



ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ – 2022



2022

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА**

**ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ
ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ – 2022**

Колективна монографія

Полтава – Львів 2022

**Дніпро
«Середняк Т.К.»
2022**

УДК 504.06

Рецензент: САФРАНОВ Тамерлан, завідувач кафедри екології та охорони довкілля Одеського державного екологічного університету, доктор геолого-мінералогічних наук, професор.

під ред. М.С. Мальованого, О.В. Степової.

Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022: колективна монографія Полтава – Львів: НУПІ імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка» — Дніпро: Середняк Т. К., 2022, — 664 с.

ISBN 978-617-8111-24-3

book doi.org/10.23939/monograph2022

У колективній монографії з позицій забезпечення екологічної безпеки викладено результати екологічних досліджень стану навколишнього середовища із акцентуванням на встановлення екологічних ризиків і загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних дій. Розглянуто проблеми глобальних та регіональних екологічних загроз, питання екологічної та техногенної безпеки територій, напрацювання в галузі відновлювальної енергетики. Наведено деякі розвідки щодо наслідків для довкілля воєнних дій, пов'язаних із вторгненням РФ в Україну.

Розраховано на науковців, викладачів, керівників і спеціалістів органів державного управління, екологів, аспірантів, студентів і всіх, хто цікавиться питаннями збереження, відновлення та раціонального використання ресурсів навколишнього середовища.

Матеріали друкуються мовами оригіналів. За викладення, зміст і достовірність матеріалів відповідають автори.

ISBN 978-617-8111-24-3

© Колектив авторів, 2022.

РОЗДІЛ І

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ



**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ *BACILLUS SUBTILIS* ПРИ
БІОРЕМЕДІАЦІЇ НАФТОЗАБРУДЕНИХ ҐРУНТІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ БІОТЕСТУВАННЯ**

**EFFICIENCY EVALUATION OF *BACILLUS SUBTILIS* FOR
BIOREMEDIATION OF PETROLEUM POLLUTANTS IN SOIL USING
BIOASSAY**

¹**Трохименко Г. Г.**, доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій, ¹**Недорода В. М.**, аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, ²**Степова О. В.**, доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування

¹*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна*

²*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

¹**Trokhymenko G.G.**, professor, head of the department of ecology and environmental technologies, ¹**Nedoroda V.M.**, PhD student, ²**Stepova O. V.**, professor, head of the department of applied ecology and nature management

¹*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine*

²*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine*

Анотація. У даній роботі представлені результати дослідження фітотоксичності ґрунту при високому рівні нафтового забруднення. Штучно забруднені ґрунти піддавали впливу консорціуму нафтодеструкторів на основі штамів *Bacillus amyloliquefaciens* та *Bacillus subtilis*. Основною метою роботи є оцінка ефективності консорціуму мікроорганізмів для зниження фітотоксичності ґрунтів з високим рівнем нафтового забруднення. Визначення ефективності проводили за допомогою рослин-біоіндикаторів при дослідженні їхньої зворотної реакції на забруднення ґрунтового середовища. В якості тест-систем в експерименті були використані *Raphanus sativus* var. *sativus*, *Sorghum bicolor* subsp. *Drummondii*, *Phleum pretense*, *Galéga officinális*, *Trifolium pretense*, *Medicágo sativa*, *Sinapis arvensis*. Різноманіття використаних індикаторних рослин забезпечило комплексний аналіз результатів нафтодеструкції, а також дозволило оцінити чутливість насіння кожного окремого виду до токсичних речовин.

Нафта є однією з основних потреб людини в сучасному світі, саме тому нафтова промисловість сьогодні є однією з галузей, що найбільш динамічно розвиваються [1]. Постійно зростаючі обсяги видобутку, транспортування та зберігання нафти призводять до інтенсифікації забруднення земель, екологічні наслідки якого можуть бути критичними як для людини, так і для природних екосистем. Загальною ознакою забруднення нафтою є велика кількість складових компонентів забруднення в кожному окремому випадку та їхня варіативність на відміну від більшості інших антропогенних забруднювачів.

При надходженні до ґрунту нафтових вуглеводнів, що не перевищують гранично допустиме екологічне навантаження, яке визначається максимальним обсягом і захисною здатністю екосистеми по відношенню до даного забруднювача, система здатна до самоочищення і самовідновлення [2]. Але ґрунти вважаються забрудненими, коли концентрація нафтопродуктів у них досягає такої величини, при якій починаються негативні екологічні зміни у навколишньому природному середовищі. Винайдення нових та вдосконалення існуючих технологій щодо відновлення нафтозабруднених земель, знешкодження та утилізація нафтошламових відходів є важливими заходами щодо вирішення проблем забруднення довкілля. На даний момент найбільш екологічними та перспективними вважаються методи, що призводять до повного розкладання органічних забруднювачів та дозволяють проводити очищення ґрунту без значних виробничих затрат [3, 4].

