

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЧЕРНЯК ЛАРИСА МИКОЛАЇВНА



УДК 351:502.17:502.521]:656.71(043.5)

**НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ
БЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ У ЗОНІ ВПЛИВУ АЕРОПОРТУ**

Спеціальність 21.06.01 «Екологічна безпека»

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Вінниця 2024

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі екології Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки України

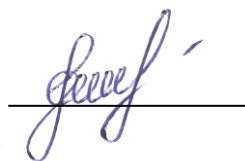
Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, професор
Петрушка Ігор Михайлович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екологічної безпеки та
природоохоронної діяльності.
Доктор технічних наук, професор
Яковишина Тетяна Федорівна,
Національний технічний університет «Дніпровська
політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри екології та технологій захисту
навколишнього середовища.
Доктор технічних наук, доцент
Черниш Єлизавета Юріївна,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій

Захист відбудеться «14» лютого 2025 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.07 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, Україна, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

Із дисертацією можна ознайомитися на офіційному сайті Інституту докторантури та аспірантури <https://ida.vntu.edu.ua/uk/zahyst/> та в Науково-технічній бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, Україна, м. Вінниця, вулиця Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Олена СІКОРСЬКА
(ім'я, прізвище)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Розвиток авіаційної галузі супроводжується підвищенням рівня техногенного навантаження на території авіапідприємств та на прилеглій території. Спостерігаються порушення екологічного стану ґрунтів територій, що прилягають до цих підприємств, що є наслідком зростання техногенного навантаження унаслідок забезпечення авіатранспортних процесів. Для таких авіаційних підприємств, як аеропорти характерний вплив їхньої діяльності на усі компоненти довкілля залежно від інтенсивності технологічних процесів, що використовуються. Серед основних забруднювальних речовин, наявність яких встановлена в ґрунтах на території аеропортів та на прилеглій території, найбільшими кількісними показниками характеризуються нафтопродукти та важкі метали. На сьогодні розроблено нормативно-технічні документи та правила, спрямовані на оцінювання рівня екологічної безпеки атмосферного повітря, поверхневих та стічних вод цих підприємств. Проте не існує дієвого чітко сформованого механізму із гарантування екологічної безпеки ґрунтів на території авіапідприємств та на прилеглих територіях. Водночас, відповідно до Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» сучасне користування земельними ресурсами України не відповідає принципам раціонального природокористування, а їхній стан перебуває на межі критичного. Серед основних завдань цілі № 4. цього Закону, а саме «Зниження екологічних ризиків з метою мінімізації їх впливу на екосистеми, соціально-економічний розвиток та здоров'я населення» є покращення якості ґрунтів та впровадження ефективної системи підвищення їх родючості. Це завдання актуальне для територій, що прилягають до аеропортів та інших авіаційних підприємств і перебувають у зоні впливу техногенної діяльності підприємств, що призводить до порушення їх екологічного стану.

На сьогодні відсутній комплексний підхід, що враховував би особливості забруднення ґрунтів на цих територіях та особливості поширення хімічного забруднення за межі даних підприємств.

Проблему екологічної безпеки ґрунтів досліджували такі вчені, як: Г.М. Франчук, О.М. Міхеєв, В.Г. Петрук, Р.В. Петрук, Л.Д. Пляцук, І.М. Петрушка, Т.Ф. Яковичина, Є.Ю. Черниш, О.А. Улицький, В.М. Шмандій, Т.І. Білик, Радомська М.М. та ін. Оцінюванням екологічного стану ґрунтів у зоні впливу техногенних об'єктів та застосуванням технологій фіторемедіації для відновлення займались А.І. Горова, А.В. Павличенко, Н.В. Джура, І.Ю. Аблєєва та ін. Дослідженням питань екологічної безпеки аеропортів присвячені праці: О.І. Запорожця, С.М. Маджд, Ісаєнка В.М., В.А. Токарева, Г.А. Кучука, К.В. Синило, К.І. Кажан, Sharmila Ray, L.M. Nunes, Y.-G. Zhu, Stacey B. та ін. Варто відзначити, що, незважаючи на значний внесок цих досліджень, питання зменшення негативного техногенного впливу на екологічний стан ґрунтів у межах авіапідприємств та прилеглих територій залишається актуальним.

У зв'язку з цим дисертаційна робота спрямована на розв'язання актуальної науково-практичної проблеми, пов'язаної із забезпеченням екологічної безпеки ґрунтів на територіях техногенних об'єктів авіаційної галузі та на прилеглих

територіях завдяки удосконаленню системи екологічного моніторингу стану ґрунтів та впровадження високоефективних технологій відновлення порушених внаслідок техногенного навантаження ґрунтів у зоні впливу аеропортів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження проводилося відповідно до «Національним планом дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року» та у рамках виконання науково-дослідних робіт у Національному авіаційному університеті МОН України: «Визначення рівнів впливу техногенних чинників на навколишнє природне середовище за об'єктом «Будівництво аеродрому Міжнародного аеропорту Дніпропетровськ»» (ДН-21/04-20 від 13.04.2020 р.); науково-дослідних тематик «Методологічні основи біотестування середовища, забрудненого продуктами експлуатації авіаційних підприємств» (№ ДР 0121U110271) та «Відновлення екосистем, порушених унаслідок воєнних дій та інших антропогенних впливів» (№ ДР 0123U101252), у яких здобувачка була виконавцем, науковим керівником та відповідальним виконавцем відповідно; а також міжнародного грантового проєкту №621138-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-MODULE «Європейська інтеграція екологічних стандартів для цивільної авіації в умовах сталого розвитку» за підтримки Європейського Союзу, де автор є науковим керівником.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи – розроблення науково-методологічних засад підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів в зоні впливу аеропортів за рахунок застосування комплексного еколого-технологічного рішення.

Для досягнення поставленої мети визначені і виконані такі **завдання** досліджень:

- ✓ проаналізувати основні джерела та наслідки техногенного впливу на екологічний стан ґрунту на території аеропортів та на прилеглій території та встановити можливі шляхи підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів на даних територіях;
- ✓ провести моніторинг стану ґрунту на території прилеглій до аеропорту та на території об'єкту зберігання авіаційного палива з використанням біотестування та фізико-хімічних методів;
- ✓ визначити взаємозв'язок між екологічним станом ґрунту на території прилеглій до аеропорту та рівнем забруднення ґрунту нафтопродуктами;
- ✓ визначити залежність морфологічних параметрів тест-рослин від концентрації різних видів нафтопродуктів у ґрунті;
- ✓ розробити методики оцінки впливу гіпертермічної обробки насіння салату та хімічного забруднення ґрунту на морфологічні показники проростків та вдосконалити методики біотестування ґрунту на техногенно навантажених територіях з використанням гіпертермічної обробки насіння тест-росли;
- ✓ дослідити вплив різних видів нафтопродуктів на ферментативну здатність порушеного, внаслідок хімічного забруднення ґрунту та визначити ефективність методу фіторе mediaційного відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами;
- ✓ удосконалити технології фіторе mediaції ґрунту, забрудненого нафтопродуктами з використанням біоінженерної системи, розробка та

обґрунтувати загальні засади впровадження технології відновлення екологічного стану ґрунту, забрудненого нафтопродуктами;

- ✓ розробити методологічні засади реалізації системи моніторингу екологічного стану ґрунту для забезпечення відновлення деградованих ґрунтів на територіях аеропортів та прилеглих зонах, що зазнали техногенного навантаження.

Об'єкт дослідження – процеси підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів в зоні впливу аеропортів.

Предмет дослідження – закономірності зміни показників рівня забруднення ґрунтів (нафтопродуктами та важкими металами).

Ідея роботи полягає у зниженні негативних наслідків техногенного впливу діяльності аеропортів на екологічний стан ґрунтів для забезпечення екологічної безпеки ґрунтів в зоні впливу цих підприємств.

Методи дослідження. Методологічною основою для вирішення поставлених завдань дослідження є комплексний підхід, який включає використання методів аналізу, узагальнення науково-технічних досягнень і вивчення літературних джерел за темою дослідження; методів біотестування з використання рослинних тест-систем; польових досліджень ефективності фіторе mediaції ґрунтів, забруднених нафтопродуктами; методів розрахунку для визначення кількісних показників, що використовуються для оцінки та прогнозування екологічного стану ґрунтів; математичної теорії планування експериментів і математичної статистики для оброблення результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку науково-методологічних засад підвищення рівня екологічної безпеки ґрунту в зоні впливу аеропорту, що враховують закономірності впливу декількох чинників на процес трансформації їх екологічного стану та їх здатність до самовідновлення.

З огляду на це:

уперше:

- створено науково-методологічні засади необхідності врахування виду нафтопродукту при нормуванні впливу нафтопродуктів на ґрунти, отримано залежності «ОДК нафтопродукту – рівень фітотоксичності ґрунту» для різних типів нафтопродуктів, що дає змогу отримувати інформацію про стан ґрунту при дії різних компонентів нафтопродуктів та є науковою основою для удосконалення методів біотестування;
- доведено можливість гормезисної дії певних концентрацій нафтових вуглеводнів, що входять до складу різних видів нафтопродуктів, на тест-рослини, що призводить до зниження точності здійснення екологічного моніторингу стану ґрунту на техногенно навантажених територіях з використанням методів біотестування;
- доведено, що застосування сенсibiliзуючого ефекту гіпертермії за часу обробки 5 хв при 60 °C на тест-рослини забезпечує адекватне визначення екологічного стану ґрунту, забрудненого хімічною речовиною, що здатна сама по собі зумовлювати гормезисний ефект на морфологічні характеристик рослини, та дає можливість визначати рівень їх екологічної безпеки і є

науково-методологічною основою для удосконалення методів біотестування ґрунтів, забруднених нафтопродуктами;

- обґрунтовано технічне рішення, щодо застосування біоінженерної системи, що дозволяє забезпечувати підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, в залежності від виду палива.

удосконалено:

- методику біотестування ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, що дозволило врахувати при здійсненні екологічного моніторингу стану ґрунту, ефект гормезисного впливу хімічного забруднення на тест-рослини;
- технологію фіторемедіації ґрунтів, порушених внаслідок техногенної діяльності, що дозволило знизити загальний екологічний ризик для населення, що проживає поряд з аеропортом.

набуло подальшого розвитку:

- науково-методологічні засади застосування модифікованого (шляхом гіпертермічної обробки насіння тест-рослин) методу біотестування забруднення ґрунтів, що підвищило ефективність (чутливість) даного методу при використанні його в системі екологічного моніторингу стану ґрунту на техногенно навантажених територіях;
- науково-теоретичні підходи до вирішення проблем забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених територій аеропортів, зокрема, щодо розроблення комплексу науково обґрунтованих заходів із моніторингу екологічного стану ґрунту на підставі результатів математичного моделювання процесу поширення забруднення у залежності від відстані від аеропорту, що у свою чергу, сприяє покращенню екологічної обстановки території навколо техногенно небезпечного підприємства;
- науково-практичні підходи до створення технології фіторемедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами на основі інформації про ферментативні механізми перетворення компонентів нафтопродуктів із використанням отриманих експериментальних даних, що призводить до підвищення ефективності застосування даної технології за умов забруднення різними видами нафтопродуктів.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропоновано методику визначення чутливості біотесту до токсичної дії нафтопродуктів, що створює науково-практичне підґрунтя для удосконалення методики біотестування ґрунтів, забруднених хімічними речовинами, що можуть мати гормезисний вплив на ростові параметри тест-рослин. Розроблено спосіб пророщування насіння з використанням ефекту гіпертермії, який придатний для використання у процесі дослідження енергії проростання тест-рослин. Отримано патент України на корисну модель.

2. Удосконалено методику біотестування ґрунтів, забруднених нафтопродуктами та іншими хімічними забрудненнями, що забезпечує підвищення рівня їх екологічної безпеки унеможливаючи вплив адаптації біотесту до токсичної дії хімічного забруднення.

3. Удосконалено технологію фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів з використанням науково обґрунтованої конструкції. Запропонована інженерна

система забезпечує підвищення екологічної безпеки й зниження впливу на довкілля від техногенної діяльності аеропортів та призначена для ефективного очищення ґрунту, забрудненого нафтопродуктами у разі аварійних розливів.

4. Розроблено практичні рекомендації з моніторингу екологічного стану ґрунту на авіатранспортних підприємствах та на прилеглих територіях, що сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки цих територій.

5. Апробовано практичні рекомендації з контролю екологічного стану ґрунту на авіатранспортних підприємствах та на прилеглих територіях на ТОВ «Хелмкойл Україна» шляхом упровадження цих практичних рекомендацій, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки ґрунтів на території авіатранспортного підприємства та на прилеглій території (акт упровадження від 26.06.2023 р.).

6. Упроваджено у практичну діяльність ТОВ «ПАСПОЛ» біоінженерну систему відновлення ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки ґрунту на техногенно навантаженій території (акт упровадження від 23.05.2024 р.).

7. Упроваджено результати дисертаційних досліджень в навчальний процес кафедри екології Національного авіаційного університету для студентів спеціальності 101 «Екологія» під час викладання дисципліни «Відновлення порушених екосистем» у вигляді технології фіторе mediaції ґрунтів на техногенно навантаженій території (акт упровадження від 23.10.2023 р.) і удосконаленої методики біотестування ґрунтів на техногенно навантажених територіях під час викладання дисципліни «Біоіндикація та біотестування» (акт упровадження від 17.11.2023 р.).

Особистий внесок здобувача Завдання полягає в аналізі стану проблеми, обґрунтуванні положень дисертаційної роботи, визначенні завдань і програм досліджень, розробці принципів екологічної безпеки ґрунтів на техногенно навантажених територіях аеропортів і прилеглих зон, участі в експериментальних дослідженнях та обробці їх результатів, узагальненні отриманих даних, прогнозуванні змін екологічного стану порушених ґрунтів, формулюванні висновків, а також створенні пілотної біоінженерної системи фіторе mediaції ґрунтів, забруднених різними типами нафтопродуктів.

У дисертації також було використано результати спільних праць із Горобцовим Інокентієм Владиславовичем (здобувачка є науковою керівницею), тема дисертаційної роботи: «Розробка методики оцінки орнітологічного ризику для контролю екологічної ситуації в зоні впливу аеропорту».

Апробація результатів дисертації. Основні положення теоретичних та практичних досліджень за напрямом дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і були схвалені на 39 наукових конференціях, симпозіумах та конгресах різних рівнів, а також опубліковані у відповідних наукових виданнях, серед них: Aviation in the XXI-st century “Safety in aviation and space technologies”: The world congress (Kyiv, 2022); II міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (Львів, 2015, 2018); Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні проблеми енергетики та екології» (Одеса, 2016); Міжнародна науково-практична конференція «ABIA» (Київ, 2021); XI Всеукраїнська науково-практична

конференція студентів та молодих вчених «Екологічна безпека держави» (Київ, 2015, 2016, 2017, 2021, 2023, 2024); International Symposium on Sustainable Aviation (Kyiv, 2017); IX International Scientific-Technical Conference «Advance in Petroleum and Gas Industry and Petrochemistry» (Lviv, 2016, 2018, 2022, 2024); International Symposium on Sustainable Aviation (Roma, Italy, 2018); International Symposium on Sustainable Aviation (Budapest, Hungary, 2019); VII Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю «Екологія-2019» (Вінниця, 2019); IX Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція (Ірпінь, 2019, 2020); II Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій» (Київ, 2019); 1st International Scientific and Practical Conference (Washington, USA, 2019); 6-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2020); ISEAS. ISATECH. ICUAV (Kyiv, 2020); II Міжнародна науково-практична конференція «Європейські виміри сталого розвитку» (Київ, 2020); BUP Symposium (Uppsala, Sweden, 2021, 2023); Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Метаболічні розлади населення України: вплив екологічних та стресових факторів» (Київ, 2021); Conference on Integrated Approaches towards Sustainable Management of Environment for Safe food, Nutrition and Improved Health (Kalyan, West Bengal, India, 2021); VII Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2020, 2022); Четверта Всеукраїнська науково-практична конференція «Євроінтеграція екологічної політики України» (Одеса, 2022, 2023); IV International Conference on European Dimensions of Sustainable Development (Kyiv, 2022); 5 th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources” (Petroșani, Romania, 2023); VII Міжнародна науково-практична конференція «Новітні досягнення біотехнології» (Київ, 2023); IV Міжнародна науково-практична конференція «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (Полтава, 2023); Міжнародна наукова конференція, присвячена 75-ти річчю Інституту фізіології рослин і генетики НАН України «Актуальні проблеми фізіології рослин і генетики» (Київ, 2021); Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Європейському Союзі та Україні» (Київ, 2024); Міжнародна науково-практична конференція «Екологія. Людина. Суспільство» (Київ, 2023, 2024); Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (Івано-Франківськ, 2023); I Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми теплоенергетики» (Полтава, 2023); III Міжнародна науково-практична конференція «Авіація, промисловість, суспільство» (Кременчук, 2022); Науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми громадського здоров'я та екологічної безпеки України» (Київ, 2023); Перша Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні екологічні виклики в Україні та світі» (Київ, 2024).

Публікації. За результатами дослідження опубліковано 82 наукові праці: 21 стаття, що опубліковані у наукових фахових виданнях України; 7 статей у виданнях,

проіндексованих в базі даних Scopus, 3 публікації в колективних монографіях, 55 публікацій, що додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 260 найменувань, а також 3 додатків. Загальний обсяг дисертації – 330 сторінок друкованого тексту. Робота містить 36 таблиць, 114 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір і актуальність теми дослідження, розкрито сутність та сучасний стан наукової проблеми, визначено мету та основні завдання досліджень, представлено наукові положення, новизну отриманих результатів, які винесені на захист, а також наведено інформацію про практичну значущість і впровадження результатів роботи. Окремо висвітлено внесок автора у публікацію та апробацію отриманих результатів.

У **першому** розділі досліджено основні причини та наслідки техногенного впливу на екологічний стан ґрунтів у зоні впливу аеропорту та виявлено можливі шляхи зниження його негативних наслідків.

Проаналізовано наукові публікації стосовно актуальних проблем забезпечення екологічної безпеки ґрунтів на територіях авіапідприємств та на прилеглих територіях; чинну національну та міжнародну нормативно-правову базу із забезпечення екологічної безпеки ґрунтів на території підприємств цивільної авіації та особливості їх використання в аеропортах; визначені існуючі підходи до гарантування екологічної безпеки аеропортів та прилеглих до них територій; проаналізовано переваги та недоліки існуючих технологій відновлення екологічного стану ґрунтів, забруднених нафтопродуктами та важкими металами. Визначено, що збільшення рівня забруднення ґрунтів важкими металами та нафтопродуктами спостерігається на територіях аеропортів та прилеглих зон, зокрема, у наслідок осідання з атмосфери продуктів згоряння вуглеводневих палив та у результаті міграції нафтопродуктів через ґрунтові води за межі авіаційного підприємства. Наслідком цього є підвищення техногенного навантаження діяльності авіаційних підприємств на дані території та зниження рівня екологічної безпеки територій, прилеглих до аеропортів.

