оцінки стану довкілля. Оперативна і об'єктивна оцінка стану водного об'єкту є важливою для прийняття рішень щодо контролю та запобігання забрудненню [51].

Розробка спеціальної програми "Water Tox" Міжнародним центром сприяння науковим дослідженням (Канада) свідчить про зростаючу увагу до покращення ефективності біотестування у визначенні токсичності [52].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Деякі вимоги, які включені до цієї програми, включають:

1. Використання тест-організмів з не менше, ніж двох трофічних рівнів для забезпечення необхідного спектру чутливості до токсичних речовин. Це дозволяє отримати комплексну і повну інформацію про токсичність речовин у різних ланцюгах харчування [52].

2. Вимога до високої чутливості біотестів до значної кількості токсичних речовин. Це важливо для забезпечення виявлення потенційно шкідливих речовин у водному середовищі.

3. Технічна простота процедур біотестування і однозначність результатів. Це допомагає забезпечити легку ідентифікацію та інтерпретацію отриманих результатів.

4. Специфічність і легкість реєстрації реакції біоіндикаторів на фізичні та хімічні впливи. Це означає, що біологічна відповідь повинна бути специфічною для певного токсичного впливу і може бути спостережена візуально або за допомогою приладів [52].

5. Обмежений час виконання біотестів і обробки результатів. Це важливо для оперативного отримання інформації про стан водного середовища, що дозволяє приймати швидкі та ефективні рішення щодо контролю забруднення.

Ці вимоги спрямовані на поліпшення швидкості, надійності і зрозумілості біотестування, а також на забезпечення оперативності отримання результатів. Це допомагає зробити біотестування більш ефективним і доступним інструментом у контролі токсичності та забруднення водних середовищ.

Розробка технічно простого, дешевого та універсального комплексу біотестів для виявлення токсичних речовин у зразках води і оцінки якості природних і питних вод є важливим напрямом досліджень. Використання біотестів для комплексної оцінки потенційного впливу природних вод на стан навколишнього середовища і здоров'я людини може мати значний практичний потенціал [51].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Фітотестування, яке використовує рослини як біоіндикатори, є важливим інструментом для виявлення токсичності та забруднення довкілля. Щоб удосконалити методику фітотестування, можна враховувати наступні рекомендації:

1. Вибір відповідних рослин: Важливо вибрати рослини, які є репрезентативними для даного екосистеми або типу забруднення. Рослини повинні бути відносно легкими для вирощування і давати чітку реакцію на токсичні речовини.

2. Визначення ефективних параметрів: Слід встановити конкретні параметри, які будуть вимірюватися і оцінюватися для оцінки токсичності, такі як зміни у рості, розвитку, фізіологічних параметрах та активності ферментів. Використання стандаризованих протоколів вимірювання допоможе отримати об'єктивні результати.

3. Контроль факторів навколишнього середовища: Важливо контролювати навколишні фактори, такі як освітлення, температура, вологість і якість ґрунту. Це допоможе встановити базові умови, які дозволять порівняти реакцію рослин на токсичні речовини.

4. Використання статистичних методів: Для обробки отриманих даних рекомендується використовувати статистичні методи, що дозволяють встановити статистичну значущість отриманих результатів. Це дозволить забезпечити об'єктивну і надійну оцінку токсичності.

5. Інтеграція з іншими методами: Фітотестування слід використовувати в поєднанні з іншими біологічними, хімічними та фізико-хімічними методами для отримання комплексної оцінки токсичності і забруднення довкілля.

6. Постійне вдосконалення: Методика фітотестування повинна постійно вдосконалюватися і оновлюватися на основі нових наукових відкриттів і технологічних розробок. Важливо враховувати сучасні тенденції у вивченні токсичності та забруднення довкілля.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Техніка безпеки при роботі з небезпечними речовинами, токсикантами

Робота з небезпечними речовинами і токсикантами вимагає дотримання певної техніки безпеки для запобігання можливим негативним наслідкам для здоров'я. Деякі рекомендації щодо техніки безпеки при роботі з небезпечними речовинами [53]:

1. Знання матеріалу: перед роботою з будь-якою небезпечною речовиною слід ознайомитися з її властивостями, особливостями зберігання і обробки, а також з можливими наслідками впливу на здоров'я.