Одним із таких є метод біоремедіації ґрунтів та акваторій, заснований на здатності деяких мікроорганізмів до деструкції нафти і нафтопродуктів [5]. Використання мікроорганізмів нафтодеструкторів для очищення навколишнього середовища є не новою, але є все ж недостатньо вивченою областю досліджень. І на даний час триває пошук нових типів деструкторів вуглеводнів нафти і виявлення оптимальних умов їх ефективного використання. При деструкції нафти, що забруднює ґрунти, відбувається не просто зниження залишкового змісту, а й зміна фракційних складів, що обумовлено процесами перерозподілу нафти за ґрунтовим профілем. В умовах природного мікробіоценозу відбувається асиміляція різного ступеня різних фракцій нафти певними групами мікроорганізмів [6].

При реалізації біоремедіації з використанням біопрепаратів можуть виникнути обмеження та ускладнення, пов'язані з окремими нафтопродуктами, що входять до фракційного складу ґрунту. Це можуть бути вуглеводні, які слабо піддаються окисленню або токсичні для мікрофлори сірковмісні сполуки, представлені меркаптанами, сірководнем, сульфідами й похідними тіофена [7].

У результаті обробки нафтового забруднення біопрепаратами-нафтодеструкторами в навколишньому середовищі залишаються легкокорозійний бактеріальний білок, який не потребує подальшої утилізації, і нетоксичні продукти розкладання нафти. Продукти життєдіяльності бактерій є низькомолекулярними сполуками, а самі бактерії відмирають, даючи основу для формування гумусу (при використанні препарату для очищення ґрунту) або утворюючи донний мул (у разі застосування у воді) [8].

Огляд опублікованих даних показує, що мікроорганізми роду *Bacillus* мають високу стійкість до змін рН, температури, солоності та ефективні емульгуючі властивості при взаємодії з нафтовими вуглеводнями. Наприклад, використання галотолерантної морської бактерії *Bacillus licheniformis* LRK1 для перевірки її потенціалу виробництва біосурфактантів показав ефект емульгування нафти на 70%. Очищений в колонці біосурфактант аналізували за допомогою тонкошарової хроматографії (TLC) та інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є (FTIR), що підтвердило природу отриманого біосурфактанту у вигляді ліпопептиду. Гравіметричний метод показав 24,23% розкладання моторного масла через 21 день інкубації нафтодеструкторів [9]. На підставі результатів експериментів встановлено, що для підвищення ефективності біодеградації доцільно використовувати змішані культури, що складаються з двох і більше мікроорганізмів. Чітких критеріїв складання штучних асоціацій нафтодеструкторів досі не вироблено, і до складу біопрепаратів включають штами, відібрані за принципом їх сумісності та високої нафторозкладної активності [10].

Частка легких вуглеводнів у нафтовій суміші сильно варіюється між різними нафтовими родовищами, починаючи від 97% за вагою в легких нафтах до всього лише 50% у важких нафтах і бітумах. Вуглеводні у сирій нафті в основному є алканами, циклоалканами та різними ароматичними вуглеводнями, тоді як інші органічні сполуки містять азот, кисень і сірку, а також сліди металів, таких як залізо, нікель, мідь і ванадій. Точний молекулярний склад сильно змінюється від родовища до родовища, але частка більшості хімічних елементів коливається в досить вузьких межах. Подібні особливості дають змогу підбирати та виділяти консорціуми мікроорганізмів для кожного окремого родовища, що, в свою чергу, забезпечує найбільшу ефективність їхньої подальшої взаємодії [11].

Біопрепарат протестований на базі Екологічної лабораторії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Вони були створені на основі штамів мікроорганізмів *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* НШ-2, *Bacillus amyloliquefaciens* НШ-3 та *Bacillus subtilis* НШ-4. Дані мікроорганізми ізолювані з бурового шлам

Семиренківського газоконденсатного родовища Миргородського району Полтавської області. При цьому враховувалися фізіологічні, метаболічні та деструктивні властивості штамів, у результаті яких скомбінована асоціація здатна до деградації нафти та нафтопродуктів у широких діапазонах температур та рН.

Нині існує ряд сучасних методик оцінки токсичності ґрунту, але їх застосування зазвичай обмежене через їх високу трудомісткість та вартість. При цьому ефективний і відносно недорогий підхід до оцінки токсичності забруднених ґрунтів базується на застосуванні методів біотестування з використанням тест-систем. Біотестування спрямоване на оцінку загальної токсичної дії всього комплексу забруднюючих речовин за допомогою досліджуваних об'єктів. Основними перевагами методу є: наочність, зручність і простота експериментів, повторюваність і надійність результатів, економічність та об'єктивність [12]. Для виявлення токсичності ґрунту та водного середовища застосовують фітотести, в яких рослини здатні реагувати на забруднення, які фіксуються параметрами проростання насіння, швидкістю росту коренів та пагонів, тобто виступають як показники рівня токсичності ґрунту [13].