Питанням забезпечення екологічної безпеки аеропортів присвячені наукові праці вітчизняних та зарубіжних учених, а саме: Г.М. Франчука, О.І. Запорожця, Токарева, В.М. Ісаєнка, С.М. Маджд, Sharmila Ray, L.M. Nunes, Y.-G. Zhu, Stacey B. та ін. Але опрацювання досліджень та прикладних розробок з питання забезпечення екологічної безпеки ґрунтів на авіаційних підприємствах та на прилеглих територіях дало змогу зробити висновок, що їхній характер є фрагментарним і те, що на сьогодні основна увага фахівців із забезпечення сталого розвитку цивільної авіації та територій авіапідприємств приділяється проблемам зниження хімічного забруднення атмосферного повітря та питанням зменшення фізичного впливу на довкілля, зокрема зниженню рівня шуму. Водночас питанням забезпечення екологічної безпеки ґрунтів на територіях в зонах впливу аеропортів не приділяється достатньої уваги.

Значною мірою це обумовлено, з одного боку, нерозумінням важливості ролі ґрунтів у гарантуванні екологічної безпеки аеропорту, як техногенно небезпечного підприємства та, з другого - відсутністю стандартної методики або рекомендацій щодо здійснення екологічного моніторингу стану ґрунту на території аеропорту та на прилеглий території й економічно недоцільним здійснення постійного моніторингу за екологічним станом ґрунту цих територій. Існуючі фізико-хімічні методи визначення рівня хімічного забруднення ґрунту вартісні та складні у практичному застосуванні, а також відсутнє наукове обґрунтування технологічних засад моніторингу екологічного стану ґрунтів на території в зоні впливу аеропортів. Зважаючи на особливості формування забруднення ґрунту та методології застосування технологій відновлення ґрунтів на цих техногенно навантажених територіях, сформульовано перелік завдань, які необхідно вирішити для досягнення мети дослідження. Аналіз експертної думки щодо питання впливу викидів авіаційних двигунів на екологічний стан ґрунту в зоні впливу аеропорту, створив підґрунтя для побудови моделі для визначення залежності рівня хімічного забруднення ґрунту в зоні впливу аеропорту, від визначених чинників, що пов'язані з формуванням кількісних та якісних показників емісії авіаційних двигунів.

У другому розділі розглянуто методи та методики, використані при дослідженнях. Структурно-логічну схему методології дисертаційних досліджень представлено на рис. 1.

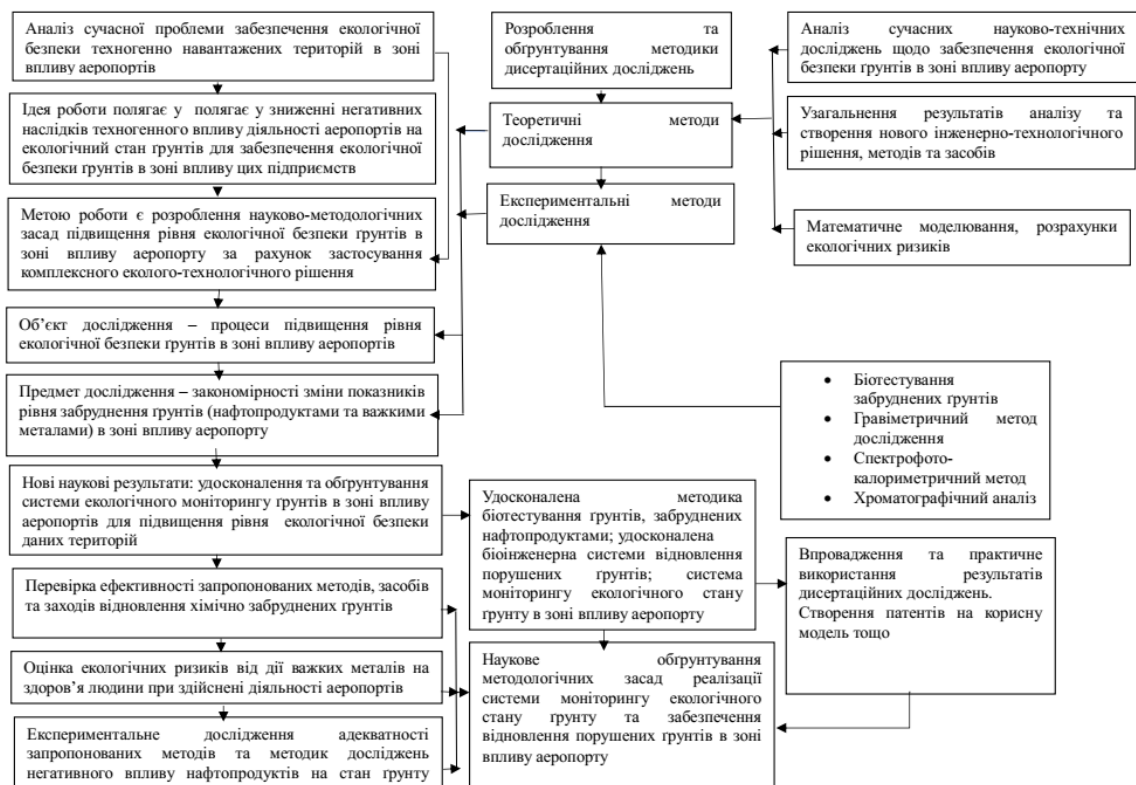


Рис. 1. Структурно-логічна схема методології дисертаційних досліджень

З метою досягнення визначеної мети досліджено рівень забруднення ґрунту в зоні впливу аеропорту, що здійснювався з огляду на рельєф місцевості, метеорологічні умови та особливі характеристики району. Під час відбору проб було визначено дві ділянки для проведення досліджень. Одна з них – дослідна, що р

розташована в зоні впливу авіатранспортних процесів, тоді як інша, контрольна, знаходиться на території без техногенного навантаження. Проби ґрунту, відібрані на контрольній ділянці мали однаковий з дослідною пробою природний склад. Проби ґрунту було відібрано за методом «конверта», розміром майданчика 5×5 м на відстані 50 м, 500 м, 1000 м, 1500 та 2000 м від території аеропорту (від злітно-посадкової смуги (ЗПС)), відтак було сформовано об'єднану пробу для подальшого біотестування та визначення вмісту нафтопродуктів та важких металів.

У процесі дослідженні рівня фітотоксичності ґрунту на території складу паливно-мастильних матеріалів (ПММ) аеродрому, зразки ґрунту було просіяно та відібрано 250 см³ з кожної проби (відібраних методом «конверта» на різній відстані від резервуара) та розподілено по ростильнях для пророщування насіння. Ростильні з досліджуваним ґрунтом поділили на три рівні частини однакової площі та зволожили шляхом додавання 100 мл дистильованої води. Після відбору певної кількості насіння (льон – 160 шт., цибуля – 100 шт., салат – 320 шт.) його висадили у ґрунт, щільно покрили перлітом для кращого контакту з вологою та додатково зволожили за допомогою пульверизатора. Після пророщування протягом трьох діб були виміряні ростові характеристики за допомогою лінійки. Для отримання достовірних даних щодо рівня хімічного забруднення ґрунтів на території, прилеглої до аеропорту, вміст нафтопродуктів у відібраних пробах ґрунту було визначено гравіметричним методом за МВВ №081/12-0116-03 «Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нафтопродуктів гравіметричним методом». Цей метод дослідження складається з таких етапів: екстрагування органічних речовин із наважок ґрунту (підготовлених відповідним чином з відібраних проб ґрунту); розчинення залишку, після випаровування хлороформу, у гексані; далі відокремлення полярних сполук на колонці з сорбентом (оксидом алюмінію); видалення гексану шляхом вивітрювання; вимірювання маси залишку в колбі після випаровування гексану; розрахунок масової частки нафтопродукту. Окрім цього, було проаналізовано залишок, розчинений повторно, після визначення масової частки нафтопродукту в наважці проби ґрунту з використанням хроматографічного аналізу за стандартною методикою. Для його проведення було використано хроматограф марки HP 5890 Series II з капілярною колонкою DB-5MS (виробництва США). Вміст важких металів (Cu, Zn, Ni, Pb, Al, Mn, Cr, Co, Cd) аналіз зазначених проб ґрунту було проведено в Лодзинському технічному університеті за допомогою спектрометра iCAP 7000 SERIES виробництва компанії Thermo. Вміст важких металів у ґрунті було визначено за стандартною методикою. Експериментальне дослідження рівня хімічного забруднення ґрунту території, прилеглої до аеропорту, було виконане за розробленою методикою з використанням різних видів тест-рослин та дослідженням проб ґрунту, відібраних на різній відстані від аеропорту. До кожної ростильні розміром 200x100 мм було додано 200 г ґрунту та висіяно 210 шт. насінин тест-рослин. Далі проби було накрито поліетиленовою плівкою та розміщено в термостаті за температури 23 °С. Вимірювання ростових характеристик рослин здійснювали на 5-ту, 7-му та 9-ту добу.

Фітотоксичність ґрунту оцінювали за допомогою ростового тесту відповідно до методики А. Горової. У якості тест-рослини використовували крес-салат *Lepidium sativum*. Для аналізу брали наважку ґрунту масою 1 г, рівномірно розподіляли 20

насінин на поверхні чашки Петрі та додавали 7 мл відстояної кип'яченої водопровідної води. Пророщування насіння здійснювали при температурі 23–24°C. Через 72 години після початку тесту вимірювали довжину наземної та кореневої частин проростків. Розрахунок фітотоксичного ефекту ($Y_{фе}$, %) проводили за стандартною формулою.

Аналіз стану апікальної меристеми коренів проростків, використаних в цьому біотесті, було визначено за стандартною методикою. Для приготування давлених препаратів меристеми відрізали кінчики корінців Довжиною 2–3 мм зразки поміщали у фіксуючий розчин Кларка (співвідношення абсолютного або 96%-го етилового спирту до льодяної оцтової кислоти 3:1). Подальший аналіз здійснювали за стандартною методикою, досліджуючи під мікроскопом клітини на стадії поділу.

Дослідження впливу гіпертермічної обробки насіння салату та хімічного забруднення ґрунту на ростові показники проростків було проведено за розробленою методикою. Насіння салату попередньо піддавали прогріванню при температурі 60 °C протягом 5 хвилин. Для цього 210 насінин загортали у фільтрувальний папір у вигляді конверта та занурювали у воду, нагріту до 60 °C, на визначений час. Після термообробки конверти з насінням висувували за кімнатної температури в розгорнутому вигляді протягом доби. Підготовлене насіння висівали в ростильні розміром 213×124×32 мм, заповнені ґрунтом об'ємом 250 см³, із загальною кількістю насіння 210 шт. Було використано вісім ростиль: чотири для насіння без термообробки та чотири для термообробленого насіння. Вони представляли вісім варіантів досліду з різними рівнями забруднення авіаційним керосином марки ТС-1. Ростильні розміщували в поліетиленових пакетах для підтримання необхідного рівня вологості, після чого їх поміщали в термостат із температурою 22 °C. На п'яту, сьому та дев'яту добу після пророщування визначали такі показники: схожість, масу сирої речовини проростків салату, довжину стебла та кореня. Попередньо провели дослідження для вибору інгібуючої та гормезисної дії термооброблення (часу термооброблення).

Розроблена методика визначення рівня забруднення ґрунтів нафтохімікатами за допомогою фітотестування передбачала такі кроки. Необхідна кількість тест-об'єкта (насіння салату (*Lactuca sativa*)) (210 шт.) було обгорнуте фільтрувальним папером у формі конверта. Далі тест-об'єкт піддавався гіпертермічному обробленню у воді за температури 60 °C. Час оброблення – 1 хв, 3 хв, 5 хв, 10 хв та 15 хв. Після завершення термообробки конверти з тест-об'єктами просушували за нормальних температурних умов протягом доби. Далі тест-об'єкт розміщували у ємностях, заповнених ґрунтом (який було використано у якості субстрату для пророщування) кількістю 210 шт. Визначення поліфеноксидазної активності ґрунту, забрудненого різними марками нафтопродуктів, виконували за стандартною методикою. Для встановлення впливу фіторемедіації ґрунту з використанням різних видів рослин було визначено зміну поліфенолксилазної активності, залежно від виду рослини, що використовується для фіторемедіації.

Для отримання достовірних даних щодо ефективності застосування запропонованої біоінженерної системи фіторемедіації ґрунтів на техногенно навантажених територіях виконувались польові дослідження ефективності фіторемедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, проведені за розробленою

методикою, яка передбачає пророщування насіння рослин фіторемедіантів попередньо у ростильнях на шарі ґрунту або агроперліту. Відтак здійснювали розміщення сформованого газону на поверхню ґрунту, забрудненого авіаційним керосином та, для порівняння, не забрудненого авіаційним паливом. Це дало можливість порівняти ефективність фіторемедіації ґрунту, забрудненого авіаційним керосином.

У **третьому розділі** досліджено екологічний стан ґрунту на території, що прилягає до аеропорту та на території об'єкта зберігання авіаційного палива з використанням біотестування та фізико-хімічних методів. Також, встановлено кореляційні зв'язки між екологічним станом ґрунту на території в зоні впливу аеропорту, за фітотоксичністю ґрунту та концентрацією нафтопродуктів у ґрунті.

Вибір об'єкта для дослідження обґрунтовано тим, що, зважаючи на розміщення аеропорту в межах міста, відсутня можливість дотримання нормативних вимог щодо розмірів санітарно-захисної зони, що підтверджує важливість визначення екологічного стану ґрунтів на прилеглої до аеропорту «Київ» території. Цей аеропорт включає споруди як основного, так і допоміжного призначення (аеродром, споруди обслуговування пасажирських та вантажних перевезень, авіаційно-технічна база, об'єкти керування повітряним рухом, об'єкти служби ПММ аеропорту), а також транспортні шляхи. Основними джерелами забруднення ґрунтів нафтопродуктами на території аеропорту є об'єкти служби ПММ, поверхневі стоки, місця виконання технологічних операцій із заправлення паливом транспортних засобів та авіаційно-технічна база. Розвиток цивільної авіації супроводжується зростанням техногенного навантаження на довкілля, особливо на ґрунти. Сучасні підходи до нормування техногенного впливу на компоненти навколишнього середовища базуються на санітарно-гігієнічних принципах. Їх застосування сприяє зменшенню шкідливого впливу негативних чинників, насамперед на людину. Проте немає впевненості, що ці нормативи, розроблені для людини, забезпечують безпеку інших біотичних компонентів екосистем або екосистем у цілому. Одним із ефективних способів екологічного моніторингу є використання методів біоіндикації та біотестування для оцінки впливу антропогенних і техногенних факторів на екосистеми. Особливо актуальними є дослідження рівня фітотоксичності ґрунтів для розробки тест-систем, чутливих до токсичних речовин, зокрема вуглеводнів, що містяться в нафтопродуктах. Це дозволяє оцінити комбінований вплив забруднень на довкілля. В біотестуванні ключовим параметром є реакція живого організму на забруднення, а не концентрація шкідливої речовини. Метод біотестування має значні переваги, зокрема можливість враховувати синергічні та антагоністичні взаємодії забруднювальних речовин, а також оцінювати комбіновану біологічну активність різних фізико-хімічних факторів. Серед тест-організмів рослини мають особливі переваги як об'єкти дослідження. У межах досліджень було використано кілька видів тест-рослин, зокрема проростки цибулі (*Allium cepa*), стан яких оцінювали за допомогою «ростового тесту» після експонування у визначених умовах.

На третю добу пророщування були проаналізовані ростові характеристики проростків *Allium cepa*. Фітотоксичний ефект оцінювали за такими параметрами:

енергія проростання насіння, довжина кореня та стебла. Результати дослідження відображені на рисунках 2–4.

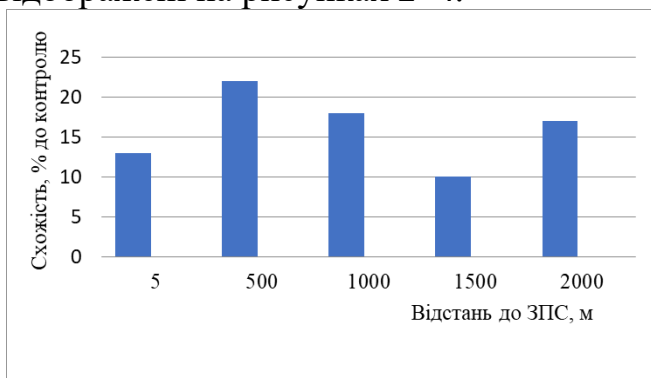


Рис. 2. Залежність схожості насіння *Allium sera* від відстані до аеропорту

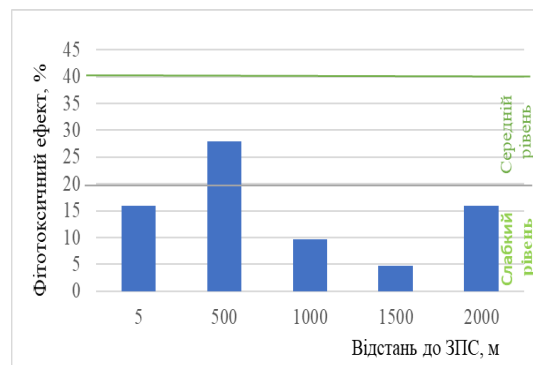


Рис. 3. Залежність фітотоксичного ефекту (за довжиною кореня *Allium sera*) від відстані до ЗПС

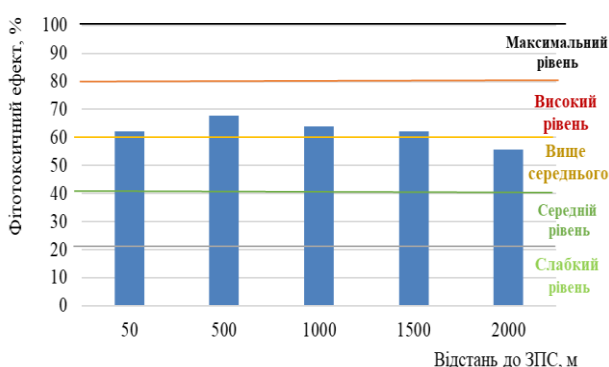


Рис. 4. Залежність фітотоксичного ефекту (за довжиною стебла *Allium sera*) від відстані до ЗПС

Аналіз даних щодо схожості насіння *Allium sera* (рис. 1) показав, що найнижча схожість була зафіксована для зразків ґрунту, відібраних на відстані 50 та 1500 м від злітно-посадкової смуги. Це свідчить про підвищений рівень фітотоксичного впливу, пов'язаний із діяльністю аеропорту. Знижену схожість на відстані 50 м можна пояснити безпосередньою близькістю до ЗПС. Натомість низькі показники схожості на відстані 1500 м, ймовірно, зумовлені впливом автомагістралі, що розташована поблизу

та накладанням впливу від руху авіаційного транспорту та впливом руху наземних транспортних засобів цією автодорогою. Щодо фітотоксичного ефекту, визначеного за результатами аналізу ростових характеристик кореня, то можна бачити (рис. 3–4) вплив усіх відібраних зразків ґрунту порівняно з контрольною пробою. Найбільший фітотоксичний ефект для стебла проростків *Allium sera* спостерігали для проби ґрунту, розташованої на відстані 50 м від ЗПС. Для проб ґрунту, відібраних на відстані від 50 до 1000 м, тобто з віддаленням від ЗПС аеропорту, спостерігали зниження рівня фітотоксичності ґрунту. І лише при наближенні до автомагістралі (на відстані від 1000 до 2000 м) знову спостерігали підвищення фітотоксичності ґрунту.

Вплив руху авіаційного транспорту в поєднанні з рухом наземного транспорту по прилеглої автодорозі призводить до комплексного навантаження на ґрунт. Аналіз фітотоксичного ефекту, оціненого за ростовими характеристиками кореня, показав вплив усіх відібраних зразків ґрунту порівняно з контрольною пробою (рис. 3–4). Найвищий рівень фітотоксичності для стебел проростків *Allium sera* спостерігався у зразків ґрунту, відібраних на відстані 50 м від ЗПС. У міру віддалення від ЗПС (50–1000 м) рівень фітотоксичності ґрунту поступово знижувався, але поблизу автомагістралі (1000–2000 м) знову спостерігалася його підвищення.