2. Використання особистого захисту: носіть відповідний особистий захист, такий як лабораторний халат, рукавиці, окуляри та маску, для запобігання контакту речовин з шкірою, очима і дихальними шляхами.

3. Робоче середовище: працюйте в добре провітрюваному приміщенні або під витяжкою для забезпечення відведення небезпечних парів або газів. Використовуйте відповідне обладнання для збирання та утилізації небезпечних відходів.

4. Уникайте контакту: уникайте прямого контакту з небезпечними речовинами шкірою, очима або ротом. В разі контакту негайно промийте потрапившу ділянку водою або скористайтеся відповідними засобами нейтралізації.

5. Збереження і маркування: зберігайте небезпечні речовини відповідно до вимог безпеки. Маркуйте їх правильно для легкого визначення та уникнення помилок.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510083

Арк

44

6. Надійна робота з обладнанням: розумійте і використовуйте обладнання правильно, дотримуйтесь інструкцій щодо його використання та обслуговування. Перевіряйте наявність пошкоджень перед використанням.

7. Навчання та підготовка: отримайте необхідну підготовку та навчання щодо безпеки роботи з небезпечними речовинами. Дотримуйтесь встановлених протоколів і процедур безпеки.

8. Надзвичайні ситуації: будьте готові до можливих надзвичайних ситуацій, таких як витік речовини або аварія. Завжди знайте місцезнаходження засобів пожежогасіння та першої допомоги.

9. Утилізація: утилізуйте небезпечні відходи відповідно до вимог безпеки та місцевих правил.

Враховання цих рекомендацій та дотримання протоколів безпеки допоможуть зменшити ризик впливу небезпечних речовин на здоров'я та створити безпечне робоче середовище. Пам'ятайте, що в разі сумніву завжди звертайтеся до відповідних експертів та додержуйтеся правил безпеки.

#### 4.2 Розрахунок штучного освітлення в лабораторному приміщенні

Світло має значний вплив на людину, особливо в умовах праці. Освітлення приміщень повинно відповідати певним нормам і вимогам, щоб забезпечити комфортні умови праці і зберегти здоров'я людей. Деякі рекомендації щодо світлового середовища на робочому місці [54]:

1. Інтенсивність освітлення: забезпечуйте достатню інтенсивність освітлення відповідно до виду роботи та вимог нормативно-правових актів. Зазвичай це вимагає використання достатньо яскравих джерел світла, щоб забезпечити комфортний рівень освітленості на робочій поверхні.

2. Рівномірність освітлення: уникайте нерівномірного освітлення в полі зору. Забезпечуйте рівномірний розподіл світла на робочій поверхні, щоб уникнути різких контрастів і тіней, які можуть втомлювати очі.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

3. Уникання блисків і відблисків: застосуйте заходи для уникнення блисків і відблисків на робочій поверхні, які можуть спричиняти засліплення і дискомфорт. Використовуйте абажури, регулюйте положення джерел світла і використовуйте антиблікові покриття.

4. Кольорова температура світла: вибирайте правильну кольорову температуру світла в залежності від типу роботи. Тепле біле світло (низька кольорова температура) може бути використане для створення затишної атмосфери, тоді як холодне біле світло (висока кольорова температура) сприяє кращій концентрації і підвищенню ефективності роботи.

5. Запобігання перенапруженню очей: забезпечуйте можливість регулювання інтенсивності світла або використовуйте захисні засоби, такі як окуляри або екрани, щоб запобігти надмірному напруженню очей під час роботи з комп'ютером або в умовах яскравого освітлення.