Розробка екологічних нормативів стосовно ґрунтів значно відстає від створення нормативів для інших середовищ (атмосфери, водних систем). Це пов'язано зі складністю та неоднорідністю об'єкта досліджень – ґрунт складається з чотирьох фаз: твердої, рідкої, газоподібної та біотичної. Ця властивість ґрунту, що відрізняє її від інших систем, багато в чому ускладнює нормування вмісту забруднюючих речовин у ґрунті та його адекватну екологічну оцінку [14].

Біологічні методи аналізу набули широкого поширення щодо визначення тих чи інших аспектів екологічного стану різних природних середовищ. Порівняно з хімічними методами аналізу, вони мають низку переваг, зокрема, здатність оцінювати кумулятивну дію набору забруднюючих речовин [15].

Але саме метод пророщування вищих рослин у забрудненому ґрунті дає найбільш чітку картину фітотоксичності при регулярному використанні біопрепарату. Взаємодія мікрофлори ґрунтів, нафтового забруднення та підбраного консорціуму мікроорганізмів-нафтодеструкторів показує більш повну картину при аналізі вегетаційного періоду тест-культур. А також в подальшому за допомогою використання більш складних методів, наприклад хроматографії, дозволяє оцінити фракційний склад ґрунту та зробити висновки, виходячи з розгорнутого комплексу зафіксованих параметрів [16].

Тому, враховуючи вищесказане, **мета дослідження** – визначення фітотоксичності зразків ґрунту, штучно забруднених нафтою, що піддавали

впливу нафтодеструкторів, за допомогою аналізу морфологічних показників рослин індикаторів.

Експеримент проводився в однакових пластикових склянках ємністю 180 мл. Проби нафтозабрудненого ґрунту (відповідну кількість нафти вносили у ґрунт до потрібної концентрації і перемішували) в однаковій кількості поміщали у склянки, після чого вирівнювали поверхню та зволожували однаковим (5 мл) об'ємом води. У підготовлені ґрунти висаджували насіння рослинних тест-систем в однаковій кількості. За основу оцінки токсичності ґрунту було обрано схожість рослин, висоту паростків та суху масу отриманої органічної речовини.

На перших етапах дослідження для визначення токсичності ґрунту використовувалося насіння редису «Сора», що пов'язано з високою чутливістю насіння до токсичних речовин [17].

У подальшому використовувалися різні рослинні тест-системи, а саме Суданська трава (*Sorghum bicolor subsp. Drummondii*), Тимофіївка лучна (*Phleum pratense*), Козлятник (*Galéga officinális*), Конюшина лучна (*Trifolium pratense*), Люцерна посівна (*Medicágo satíva*), Гірчиця польова (*Sinapis arvensis*).

Для забезпечення стабільних процесів нафтодеструкції біопрепарат вносили в кількості, розрахованій, виходячи зі сорбційної ємності зразків. Загальна маса кожного окремого зразка ґрунтосуміші складала ~70 грамів. Враховуючи умови навколишнього середовища, насамперед температуру (20-24°C) та освітлення (6000-9000 Люкс) полив біопрепаратом відбувався двічі на тиждень у різних концентраціях на різних етапах роботи. Між поливами біопрепаратом по мірі підсушування ґрунт зволожувався простою водою. Експеримент із насінням редису сорту «Сора» як первинний етап практичної роботи проводився протягом 26-ти діб. Для усіх інших тест систем дослідження проводилося протягом 12 повних тижнів.

Результати вимірювань оброблені методами математичної статистики як середнє $\pm$ стандартне відхилення. З метою виявлення пріоритетних факторів та оцінки закономірностей значень, що спостерігалися, проводили аналіз методом виявлення головних компонентів із використанням кореляційної матриці.

Біотестування проводилося в лабораторних умовах із використанням стандартної методики «Ростового тесту», що дало можливість виявити екологічну токсичність зразків забрудненого ґрунту, які зазнали впливу нафтодеструкторів у контрольованих та відтворюваних умовах [18].

Використання редису *Raphanus sativus var. sativus* у якості тест-системи проводилося у різних вибірках, які відрізнялися між собою як за рівнем забруднення нафтою та нафтопродуктами, так і за концентрацією біопрепарату.

Динаміка росту рослин біоіндикаторів у різних умовах забруднення ґрунту та за різної концентрації нафтодеструкторів відображена на рисунках 1 та 2.