Наступним етапом роботи було дослідження стану апікальної меристеми коренів проростків, використаних у біотесті. У меристемах кінчиків кореня проростків цибулі, вирощених на пробах ґрунту, відібраних на відстані 50, 1500 і 2000 м від ЗПС, спостерігалася мітотична активність клітин. Визначені мітотичні індекси (МІ) склали: для проби ґрунту на відстані 50 м – 2,9; на відстані 1500 м – 2,6; і на відстані 2000 м – також 2,6. Таким чином, було виявлено мітотичну активність лише у зразках кореневої меристеми проростків, вирощених на ґрунті, відібраному на відстані 50 і 1500 м від аеропорту.

Експериментальне дослідження рівня хімічного забруднення території, прилеглої до аеропорту з використання розробленої методики із застосуванням тест-рослини крес-салату (*Lepidium sativum*) також продемонструвало залежність рівня фітотоксичності ґрунту від відстані від аеропорту.



Рис. 5. Проби ґрунту для дослідження

Було досліджено такі проби ґрунту (рис. 5): з верхнього шару на умовно чистій території (№1); з нижнього шару взята на умовно чистій території (№2); з верхнього шару взята на відстані 5 м від Міжнародного аеропорту «Київ» (№3); з нижнього шару взята на відстані 50 м від аеропорту (№4); з

верхнього шару взята на відстані 500 м від аеропорту (№5); з нижнього шару взята на відстані 500 м від аеропорту (№6); з верхнього шару взята на відстані 1000 м від аеропорту (№7); з нижнього шару взята на відстані 1000 м від аеропорту (№8); з верхнього шару взята на відстані 1500 м від аеропорту (№9); з нижнього шару взята на відстані 1500 м від аеропорту (№10); з верхнього шару взята на відстані 2000 м від аеропорту (№11); на відстані 2000 м від аеропорту (№12). Результати вимірювань графічно наведені на рис. 6–11.



Рис. 6. Залежність ростових характеристик кореня салату (довжина органа у відсотках стосовно контролю) на п'яту добу спостережень



Рис. 7. Залежність ростових характеристик стебла салату (довжина органа у відсотках стосовно контролю) на п'яту добу спостережень

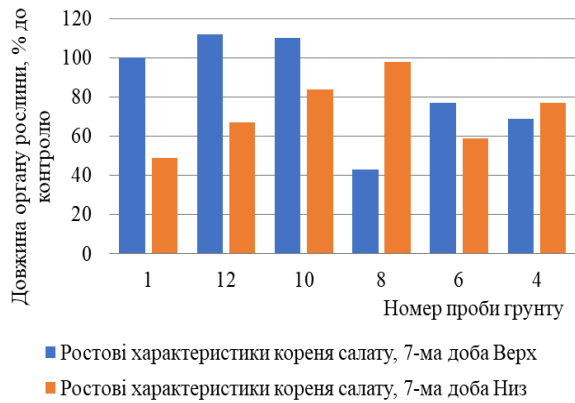


Рис. 8. Залежність ростових характеристик кореня салату (довжина органа у відсотках стосовно контролю) на сьому добу спостережень

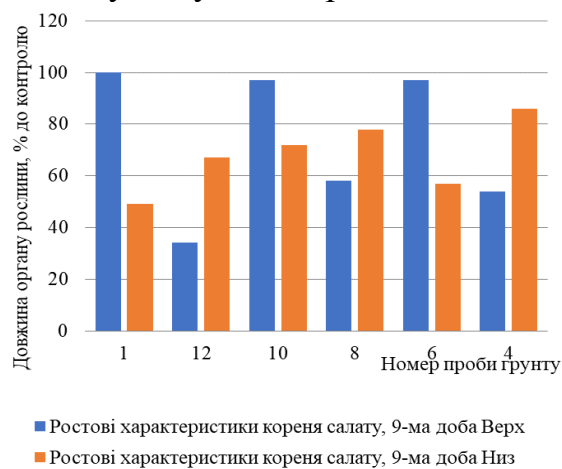


Рис. 10. Залежність ростових характеристик кореня салату (довжина органу у % по відношенню до контролю) на дев'яту добу спостережень

Проаналізувавши отримані дані (див рис. 6) щодо ростових характеристик кореня проростків салату, бачимо, що найбільшу реакцію проявляє тест-культура, пророщена на зразку на відстані 1000 м від ЗПС аеропорту та відібрана з верхнього рівня. Також високий рівень забруднення порівняно з контролем спостерігається для зразків ґрунту, відібраного на 5 та 500 м. Значно вищий рівень забруднення спостерігали для зразків ґрунту, відібраних з верхнього рівня для усіх відстаней, окрім 2000 та 1500 м від аеропорту. На п'яту добу спостережень для стебла з графіка, відображеного на рис. 6, можна побачити близьку реакцію проростків на рівень забруднення як для верхнього рівня, так і для нижнього рівня ґрунту. Одночасно можна було спостерігати більшу реакцію стебла на забруднення нижнього шару ґрунту, що характерно для усіх зразків, окрім контролю. Як і для кореня, на п'яту добу найвищий рівень хімічного забруднення ґрунту спостерігали для проби, відібраної на відстані 1000 м, проаналізованої за ростовим параметром довжини стебла. Аналіз отриманих даних (див. рис. 8) щодо ростових характеристик кореня проростків салату, на сьому добу пророщування показав, що найбільшу

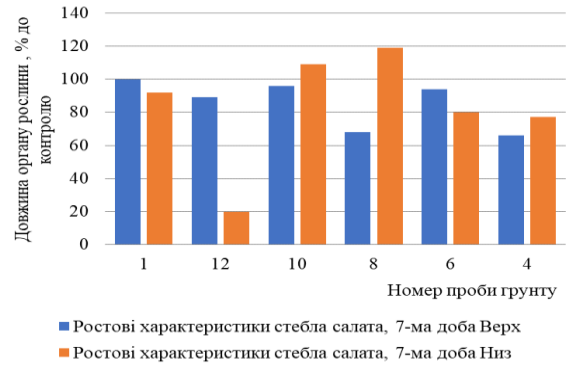


Рис. 9. Залежність ростових характеристик стебла салату (довжина органа у відсотках стосовно контролю) на сьому добу спостережень

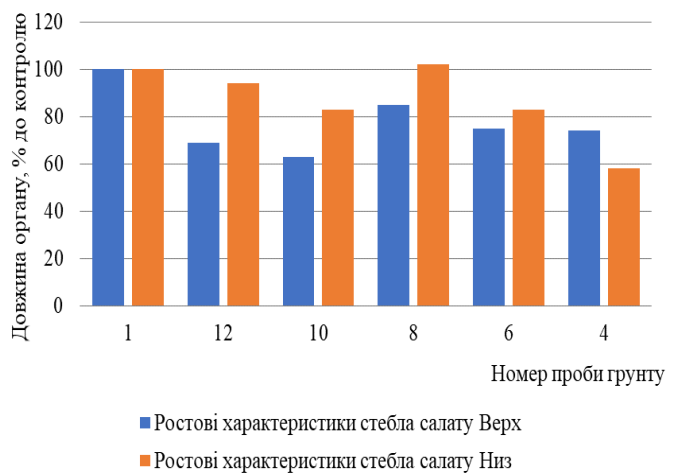


Рис. 11. Залежність ростових характеристик стебла салату (довжина органу у відсотках стосовно контролю) на дев'яту добу спостережень

реакцію проявляє тест-культура, пророщена на зразку ґрунту, що був відібраний на відстані 1000 м від ЗПС аеропорту з верхнього шару. Також високий рівень забруднення порівняно з контролем спостерігали для зразків ґрунту, відібраного на 50 та 500 м. Значно вищий рівень забруднення спостерігався для зразків ґрунту, відібраних з верхнього шару для усіх відстаней, окрім 2000 та 1500 м від аеропорту. Одночасно спостерігали відновлення значень ростових параметрів для зразків, відібраних на відстані 50, 500, 1500 та 2000 м від аеропорту. Із рис. 8. можемо зробити висновок про відновлення ростових характеристик проростків салату стосовно контролю майже для усіх зразків, окрім відібраного з нижнього шару на відстані 2000 м. З даних, поданих на рис. 10, видно, що відбувається відновлення ростових характеристик проростків салату, стосовно контролю для зразків відібраних з верхнього рівня на відстані 1500 та 500 м. Щодо нижнього шару, то відновлення спостерігали для усіх проб ґрунту, а найбільше для проби, відібраної на відстані 50 м. Із рис. 11 можемо зробити висновок про відновлення ростових характеристик проростків салату для усіх досліджуваних зразків, відібраних як з нижнього, так і з верхнього шару ґрунту на різній відстані від аеропорту. Динаміку ростових характеристик показано на рис. 12–15.

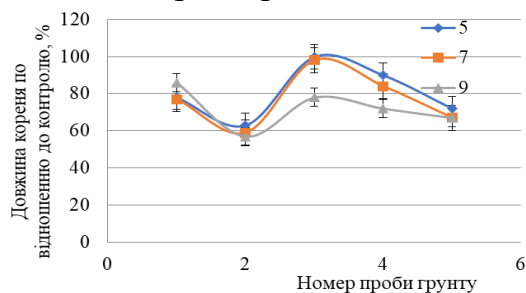


Рис. 12. Залежність ростових характеристик (кореня) проростків салату від доби спостереження для проб ґрунту, відібраних з верхнього шару на певній відстані від аеропорту

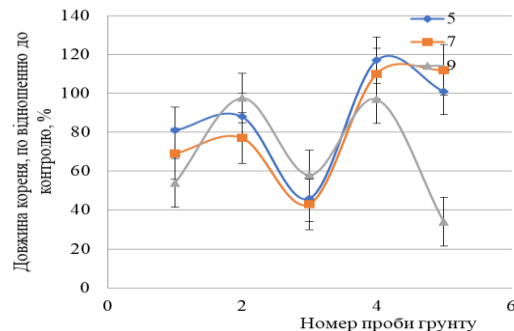


Рис. 13. Залежність ростових характеристик (кореня) проростків салату від доби спостереження для проб ґрунту, відібраних з нижнього шару на певній відстані від аеропорту

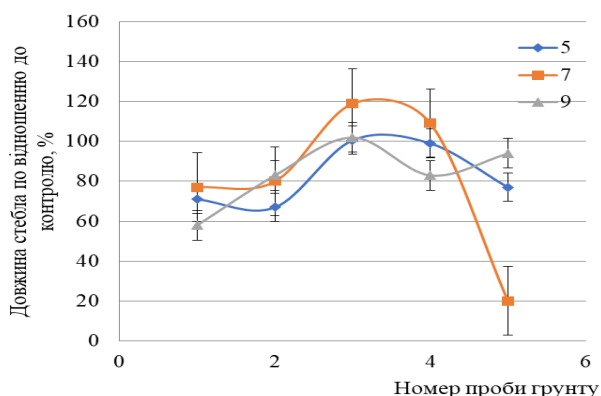


Рис. 14. Залежність ростових характеристик (стебла) проростків салату від доби спостереження для проб ґрунту, відібраних з верхнього шару на певній відстані від аеропорту

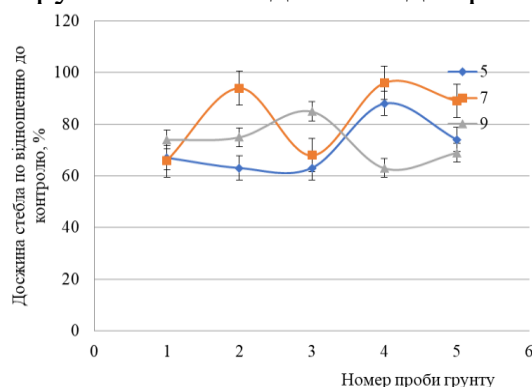


Рис. 15. Залежність ростових характеристик (стебла) проростків салату від доби спостереження для проб ґрунту, відібраних з нижнього шару на певній відстані від аеропорту

Дані, наведені на рис. 12 продемонстрували аналогічну тенденцію щодо зміни ростових характеристик залежно від відстані до аеропорту на 5-у, 7-у та 9-у добу. Найвищим рівнем забруднення характеризується проба, відібрана на відстані 500 м до аеропорту з верхнього рівня. Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, наведені на рис. 13, спостерігаємо відновлення рослини на 5-у, 7-у та 9-у добу для проб, відібраних на відстані 1500 та 2000 м від аеропорту. Найвищим рівнем забруднення характеризується проба, відібрана на відстані 1000 м до аеропорту. Із рис. 14–15 бачимо, що найбільшу реакцію на наявність забруднення за ростовою характеристикою довжина стебла стосовно до контролю, спостерігаємо саме на 5-ту добу. Отже, проаналізувавши представлені на діаграмах (6–11) та графіках (12–15) дані, можемо зробити висновок про найбільшу реакцію тест-культури (у нашому випадку салату) на наявність хімічного забруднення у ґрунті, саме на 5-у добу. Результати аналізу залежності ростових характеристик проростків салату на різну добу пророщування показали відновлення ростових характеристик тест-культури порівняно з контролем, що може вплинути на достовірність отриманих результатів щодо реального рівня хімічного забруднення ґрунту. Цей факт було враховано під час удосконалення методики біотестування ґрунту, забрудненого нафтопродуктами.

Оскільки склад паливно-мастильних матеріалів (ПММ) на територіях аеропортів і аеродромів є одним із основних джерел забруднення ґрунтів нафтопродуктами, було проведено додаткове дослідження рівня забруднення ґрунту нафтопродуктами в зоні служби ПММ аеродрому «Чайка» із застосуванням рослинних тест-систем. Для біотестування ґрунтових проб, відібраних у цій зоні, було обрано три види рослин: льон (*Linum usitatissimum* L.), цибуля (*Allium schoenoprasum* L.) і крес-салат (*Lepidium sativum*).

Відбір ґрунтових проб проводили з поверхневого шару та на глибині 20 см у трьох точках: безпосередньо біля резервуара з паливом (0 м), на відстані 2 м і 10 м (фонові проби). Графічні результати аналізу ростових характеристик рослин представлені на рис. 16–17. Умовно приймаючи відстань 10 м від резервуара як зону без забруднення, її показники використовували як контрольні значення (100 %). Аналіз ростової активності стеблової частини трьох видів рослин показав залежність параметрів росту від рівня забруднення ґрунту (рис. 16), встановлено, що чим більша відстань від джерела забруднення нафтопродуктами, тим нижчий рівень забруднення.

Можна вважати, що серед запропонованих культур льон демонструє найбільшу чутливість до наявних рівнів забруднення. Довжина кореня рослин при цьому стимульована. Таким чином, можна дійти висновку, що льон виявив найбільшу чутливість до впливу.

Ступінь інгібування кореневої системи був настільки значним, що це опосередковано вплинуло і на інгібування стеблової частини. У випадку з салатом також спостерігалось інгібування росту стебла, яке, ймовірно, було обумовлене сильною стимуляцією кореневої системи.

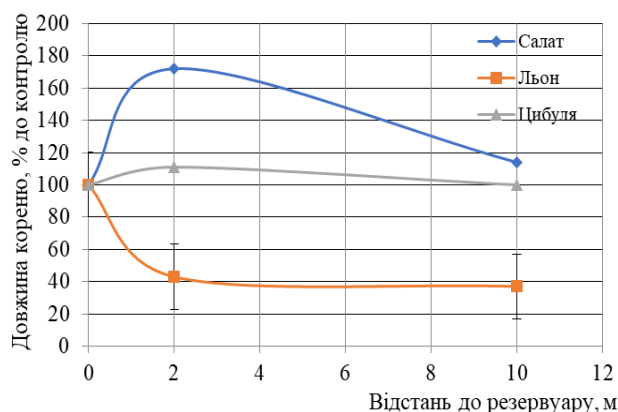


Рис. 16. Залежність довжини кореня тридбових проростків від відстані до джерела потенційного забруднення нафтопродуктами

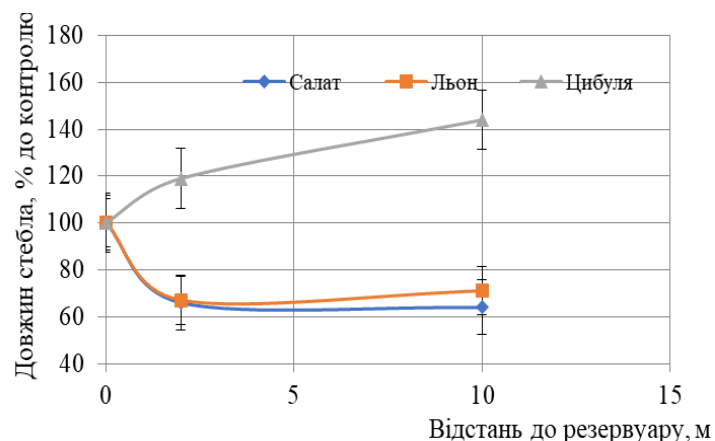


Рис. 17. Залежність довжини стебла тридбових проростків від відстані до джерела потенційного забруднення

Отже, аналіз отриманих результатів свідчить про зменшення активності росту рослин із наближенням до джерела забруднення та підвищенням рівня забруднення ґрунтів нафтопродуктами. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що найчутливішою до забруднення ґрунту нафтопродуктами є льон, тоді як цибуля виявилася найменш чутливою.

З метою порівняння переваг і недоліків фізико-хімічних та біологічних методів моніторингу екологічного стану ґрунтів у зоні впливу аеропорту, було проведено дослідження рівня хімічного забруднення за показниками «вміст важких металів» і «концентрація нафтопродуктів».

Для дослідження використовували проби ґрунту, відібрані теж на території в межах 2 км, що прилягає до Міжнародного аеропорту «Київ», розташованого на відстані 8 км від центру м. Києва. Результати визначення вмісту важких металів у досліджених пробах ґрунту продемонстрували високий рівень забруднення, у порівнянні з ГДК (табл. 1–2).