6. Правильна організація робочого простору: розмістіть джерела світла таким чином, щоб уникнути тіней на робочій поверхні. Забезпечте достатнє освітлення в усіх необхідних зонах, зокрема на робочому столі, у коридорах та сходових клітках.

Правильне освітлення на робочому місці є важливим чинником для забезпечення безпеки, здоров'я і продуктивності працівників. Дотримання вимог до світлового середовища допоможе уникнути негативного впливу світла на людський організм [55].

*Розрахунок штучного освітлення в лабораторному приміщенні*

Визначимо достатність штучного освітлення лабораторного приміщення. Габаритні розміри кабінету надані в таблиці 4.1.

Нормативні значення освітлення для лабораторних приміщень в Україні встановлені ДБН В.2.5.28-2018 «Природне і штучне освітлення» [56]. Для оцінки ефективності штучного освітлення в приміщенні необхідно порівняти значення фактичного освітлення та нормованого значення за ДБН В.2.5.28-2018 [56].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						46

Згідно з цими нормами, нормовані значення освітлення для лабораторних приміщень при загальному освітленні складають [56]:

- при використанні газорозрядних ламп: 300 лк (люкс);
- при використанні ламп розжарювання: 200 лк (люкс).

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Габарити приміщення:	Значення
- довжина	6,0 м
- ширина	4,0 м
- висота	3,2 м
Вид джерела світла – Л/л	
Система освітлення – З/к.	
Кількість світильників	4
Кількість ламп в світильнику	4

Якщо застосовується комбіноване освітлення (загальне освітлення разом з місцевим), то частка загального освітлення повинна становити 10% норми для комбінованого освітлення, але не менше:

- при використанні люмінесцентних ламп: не менше 150 лк (люкс);
- при використанні ламп розжарювання: не менше 50 лк (люкс).

Виконання цих нормативних значень допомагає забезпечити достатню якість освітлення у лабораторіях.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						47

Значення фактичного освітлення, лк, у відділі знаходимо за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку за формулою [56]:

$$F_{л} = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot k \cdot Z}{\eta_e \cdot N \cdot n}, \quad (4.1)$$

звідки

$$E_{\phi} = \frac{F_{л} \cdot \eta_e \cdot N \cdot n}{S \cdot k \cdot Z}, \quad (4.2)$$

де  $F_{л}$  – світловий потік лампи, лк; візьмемо люмінесцентну лампу ЛД 20, для якої  $F_{л} = 920$  лм;

$\eta_e$  – коефіцієнт використання світлового потоку;  $\eta_e = 0,4 \div 0,6$ ; (0,5);

$N$  – кількість світильників, шт.;

$n$  – число ламп в світильнику, шт.;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;  $S = 24$  м<sup>2</sup>;

$k$  – коефіцієнт запасу,  $k = 1,5 \div 2$ ; (1,7);

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення, для люмінесцентних ламп – 1,1.

Розрахуємо фактичне освітлення за формулою (4.2):

$$E_{\phi} = \frac{920 \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 4}{24 \cdot 1,7 \cdot 1,1} = 163(\text{лк})$$

У результаті розрахунку знайшли значення фактичного освітлення, яке перевищує нормоване [56].

Знайдемо відхилення від нормованого (150 лк):

$$(163-150) / 150 * 100 \% = 9,3 \%$$

Відхилення фактичного значення від норми (150 лк) складає менше 20 %, що припустимо, бо норма відхилення -10 +20 %.

Отже, штучне освітлення у лабораторному приміщені достатнє.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510083

Арк

48



## ВИСНОВКИ

Аналіз літературних джерел та власні дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Забруднення ґрунту нафтою відбувається на різних етапах використання нафти: під час буріння, переробки, зберігання, транспортування і ліквідації обладнання. Відходи буріння становлять серйозну екологічну проблему, особливо коли йдеться про забруднення ґрунту та водних ресурсів. Буровий розчин і буровий шлам містять різні забруднюючі речовини, які можуть бути шкідливими для навколишнього середовища та здоров'я людей.