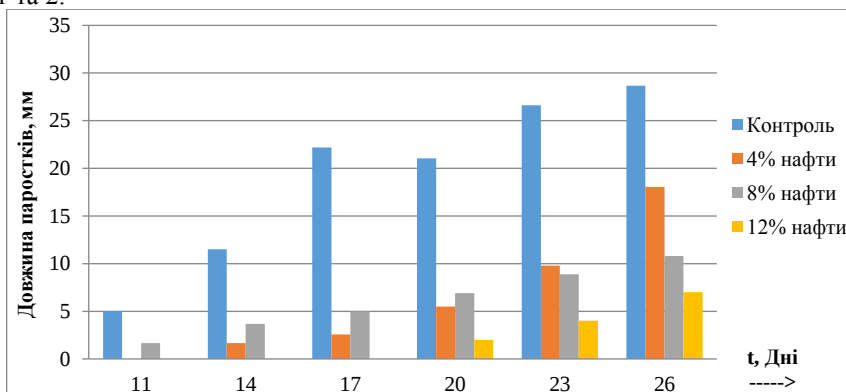


Рис. 1. Динаміка росту біоіндикатора в нафтозабрудненому ґрунті за використання 2% концентрату розчину мікроорганізмів-нафтодеструкторів

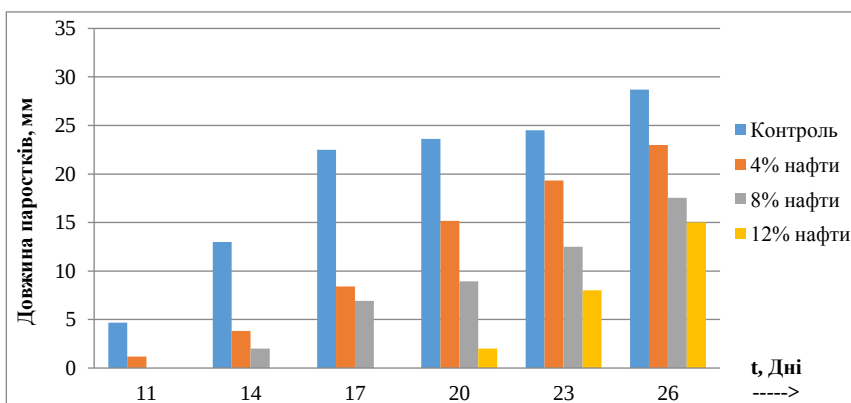


Рис. 2. Динаміка росту біоіндикатора в нафтозабрудненому ґрунті за використання 4% концентрату розчину мікроорганізмів-нафтодеструкторів

Проростання перших паростків зафіксовано в контрольних групах на 10-11 день експерименту. У склянках із високою концентрацією нафти проростання відбулося пізніше, на 12-13 день експерименту, відразу після 4-го поливу концентратом розчину на основі штаму *Bacillus amyloliquefaciens*

ssp. plantarum. При цьому у нафтозабрудненому ґрунті без використання нафтодеструкторів стабільно відбуваються процеси зів'янення, паростки вище 3-4 мм не проростають. Спостерігається пригнічення ростових процесів у всіх контрольних групах від 4 до 16% концентрації нафти (таблиця 1).

Таблиця 1. **Середньостатистична висота рослин на кінець експерименту (за групами), мм**

Концентрація розчину біопрепарату, %	Концентрація нафти, %				
	0	4	8	12	16
0	28,71 ± 3,97	-	-	-	-
2	-	18,06 ± 3,57	14,80 ± 1,93	15	-
4	28,66 ± 4,45	22,99 ± 3,74	17,54 ± 2,28	7,00 ± 0,72	-

Забруднення ґрунту нафтою без використання розчину спричинило більш негативний вплив на ріст на розвиток рослин індикаторів, ніж забруднення з використанням мікроорганізмів *Bacillus amyloliquefaciens* при тих самих дозах нафти (таблиця 2). Процеси зів'янення в умовах нафтового забруднення відбувалися навіть при використанні біопрепарату нафтодеструкторів, але кількість зафіксованих випадків, у порівнянні з контрольною вибіркою, значно менше.

Таблиця 2. **Фітотоксичний ефект нафтозабрудненого ґрунту з використанням нафтодеструкторів, %**

Концентрація розчину біопрепарату, %	Концентрація нафти, %			
	4	8	12	16
0	96,04	96,38	97,06	100
2	44,68	63,57	85,52	100
4	21,86	27,91	61,40	100

Присутність статистично достовірної різниці між середніми значеннями біопараметра у контрольному та досліджуваних варіантах свідчить про значні зміни ростових процесів у біоіндикаторів (редису сорту «Сора»).

Площа поверхні землі в кожній склянці складає однакові 0,02123 дм². Враховуючи кількість отриманої органічної речовини, спостерігаємо стабільне збільшення урожайності з підвищенням концентрації розчину від 2% до 4% в усіх протестованих варіантах.