Таблиця 1

Концентрація важких металів у зразках ґрунту

Відстань до ЗПС, м	Cu			Zn			Ni			Pb		
	С, мг/кг	ГДК, мг/кг	Кс	С, мг/кг	ГДК, мг/кг	Кс	С, мг/кг	ГДК, мг/кг	Кс	С, мг/кг	ГДК, мг/кг	Кс
Контроль	6,04	3,0	-	74,3	23,0	-	2,78	4,0	-	10,69	2,1	-
50	16,66	3,0	2,75	83,3	23,0	1,12	6,01	4,0	2,16	34,13	2,1	0,29
500	12,66	3,0	2,1	35,34	23,0	0,48	5,0	4,0	1,78	21,36	2,1	2,0
1000	12,44	3,0	2,06	38,68	23,0	0,52	9,5	4,0	3,42	16,06	2,1	1,5
1500	14,95	3,0	2,5	42,16	23,0	0,57	10,48	4,0	3,77	16,16	2,1	1,5
2000	24,46	3,0	4,05	96,60	23,0	1,3	7,64	4,0	2,75	23,16	2,1	2,17

Таблиця 2

Концентрація важких металів у зразках ґрунту

Відстань до ЗПС, м	Mn			Cd			Co			Cr		
	С, мг/кг	ГДК, мг/кг	К _с	С, мг/кг	ГДК, мг/кг	К _с	С, мг/кг	ГДК, мг/кг	К _с	С, мг/кг	ГДК, мг/кг	К _с
Контроль	108,3	1500	-	0,215	1,0	-	2,59	5,0	-	9,2	0,05	-
50	164,9	1500	1,5	0,568	1,0	2,64	4,29	5,0	1,66	29,1	0,05	3,16
500	170,7	1500	1,58	0,392	1,0	1,87	3,67	5,0	1,42	12,12	0,05	1,32
1000	265,3	1500	2,4	0,631	1,0	3,0	7,74	5,0	2,99	23,71	0,05	2,58
1500	136,6	1500	1,26	0,533	1,0	2,48	7,20	5,0	2,78	40,24	0,05	4,37
2000	167,5	1500	1,55	0,397	1,0	1,85	5,51	5,0	2,13	18,18	0,05	1,98

Результати визначення вмісту важких металів продемонстрували значне перевищення ГДК для таких металів, як Cu, Zn, Pb та Cr, що відповідає високому рівню екологічної небезпеки, а також незначне перевищення ГДК за вмістом Ni та Co. Розраховані значення сумарного показника забруднення ґрунту на цій території відповідають допустимій категорії забруднення ґрунту (Zс знаходиться в межах від 5,55 до 11,96) категорії, якій притаманний найнижчий рівень захворюваності серед дітей та мінімальні функціональні відхилення у дорослого населення.

Результати визначення концентрації нафтопродуктів у аналогічних пробах ґрунту також підтвердили наявність високого рівня хімічного забруднення ґрунту на території, що прилягає до аеропорту (табл. 3).

Таблиця 3

Вміст нафтопродуктів у пробах ґрунту

Відстань від ЗПС, м	Вміст нафтопродуктів, мг/кг	
	абсолютне значення, C±Δ, мг/кг	стосовно контролю, %
50	200±3,6	200
500	150±2,8	150
1000	1640±4,8	1640
1500	500±3,2	500
2000	300±2,5	300
Контрольний зразок	100±3,0	-

Проаналізувавши отримані результати (табл. 3), зроблено висновок, що для двох проб ґрунту, відібраних на відстані 500 м, та контрольного зразка вміст нафтопродуктів нижче встановленого ОДК на рівні 0,2 г/кг та дорівнює ОДК для проби, відібраної на відстані 50 м від ЗПС.

У зразках, відібраних на відстанях 1000, 1500 і 2000 м від ЗПС, виявлено перевищення гранично допустимої концентрації нафтопродуктів у ґрунті. Найбільшим рівнем забруднення характеризується проба ґрунту, відібрана на відстані 1000 м.

Відомо, що особливістю хімічного забруднення ґрунтів на техногенно навантажених територіях є їх багатокомпонентність. Результати хроматографічного аналізу компонентного складу органічної частини, що була виділена з відібраних

проб ґрунту за допомогою гравіметричного методу, вказують на наявність вуглеводнів, що характерно саме для авіаційних палив. Визначені у всіх пробах сполуки можна умовно розділити на декілька груп вуглеводнів: алкани $C_{10} - C_{22}$; арени (бензол, етилбензол, триметилбензол, нафталін); карбонові кислоти; естери жирних кислот; естери карбонових кислот. Отримані дані демонструють, що, як правило, хімічне забруднення ґрунтів на техногенно навантажених територіях, має багатокомпонентний склад. І, як можна спостерігати у нашому випадку, на території поблизу аеропорту, крім вуглеводнів, що входять до складу палив, наявні продукти розкладання та старіння полімерів, компоненти присадок. Важливо зазначити, що серед визначених поліютантів присутні токсичні речовини, зокрема бензол. Тому, було використано для дослідження екологічного стану ґрунту, як фізико-хімічні, так і біологічні методи дослідження.

Для цього визначено екологічний стан ґрунту з застосуванням методу біотестування, як тест-рослина було використано крес-салат (*Lepidium sativum*) та виконано розрахунок фітотоксичності $Y_{\text{ФЕ}}$ цих проб ґрунту з подальшим статистичним обробленням отриманих експериментальних даних. Як факторні показники зміни фітотоксичності ґрунту обрано такі ознаки: X_1 – вміст нафтопродуктів у ґрунті, мг/кг; X_2 – відстань від ЗПС, м.

Результати дослідження впливу авіатранспортних процесів на рівень фітотоксичності ґрунту наведено в табл. 4.

Таблиця 4

**Вихідні дані про рівень
токсичності ґрунту**

№ з/п	$Y_{\text{ФЕ}} \%$	X_1	X_2
1	5	200	50
2	7	150	500
3	35	1640	1000
4	0,7	500	1500
5	3,9	300	2000

Проведений попередній аналіз отриманих даних показує, що показник фітотоксичності ґрунту найбільше пов'язаний з першим фактором (вміст нафтопродуктів) та менше пов'язаний з другим фактором (відстань від ЗПС). Відповідні парні залежності можуть бути подані у вигляді парних лінійних регресій (рис. 18).

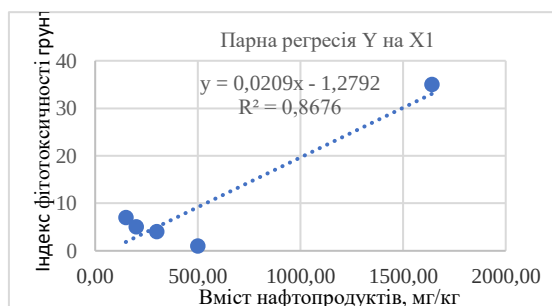


Рис. 18. Апроксимація залежності показника фітотоксичності досліджуваних проб ґрунту від концентрації нафтопродукту

Проведення багатфакторного статистичного аналізу отриманих даних дали можливість порівняти та з'ясувати суттєвість впливу на рівень фітотоксичності ґрунту кожного з факторів (табл. 5). У табл. 5 використано такі позначення: $Y_{\text{ФЕ}}$ – визначені експериментально показники фітотоксичності ґрунту; Y_p – показники фітотоксичності, розраховані за побудованою множинною моделлю; r – парний лінійний показник кореляції відповідним факторами і показником; R – коефіцієнт множинної кореляції;

b_0 – вільний член рівняння множинної регресії; b_1 та b_2 – коефіцієнти рівняння множинної регресії за факторів X_1 та X_2 відповідно. Із аналізу отриманих результатів оброблення експериментальних даних випливає, що отримана двофакторна модель з урахуванням факторів X_1 та X_2 є цілком прийнятна. Для подальшого вивчення впливу авіатранспортних процесів на стан ґрунту в районах, прилеглих до аеропортів.

Таблиця 5

Результати розрахунків коефіцієнтів двофакторної множинної регресії

Вихідні дані				Двофакторна модель X_1, X_2			
	X_1	X_2	$Y_{\text{ФЕ}}$	b_0	b_1	b_2	Y_p
	200	50	5	2,47	0,02	-0,004	6,6
	150	500	7				4,0
	1640	1000	35				34
	500	1500	0,7				7,0
	300	2000	3,9				0,6
r	0,9829	0,0996					$R=0,9507$

Цю модель можна подати у вигляді наступного рівняння:

$$Y = 2,47 + 0,02X_1 - 0,004X_2.$$

Адекватність запропонованої моделі підтверджується значенням коефіцієнта детермінації $R^2=0,9153$ для досліджуваних проб ґрунту. Значущість коефіцієнта детермінації R^2 було визначено за допомогою критерію Фішера. Для одержаних результатів $F=10,81$. Критичне значення критерію F для рівня надійності 95% становить 10,23. Таким чином, з надійністю 95% можна стверджувати, що отриманий коефіцієнт множинної детермінації є статистично значущим, а вибрані фактори достовірно пояснюють варіацію показника фітотоксичності ґрунту. (див. рис. 19).

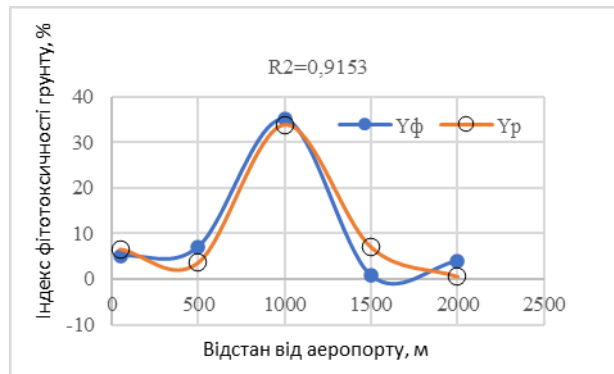


Рис. 19. Моделювання залежності показника фітотоксичності досліджуваних проб ґрунту від відстані до ЗПС аеропорту

Таким чином, аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок, що вплив фактора X_1 (вміст нафтопродуктів у ґрунті) на зміну показника фітотоксичності ґрунту є значно більшим порівняно з впливом фактора X_2 (відстань від ЗПС). Відомо, що за певних умов та рівня забруднення ґрунти здатні до самоочищення від нафтопродуктів. Але, потрібно враховувати, що нафтопродукти є багатокомпонентною сумішшю, компоненти якої мають різну швидкість біорозкладання після потрапляння до навколишнього середовища, зокрема в ґрунт. Наприклад, алкани $C_{10}-C_{22}$ мало піддаються біорозкладанню в ґрунті та водах. У пробах ґрунту, відібраних нами на території поблизу аеропорту, зростає сумарний

вміст алканів залежно від відстані до ЗПС з 10 до 28 %. Вміст аренів у всіх пробах коливається в межах від 3 до 5 %. Швидкість та інтенсивність біорозкладання нафтопродуктів визначаються їх вуглеводневим складом. Вуглеводні, що мають лінійну будову молекул, швидше руйнуються, ніж їх розгалужені ізомери. Алкани зазвичай менш біостійкі, ніж арени. Кількість естерів жирних та карбонових кислот зменшується в пробах, взятих на більшій відстані від ЗПС. Це можна пояснити тим, що на поверхні ґрунту естери жирних та карбонових кислот піддаються процесам розкладання достатньо швидко (до трьох місяців), переробляються мікроорганізмами та зникають і, що більш інтенсивне забруднення хімічними речовинами відбувається на відстанях менших до ЗПС. Тому, важливим є здійснення постійного моніторингу за екологічним станом ґрунту на території, прилеглої до аеропорту, з використанням як фізико-хімічних, так біологічних методів дослідження, щоб своєчасно реагувати на критичні порушення екологічного стану ґрунту, за яких ґрунт на техногенно навантаженій території поблизу аеропорту може втратити здатність до самовідновлення.

У **четвертому розділі** викладено результати дослідження залежності показників росту тест-рослин від концентрації різних видів нафтопродуктів у ґрунті, що дало можливість встановити наявність гормезисних (позитивно стимулюючих) для рослин концентрацій нафтопродуктів у ґрунті. Постійне посилення антропогенного впливу на навколишнє середовище зумовило необхідність вдосконалення системи екологічного оцінювання стану його компонентів. Нинішній санітарно-гігієнічний регламент, що діє в Україні, не забезпечує адекватного критерію оцінювання екологічного стану довкілля. Нормативи, встановлені державними документами, часто суперечать фізіологічним критеріям, оскільки ґрунтуються на антропоцентричному підході, тоді як людина є одним із найстійкіших до зовнішніх впливів біологічних видів. Основним недоліком екологічного нормування є те, що більшість чинних нормативів не враховують природні закони функціонування екосистем і механізми їх самовідновлення.

Існуюча система нормування, заснована на гранично допустимих концентраціях (ГДК) забруднювальних речовин, є затратною, малоефективною і базується на порівнянні фактичних концентрацій із встановленими нормативами. Такий підхід довгий час піддається обґрунтованій критиці у світі через свою суб'єктивність. Крім того, оцінювання окремих факторів впливу не дозволяє отримати цілісну картину синергетичного ефекту забруднень на довкілля і не враховує інтенсивність структурно-функціональних змін в екосистемах.

Через вказані недоліки науковці постійно працюють над розробкою нових підходів до оцінювання стану довкілля. Проте більшість існуючих методик мають суттєві недоліки, адже часто базуються на трансформації кількісних показників у якісні індекси екологічного стану. Ці підходи формують різноманітні методики, які зазвичай спеціалізуються на певній галузі дослідження стану середовища чи виду природокористування.

Аналіз недоліків існуючих методик екологічного нормування та ефективності використання інтегральних індексів показав, що всі вони орієнтовані виключно на застосування кількісних характеристик, таких як гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднювальних речовин. Сучасні дослідження переважно зосереджуються

на дотриманні нормативів, спрямованих на забезпечення безперервного природокористування в інтересах суспільства. Водночас оцінювання структурно-функціональних змін, важливих для біосфери, зокрема екологічних показників атмосферного повітря, поверхневих вод та ґрунтів, залишається поза увагою.

Недоліки чинної системи санітарно-гігієнічного нормування спричинили незадовільну екологічну ситуацію як в Україні, так і за її межами. Це підкреслює актуальність пошуку більш ефективних методик нормування, які враховували б склад і властивості компонентів довкілля, дозволяючи вирішувати проблеми, пов'язані з нераціональним природокористуванням. Такі підходи сприятимуть екологічно збалансованому розвитку біосфери на всіх рівнях її організації.

Запропонована нами методика дозволяє отримати узагальнену якісну оцінку екологічного стану довкілля без обмеження лише кількісними показниками, такими як ГДК.

Унаслідок дослідження штучно забрудненого різними видами нафтопродуктів у різних концентраціях за допомогою проростків льону (*Linum usitatissimum* L.) ґрунту, встановлено наявність ефекту стимулювання ростових характеристик рослин за певних концентрацій нафтопродукту в ґрунті (табл. 6).

Таблиця 6

Порівняльна характеристика ростових характеристик тест-рослин, вирощених на штучно забрудненому нафтопродуктами ґрунті (3 і 6 доби інкубації щодо контролю)

Проба ґрунту	Довжина тридобових проростків щодо контролю, %	Довжина шестидобових проростків щодо контролю, %
I – контрольна проба без забруднення нафтопродуктами	100	100
II – 0,2 г/кг (1 ОДК А-95)	270	103
III – 2 г/кг (10 ОДК А-95)	198	67
IV – 20 г/кг (100 ОДК А-95)	84,3	17,4
V – 200 г/кг (1000 ОДК А-95)	371	116
VI – 0,2 г/кг (1 ОДК ТС-1)	314	111
VII – 2 г/кг (10 ОДК ТС-1)	246	91
VIII – 20 г/кг (100 ОДК ТС-1)	13,5	108
IX – 200 г/кг (1000 ОДК ТС-1)	282	129
X – 0,2 г/кг (1 ОДК ДП)	208	120
XI – 2 г/кг (10 ОДК ДП)	175	107
XII – 20 г/кг (100 ОДК ДП)	45	9,25
XIII – 200 г/кг (1000 ОДК ДП)	272	56

Вигляд та довжина тридобових та шестидобових проростків, що вирости на ґрунті з різними концентраціями штучного забруднення, подано у табл. 6. Результати впливу різних типів палив на довжину кореня та стеблової частини тридобових проростків наведено відповідно на рис. 20 та 21. Можна бачити, що низькі концентрації автомобільного бензину та авіаційного керосину стимулюють ріст кореня, а бензин за всіх застосованих концентрацій негативно впливає на кореневу систему. Очевидно, що концентрація 1000 ОКД є надпороговою інгібуючою для всіх застосованих видів палива (рис. 20–21).

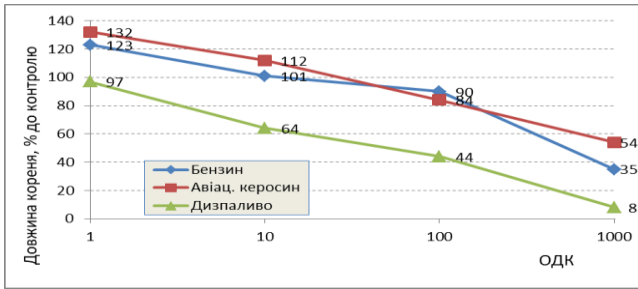


Рис. 20. Залежність довжини кореня шестидобових проростків від концентрації нафтопродуктів

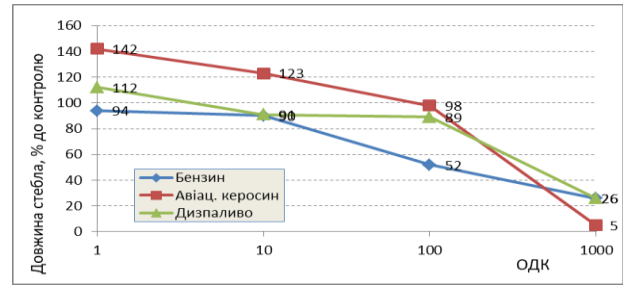


Рис. 21. Залежність довжини стебла шестидобових проростків від концентрації нафтопродуктів

Стимуляцію довжини стебла спостерігали для автомобільного бензину та авіаційного керосину (див. рис. 22–23). Дизпаливо впливало негативно за всіх застосованих концентрацій.

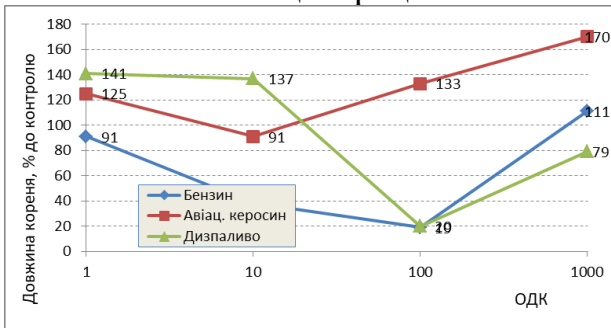


Рис. 22. Залежність довжини кореня шестидобових проростків від концентрації нафтопродуктів

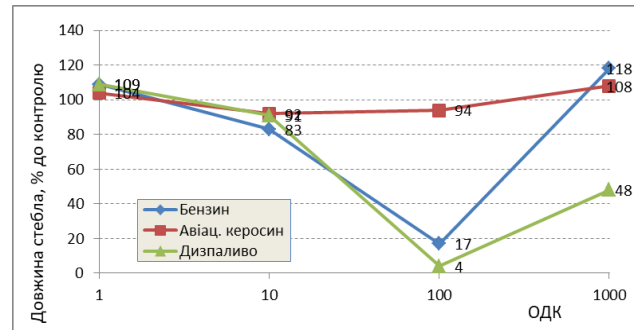


Рис. 23. Залежність довжини стебла шестидобових проростків від концентрації нафтопродуктів

Проаналізувавши результати вимірювання ростових параметрів шестидобових проростків льону, можливо побачити (рис. 22), що коренева система майже не відчуває дії нафтових вуглеводнів, а також видно, навіть, деяку стимулювальну дію. Токсичний ефект впливу бензину та дизельного палива зрівнюється порівняно з попередніми результатами досліджень ростових характеристик тридобових проростків. Щодо стебла (рис. 23), то результати демонструють менший рівень впливу, або ж, очевидно, опосередкований вплив через кореневу систему. Наприклад, для дизельного палива можемо спостерігати гормезисну дію. Але, зважаючи на реакцію кореня на забруднення авіаційним керосином, можна вважати, що стимуляція стебла є результатом прямої дії забрудника. А у разі забруднення дизельним паливом відбувається з опосередковано дія на стебло починаючи зі 100 ОДК вмісту нафтопродуктів у досліджуваних пробах ґрунту, а, починаючи з 1 ОДК – пряма дія.