Фітотоксичність ґрунту є важливим показником, який використовується для оцінки впливу токсичних речовин на розвиток рослин. Завдяки фітотестам виявляють токсичні властивості ґрунту та водного середовища шляхом спостереження за ростом та морфологічними характеристиками рослин.

2. Для визначення класу небезпеки відходів нафтовмісного бурового шламу, що утворюється під час буріння нафтових свердловин використовують метод біотестування, який проводять на тест-об'єктах. Для оцінки ступеня забрудненості ґрунтів за рівнем пригнічення ростових процесів, розроблено ранжування. Використовується коефіцієнт забрудненості ґрунтів, який дозволяє оцінити загальний вплив різних речовин на рослини і здійснити узагальнення щодо ступеня фітотоксичності ґрунту.

3. Для визначення фітотоксичного ефекту використовували такі рослини, як пшениця та капуста. За проведеними спостереженнями, вимірюваннями, розрахунками та аналізом результатів виявлено, що пшениця є однією з найбільш перспективних рослин для фіторемедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

Тому, враховуючи вищесказане, доцільно використовувати фітотестування як експрес-метод оцінки токсичності забруднених ґрунтів.

Інв.Методл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.Методл.	Підп. і дата						Арк
										49
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гринчишин Н. М., Бабаджанова О. Ф. Реабілітація ґрунтів, забруднених аварійними виливами нафтопродуктів. *Науковий вісник НЛТУ*. 2012. Вип. 22.7. С. 43–49.
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 р. К. : Мінекоресурсів, 2016. 138 с.
3. Шапорев В. П., Шестопапов О. В., Мамедова О. О., Бахарєва Г. Ю. та ін. Біологічні методи охорони навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами. Монографія Х.: НТУ «ХП», 2015. 216 с.
4. Фесенко І. М. Оцінка та контроль впливу відходів буріння нафтогазових свердловин на ґрунти. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2013. № 3. С. 36–40.
5. Kaur N., Erickson T., Ball A., Ryan M. A review of germination and early growth as a proxy for plant fitness under petrogenic contamination – knowledge gaps and recommendations. *Science of The Total Environment*. 2017. № 603. P. 728–744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.179>.
6. Панас Р., Маланчук Р. Сучасні проблеми здійснення моніторингу ґрунтового покриття України. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. № 78. С. 201.
7. Шикула М. К., Гнатенко О. Ф., Петренко Л. Р., Капштик П. В. Охорона ґрунтів. К.: Знання, КОО, 2011. 398 с.
8. Бабаджанова О. Ф., Гринчишин Н. М. Роль сорбентів у ліквідації аварійних розливів нафтопродуктів із поверхні ґрунту. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: зб. наук. праць*. 2010. № 4. С. 75.
9. Лущик А. В., Романюк О. С., Швирло М. І, Яковлев Є. О. Моніторинг екзогенних геологічних процесів як складова моніторингу довкілля в Україні. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2012. № 1. 73 с.

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

						ОС 19510083	Арк 50
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			

10. Некос В. Ю., Крайнюков .О. М. Екологічні проблеми забруднення компонентів природного середовища нафтопродуктами. І-й Всеукраїнський з'їзд екологів : міжнар. наук. техн. конф. : тези допов. 237 с.

11. Адаменко Я. О., Приходько М. М., Головчак В. Ф. Програма охорони навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області до 2015 року. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2012. № 1(5). С. 4–14.

12. Дембович Б. І., Яворська С. В. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали VII Міжнародної наукової конференції «Zoocenosis–2013. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах». Україна, Дніпропетровськ, ДНУ, 22–25.10.2013 р. Дніпропетровськ: Адверта, 2013. С. 45–48.