За результатами біотестування нафтозабруднених ґрунтів, встановлено, що дози внесення нафти 4 та 8% не чинили гострої токсичної дії на рослини за умови використання 4% біопрепарату нафтодеструкторів. Достовірний рівень пригнічення склав 21,86% і 27,91%, відповідно. Істотне зменшення концентрації нафти отримується через поліфункціональність протестованих нафтодеструкторів. Виражені емульгуючі, антифунгальні та ростостимулюючі властивості наряду зі здатністю до окислення вуглеводнів знижують фітотоксичність ґрунту до прийнятного для росту рослин рівня. Емульгування (солюбілізація) вуглеводнів за допомогою секретованих мікроорганізмами речовин покращує надходження забруднювачів з ґрунту в мікробні клітини і сприяє їх деградації. Антифунгальний та ростостимулюючий ефект полягає в антагоністичній дії по відношенню до патогенних і умовно патогенних мікроорганізмів, профілактиці та лікуванні мікотоксикозів і захисту рослин від фітопатогенних грибів. Ферменти мікроорганізмів, які здійснюють деградацію вуглеводнів, відносяться до класу змішаних функцій оксидоредуктаз (оксигеназ) і пов'язані з мембранними структурами клітин самих бактерій. Оксигенази каталізують включення одного атома кисню з його молекулярної форми в кінцеву метильну групу вуглеводню з подальшою деградацією його фітотоксичних властивостей включно.

Мікроорганізми секретують у навколишнє середовище різні біологічно активні речовини, в тому числі цитокініни; таким чином, біомаса цих мікроорганізмів може грати роль ефективного біологічного добрива, що стимулює розвиток всієї мікробіоти в нафтозабрудненому об'єкті. Якщо зіставити результати обліку біомаси рослин індикаторів [19], що вирощуються в умовах польового досвіду на нафтозабруднених ґрунтах з даними біотестування (таблиця 3), то ніяких принципових протиріч не виявляється. Тобто дослідження продуктивності ґрунту, забрудненого різними дозами нафти, за врожайністю наземної біомаси трав в умовах польового досвіду підтверджує результати лабораторного дослідження з визначення токсичності цих ґрунтів методом біотестування.

Виходячи з результатів попередніх досліджень, для подальшої роботи була обрана концентрація біопрепарату на рівні 4%. Подібна кількість мікроорганізмів-нафтодеструкторів надавала ґрунту найкращі ростостимулюючі властивості, не зважаючи на забруднення нафтою. У такій кількості біопрепарат не мав негативного впливу на ріст рослин та отриману масу органічної речовини.

В екотоксикологічному аналізі досліджувалися наступні тест-параметри: проростання насіння, висота пагонів, довжина коріння та маса органічної речовини. Результати фітотестування забруднених ґрунтів під впливом біопрепарату порівнювалися з результатами контролю ідентичних рослин в умовах відсутності забруднення.

Таблиця 3. Середньостатистичні результати проростання насіння на кінець експерименту, мм

Рослинна тест-система	Масове співвідношення нафтошламу та незабрудненого ґрунту					
	Контроль		1:1		2:1	
	Висота пагонів	Довжина коренів	Висота пагонів	Довжина коренів	Висота пагонів	Довжина коренів
<i>Sorghum bicolor subsp. Drummondii</i>	120.16 ± 19.07	95.79 ± 10.68	62.54 ± 8.40	71.27 ± 5.35	34.96 ± 5.70	42,59 ± 7.37
<i>Phleum pratense</i>	104.64 ± 13.75	81.87 ± 6.29	72.76 ± 9.62	60.18 ± 7.34	-	-
<i>Galéga officinális</i>	112.35 ± 20.92	94.16 ± 8.13	85.09 ± 15.72	70.97 ± 11.26	14.71 ± 3.19	31.79 ± 5.42
<i>Trifolium pratense</i>	92.08 ± 23.52	85.97 ± 18.60	43.82 ± 10.07	45.95 ± 9.52	-	-
<i>Medicágo satíva</i>	79.61 ± 12.24	98.49 ± 14.87	37.71 ± 7.96	59.67 ± 12.75	-	-
<i>Sinapis arvensis</i>	74.36 ± 10.77	68.59 ± 7.04	56.31 ± 8.78	49.32 ± 6.69	20.93 ± 3.37	35.42 ± 6.48

Проростання перших паростків зафіксовано в контрольних групах як на 3-4, так і на 9-10 дні експерименту. У склянках з високою концентрацією нафти проростання відбулося пізніше, на 6-7 та 14-15 дні, відповідно. Потрібно відмітити, що інтенсивність проростання значно змінювалася у дні поливу біопрепаратом, такі результати підтверджують його ростостимулюючі властивості.

Реакції тест-систем виявлялися на різних етапах проведення експерименту, в залежності від характеру та інтенсивності забруднення. На Рисунку 3 показано, що у рослин, вирощених у ґрунтах, забруднених нафтою, було виявлено певні зміни у лінійних розмірах коріння, надземної частини. Наприклад, якщо у контролі довжина надземної частини *Sorghum bicolor subsp. Drummondii* у віці 84 доби становила 120 мм, то у варіанті з 50% забрудненням нафтошламом від ваги ґрунту довжина рослини була лише 62 мм.