Відомо, що до складу досліджуваних зразків палив входять легкі фракції нафти, які містять різну кількість простих низькомолекулярних вуглеводнів, зокрема: метанові (алкани), нафтенові (циклопарафіни) та ароматичні. Серед досліджуваних зразків палив вуглеводні, що входять до складу автомобільного бензину, є найбільш леткими, рухливими та токсичними. Вони здатні мігрувати по ґрунтовому профілю і водоносних горизонтах. Легкі фракції метанових вуглеводнів чинять токсичний вплив на живі організми, особливо швидко діють алкани з коротким вуглеводневим

ланцюгом. Завдяки кращій розчинності у воді ці сполуки легко проникають через мембрани в клітини. Основним джерелом токсичного впливу вважаються легкі нафтові фракції, що входять до складу світлих нафтопродуктів. Через леткість і високу розчинність низькомолекулярних алканів їх токсична дія зазвичай не є тривалою. При зменшенні вмісту легких фракцій токсичність нафтопродуктів знижується, проте підвищується токсичність ароматичних сполук, частка яких зростає. Що, своєю чергою можна пояснити аномальним ростом рослин на пробах ґрунту, забрудненого авіаційним керосином, саме при ОДК 1000. Адже, серед досліджених проб нафтопродуктів до складу авіаційного керосину входить найменша кількість ароматичних вуглеводнів. Таким чином, при забрудненні ґрунту нафтопродуктами найбільший вплив на стебло спричиняє авіаційне паливо, тоді як на корінь у менших концентраціях більше впливають бензин і дизельне паливо. При вищих концентраціях їхній вплив стає майже однаковим, що, ймовірно, пов'язано з фракційним складом і леткістю компонентів палива. Тому важливо під час екологічного моніторингу стану ґрунту зважати на стимулювальну дію нафтопродуктів на тест-рослини.

У **п'ятому розділі** наведено розроблену методику дослідження модифікуючого чутливості тест-рослин впливу гіпертермічним обробленням насіння біотесту та впливу хімічного забруднення ґрунту на показники росту проростків і визначено вплив гіпертермії на фітотоксичну дію нафтопродуктів на тест-рослини, що дало змогу створити науково-методологічне підґрунтя для удосконалення методики біотестування ґрунту на техногенно навантажених територіях.

Згідно з метою дослідження, насіння салату попередньо обробили термічно при температурі 60 °С протягом 5 хвилин. Після цього насіння висівали у ростильні розміром 213×124×32 мм, заповнені ґрунтом об'ємом 250 см³, по 210 штук кожна (рис. 24). У досліді використовували вісім ростиль: чотири для насіння без термообробки та чотири для насіння після термообробки. Це забезпечило вісім варіантів дослідження з різними рівнями забруднення авіаційним керосином марки ТС-1: контроль без термообробки; забруднення на рівні 1 ОДК, 10 ОДК, 100 ОДК; контроль після термообробки, забруднення на рівні 1 ОДК, 10 ОДК, 100 ОДК з термообробкою. Попередньо було проведено дослідження для визначення інгібуючих і гормезисних доз.

(часу термооброблення) термооброблення із застосуванням розробленого способу пророщування насіння рослин (отримано патент на корисну модель). Результати наведено на рис. 24 та 25.

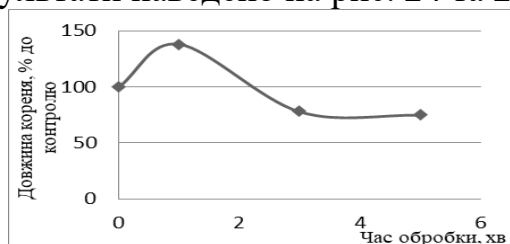


Рис. 24. Залежність довжини кореня проростків салату на п'яту добу спостереження від часу термообробки

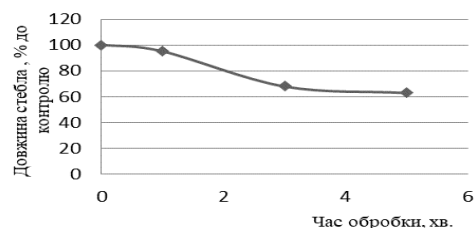


Рис. 25. Залежність довжини стебла проростків салату на п'яту добу спостереження від часу термообробки

Результати вимірювань показників росту проростків салату наведені на рисунках 26–27.

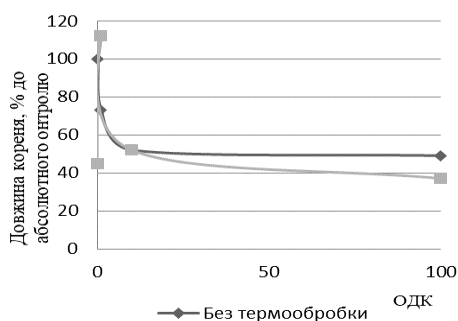


Рис. 26. Динаміка довжини кореня проростків салату в залежності від концентрації нафтопродукту на п'яту добу пророщування

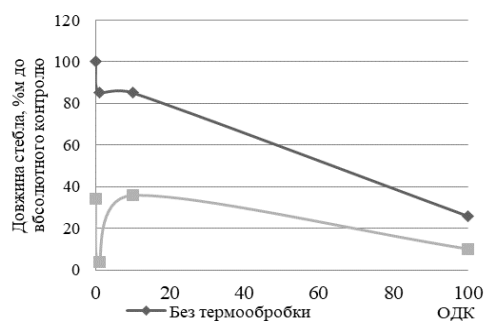


Рис. 27. Динаміка довжини стебла проростків салату в залежності від концентрації нафтопродукту на п'яту добу пророщування

Аналіз отриманих даних для кореня на п'яту добу дослідження (рис. 25) показав, що, незважаючи на негативний вплив термообробки на ростові характеристики кореня, концентрація 1 ОДК чинить стимулюючу дію у випадку термообробленого насіння. Інші концентрації нафтопродукту значно не впливають на ростові характеристики кореня. Для стебла проростків салату на п'яту добу (рис. 26) спостерігається інгібувальна дія. Встановлено, що сенсibilізація через термообробку підсилює пошкоджувальний вплив хімічного забруднення, збільшуючи чутливість тесту. Це проявляється для концентрацій 10 і 100 ОДК, де вплив термообробки не помітний на фоні інгібувальної дії забруднювача. Для 1 ОДК інгібування стебла може бути зумовлене стимуляцією росту кореневої системи, тоді як для 10 і 100 ОДК, ймовірно, спостерігається пряма дія забруднювача.

На сьому добу (рис. 27) відзначається посилення стимулюючої дії 1 ОДК на ростову активність кореня. Для вищих концентрацій керосину (10 і 100 ОДК) спостерігається відновлення ростової активності кореня до контрольних значень. Також відмічається зниження інгібувальної дії термообробки (з 40 % на п'яту добу до 50 % від контролю на сьому добу). На сьому добу спостережень (рис. 28–29) відмічено стимуляцію ростової активності стебла при концентраціях 1 і 10 ОДК, що, ймовірно, є наслідком прямого впливу забруднювача, оскільки цей ефект супроводжується стимуляцією росту кореня.

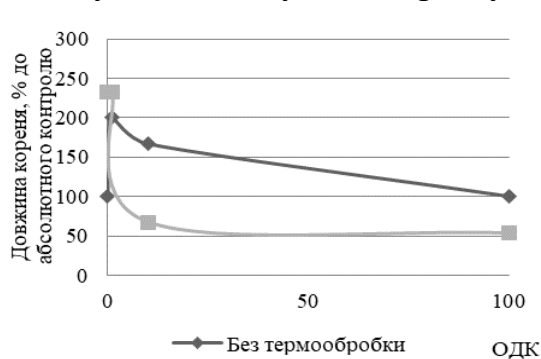


Рис. 28. Динаміка довжини кореня проростків салату в залежності від концентрації нафтопродукту на сьому добу пророщування

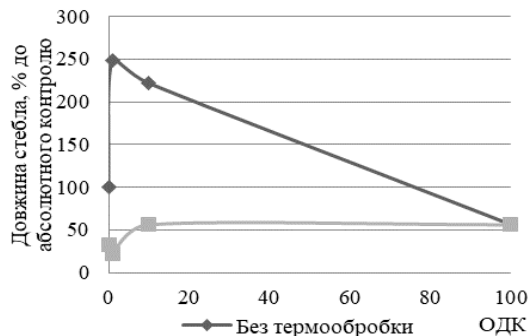


Рис. 29. Динаміка довжини стебла проростків салату в залежності від концентрації нафтопродукту на сьому добу пророщування

На дев'яту добу спостереження (рис. 30) чітко видно сенсibilізуєчий ефект термообробки для концентрації 1 ОДК. Для концентрацій, що перевищують 1 ОДК, ефект сенсibilізації не спостерігався, оскільки токсикант самостійно чинить значну інгібуючу дію на органи. Таким чином, термообробка підсилює інгібувальний вплив токсиканта в мінімальній концентрації на корені дев'ятидобових проростків салату. У реальних умовах можна припустити, що додатковий температурний вплив здатен посилити негативний ефект хімічного забруднення.

На дев'яту добу спостереження (рис. 31) зміни ростових характеристик стебла нагадують ті, що спостерігалися для кореня. Зокрема, відзначається пряма дія застосованих факторів, а також сенсibilізуєчий ефект додаткової термообробки насіння при концентрації 1 ОДК.

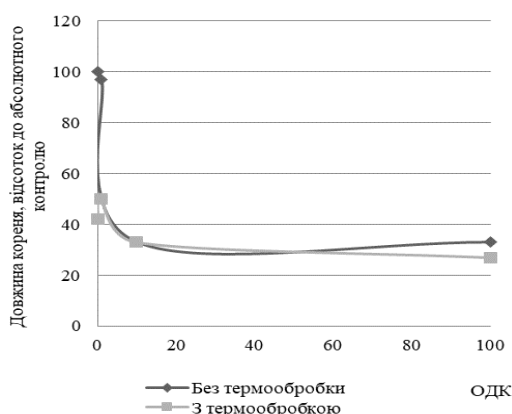


Рис. 30. Динаміка довжини кореня проростків салату в залежності від концентрації нафтопродукту на дев'яту добу пророщування

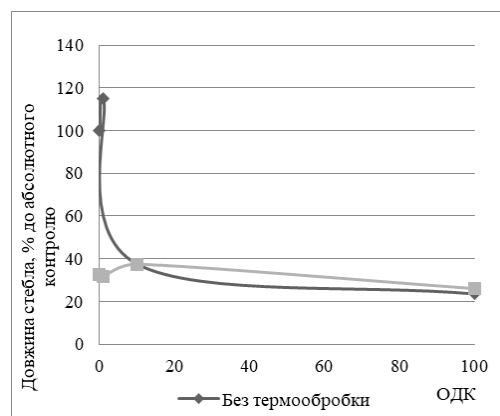


Рис.

Рис. 31. Динаміка довжини стебла проростків салату в залежності від концентрації нафтопродукту на дев'яту добу пророщування

Отже, аналіз отриманих даних свідчить, що для найменшої з використаних концентрацій забруднювача (1 ОДК для керосину) можливий сенсibilізуєчий вплив додаткового фактору іншої природи – гіпертермії. Цей факт вказує на необхідність удосконалення підходів до визначення ОДК, адже в реальних умовах об'єкти зазнають впливу комплексу факторів, негативна дія яких може взаємно посилюватися. Тому важливо враховувати цей аспект при покращенні методик біотестування ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

Метою дослідження було - врахувати одночасний вплив кількох факторів при біотестуванні ґрунту, забрудненого авіаційним гасом. Для підвищення ефективності використання методів біотестування забрудненості ґрунтів нафтопродуктами в умовах дії додаткових факторів було застосовано метод математичного планування експерименту. У цій роботі для дослідження впливу різних факторів на ефективність використання біотестування нафтозабруднених ґрунтів за допомогою методу математичного планування було використано один із видів МПЕ, а саме схему повного факторного експерименту (ПФЕ). Було проведено повний факторний експериментом, у якому реалізовані всі можливі варіанти поєднання рівнів впливу чинників (температури та нафтопродуктів). Умови проведеного експерименту можна навести у вигляді таблиці, рядки якої відповідають різним варіантам дослідів, а стовпчики – значенням обраних чинників. Така таблиця є відображенням матриці планування експерименту. Матриця планування експерименту для дослідження двофакторного експерименту, у нашому випадку експерименту, в якому кожний із

двох вживаних чинників (токсичності нафтопродуктів та гіпертермії) набуває по два значення, наведена в табл. 7.

Матриця планування двофакторного експерименту

Номер досліджу	X_1	X_2	X_1X_2	Y_i
1	+1	-1	-1	Y_1
2	-1	-1	+1	Y_2
3	+1	+1	+1	Y_3
4	-1	+1	-1	Y_4

У таблиці введено такі позначення: X_1, X_2 – фактори дії; X_1X_2 – ефект взаємодії; Y_i – значення функції відгуку.

Проведення дослідів за зазначеною схемою ПФЕ дає можливість оцінити кількість ефектів, що дорівнює числу проведених дослідів і реалізувати експериментальне дослідження, яке відповідає цій матриці планування експерименту.

Аналіз рівня забрудненості нафтопродуктами ґрунту – чинник X_2 – проводили з використання тест-об'єкта, підданого гіпертермічному обробленню – фактор X_1 , що давало можливість з'ясувати, як взаємодіють обрані для дослідження чинники. Останнє важливо з погляду розроблення та вдосконалення методів оцінювання екологічного стану ґрунтів на техногенно навантажених територіях.

Таблиця 8

Матриця планування двофакторного експерименту

Номер досліджу	Варіант досліджу	Вміст авіаційного керосину у ґрунті по щодо ОДК					
		1 ОДК		10 ОДК		100 ОДК	
1	Контроль	Y_1 (корінь)	Y_1 (стебло)	Y_1 (корінь)	Y_1 (стебло)	Y_1 (корінь)	Y_1 (стебло)
2	t°	Y_1 (100)	Y_1 (100)	Y_1 (100)	Y_1 (100)	Y_1 (100)	Y_1 (100)
3	ПММ (1 ОДК)	Y_2 (138)	Y_2 (95)	Y_2 (138)	Y_2 (95)	Y_2 (138)	Y_2 (95)
4	t° +ПММ	Y_3 (77)	Y_3 (92)	Y_3 (77)	Y_3 (92)	Y_3 (87)	Y_3 (75)
5	ПММ	Y_4 (115)	Y_4 (108)	Y_4 (115)	Y_4 (108)	Y_4 (101)	Y_4 (98)

Результати дослідження ґрунту, забрудненого авіаційним керосином у концентрації, кратній до ОДК, представлені на рис. 32–33.

На основі отриманих даних, наведених у табл. 8 були розраховані коефіцієнти регресійних рівнянь.

Коефіцієнти регресії визначений за результатами досліджень ростових характеристик обраного тест-об'єкта, обробленого протягом 1 хв за температури 60 °С для проб ґрунту, забруднених авіа

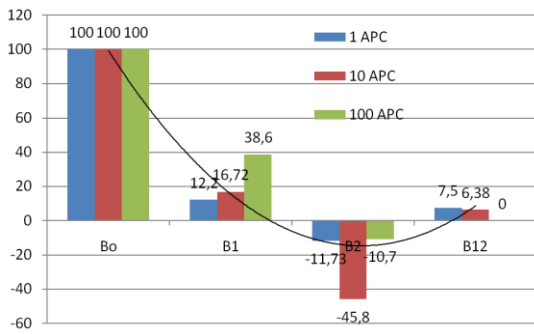


Рис. 32. Концентраційна залежність коефіцієнтів регресійних рівнянь для ґрунту, забрудненого нафтопродуктами (щодо контролю (%)) для ростового параметра – довжина кореня)

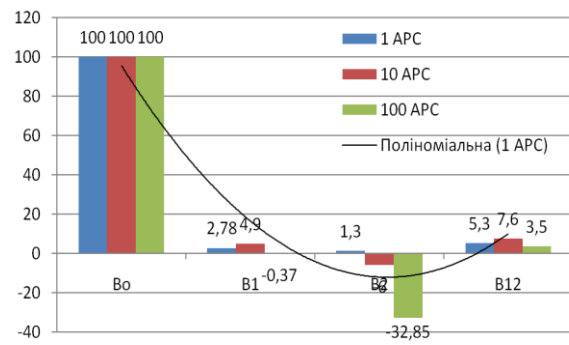


Рис. 33. Концентраційна залежність коефіцієнтів регресійних рівнянь для ґрунту, забрудненого нафтопродуктами (щодо контролю (%)) для ростового параметра – довжина стебла)

B_1 – коефіцієнт регресійного рівняння для контрольного зразку без дії різних чинників;

B_1 – коефіцієнт регресійного рівняння для впливу чиннику – температура; B_2 – коефіцієнт регресійного рівняння для впливу чиннику – концентрація нафтопродукту у ґрунті.

Проаналізувавши результати розрахунків коефіцієнта B_1 (коефіцієнт регресійного рівняння, що вказує на незалежний вплив температурного чинника), можна побачити, що зі збільшенням концентрації керосину спостерігається позитивний вплив термооброблення на ростову активність коренів досліджуваного тест-об'єкта. Найбільш позитивна дія температури спостерігається за найбільшої концентрації нафтопродукту у ґрунті. Для довжини стеблової частини тест-об'єкта спостерігався суттєво менший позитивний вплив термооброблення. Це можна пояснити різницею у динаміці впливу на різні органи тест-об'єкта. А саме тим, що стебло пізніше відчуває вплив токсиканта. Щодо B_2 (коефіцієнта регресійного рівняння, який відображає незалежний вплив чинника концентрація нафтопродукту у ґрунті), то він однозначно демонструє негативний вплив на розвиток кореневої системи тест-об'єкта. Той факт, що 10 ОДК здійснює найбільший негативний вплив, вказує на те, що, можливо, ця концентрація нафтопродукту у ґрунті є оптимальною, з погляду на проникнення у мембрани клітин обраного тест-об'єкта. За ростовою характеристикою довжиною стебла проростків салату відмічено помітну дію лише максимальної застосованої концентрації керосину. З огляду на той факт, що одночасно спостерігався негативний вплив і на кореневу систему, то кращі ростові параметри стебла, можливо, є наслідком опосередкованого впливу палива через його поглинання кореневою системою та інгібуючого трофічного та гормонального впливу на стеблову частину. Що стосується B_{12} (коефіцієнта регресійного рівняння для оцінювання взаємодії впливу двох факторів – температурного оброблення насіння салату та нафтопродукту у ґрунті), то спостерігається невисокий позитивний рівень значень цього коефіцієнта, що вказує на те, що дія факторів, все ж таки, в певною мірою неадитивна. Інакше кажучи, можна констатувати, хоча і незначну, але

захисну дію гіпертермічного оброблення щодо токсичної дії застосованого нафтопродукту.

Це дозволило виявити, що попередня обробка насіння гіпертермічним фактором у гормезисній дозі спричинила профілактичний (загартовувальний) ефект, підвищивши стійкість тест-об'єктів до токсичного впливу нафтопродукту. У реальних умовах існування організми відчують позитивну або негативну дію багатьох факторів (наприклад, температури, радіації тощо), на що треба зауважувати під час оцінювання рівня екологічної безпеки техногенно навантажених територій. Наші результати стали науково-практичною основою для підвищення ефективності застосування методів біотестування рівня забрудненості ґрунтів нафтопродуктами в умовах дії додаткових факторів, а також для подальшого вдосконалення методики оцінки екологічного стану ґрунтів на техногенно навантажених територіях.