13. Аблеєва І. Ю. Підвищення рівня екологічної безпеки при утилізації відходів нафтогазового видобутку: автореферат. канд. техн. наук, спец.: 21.06.01 екологічна безпека. Суми. СумДУ, 2016. 23 с.

14. Соловійова Ж. Ф., Непеїна Г. В. Забруднення Світового океану нафтопродуктами. *Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"]*. Серія: Екологія. 2011. Т. 150, Вип. 138. С. 76–81. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue\\_2011\\_150\\_138\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_150_138_20).

15. Прогнозне оцінювання техногенного навантаження на Каспійське море у результаті зміни інфраструктури морської акваторії : дис. д-ра філософії, спец.: 183 – технології захисту навколишнього середовища / С. М. Габбасова; наук. кер.: Л. Д. Пляцук, І. Ю. Аблеєва. Суми. СумДУ, 2021. 164 с.

16. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M., Mamutova A. A. System approach to the assessment of anthropogenic impact on marine ecosystems during oil production activities. *Environmental problems*. 2018. Vol. 3. No. 3. P. 157–166.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083	Арк
						51

17. Бондарець Ю. В., Матвеева О. Л., Безверха Д. А. Проблема забрудненості водних об'єктів нафтопродуктами та шляхи її вирішення. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2014. № 2. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb\\_2014\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2014_2_5).

18. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С., Костіков І.Ю. Основи екології: підручник 2-ге вид. К. : Либідь, 2015. 408 с.

19. Білик Є. Ю., Поліщук С. С., Полторацька В. М. та інші. Поняття гарантованої якості атмосферного повітря та її оцінка Енергетика, екологія, безпека життєдіяльності та комп'ютерні технології у будівництві колективна монографія. ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури», Дніпро, 2018. С. 23–29.

20. Положення про моніторинг земель. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 серпня 1993 р. Київ. № 661.

21. Про охорону навколишнього природного середовища. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 вересня 1993 р. Київ. № 785.

22. Negrão S., Schmöckel M., Tester M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*. 2017. № 119(1). P. 1–11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>.

23. Daliakopoulos I. N., Tsanis I. K., Kourgialas N. N., Varouchakis A. E., Karatzas G. P., Ritsema C. J. The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of The Total Environment*. 2016. № 573. P. 727–739.

24. Глібовицька Н. І., Плаксієв Л. В. Характеристика типів бурових розчинів та їх дія на рослини. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. № 2(22). С. 41–47. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2020-2\(22\)-41-47](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2020-2(22)-41-47).

25. Крайнюков О. М., Некос А. Н. Моніторинг довкілля (моніторинг нафтогазоносних територій). Х. : Фоліо, 2015. 203 с.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510083

Арк

52

26. Романюк О. І., Шевчик Л. З., Ощাপовський І. В., Жак Т. В. Методика екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2016. № 24(2). С. 264–269.

27. Романенко В. Д. Основи гідроекології: Навч. посіб– К. : Обереги, 2001. 728 с.

28. Шалімов М. О. Біоіндикація: конспект лекцій. Одеса: Наука і техніка, 2011. 123 с.

29. Апостолук С. О., Джигирей В. С. Промислова екологія : навч. посіб., 2-ге вид., випр., і допов. К.: Знання, 2012. 430 с.

30. Alexeyeva, A. A., Marenkov, O. M., Kurchenko, V. O., Holub, I. V., Petrovsky O. O. (2019). Biotesting and phytoindication of aquatic environment quality of urbanized territories. *Ecology and Noospherology*, 30(2), 101–105. doi:10.15421/031917.

31. Петренко Т. Ф., Новицька Л.Л., Єфремова О.О., Семенюк Н.В. Біотесткартування водних розчинів екотоксикантів. Наукові записки. Т.21. Біологія та екологія. Національний університет «Києво-Могилянська академія». 2003. С. 78–82.

32. Оксіюк О .П., Жукинський В. М., Лаврик В. І. Методики екологічної оцінки та нормування якості поверхневих вод України, 2003. № 3. С. 18–28.