Кожна окрема тест-система виявила різну стійкість до забруднення нафтошламом, а також на вплив біопрепарату. Аналіз показників схожості насіння, кількості паростків, лінійних розмірів стебел і коренів, ваги

отриманої органічної речовини, тобто загальної продуктивності росту рослин у лабораторних умовах дозволив встановити взаємозв'язок різних рівнів забруднення нафтою та впливу на рівень забруднення тестового біопрепарату. Так, при співвідношенні маси нафтошламу до незабрудненої частини 4:1 у лабораторних умовах, не проросло жодного насіння рослин.

При нижчих показниках забруднення найбільш стабільні процеси проростання відбуваються із застосуванням *Sorghum bicolor subsp. Drummondii* та *Sinapis arvensis* у якості біотестів (таблиця 4). Але враховуючи, що це єдині з протестованих культур, які проростали навіть при відсутності біопрепарату, можна зробити висновок про меншу чутливість вказаних рослин до нафтового забруднення.

Таблиця 4. **Фітотоксичний ефект забрудненого ґрунту при використанні нафтодеструкторів, %**

Рослинна тест-система	Співвідношення кількості нафтошламу до масової частки незабрудненого ґрунту		
	1:1	2:1	4:1
<i>Sorghum bicolor subsp. Drummondii</i>	26.45	71.91	100
<i>Phleum pratense</i>	14.92	100	100
<i>Galéga officínalis</i>	19.86	81.05	100
<i>Trifolium pratense</i>	46.73	100	100
<i>Medicágo satíva</i>	48.16	100	100
<i>Sinapis arvensis</i>	24.32	70.27	100

Масова загибель молодих рослин через деякий час після їх проростання у нафтозабрудненому ґрунті, зазначена в нашому експерименті, також спостерігалася багатьма авторами [20-21]. Цей ефект не пов'язаний з погіршенням фізичних властивостей нафтозабрудненого ґрунту, оскільки він відзначається і при внесенні у ґрунт із нафтою композитних сумішей, що відновлюють промивний та повітряний режим ґрунту [22]. Іншим поясненням може бути повільне проникнення в рослини вуглеводнів нафти, які зрештою викликають його пригнічення та загибель. Період первинної токсичної дії при нафтовому забрудненні не такий тривалий, тому що він обумовлений легкими фракціями вуглеводнів, які відносно швидко руйнуються використаними мікроорганізмами нафтодеструкторами.

У даному випадку в період проростання та початку росту рослин відбувається значна кількість загибелі паростків. Наприклад, для *Sorghum bicolor subsp. Drummondii* кількість зів'ялих рослин у середньому складає 10-14 штук при тому, що проросли у кожному окремому випадку не більше 30. Отримані результати є достовірними оскільки ефект повторювався в

десятьках обраних проб в ідентичних умовах, с десятками рослин у кожній окремій пробі ($p=0.05$). Подібні результати проростання спостерігаються для усіх тест-культур, окрім *Galéga officinális*. У даному випадку загинули молодих рослин не відбувається і паростки, що прийнялися – продовжують рости, не виявляючи процесів зів'язнення. Хоча при цьому, як видно з графіків, вегетаційний період *Galéga officinális* все одно піддається значному фітотоксичному впливу і процеси росту та розвитку інгібуються поллютантами, присутніми у зразках.

Треба зазначити, що найбільш стійким до фітотоксичного впливу при вмісті 50% нафтошламу у досліджених зразках є *Phleum pretense*, хоча при подальшому підвищенні забруднення – ростових процесів даної біоіндикаторної рослини не відбувається взагалі. Це може свідчити про високу чутливість *Phleum pretense* до приближення граничних концентрацій нафтозабруднення. З одного боку, подібна чутливість може слугувати ефективним контролем процесів фітостимуляції, тобто розвитку симбіотичних організмів, які беруть участь у процесах очищення ґрунту. Але, з іншого боку, відсутність ростових процесів знижує ефект різодеградації (мікробіологічної деструкції у кореневій зоні рослин).

Паралельне тестування з використанням розчину показує значне зменшення негативного ефекту від забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами. Контрольованим показником є дані вимірювань ростових процесів тест-культур під час вегетаційного періоду. Вони свідчать, що навіть при ступені забруднення нафтошламом 50% та при використанні біопрепарату в концентрації 4% зразки ґрунтів були лише помірно токсичні для рослин-індикаторів. У подальшому був проведений порівняльний хроматографічний аналіз ступеня деградації нафтопродуктів у ґрунті мікробіологічним консорціумом у поєднанні з різними рослинними тест-культурами.

У ході експерименту протягом перших 10-14 днів спостерігався значний відсоток загибелі молодих рослин внаслідок фітотоксичного впливу забрудненого ґрунту. При цьому після декількох тижнів регулярного поливу розчином нафтодеструкторів загинули тест-культур у зразках припинялася. Подібний результат показує необхідність проведення подальших досліджень з попереднім внесенням біопрепарату до ґрунту з метою зменшення первинної токсичності.