У шостому розділі визначено ефективність методу фіторе mediaційного відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами з використанням різних видів рослин. Досліджено вплив різних нафтопродуктів на ферментативну здатність ґрунту та проведено порівняльні дослідження впливу різних видів рослин на ферментативну здатність порушеного, внаслідок хімічного забруднення ґрунту. Також обґрунтовано і подано загальні засади впровадження технології відновлення екологічного стану ґрунту, забрудненого нафтопродуктами та удосконалено технологію фіторе mediaції ґрунту, забрудненого нафтопродуктами і запропоновано методологічні засади реалізації системи екологічного моніторингу екологічного стану та забезпечення відновлення порушених ґрунтів на цих техногенно навантажених територіях.

Питання зниження рівня забруднення ґрунтів нафтопродуктами є актуальним на сьогодні. З цією метою використовуються різні методи, до яких, зокрема, належить фіторе mediaція, що має низку переваг. Ефективність очищення ґрунту від цього виду хімічного забруднення з використанням фіторе mediaції суттєво залежить від виду рослин, що використовуються. Метою дослідження було добрати найбільш перспективніші рослини для відновлення екологічного стану ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, зокрема, з-поміж різних видів рослин-сидератів. Для дослідження ефективності відновлення ґрунту, забрудненого авіаційним керосином використовувались такі види рослин: гірчиця біла (*Sinapis alba*), гірчиця чорна (*Brassica nigra*), віка посівна (*Vicia sativa* L.), віка озима (*Vicia villosa* Roth.), конюшина довгоголівчаста (*Trifolium rubens*), люцерна (*Medicago*) ріпак (*Brassica napus* L.), фацелія (*Phacelia*) та газонні суміші трав. На ґрунт, штучно забруднений авіаційним керосином, було висіяно насіння зазначеного переліку видів рослин. Пророщування тривало протягом десяти діб (рис. 34).

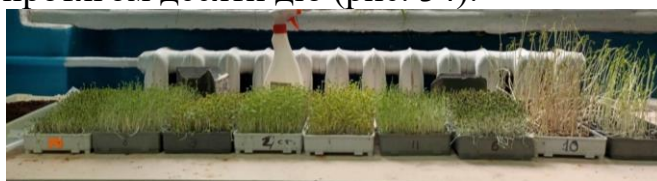


Рис. 34. Зразки рослин після пророщування

На десяту добу пророщування було відібрано зразки ґрунту з рослин для оцінки рівня фітотоксичності (рис. 34) та визначення ефективності очищення ґрунту від нафтопродуктів. Для оцінки фітотоксичності застосовувався ростовий тест із

використанням насіння салату (*Lactuca sativa*), шляхом аналізу ростових характеристик його проростків. Проаналізувавши отримані результати біотестування проб ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, встановили, що найперспективнішими рослинами для застосування в технологіях фіторе mediaції ґрунтів, забруднених нафтопродуктами на територіях з техногенним навантаженням (зокрема аеропортів та прилеглих до них територій), є: гірчиці біла (*Brassica nigra*), ріпак (*Brassica napus* L.), віка (*Vicia sativa* L.) та віка озима (*Vicia villosa* Roth.). Зокрема, ріпак може бути рекомендований для вирішення як завдань відновлення якості ґрунту, так і для подальшого використання у якості сировини для виготовлення біодизельного палива. Водночас, найнижчою здатністю до відновлення екологічного стану ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, за результатами наших досліджень, характеризується люцерна.

Для подальших досліджень можливості використання у запропонованій біоінженерній системі фіторе mediaції ґрунту на території прилеглий до аеропорту, було обрано гірчицю білу та ріпак, для яких попередньо було визначено вплив на ферментативну активність ґрунту, забрудненого різними видами палив. Дослідження активності поліфенолксидази в шарі ґрунту, штучно забрудненого нафтопродуктами різних марок, показало її залежність від типу палива та від тривалості процесу фіторе mediaції різними видами рослин. Зокрема, встановлено підвищення ферментативної активності ґрунту порівняно з контролем, забрудненого як автомобільним бензином марки А-95, так і авіаційним керосином марки ТС-1, при фіторе mediaції з використанням гірчиці білої та ріпака (табл. 9).

Таблиця 9

Результати експерименту з дослідження поліфенолксидазної активності ґрунту, забрудненого нафтопродуктами

Назва зразка	Поліфенолксидазна активність, мг 1,4-п-бензохінону на 100 г ґрунту за 1 год	
	десята доба фіторе mediaції ґрунту	двадцята доба фіторе mediaції ґрунту
Контроль	391,00	281,00
З висіванням гірчиці	437,67	297,67
З висіванням ріпаку	344,33	331,00
Ґрунт, забруднений 1 ОДК А-95	277,67	247,67
Ґрунт, забруднений 10 ОДК А-95	364,33	357,67
Ґрунт, забруднений 1 ОДК ТС-1	231,00	257,67
Ґрунт, забруднений 10 ОДК ТС-1	214,33	251,00
Ґрунт, забруднений 1 ОДК А-95 та гірчиця	497,67	314,33
Ґрунт, забруднений 10 ОДК А-95 та гірчиця	417,67	391,00
Ґрунт, забруднений 1 ОДК А-95 та ріпак	704,33	391,00
Ґрунт, забруднений 10 ОДК А-95 та ріпак	357,67	384,33
Ґрунт, забруднений 1 ОДК ТС-1 та гірчиця	204,33	237,67
Ґрунт, забруднений 10 ОДК ТС-1 та гірчиця	214,33	311,00
Ґрунт, забруднений 1 ОДК ТС-1 та ріпак	247,67	244,33
Ґрунт, забруднений 10 ОДК ТС-1 та ріпак	237,67	304,33

Отримані результати підтвердили правильність вибору рослин для розроблення технології відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

Технологічну схему використання біоінженерної системи відновлення ґрунту на техногенно навантажених територіях в зоні впливу аеропорту наведено на рис. 35. Розроблена біоінженерна система складається з біоплато у вигляді газону (рис.

36, а), завчасно вирощеного на шарі ґрунту (завтовшки 0,5 см) або на шарі агроперліту з використанням рослин, ефективнішими у процесі фітореMediaції ґрунту, забрудненого певним типом нафтопродукту.



Рис. 35. Технологічна схема використання біоінженерної системи відновлення ґрунту на техногенно навантажених територіях

Використання запропонованої технології під час польових досліджень допомогло знизити вміст нафтопродукту (авіаційного керосину марки ТС-1) у ґрунті за 10 діб на 15 %. Ефективність фітореMediaції була визначена за допомогою методу біотестування з використанням у як біотесту крес-салат у (*Lepidium sativum*) (рис. 36, б).



Рис. 35. Біоінженерна система відновлення ґрунту, забрудненого нафтопродуктами: а – сформований протягом п'яти діб газон; б – польові дослідження ефективності використання запропонованої біоінженерної системи очищення ґрунту від авіаційного керосину марки ТС-1

Для визначення ефективності застосування рекомендованих рослин провели дослідження ефективності фітореMediaції стандартних сумішей рослин, що використовуються для вирощування на газонах аеропортів відповідно до вимог нормативно-технічної документації та стандартних сумішей з додаванням віки та ріпаку. Результати дослідження фітореMediaційної здатності досліджених сумішей

рослин щодо ґрунту, забрудненого авіаційним паливом у концентрації 10 ОДК наведені на рис. 37-38.



Рис. 37. Зразки сумішей рослин після пророщування на штучно забрудненому авіаційним паливом ґрунті

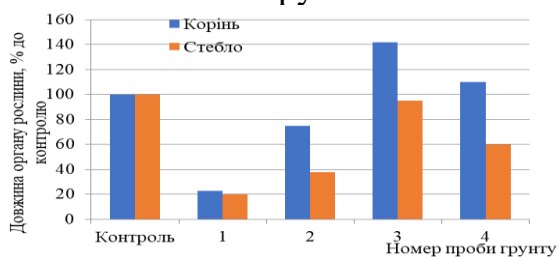


Рис. 38. Залежність довжини

органів тест-рослин від типу суміші рослин (на цьому добу фіторе mediaції):

1 – проба ґрунту, штучно забруднена авіаційним паливом кількістю 10 ОДК; 2 – проба ґрунту після пророщування стандартної для аеропорту суміші рослин; 3 – проба ґрунту після пророщування стандартної суміші рослин з додаванням віки; 4 – проба ґрунту після пророщування стандартної суміші рослин з додаванням ріпаку

стану ґрунту на цих територіях, що складаються з наступних етапів: щомісячного відбору проб ґрунту на відстані 50 м, 500 м, 1000 м, 1500 м та 2000 м по периметру території прилеглої до аеропорту; визначення рівня фітотоксичності з використанням удосконаленого нами з використанням сенсibiliзованих тест-систем, що дозволить знизити рівень стимуляції ростових характеристик рослин за певних концентрацій нафтопродукту у ґрунтах; за наявності високого рівня фітотоксичності проб ґрунту застосовувати розроблену біоінженерну систему або безпосередньо висівати до порушеного ґрунту види рослин, ефективність яких по стосовно різних видів нафтопродуктів було визначено у дослідженнях. Перевагою запропонованої біоінженерної технології відновлення ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, є її комплексність та можливість використання рослин після завершення процесу фіторе mediaції для виробництва біопалив. Також, важливою перевагою є можливість використовувати запропоновану біоінженерну систему не лише для територій авіапідприємств, а й для ґрунтів, забруднених нафтопродуктами на інших техногенно навантажених територіях.

Отримані результати продемонстрували підвищення ефективності фіторе mediaції під час додавання, при дернуванні ґрунтового покриття в аеропортах, до стандартних сумішей рослин віки та ріпаку. Порівнюючи отримані результати (табл. 10) вмісту важких металів у досліджених пробах з вихідним вмістом важких металів у пробах, відібраних на різній відстані від аеропорту, встановили, що для Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Cd та Mn спостерігається зниження вмісту важких металів у ґрунті під час використання рекомендованих видів рослин у біоінженерній системі відновлення ґрунту, що містить хімічне забруднення. Оцінювання зміни загального екологічного ризику (табл. 11) у разі використанні запропонованої системи для відновлення ґрунтів, на територіях, поблизу аеропортів в межах 2 км, що окрім нафтопродуктів забруднені важкими металами, було виконано за результатами визначення вмісту важких металів у відібраних біля аеропорту пробах. З огляду на особливості хімічного забруднення ґрунтів на територіях, прилеглих до аеропортів, запропоновано практичні рекомендації з моніторингу екологічного

Таблиця 11

Залежність вмісту важких металів у пробах ґрунту, відібраних біля аеропорту, від часу фіторе mediaції

Відстань від аеропорту	Вид рослини	Cu, мг/кг		Cr, мг/кг		Ni, мг/кг		Pb, мг/кг		Zn, мг/кг		Cd, мг/кг		Mn, мг/кг	
		10 доба	20 доба	10 доба	20 доба	10 доба	20 доба	10 доба	20 доба	10 доба	20 доба	10 доба	20 доба	10 доба	20 доба
Контроль	-	7,61	-	2,01	-	0,75	-	11,90	-	42,22	-	0,14	-	95,42	-
Контроль	Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>)	5,91	5,20	0,57	0,60	0,69	0,74	6,43	6,99	38,42	43,95	0,08	0,08	89,10	94,00
Контроль	Ріпак (<i>Brassica napus L.</i>)	7,18	6,72	0,76	1,01	0,89	0,90	7,64	9,34	46,39	56,15	0,14	0,11	113,4	101,6
50 м	Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>)	10,25	9,47	1,47	1,53	1,13	1,23	26,76	26,95	38,63	30,61	0,21	0,26	104,5	82,77
500 м	Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>)	10,95	7,59	1,30	1,24	1,69	1,72	11,26	11,16	15,99	18,80	0,31	0,33	97,48	95,98
1000 м	Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>)	17,42	16,22	4,41	4,39	3,43	3,45	15,26	15,61	30,47	31,35	0,37	0,39	80,88	80,26
1500 м	Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>)	12,22	11,61	1,99	1,87	1,90	1,40	23,66	23,24	45,73	46,95	0,31	0,31	99,46	94,82
2000 м	Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>)	16,92	16,23	3,45	3,57	2,61	2,61	11,00	12,61	37,50	41,16	0,21	0,23	102,4	98,26
50 м	Ріпак (<i>Brassica napus L.</i>)	9,82	10,35	1,66	2,20	1,78	1,27	24,87	28,83	29,09	34,74	0,28	0,29	91,17	91,63
500 м	Ріпак (<i>Brassica napus L.</i>)	8,39	6,37	1,25	1,14	1,70	1,51	10,25	10,16	15,49	16,76	0,32	0,30	90,60	81,24
1000 м	Ріпак (<i>Brassica napus L.</i>)	19,27	15,23	4,24	4,07	3,61	3,39	14,87	14,82	32,30	31,11	0,42	0,37	85,67	78,35
1500 м	Ріпак (<i>Brassica napus L.</i>)	11,91	13,19	1,58	1,55	1,48	1,27	21,03	21,69	42,11	45,72	0,31	0,29	96,50	85,12
2000 м	Ріпак (<i>Brassica napus L.</i>)	17,05	15,91	3,33	3,28	2,60	2,56	10,46	10,75	36,37	39,64	0,23	0,21	104,7	100,4

Результати оцінки загального екологічного ризику

Відстань від аеропорту	IR до фіторе-медіації ґрунту	Вид рослини	IR на десяту добу фіторе-медіації	IR на двадцятую добу фіторе-медіації
50 м	114,34	Гірчиця	71,76	84,47
500 м	90,2	Гірчиця	92,01	92,43
1000 м	132,71	Гірчиця	125,97	126,73
1500 м	123,82	Гірчиця	101,53	97,0
2000 м	107,16	Гірчиця	78,77	92,43
50 м	114,34	Ріпак	91,89	93,49
500 м	90,2	Ріпак	92,25	85,2
1000 м	132,71	Ріпак	138,7	123,7
1500 м	123,82	Ріпак	96,55	91,9
2000 м	107,16	Ріпак	87,43	80,64

Таким чином, закладено основи для зменшення негативного техногенного впливу на екологічний стан ґрунтів у зонах техногенного навантаження, зокрема на територіях, що зазнають впливу діяльності аеропортів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною самостійною науковою працею, вирішено актуальну науково-методологічну задачу підвищення екологічної безпеки ґрунтів на техногенно навантажених територіях авіапідприємств та прилеглих зон. Це досягнуто завдяки підвищенню ефективності використання методів біотестування рівня забрудненості ґрунтів нафтопродуктами в умовах дії додаткових факторів, а також вдосконаленню методики оцінки екологічного стану таких ґрунтів.

Нижче представлено отримані наукові та практичні результати.

1. У результаті аналізу стану проблеми хімічного забруднення ґрунтів внаслідок здійснення авіатранспортних процесів визначено основні джерела хімічного забруднення ґрунту в зоні впливу аеропорту. Встановлено, що існуючі технології відновлення порушених ґрунтів в зоні впливу аеропортів потребують удосконалення за рахунок застосування фіторе-медіації.

2. Встановлено, що для проб ґрунту, відібраних на відстані 50 м та 500 м від ЗПС, вміст нафтопродуктів є нижчим встановленого ОДК (0,2 г/кг), а для проб, відібраних на відстанях 1000, 1500 та 2000 м - перевищує значення ОДК. За результати хроматографічного аналізу складу хімічного забруднення ґрунтів встановлена наявність значної кількості вуглеводнів, що характерні для паливних фракцій нафти. Встановлено значне перевищення ГДК для таких металів, як Cu, Zn, Pb та Cr та незначне перевищення ГДК за вмістом Ni та Co. Розраховані значення сумарного показника забруднення ґрунту Zc (в межах від 5,55 до 11,96) на даній території відповідають допустимій категорії забруднення ґрунту. Хімічне забруднення ґрунту також підтверджено результатами біотестування даних проб та зразків ґрунту об'єкту зберігання авіапалив, що визначає необхідність розробки

та впровадження системи моніторингу екологічного стану ґрунту в зоні впливу аеропорту.

3. Проведено математичне моделювання та визначено кореляційну залежність рівня екологічного стану ґрунту від вмісту нафтопродуктів на відстанях 50 м, 500 м, 1000 м, 1500 м та 2000 м від ЗПС. Застосування моделі надасть можливість здійснювати оцінку впливу авіатранспортних процесів на стан ґрунту в зоні впливу аеропорту.

4. Визначено залежності морфометричних параметрів тест-рослин від концентрації автомобільного бензину, авіаційного палива та дизельного палива в ґрунті. Встановлено, що за концентрації 10 ОДК для більшості палив спостерігається гормезисний (позитивно стимулюючий) ефект. Ці результати свідчать про необхідність удосконалення методики біотестування при екологічному моніторингу ґрунтів забруднених нафтопродуктами.

5. Розроблено методику дослідження впливу гіпертермічної обробки насіння тест-рослин та хімічного забруднення для подальшого використання сенсibilізованих рослин при біотестуванні забруднених нафтопродуктами ґрунтів. Отримано дозові залежності впливу гіпертермічної обробки насіння салату та хімічного забруднення у ґрунті на ростові показники проростків тест-рослин та визначено оптимальний час термообробки (5 хв за 60 °С). Отримано результати дослідження впливу гіпертермії на тест-рослини, що дозволили підвищити їх чутливість. Показане підвищення чутливості тест-рослин до дії хімічного забрудника на 10%, що надасть можливість визначати рівень впливу двох факторів на ростові параметри тест-рослин та удосконалити методику біотестування хімічно забруднених ґрунтів.

6. Проведено скринінг рослин, придатних для застосування у технології відновлення ґрунту в зоні впливу аеропорту. Доведено, що найбільш ефективними рослинами для фіторе mediaції є: гірчиця (*Sinapis alba*), ріпак (*Brassica napus L.*), віка (*Vicia sativa L.*) та віка озима (*Vicia villosa Roth.*). Ступінь відновлення ґрунту по відношенню до контролю склав відповідно 151,5%, 103,5%, 157,0% та 111,4%. Досліджено ферментативну здатність ґрунтів, забруднених нафтопродуктами та визначено залежність ферментативної активності ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, від виду використаних у фіторе mediaції рослин, що дало можливість обрати відповідні рослини для подальшого удосконалення технології відновлення ґрунту в зоні впливу аеропортів.

7. Розроблено науково-методологічні засади оцінки ефективності та впровадження технології фіторе mediaції забрудненого нафтопродуктами ґрунту. Встановлено, що на 10-ту добу спостереження проявляється позитивний ефект застосування технології фіторе mediaції, що свідчить про перспективність використання технології фіторе mediaції для відновлення нафтозабруднених ґрунтів. Встановлено зниження загального екологічного ризику, визначеного за вмістом важких металів у ґрунті, для 98 % досліджених проб ґрунту, в зоні впливу аеропорту. Удосконалено існуючу фіторе mediaційну технологію відновлення ґрунту з використанням біоінженерної конструкції біоплато (газону). За результатами польових досліджень ефективність запропонованої інженерної

системи складає 65% у порівнянні з ґрунтом без застосування запропонованої технології та може бути рекомендована для застосування у технологіях відновлення хімічно забруднених ґрунтів.

8. Розроблено проєкт практичних рекомендацій підвищення рівня екологічної безпеки техногенно-навантажених територій в зоні впливу аеропортів. Доведено доцільність застосування у запропонованій системі моніторингу екологічного стану ґрунту удосконаленої методики біотестування ґрунту у поєднанні з удосконаленою технологією фіторе mediaції ґрунту.