33. Григора І. М., Соломаха В. А. Основи фітоценології. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. 240 с.

34. Волчевська-Козак О. С. Малий практикум із фізіології рослин. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний ун-т ім. В. Стефаника, 2006. 76 с.

35. Кривицька І. А. Діагностика та моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами в урбанізованих ландшафтах Приазов'я. Харків, 2020. 25 с.

36. Якість ґрунту. Визначання дії забруднювачів на флору ґрунту. Частина 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин: ДСТУ ISO 11269-2:2002. [Чинний від 2004-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2004. IV, 9 с. (Національний стандарт України).

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510083

37. Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. *Наук. вісн. КУЕІТУ. Нові технології*. 2010. № 3(29). С. 164–171.

38. Бешлей С. В., Баранов В. І., Ващук С. П. Оцінка токсичності субстратів відвалів вугільних шахт методом біотестування. *Науковий вісник Нац. лісотехнічного ун-ту України*. 2011. Вип. 21. С. 98–102.

39. ДСТУ 4074-2001. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі [*Brachydanio rerio* Hamilton Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]. Статичний метод (ISO 7346-1: 1996, MOD).

40. Брагінський, Л. П. Методологічні аспекти токсикологічного біотестування на *Daphnia magna* Str. та інших гіллястовусих ракоподібних (критичний огляд). *Гідробіологічний журнал*. 2000. № 5.1. С.50–71.

41. International Organization for Standardization (2012). ISO 6341:2012. Water quality. Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). Acute toxicity test. Geneva: International Organization for Standardization, 22 p.

42. Isakova, E F. (1980). Seasonal changes in the actual fertility of *Daphnia magna* in laboratory culture. *Hydrobiological Journal*, Vol. 16, Issue 4, pp. 86–89.

43. Джура Н. М., Мороз О. М., Русин І. Б. та ін. Вплив рослин бобу кормового (*Vicia fabavar. minor*) на функціонування мікробних асоціацій метаболізму азоту у забрудненому нафтою ґрунті. *Ґрунтознавство*. 2010. Т. 11. № 3–4. С. 105–112.

44. Джура Н., Шевчик Л., Романюк О., Терек О. Екотоксикологічний моніторинг нафтозабруднених ґрунтів. Молодь і поступ біології: V II Міжнар. конф. студентів та аспірантів: зб. тез. (5–8 квітня 2011 р. Львів). С. 318–319.

45. Джура Н. М., Терек О. І. Перспективи застосування рослинних тест-систем для екологічної оцінки нафтозабруднених ґрунтів. *Наукові, прикладні та*

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510083

освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів: Матеріали XI конф. молодих вчених. К., 2010. С. 50–51.

46. Патент на корисну модель 60481 Україна, МПК (2011.01) A01B 79/02 (2006.01) B09C 1/00. Спосіб фітоочищення нафтозабруднених ґрунтів. Н. М. Джура, О. І. Романюк, О. М. Цвілинюк, О. І. Терек №u2010 12943; Заявл. 01.11.2010; Опубл. 25.06.2011; Бюл. №12, 2011 р.

47. Shevchyk, L. Z., Romaniuk, O. I., 2014. Doslidzhennja dejakyh zakonmironostej vplyvu nafty na pochatkovi rostovi parametry roslynnyh test-ob'ektiv [Researching regularities of influence of oil on the initial growth parameters of testobjects plants]. Visnyk Lvivskoho universytetu Serii Biologhii 67, 129–137.

48. Джура Н. М., Романюк О. І., Гонсьор Ян, Цвілинюк О.М., Терек О.І. Використання рослин для рекультивації ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами. *Екологія та ноосферологія*. 2016. Т. 17, вип. 1–2. С. 55–60.

49. Гідроекологічна токсикометрія та біоіндикація забруднень. Львів.: Світ, 2015. 440 с.

50. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Екологічна токсикологія та екотоксикологічний контроль. Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили. Миколаїв, 2015. 240 с.

51. Барабаш О. В. Оцінка рівня екологічної безпеки водних об'єктів м. Києва. Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1 : Серія «Технічні науки». К. : НТУ, 2014. Вип. 30.

52. Гончарук В. В. Наука про воду. К. : Наукова думка, 2010. 512 с.

53. Зеркалов Д. В. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. К: Основа, 2011. 528 с.

54. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці: навч. посіб. за заг. ред. О. П. Яворовського. К. : ВСВ «Медицина», 2015. 288 с.

55. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підручник. 5-те вид., доп. К.: Знання, 2014. 373 с.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510083

Арк

55

56. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28- 2018. На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Державні будівельні норми України).

Інв.Методл.	Підп. і дата				Інв.Методл.	Підп. і дата				
	Взаєм.інв.№					Інв.Методл.				
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510083					Арк
										56



## ДОДАТКИ

## Додаток А

Таблиця А.1 – Біотести, які застосовують в контролі об'єктів навколишнього середовища для оцінки рівня токсичного забруднення

№ з/п	Назва біотесту основаного на реакції	Параметр, що реєструється	Засіб реалізації біотестування	Об'єкти НС
1	2	3	4	5
1.	Рачки дафнії магна	Виживаність і плодючість	Візуальні спостереження	Стічні та природні води, витяжка з грунту
2.	Медична п'явка	Зміна статистичного стану на динамічний	- // -	- // -
3.	Інфузорій	Рухлива активність, виживання та темп росту	Мікроскопірування	- // -
4.	Клітин водорості дуналієлла саліна	Імобілізація	- // -	- // -
5.	Бактерій, що люмінесціюють	Реакція біоломінесценції	Люмінометр	- // -
6.	Водорості, що флуоресціюють	Рівень загальної і уповільненої флуоресценції	Флуориметр	- // -
7.	Харових водоростей	Біоелектрична реакція	Зміна електропровідності мембрани клітин	- // -
8.	Риб	Реакція втечі риб з токсичної зони	Візуальні спостереження	Стічні води
9.	Рибок гуппі	Виживаність та зміна поведінки	Візуальні спостереження	- // -
10.	Риб	Частота дихання та серцебиття	Електрокардіограф або електроенце- палограф	- // -
11.	Двостулкових молюсків	Реакція закривання стулочок	Візуальні спостереження	- // -
12.	Мікроорганізми в активного мулу	Активність окисних ферментів	Фотоелектроколори метр	- // -

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510083

Арк

57

Продовження таблиці А.1

	2	3	4	5
13.	Бактерій	Ростова реакція	Фотоелектрокалориметр	Природні води
14.	Гідри	Виживаність і реакція регенерації	Мікроскопірування	- // -
15.	Коловертки	Виживаність та зміна фототаксису	Мікроскопірування	- // -
16.	Холінестерази	Активність	Спектрофотометр	- // -
17.	Культури протококкових водоростей	Виживаність, зміна фізіологічних показників та загального стану	Мікроскопірування	Природні та стічні води, витяжка з ґрунту
18.	Культури синьо-зелених водоростей	Виживаність, зміна фізіологічних показників та загального стану	- // -	- // -
19.	Ряски	Виживаність, зміна фізіологічних показників та загального стану	Візуальні спостереження	- // -
20.	Елодеї	Виживаність, зміна фізіологічних показників та загального стану	- // -	- // -
21.	Культури гречки, крес-салату, гірчиці	Проростання насіння та ріст зародкових корінців	- // -	Природні та стічні води, ґрунт
22.	Квасолі	Зміна фізіологічних показників та загального стану	- // -	Ґрунт
23.	Грибів та актиноміцетів	Реакція росту	- // -	- // -
24.	Вищих рослин	Зміна фізіологічних показників та загального стану	- // -	- // -

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510083

Арк

58