Забруднений нафтою ґрунт без використання розчину біопрепарату спричиняв більший негативний вплив на ріст та розвиток рослин-індикаторів, ніж зразки, де був використаний розчин біопрепарату при тих самих дозах нафти. Такі дані свідчать про позитивний вплив мікроорганізмів *Bacillus* на процеси деградації нафти.

Дослідження показали ефективність використання біопрепарату на основі штаму *Bacillus amyloliquefaciens* ssp. *plantarum* для оздоровлення ґрунту. Основна роль представленого штаму нафтодеструкторів – ферментативне окислення нафтопродуктів, з подальшим зниженням фітотоксичності забрудненого ґрунту, навіть при високих (12%) концентраціях нафти.

На наступному етапі експерименту проведено хроматографічне дослідження ступеня деструкції нафти у ґрунтових зразках внаслідок впливу мікроорганізмів-деструкторів роду *Bacillus*, результати якого в подальшому будуть оброблені та проаналізовані для розробки технології біоре mediaційного відновлення ґрунту.

Використані інформаційні джерела:

1. Литвиненко В. С., Козлов А. В., Степанов В. А. Углеводородный потенциал Урало-Африканского трансконтинентального нефтегазо-носного пояса // Журнал нефти «Технология разведки и добычи». 2017. №17. С. 1–9.
2. Шестопалов О. В. Охорона навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами : навч. посіб. Харків : НТУ «ХП», 2015. 116 с.
3. Дуброва О. А., Пятчанин С. В. Технология биологической обработки, обезвреживания и утилизации нефтеполлютантов и нефтешламов. Топнефтегаз. 2013. №5(13). С. 22–27.
4. Філонов А. Е. Мікробні біопрепарати для очищення навколишнього середовища від нафтових забруднень в умовах помірного і холодного клімату. Пушино, 2016. 453 с.
5. Shevchuk L. The optimal way of biological cleaning of oil-contaminated soils. Mediterranean Journal of Biosciences. 2016. №1(3). P. 109–113.
6. Ossai I. C., Ahmed A., Hassan A. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. Environmental Technology & Innovation. 2019. №17. P. 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
7. Wang X., Wang Q., Wang S. Effect of biostimulation on community level physiological profiles of microorganisms in field-scale biopiles composed of aged oil sludge. Bioresource Technology. 2012. №111. P. 308–315.
8. Брянская А. В., Уваров Ю. Е., Слынько Н. М. Теоретические и практические аспекты проблемы биологического окисления углеводородов микроорганизмами. Генетика, селекция. 2014. №4/2. С. 999–1012.
9. Nayak N. N., Purohit M. S., Tipre D. R., Dave S. R. Biosurfactant production and engine oil degradation by marine halotolerant *Bacillus licheniformis* LRK1. Biocatal. Agric. Biotechnol. 2020. №29. P. 71–78.

10. Bhaskar S., Supriyo R., Kaushik K. Bioremediation of oily sludge: A case base analysis to supply chain. Resources, Environment and Sustainability. 2020. №2, P. 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2020.100008>
11. Бахоніна Є. І., Арсланова Л. М., Гамерова Л. М. Деструкція нафтозабруднень ґрунтів із застосуванням спеціального комплексу мікробних біопрепаратів. Нафтогазова справа. 2013. № 4. С. 415–423.
12. 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.
13. Гродзинський Д. М., Шиліна Ю. В., Куцоконь Н. К. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи. Фітосоціоцентр. 2006. №4(12). 60 с.
14. Грицак Л. Р. Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля. Тернопіль : Географія, 2017. №2. С. 153–165.
15. Романюк О. І., Шевчик Л.З., Ощиповський І.В., Жак Т.В. Методика екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2016. №24(2). С. 264–269.
16. Ziolkowska A., Wyszowski M. Toxicity of petroleum substances to microorganisms and plants. Ecological Chemistry and Engineerings. 2010. №17. P. 73–82.
17. Бакіна Л. Г., Бардіна Т. В., Маячкіна Н. В. До методики фітотестування техногенно забруднених ґрунтів. Дніпро : КНЦ РАН, 2004. С. 167–169.
18. Джура Н. М. Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів. Studia Biologica. 2011. №3. С. 183–196.
19. Степанова А. Ю., Орлова Е. В., Терешонок Д. В., Долгих Ю. И. Получение трансгенных растений люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) для повышения эффективности фиторемедиации нефтезагрязненных почв. Экологическая генетика. Т. XIII. 2015. С. 127–135.
20. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. Гаудеамус. 2007. №11. 237 с.
21. Sunita J. Varjani, Vivek N. Upasani. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. International Biodeterioration & Biodegradation. 2017. №120. P. 71–83.
22. Han G., Cui B. X., Zhang X. X., Li K. R. The effects of petroleum-contaminated soil on photosynthesis of *Amorpha fruticosa* seedlings. International Journal of Environmental Science and Technology. 2016. №13. P. 2383–2392.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ

Бордун І. М., Мальований М. С., Нагурський Н. О. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗМІНИ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ З ВІДХОДІВ БІОСИРОВИНИ.....	6
Голік Ю. С., Чепурко Ю. В., Смоляр Н. О. ПОКАЗНИКИ ЛІСИСТОСТІ ТА ЗАПОВІДНОСТІ ТЕРИТОРІЙ ЯК ОДНІ З БАЗОВИХ ІНДИКАТОРІВ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	21
Зав'ялова Л.В., Протопопова В.В., Панченко С.М., Смаголь В.О., Коломійчук В.П., Кучер О.О., Шевера М.В. СИНАНТРОПІЗАЦІЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ УКРАЇНИ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ.....	31
Каменева І. П., Артемчук В. О., Попов О. О., Яцишин А. В., Кириленко Ю. О. КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ РИЗИКІВ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ.....	53
Клок С. В., Корнус А. О., Корнус О. Г., Данильченко О. С. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙНИХ ЗМІН МІНІМАЛЬНОЇ ДОБОВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ФОНІ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ.....	67
Кремньов В. О., Тимошенко А. В., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г. НАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ НЕСТАЧІ БІОДОБРІВ У РОСЛИННИЦТВІ, НАКОПИЧЕННЯ ОСАДІВ НА КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ, ЇХ ПРИЧИНИ І КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО УТИЛІЗАЦІЇ ВОЛОГОЇ БІОМАСИ.....	77
Некос А. Н., Головка М. П., Головка Т. М., Васюха О. ПРОБЛЕМИ ПРОДОВОЛЬНОЇ КРИЗИ ТА ЕКОБЕЗПЕКА У СИСТЕМІ «FARM TO FORK».....	87
Паньків Н. Є. ЗЛОЧИНИ ПРОТИ ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІ.....	99
Сідашова С. О., Роман Л. Г., Улизько С. І., Попова І. М., Ясько В. М. МОДЕЛЬ ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО СКРИНІНГУ КОРМОВОЇ БАЗИ ДЕМОНСТРАЦІЙНОЇ ПАСІКИ.....	114

<i>Тищенко В. О., Пруський А. В., Єременко С. А., Сидоренко В. Л., Скоробазатко Т. М.</i>	
ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ ТА МЕТОДИ ЇХ ЛІКВІДАЦІЇ В УКРАЇНІ У 2020 РОЦІ.....	129
<i>Трохименко Г. Г., Недорода В. М., Степова О. В.</i>	
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ <i>BACILLUS SUBTILIS</i> ПРИ БІОРЕМЕДІАЦІЇ НАФТОЗАБРУДЕНИХ ҐРУНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БІОТЕСТУВАННЯ.....	133

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЙ

<i>Radomska M. M., Burlo Y. V.</i>	
DISTRIBUTED ENERGY SYSTEMS IN URBAN CONDITION – CASE STUDY OF CHERKASY.....	147
<i>Аблєєва І. Ю.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ ДЛЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	156
<i>Артемчук В. О., Кириленко Ю. О., Каменева І. П., Попов О. О., Ковач В. О., Яцишин А. В.</i>	
ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ.....	168
<i>Барун М., Кот А.</i>	
РОЗВИТОК БІОГАЗОВОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВІДХОДІВ СВИНОКОМПЛЕКСУ.....	179
<i>Бєлоконь К. В., Гордієнко Д. Р.</i>	
ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ЗАПОРІЖЖЯ ВИКИДАМИ ЗВАЖЕНИХ ЧАСТОК ПИЛУ ВІД СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	194
<i>Бредун В. І.</i>	
МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ РЕГІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ.....	208
<i>Ващенко В. М., Скалозубов В. І., Комаров Ю. О., Кордуба І. Б., Гриб В. Ю.</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ АВАРІЇ З ТРИВАЛИМ ЗНЕСТРУМЛЕННЯМ НА ЕНЕРГОУСТАНОВКАХ ІЗ ВВЕР.....	218
<i>Ганошенко О. М.</i>	
АНАЛІЗ СТАНУ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА ДИНАМІКИ ЗАХВОРЮВАНOSTІ.....	231

Наукове видання

**ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ ДЛЯ
ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ – 2022**

Колективна монографія

Рекомендовано до друку вченими радами Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» та
Національного університету «Львівська політехніка»

Технічне редагування – Н.О. Смоляр

Видавець «ФОП Середняк Т.К.», 49000, Дніпро, 18, а/с 1212
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК №
4379 від 02.08.2012.

Ідентифікатор видавця в системі ISBN 8111
49000, Дніпро, 18, а/с 1212
тел. (096)-308-00-38, (056)-798-04-00
E-mail: 7980400@gmail.com