9. Результати досліджень впроваджено в ТОВ «Хелмкойл Україна» у вигляді практичних рекомендацій з контролю екологічного стану ґрунту на авіатранспортних підприємствах та на прилеглих територіях, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки ґрунтів на території авіатранспортного підприємства та на прилеглий території. Також упроваджено у практичну діяльність ТОВ «ПАСПОЛ» біоінженерну систему відновлення ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки ґрунту на техногенно навантаженій території.

У навчальний процес кафедри екології Національного авіаційного університету отримані результати впроваджено для студентів спеціальності 101 «Екологія» під час викладання дисциплін «Відновлення порушених екосистем» у вигляді технології фіторе mediaції ґрунтів на техногенно навантаженій території і удосконаленої методики біотестування ґрунтів на техногенно навантажених територіях «Біоіндикація та біотестування».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації;

1. Антропченко А.К., Радомська М.М., **Черняк Л.М.**, С.В. Бойченко. Оцінювання потенційного токсичного ефекту викидів вуглеводнів із резервуара типової АЗС для міського населення. *Нафтогазова галузь України*. 2016. №2. С. 40–43. (*Google Scholar*). Авторкою розраховано неонкологічний ризики для населення від хімічного забруднення довкілля на АЗС.

2. Бойченко С.В., М.М. Радомська, **Черняк Л.М.**, Антропченко А.К. Оцінка неонкологічного ризику для здоров'я населення від викидів вуглеводнів з резервуару типової АЗС. *Наукоємні технології*. 2015. № 4 (28). С. 358–362. (*Google Scholar*). Авторкою визначено вплив діяльності об'єктів заправлення паливом на навколишнє середовище.

3. Маджд С.М., **Черняк Л.М.**, Міхєєв О.М. Використання рослин для індикації стану ґрунтів техногенно-навантажених територій. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2020. Т. 1, № 20. С. 68–73. (*Index Copernicus*). Автором визначено переваги використання рослин для індикації стану ґрунтів на техногенно-навантажених територіях.

4. M. Radomska, S. Madzhd, O.Mikhyeyev, **L. Cherniak**. Environmental Pollution in the Airport Impact Area—Case Study of the Boryspil International Airport. / *Ecological Problems*. 2020. Vol. 5, no. 2. P. 76–82. (*Index Copernicus*). Авторка брала участь у проведенні дослідження особливостей накопичення важких

металів у рослинах на ґрунтах техногенно-навантажених територій з хімічним типом забруднення.

5. **L. Cherniak**, M. Radomska, S. Madzhd, A. Hryb, L. Pavliukh. The assessment of the filling stations impact on the environment. *Proceedings of the National Aviation University*. 2020. Vol. 2, no. 83. P. 63–69. (Index Copernicus). Автору належить визначення впливу діяльності автозаправних станцій на кислотність ґрунту.

6. **Черняк Л.М.**, Міхєєв О.М., Маджд С.М., Гриб А.О. Використання рослинних тест-систем для визначення екологічного стану ґрунтів на території аеропорту. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2020. Т. 4, № 123. С. 50–55. (Index Copernicus). Автору належить експериментальне визначення екологічного стану ґрунту на території аеропорту та обробка отриманих результатів.

7. **Черняк Л.М.**, Міхєєв О.М., Маджд С.М., Дмитруха Т.І., Лапань О.В. Вивчення впливу гіпертермічної обробки насіння салату та хімічного забруднення ґрунту на ростові показники проростків. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2021. Т. 5, № 130. С. 49–54. (Index Copernicus). Авторці належить проведення експериментальних досліджень та обробка експериментальних даних з впливу гіпертермічної обробки насіння салату та хімічного забруднення ґрунту на ростові показники проростків.

8. M. Radomska, I. Horobtsov, **L. Cherniak**, O. Tykhenko. The analysis of airports' physical factors impacts on wildlife. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Vol. 31, no. 3. P. 74–79. (Index Copernicus). Авторка брала участь у проведенні аналіз можливого техногенного впливу структури аеропорту на навколишнє середовище.

9. Петрусенко В.П., Дмитруха Т.І., Маджд С.М., **Черняк Л.М.**, Лапань О.В. Стійкість математичної моделі екосистеми на прикладі екосистеми схилів. *Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2021. Т. 4, № 129. С. 104–109. (Index Copernicus). Авторка брала участь у встановленні можливості використання математичної моделі динамічної екосистеми схилів, як інструменту для аналізу екологічних процесів у будь-якій екосистемі з наступним застосуванням певних контрзаходів

10. Міхєєв О.М., Лапань О.В., Маджд С.М., **Черняк Л.М.** Розроблення гідрофітної споруди типу біоплато для цілей фіторе mediaції. *Доповіді Національної академії наук України*. 2022. № 3. С. 92–98. (Google Scholar). Авторка брала участь в аналіз переваг та недоліків різних варіантів пророщування насіння в конструкції біоплато.

11. **L. Cherniak**, R. Petruk, O. Mikhieiev, S. Madzhd, G. Petruk. Investigation of the influence of hyperthermia and soil pollution with the petrochemicals on test objects using the method of mathematical planning. *NAUKOVYI VISNYK Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. No. 5. P. 153–157. (Scopus, Q3). Авторці належить проведення експериментальних досліджень та обробка результатів впливу гіпертермії та хімічного забруднення на рослинні тест-системи та запропоновано математичну модель, що характеризує залежність ростових параметрів тест-рослин від впливу двох факторів.

12. **Черняк Л.,** Міхєєв О., Лапань О., Дмитруха Т., Яремчук Л. Аналіз ефективності використання методу фіторемедіації для відновлення нафтозабрудненого ґрунту. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2023. Т. 5, № 126. С. 19–26. (Index Copernicus). Авторці належить проведення та обробка експериментальних дослідження щодо визначення ефективності використання методу фіторемедіації для відновлення нафтозабрудненого ґрунту й обґрунтування переваг та перспективності використання методу фіторемедіації для відновлення якості ґрунту, забрудненого нафтовими вуглеводнями

13. **Черняк Л.М.,** Міхєєв О.М., Маджд С.М., Дмитруха Т.І., Петрусенко В.П., Лапань О.В. Використання математичного планування експерименту для кількісної оцінки методу фіторемедіаційного відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2023. Т. 1, № 42. С. 158–163. (Index Copernicus). Авторці належить створення математичної моделі, що характеризує залежність ефективності фіторемедіації ґрунтів в залежності від концентрації нафтопродуктів.

14. **Черняк Л.М.,** Міхєєв О.М., Лапань О.В., Дмитруха Т.І., Томаш Манецькі, Овсянніккова Л.Г. Біотестування стану ґрунтів на територіях, прилеглих до аеропортів. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2023. Т. 2, № 43. С. 24–29. (Index Copernicus). Авторці належить експериментальне дослідження фітотоксичності ґрунтового покриву на території, прилеглій до аеропорту та обробка отриманих результатів експериментальних досліджень.

15. **Cherniak L.,** O. Shevchenko, T. Maniecki, O. Mikhayeyev, O. Shtyka, R. Ciesielski. The Effect of Petroleum Products Pollution on Environmental Soil Condition at Airport Adjacent Territory. *NAUKOVYI VISNYK Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. No. 4. P. 92–98. (**Scopus, Q3**). Авторці належить проведення експериментальних досліджень та обробка отриманих результатів щодо рівня хімічного забруднення ґрунту з використанням фізико-хімічного методу та визначення рівня фітотоксичності ґрунту на території прилеглій до аеропорту, моделювання залежності рівня фітотоксичності ґрунту від відстані до злітно-посадкової смуги аеропорту та вмісту нафтопродуктів.

16. **Черняк Л.М.,** Міхєєв О.М., Лапань О.В., Томаш Манецькі, Дмитруха Т. Скринінг рослин для фіторемедіаційного відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2024. № 4(147). С. 45–51. Авторці належить проведення експериментальних дослідження ефективності фіторемедіації за допомогою різних рослин та підбір найбільш перспективних для відновлення ґрунтів порушених забрудненням нафтопродуктами

17. **Черняк Л.М.,** Міхєєв О.М., Яремчук Л.О. Гіперкомпенсаторний ріст проростків *Lactuca Sativa*, спричинений термообробкою насіння. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія «Біологія*. 2021, спеціальний випуск. – 90 С. Авторці належить експериментальне дослідження впливу термообробки на гіперкомпенсаторний ріст проростків біотесту.

18. Horobtsov, I., **Cherniak, L.**, Radomska, M., Tykhenko, O., Synylo K., Development of a cognitive model for the analysis of relationships in the airport environmental management system. Ecological Safety and Balanced Use of Resources. 2023. 14(2), 9-18 *Р. Авторці належить експертна оцінка, у якості одного з експертів, впливу встановлених груп факторів на екологічну безпеку аеропортів.* <https://doi.org/10.69628/esbur/2.2023.09>

19. **Черняк Л.М.**, Манецьки Т., Штика О.С.. Процак Ю.О., Петрусенко В.П., Дмитруха Т.І. Використання методу математичного планування для визначення ефективності фотокаталізу при очищенні стічних вод авіапідприємств. «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. № 7(35) 2024. С. 987-1000. *Авторці належить аналіз ефективності використання хімічних методів для відновлення якості виробничих стічних вод на авіапідприємствах.* [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-7\(35\)](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-7(35))

20. V. Isaienko, S. Madzhd, Ya. Pysanko, K. Nikolaiev, E. Bovsunovskyi, **L. Cherniak**. Development of a procedure for determining the basic parameter of aquatic ecosystems functioning – environmental capacity. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1/10, no. 97. P. 21–28. (**Scopus, Q3**). *Авторці належить аналізу ефективності використання біоінженерних конструкцій для очищення водних екосистем, забруднених внаслідок антропогенної діяльності.*

21. **Cherniak L.**, Mikhyeyev O., Madzhd S., Lapan O., Dmytrukha T., Petrusenko V. Determination of the Dependence of the Plant Growth Characteristics on the Concentration of Petrochemicals in the Soil. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, no. 2. P. 226–233. *Авторці належить проведення та обробка експериментальних дослідження щодо оцінки залежності ростових характеристик рослин від концентрації нафтопродуктів у ґрунті (Scopus, Q2).*

22. **Cherniak L.**, Mikhyeyev O., Madzhd S., Lapan O., Dmytrukha T., Korniienko I. Usage of plant test systems for determination of phytotoxicity of contaminated with petroleum products soil. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, no. 6. P. 66–71. *Авторці належать обробка та проведення експериментальних досліджень з визначення фітотоксичності ґрунту забрудненого нафтопродуктами (Scopus, Q2).*

23. Radomska M., **Cherniak L.**, Samsoniuk O. The Improvement of Energy-Saving Performance at Ukrainian Airports. *Advances in Sustainable Aviation*. Springer International Publishing AG. 2018. Chapter 13. P. 189–203. *Авторці належить визначення потенціалу покращення якості навколишнього середовища в аеропортах України та на прилеглий території (Scopus).*

24. Oksana Lapan, Oleksandr Mikhyeyev, Svitlana Madzhd, **Larysa Cherniak**, Olena Maksimenko. Development of the Hydrophytic Structure of the Bioplateau Type for the Purification of Water Bodies From ¹³⁷Cs. *Ecologia Balkanica*. Volume 14, Issue 1. 2022. P. 1-9. *Авторці належить визначення переваг та недоліків різних варіантів пророщування насіння в конструкції біоплато (Scopus, Q4).*

25. Дмитруха Т.І., **Черняк Л.М.**, Фролов В.Ф., Петрусенко В.П., Лапань О.В., Кондакова Т.С., Трофімов І.Л., Полив'ян Ю.В. Еколого-математичний аналіз небезпеки полігону побутових відходів для довкілля (на прикладі Фастівського

району). Екологічні науки. 2024, №2 (53). С. 72-76. *Авторці належить аналіз проблеми забруднення ґрунтів важкими металами.*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

26. **Черняк Л.М.,** Міхєєв О.М., Маджд С.М., Дмитруха Т.І., Лапань О.В. Спосіб пророщування насіння : пат. 146742 Україна : А01С 1/04 (2006.01). № u 2020 03832 ; заявл. 25.06.2020 ; опубл. 18.03.2021, Бюл. № 11. 4 с. *Авторці належить визначення переваг запропонованого способу пророщування насіння над прототипом та проведення експериментальних досліджень ефективності використання запропонованого способу.*

27. Міхєєв О.М., Ісаєнко В.М., **Черняк Л.М.,** Маджд С.М., Лапань О.В., Дмитруха Т.І. Спосіб експрес-фітотестування навколишнього середовища на основі використання плаваючої конструкції : пат. 147918 Україна : А01С 1/04 (2006.01). № u 2020 05821 ; заявл. 10.09.2020 ; опубл. 24.06.2021, Бюл. № 25. 4 с. *Авторці належить розробка способу експрес-фітотестування та експериментальне дослідження ефективності застосування запропонованого способу.*

28. **Cherniak Larysa,** Radomska Margaryta, Cherniy Lilia. Interaction of gasoline volatility and its ecological characteristics: Systemy i Środki Transportu Samochodnego. Wybrane Zagadnienia. Monografia nr. 9. Seria: Transport. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2017., pp. 29-32. *Авторці належить експериментальне дослідження зміни екологічних характеристик автомобільного бензину внаслідок випаровування та визначення кількості вуглеводнів, що потрапляють до навколишнього середовища внаслідок втрат від випаровування.*

29. Radomska M., **Cherniak L.** The Analysis of the Sustainability Commitment Formulation and Implementation for the Selected Airlines. Sustainable Aviation. Greening the Flight Path. Editors: Thomas Walker, Angela Stefania Bergantino, Northrop Sprung-Much, Luisa Loiacono, Palgrave Macmillan Cham. 2020. – 79-100 P. *Авторці належить аналіз особливостей впливу цивільної авіації на навколишнє середовище.*

30. **L. Cherniak,** M. Radomska, O. Mikhyyeyev, S. Madzhd. The Assessment of Environmental Risks from Airport Fuel Depots. Proceedings (Full paper Book) International Symposium on Sustainable Aviation (ISSA-2019). – 2019. pp. 54-57. *Авторці належить оцінка екологічного ризику в зоні впливу служб паливно-мастильних матеріалів аеропортів.*

31. **Cherniak L.,** Radomska M., Samsoniuk O. An Analysis of local climate effects: a case study of the Lviv International Airport. *Studia Periegetica.* 2017. Vol. 1, no. 17. P. 123–138. (PAN). *Авторці належить оцінка локального впливу аеропорту на навколишнє середовище.*

32. Mikhyyeyev O. M., Lapan O. V., Madzhd S. M., **Cherniak L. M.,** Dmytrukha T. I. Development of the hydrophytic structure of the bioplateau type for the purposes of phytoremediation. Radiobiology and Radiation Safety. 2021. Vol 1. P. 35–40. *Авторці належить аналіз можливості використання різних варіантів пророщування насіння в конструкції біоплато.* <https://doi.org/10.48614/rrs120213286>.

33. **Larysa Cherniak**, Tomasz Maniecki, Oksana Tykhenko, Oksana Proskurnia, Tetiana Dmytrukha. Comparison of the efficiency of phytoremediation of soil contaminated with different types of oil products. *ScienceRise*, No. 3. 2023. P. 10-17. *Авторці належить розробка методології дослідження ефективності використання фіторе mediaції ґрунту з використанням хроматографічного аналізу та обробка експериментальних даних.* <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2023.003217>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

34. **L. Cherniak**, O. Mikhayeyev, T. Dmytrukha, O. Lapan, I. Horobtsov. *Scientific and Methodological issues for improvement of the systems of environmental management at technogenically loaded enterprises*. International Conference on Integrated Approaches towards Sustainable Management of Environment for Safe food, Nutrition and Improved Health : book of abstract, December 15-17, 2021. Kalyan, West Bengal, India, 2021. P.89. *Авторкою запропоновано методологічні основи для удосконалення системи екологічного менеджменту на техногенно навантажених територіях в зоні впливу авіапідприємств.*

35. **Черняк Л.** Нафтопродукти в техносфері та біосфері, як у цілісних системах. *Поступ в нафто газопереробній та нафтохімічній промисловості* : матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції, м. Львів, 18-23 травня 2020 р. Львів. 2020. С. 27.

36. **Черняк Л.**, Гнідак Я., Бондарук А., Антропченко А.. Екологічна безпека сучасних автозаправних станцій. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи* : матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів. 4-6 листопада 2015 р., Львів : Львівський державний університет цивільного захисту, 2015. С. 310-312. *Авторці належить аналіз факторів, що визначають рівень екологічної безпеки сучасних автозаправних станцій.*

37. **Черняк Л.**, Міхеєв О. Використання рослинних тест-систем для оцінки фіто токсичності нафто забруднених ґрунтів. *Поступ в нафто газопереробній та нафтохімічній промисловості* : матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції, м. Львів, 16-17 травня 2022 р. Львів, 2022. С. 143. *Авторці належить проведення експериментальних досліджень з визначення рівня фітотоксичності ґрунту, забрудненого нафтопродуктами.*

38. **Черняк Л.**, Пузік Г. Визначення впливу технологічних процесів типового нафтопереробного підприємства на довкілля. *Актуальні проблеми енергетики та екології* : зб. мат. XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Одеса, 5-7 жовтня 2016 р. Одеса. 2016. С. 93. *Авторці належить визначення діяльності впливу типового нафтопереробного заводу на різні компоненти довкілля.*

39. Дмитруха Т.І., **Черняк Л.М.**, Лапань О.В., Петрусенко В.П. Небезпека діяльності підприємств з переробки полімерних відходів «ЕКОВТОР» та розрахунок сумарного неконцерогенного ризику, пов'язаного з роботою підприємства. *Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології. Національний форум* : мат. Конференції, м. Івано-Франківськ, 21-23

листопада 2023 р. Івано-Франківськ. 2023. С. 164-166. *Авторці належить аналіз основних екологічно небезпечних чинників діяльності підприємства.*

40. **Черняк Л.М.** Екологічна оцінка впливу об'єкту заправлення палив на атмосферне повітря. *Екологічна безпека держави* : матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих вчених, м. Київ, 20 квітня 2017 р. Київ. 2017. С. 27.

41. **L. Chernyak, M. Radomska, S. Boichenko.** Main aspects of modern aviation sustainable development. *International Symposium on Sustainable Aviation : Abstract book*, Kyiv, 10-13 September 2017. Kyiv. 2017. P. 10. *Авторці належить встановлення основних тенденцій у забезпеченні сталого розвитку галузі цивільної авіації.*

42. **Черняк Л.М.** Екологічний стан ґрунту в зоні аеродрому. *Авіація, промисловість, суспільство* : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Кременчук, 12 травня 2022 р. Кременчук. 2022. 385 С.

43. **Лариса Черняк.** Сучасні способи запобігання втратам бензинів. Екологічний аспект. *Advance in Petroleum and Gas Industry and Petrochemistry : proceedings of IX International Scientific-Technical Conference*, Lviv, May 14-18, 2018, Lviv. 2018. pp. 118-121.

44. **Larysa Cherniak.** The Enhancement of Environmental Safety of Airports Fuel Service. *International Symposium on Sustainable Aviation : Abstract Book*, Roma, Italy, 9-11 July, 2018, Roma. 2018. P. 32.

45. **Л. Черняк, М. Радомська.** Облік і моніторинг викидів вуглеводневої пари на АЗС. *Поступ в нафтопереробній та нафтохімічній промисловості* : збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції, м. Львів, 16-21 травня, 2016 р. Львів, 2016. 45 С. *Авторці належить аналіз проблеми здійснення обліку викидів вуглеводневої пари на АЗС.*

46. **Черняк Л.М. А.О. Гриб, Л.О. Черній.** Оцінка екологічної небезпеки об'єктів заправлення транспортних засобів паливом. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи* : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 14 вересня 2018 р. Львів, 2018. С. 193. *Авторці належить визначення основних факторів, що визначають рівень екологічної безпеки об'єктів заправлення паливом транспортних засобів.*

47. **L. Cherniak, M. Radomska, O. Mikhyeyev, S. Madzhd.** The Assessment of Environmental Risks From Airport Fuel Depots. *International Symposium on Sustainable Aviation : abstracts*. Budapest, May 26-29, 2019, Budapest, 2019. P. 9. *Авторці належить оцінка екологічного ризику в зоні впливу служб паливно-мастильних матеріалів аеропортів.*

48. **Черняк Л.М., Міхєєв О.М., Гриб А.О.** Джерела забруднення ґрунтів нафтопродуктами на території аеропорту. *Екологія-2019 : VII всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю*, м. Вінниця, 25-27 вересня 2019 р. Вінниця, 2019. С. *Авторкою проаналізовано основні джерела забруднення ґрунтів нафтопродуктами в зоні впливу аеропортів.*

49. **Гриб А., Черняк Л.** Фіторе mediaція нафтозабруднених ґрунтів. *IX Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції* : зб. тез доп., м. Ірпінь, 04-15 листопада 2019 р. Ірпінь : Університет ДФС України, 2019. С. 201-203.

Авторкою проведено експериментальні дослідження та здійснено обробку отриманих експериментальних даних з визначення ефективності використання фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів.

50. Дмитруха Т.І., **Черняк Л.М.**, Лапань О.В., Кондакова Т.С. Результати дослідження об'єктів різного призначення в разі руйнування ртутних джерел світла : *Сучасні проблеми теплоенергетики та захисту довкілля* : зб. тез I міжнародної науково-практичної конференції, м. Полтава, 21-22 вересня 2023 р. Полтава, 2023. 71-72 с. *Авторкою проаналізовано особливості забруднення навколишнього середовища ртуттю.*

51. **Черняк Л. М.**, Міхеєв О. М., Гриб А. О., Горобцов І. В. Застосування рослинних тест-систем для оцінки рівня забрудненості ґрунтів нафтопродуктами. *Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій* : наук. праці II Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 19 грудня 2019 р. Київ : – НУХТ, 2019. С. 296-297. *Авторкою проведено експериментальні дослідження з використанням рослинних тест-систем для оцінки рівня забрудненості ґрунтів нафтопродуктами.*

52. **Черняк Л.М.**, Міхеєв О.М., Ніколаєв К.Д. Аналіз чинників деградації ґрунтів урболандшафтів. *Challenges in Science of Nowadays : Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference*, Washington, 26-28 December 2019. Washington, 2019. pp. 105-106. *Авторкою проаналізовано основні чинники деградації ґрунтів урболандшафтів.*

53. Дмитруха Т.І., **Черняк Л. М.**, Лапань О. В., Оцінка небезпеки забрудненню ртуттю стоматологічних закладів в разі руйнування ртутних ламп. *Актуальні проблеми громадського здоров'я та екологічної безпеки України* : збірка тез доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Київ, 19 жовтня 2023 р. Київ, 2023. С. 110-111. *Авторкою проаналізовано рівень екологічної небезпеки в разі руйнування ртутних ламп.*

54. **L. Cherniak**, O. Mikhayev, M. Radomska, S. Madzhd, I. Horobtsov. Use of Biomonitoring to Control the Environmental Safety of the Airport. *ISEAS| ISATECH | ICUAV: abstract book*, Kyiv, 22-24 September, 2020. Kyiv, 2020. P. 48. *Авторкою запропоновано рекомендації щодо використання біомоніторингу для забезпечення відповідного рівня екологічної безпеки в аеропортах.*

55. Павлова М.С., **Черняк Л.М.** Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності ґрунтів. *X Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції* : зб. тез доп., м. Ірпінь, 22-29 жовтня 2020 р. Ірпінь : Університет ДФС України, 2020. С. 239. *Авторці належить проведення експериментальних досліджень рівня фітотоксичності ґрунту.*

56. Zaporozhets O., Madzhd S., Synylo K., **Cherniak L.**, Kazhan K. European integration of environmental standards for civil aviation in the context of sustainable development. *Європейські виміри сталого розвитку* : збірник статей II Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 25-26 червня 2020 р. К : НУХТ, 2020. С. 104–105. *Авторці належить визначення основних напрямів європейської інтеграції екологічних стандартів, що пов'язані із забезпеченням екологічного стану ґрунтів в зоні впливу підприємств цивільної авіації.*

57. **Черняк Л.М.** Сучасні аспекти забезпечення сталого розвитку авіаційних підприємств. *Європейські виміри сталого розвитку* : тези доп. II міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 25-26 червня 2020 р. К : НУХТ, 2020. С. 39-40.

58. **Larysa Cherniak**, Svitlana Madzhd. Current Trends in the Sustainable development of Aviation. *BUP Symposium 2021 : Book of abstracts (Interdisciplinary - Multicultural - International)*, Uppsala, 9–20 October 2021. Uppsala. 2021. P.6. Авторкою визначено сучасні напрямки у забезпеченні сталого розвитку авіації.

59. **Черняк Л.М.**, Гнідак Я.В., студент, Антропченко А.К., Бондарук А.В.. Світові тенденції у підвищенні екологічних вимог до якості автомобільних палив. *Екологічна безпека держави* : тези доповідей IX всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 16 квітня 2015 р. Київ, 2015. С. 9. Авторкою визначено та систематизовано основні світові тенденції у підвищенні екологічних вимог до якості автомобільних палив.

60. **Черняк Л.М.**, Міхєєв О.М., Маджд С.М., Лапань О.В., Дмитруха Т.І., Петрусенко В.П. Наукові засади узагальнення якісної оцінки екологічного стану ґрунту, забрудненого нафтопродуктами. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : тези доп.. VI Міжнар. конгрес, м. Львів, 23-25 вересня 2020 р. Львів, 2020. С. 46. Авторкою науково обґрунтовано використання біотестування для отримання узагальненої якісної оцінки екологічного стану ґрунту, забрудненого нафтопродуктами.

61. **Mikhyeyev O., Lapan O., Cherniak L., Dmytrukha T.** Water Bodies Decontamination from Cs-137 using a hydrophytic Structure Type of Bioplateau. *Сучасні екологічні виклики в Україні та світі: збірник тез доповідей Першої всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Київ, 21-22 березня 2024р., Київ, 2024. С. 118-120. Авторкою проаналізовано перспективи використання конструкції біоплато для забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів.

62. Дмитруха Т. І., Маджд С. М., **Черняк Л. М.**, Лапань О. В., Петрусенко В. П. Небезпека ртуті для здоров'я населення Донецького регіону. *Метаболічні розлади населення України: вплив екологічних та стресових факторів* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Київ, 18-19 березня 2021 р. Київ, 2021. С. 17. Авторкою здійснена оцінка особливостей впливу ртуті на здоров'я людини.

63. **Черняк Л.М.** Оцінка рівня фіто токсичності ґрунту території, прилеглої до аеропорту. *Екологічна безпека держави* : тези доповідей XV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 22 квітня 2021 р. Київ, 2021. С. 17.

64. **Черняк Л.М.** Аналіз основних джерел викидів вуглеводневої пари нафтопродуктів до атмосфери на АЗС. *Екологічна безпека держави* : тези доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 21 квітня 2016 р. Київ, 2016. С. 37.

65. I.V. Horobtsov, **L.M. Cherniak**, M.M. Radomska. Comparative SWOT-analysis of the use of traditional bird census and radar technology for ornithological monitoring in airports. *ABIA-2021* : тези доповідей МНТК, м. Київ, 14 квітня 2021 р.

Київ, 2021. С. 18.11-18.13. Авторкою проаналізовано основні екологічно небезпечні чинники діяльності аеропорту.

66. **Черняк Л.М.**, Міхєєв О.М., Маджд С.М., Дмитруха Т.І., Томаш Манєцькі. Перспективні методи оцінки стану навколишнього середовища на техногенно навантажених територіях. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : Збірник матеріалів VII Міжнародного конгресу, м. Львів, 12-14 жовтня 2022 р. Львів – Київ : Яроченко Я. В., 2022. С. 62. Авторкою обґрунтовано перспективність застосування біологічних методів для оцінки стану навколишнього середовища на техногенно навантажених територіях.

67. **Черняк Л.М.**, Синило К.В., Кажан К.І., Тихенко О.М., Кічата Н.М. Європейська інтеграція екологічних стандартів для цивільної авіації в умовах сталого розвитку. *Євроінтеграція екологічної політики України* : матеріали четвертої всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Одеса, 25 жовтня, 2022 р. Одеса. 2022. С. 365. Авторкою висвітлені основні тенденції та роль європейської інтеграції екологічних стандартів для забезпечення сталого розвитку цивільної авіації.

68. **Лариса Черняк**, Світлана Маджд, Іннокентій Горобцов. Сучасні аспекти управління екологічною безпекою аеропортів. *European Dimensions of Sustainable Development* : Proceedings of the IV International Conference, Kyiv, October 20-21, 2022. Kyiv: NUFT, 2022. P. 85. Авторкою виконана оцінка та проаналізовано сучасний стан проблеми впровадження системи управління екологічною безпекою в аеропортах.

69. Svitlana Madzhd, **Larysa Cherniak**, Olexandr Mikhyyevyev. Ecological assessment of groundwater at the airport zone. *Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources* : Book of Abstracts of 5th International Scientific and Technical Internet Conference, Petroșani, Romania, 11 November, 2022. Petroșani : UNIVERSITAS Publishing, 2022. P. 89-90. Авторкою визначено екологічно безпечні методи моніторингу екологічного стану ґрунтових вод в зоні впливу аеропортів.

70. **Черняк Л.М.**, Міхєєв О.М. Фітотестування ґрунтів, що забруднені нафтопродуктами, з урахуванням адаптації рослин до їх дії. *Актуальні проблеми фізіології рослин і генетики* : матеріали міжнародної наукової конференції, присвяченої 75-ти річчю Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, м. Київ, 17 червня 2021 р. Київ, 2021. С. 206. Авторкою запропоновано методiku удосконалення біотестування ґрунтів з урахуванням адаптації рослин до їх дії.

71. Д.О. Рігус, **Л.М. Черняк**. Розробка технології виробництва добрив для ґрунту з альтернативної сировини. *AVIATION IN THE XXI-st CENTURY - Safety in aviation and space technology* : Proceeding of The Tenth World Congress, Kyiv, September 28-30, K : NAU, 2022. P. 4.1.83-4.1.85. Авторкою визначено перспективність використання відходів заходів харчування для виробництва добрив для ґрунту.

72. **Cherniak L.** European Experience in Ensuring of Sustainable Development. *The BUP Symposium* : book of abstracts, Uppsala, Sweden, November 63, 2023. Uppsala, 2023. P.43.

73. **Черняк Л.М.,** Тихенко О.М., Томаш Манецкі, Дмитруха Т.І. Європейська інтеграція екологічних стандартів для сталого розвитку техногеннонавантажених територій авіапідприємств. *Євроінтеграція екологічної політики України* : матеріали п'ятої всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Одеса, 25-26 жовтня 2023 р., Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2023. С. 439. *Авторкою висвітлено основні тенденції європейської інтеграції екологічних стандартів для забезпечення сталого розвитку територій в зоні впливу техногенно небезпечних підприємств.*

74. **Черняк Л.М.,** Проскурня О.І., Міхеєв О.М., Дмитруха Т.І. Використання біомоніторингу для оцінки екологічного стану ґрунту на техногеннонавантажених території. *Новітні досягнення біотехнології* : матеріали VII Міжнародній науково-практичної конференції, м. Київ, 21-22 вересня 2023 р. Київ, 2023. С. 66. *Авторці належить проведення експериментальних досліджень з визначення екологічного стану ґрунту в зоні впливу техногенно небезпечного підприємства.*

75. **Л.М. Черняк,** О.М. Міхеєв, Т.І. Дмитруха, О.І. Проскурня, Томаш Манецкі. Фіторе mediaційне відновлення ґрунтів, забруднених різними видами нафтопродуктів. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження* : збірник тез IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Полтава, 7-8 грудня 2023 р. Полтава, 2023. С. 205-207. *Авторці належить експериментальне дослідження ефективності фіторе mediaції при відновленні ґрунтів забруднених різними видами нафтопродуктів.*

76. **Черняк Л.М.,** Томаш Манецкі, Проскурня О.І. Аналіз переваг і недоліків фізико-хімічних та біологічних методів оцінки забруднення ґрунтів нафтопродуктами. *Екологічна безпека держави* : тези доповідей XVII всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 20 квітня 2023 р. Київ, 2023. С. 18. *Авторкою визначено основні переваги та недоліки використання різних методів екологічного моніторингу ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.*

77. **Larysa Cherniak,** Oleksandr Mikhayev, Tomasz Maniecki, Oleksandr Shtyka, Radoslaw Ciesielski, Valentyna Petrusenko. Assessment of the Impact of the Air Transport Processes on Soil Contamination with Petroleum Products. *ABIA-2023* : тези доп. XIV міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 20 квітня 2023 р. Київ, 2023. С. 17.13-17.15. *Авторкою визначено рівень впливу нафтопродуктів на екологічний стан ґрунту при здійсненні авіатранспортних процесів.*

78. **Лариса Черняк.** Сучасні тенденції у забезпеченні сталого розвитку підприємств цивільної авіації. *Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Європейському Союзі та Україні* : матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Київ, 6 червня 2024 р. Київ, 2024. С.101.

79. **Лариса Черняк,** Оксана Проскурня, Олександр Міхеєв, Тетяна Дмитруха, Томаш Манецкі. Фіторе mediaційне відновлення екологічного стану ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. *Екологія. Людина. Суспільство* : матеріали XXIII міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 7 грудня 2023 р. Київ, 2023. С. 63-65. *Авторці належить проведення експериментальних досліджень ефективності фіторе mediaції ґрунту та обґрунтування*

перспективність використання методів фітореMediaції при відновленні ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

80. **Лариса Черняк**, Томаш Манецькі, Радослав Чешельські, Олександр Міхєєв, Тетяна Дмитруха. Вплив забруднення нафтопродуктами на деградацію ґрунту. *Екологія. Людина. Суспільство* : матеріали XXIV міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 5 червня 2024 р. Київ, 2024. С. 68-71. *Авторкою розроблено методологію досліджень та здійснено експериментальне дослідження рівня впливу забруднення нафтопродуктами на ферментативну здатність ґрунту.*

81. **Л. М. Черняк**, Томаш Манецькі, О.Ю. Грама, І.О. Бараненко. Дослідження особливостей міграції нафтопродуктів у поверхневих шарах ґрунту. *Екологічна безпека держави* : тези доповідей XVIII всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 18 квітня 2024 р. Київ, 2024. С. 147. *Авторкою здійснено аналіз особливостей міграції нафтопродуктів у поверхневих шарах ґрунту.*

82. **Лариса Черняк**, Томаш Манецькі, Радослав Чешельські, Олександр Міхєєв, Тетяна Дмитруха. Вплив забруднення нафтопродуктами на екологічний стан ґрунту. *Advance in Petroleum and Gas Industry and Petrochemistry* : Proceedings of XII International Scientific-Technical Conference (APGIP), Lviv, May 20-24, 2024. Lviv, 2024, С. 142. *Авторкою науково обґрунтовано необхідність вирішення проблеми зменшення впливу забруднення ґрунтів нафтопродуктами.*

АНОТАЦІЯ

Черняк Л. М. Науково-методологічні засади забезпечення екологічної безпеки ґрунтів у зоні впливу аеропорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державне некомерційне підприємство «Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2024.

У дисертаційній роботі викладені результати досліджень, спрямовані на розвиток науково-методологічних підходів до зниження негативних наслідків техногенного впливу аеропортів на екологічний стан ґрунтів для забезпечення екологічної безпеки та їх відновлення завдяки розробленню комплексної системи екологічного моніторингу ґрунтів на даних територіях наукових основ підвищення рівня екологічної безпеки ґрунту на техногенно навантажених території поблизу аеропорту, що враховують закономірності впливу декількох чинників на процес формування їх техногенно трансформованого стану та їх здатність до самовідновлення. Обґрунтовано і застосовано залежність «ОДК–тип нафтопродукту–рівень фітотоксичності ґрунту», що дало можливість встановити необхідність врахування цього факту під час використання біотестування ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Доведено стимулюючу дію нафтових вуглеводнів, які входять до складу різних видів нафтопродуктів, на тест-рослини, що призводить до зниження точності здійснення екологічного моніторингу стану ґрунту на техногенно навантажених територіях з використанням методів біотестування. Доведено, що застосування ефекту гіпертермії на біотест

забезпечує об'єктивне визначення екологічного стану ґрунту, забрудненого хімічною речовиною, здатною викликати ефект стимуляції ростових характеристик рослини. Обґрунтовано технологію застосування біоінженерної системи, що дозволяє забезпечувати екологічну безпеку ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, залежно від виду палива. Удосконалено методику біотестування ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, що дозволило врахувати під час здійснені екологічного моніторингу стану ґрунту, ефект стимуляційного впливу хімічного забруднення на біотест. Удосконалено технологію фіторе mediaції ґрунтів, порушених внаслідок техногенної діяльності, що дозволило знизити загальний екологічний ризик для населення, що проживає поряд з аеропортом.

Ключові слова: екологічна безпека, аеропорти, техногенно навантажені території, ґрунти, нафтопродукти, важкі метали, екологічний ризик, фіторе mediaція.

ABSTRACT

Cherniak L.M. Scientific and methodological foundations for ensuring the soil ecological safety in the zone of airport influence.

A qualifying scientific work with manuscript rights.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 21.06.01 – Environmental Safety. – State Non-Commercial Company “State University “Kyiv Aviation Institute”, Kyiv, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2024.

The dissertation presents the results of research aimed at developing scientific and methodological approaches to reducing the negative impact of airports on the ecological condition of soils. The goal is to ensure ecological safety and facilitate soil restoration through the development of a comprehensive system for ecological monitoring in the affected areas. The research provides a scientific basis for enhancing the ecological safety of soils in technogenically impacted territories near airports, considering the influence of multiple factors on the process of technogenic soil transformation and their potential for self-recovery. At the same time, the dependence between "APC-type of oil product-level of soil phytotoxicity" was substantiated and applied, establishing the need to consider this factor when using biotesting for soils contaminated with oil products. It was proven that petroleum hydrocarbons, which are components of various types of oil products, have a stimulating effect on test plants, leading to reduced accuracy in ecological monitoring of soil conditions in technogenically impacted areas when using biotesting methods. It was also shown that applying hyperthermia to biotesting provides an objective assessment of the ecological state of soil contaminated with chemicals capable of stimulating plant growth. The technology for applying a bioengineering system to ensure the ecological safety of soils contaminated with oil products, depending on the type of fuel, was substantiated. The method of biotesting for soils contaminated with petroleum products was improved, allowing for the consideration of the stimulating effect of chemical pollutants on biotests during ecological monitoring. Additionally, the technology for phytoremediation of soils degraded by technogenic activities was enhanced, reducing the overall environmental risk for populations living near airports.

Key words: environmental safety, airports, man-made territories, soils, oil products, heavy metals, environmental risk, phytoremediation