

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ НАФТОЗАБРУДНЕНОГО ҐРУНТУ

Лариса Черняк

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології

Національний авіаційний університет, просп. Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058, specially@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4192-3955

Олександр Міхєєв

доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії радіаційної епігеноміки

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії, вул. Академіка Заболотного, 148, Київ, Україна, 03143, mikhalex7@yahoo.com

ORCID: 0000-0003-4069-3625

Оксана Лапань

доктор філософії в галузі біології, асистент кафедри екології

Національний авіаційний університет, просп. Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058, k.lapan@ukr.net

ORCID: 0000-0001-6509-4456

Тетяна Дмитруха

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології

Національний авіаційний університет, просп. Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058, dmitrucha79@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5195-9519

Лілія Яремчук

інженер-еколог 1 категорії

Національний авіаційний університет, просп. Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058, lili.669754@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3084-2407

Метою дослідження було визначення ефективності відновлення якості ґрунту, що забруднений нафтопродуктами, з використанням методу фіторемедіації. У роботі проаналізовано проблему забруднення ґрунтів нафтопродуктами на техногенно навантажених територіях, зокрема на територіях аеропортів і на прилеглих до них територіях. Обґрунтовано переваги та перспективність використання методу фіторемедіації для відновлення якості ґрунту, забрудненого нафтовими вуглеводнями. З метою вибору видів рослин, що характеризуються найбільшою ефективністю у відновленні якості нафтозабруднених ґрунтів, нами було проведено експериментальне дослідження ефективності застосування технології фіторемедіації для відновлення штучно забруднених нафтопродуктами (авіаційним керосином марки ТС-1) проб ґрунту. Для дослідження було обрано такі види рослин, як: овес посівний (*Avena sativa L.*), вика звичайна (*Vicia sativa L.*), гірчиця біла (*Sinapis alba*). За допомогою стандартної методики «ростовий тест» із використанням салату як біотесту визначено рівень фітотоксичності зразків штучно забруднених авіаційним паливом марки ТС-1, у кількості 10 ОДК, до та після використання технології фіторемедіації. Наведено порівняльні характеристики індексу фітотоксичності для досліджуваних проб ґрунту, штучно забрудненого авіаційним паливом, до та після відновлення його якості методом фіторемедіації з використанням різних видів рослин. Установлено, що представники злакових (овес) і бобових (вика звичайна) можуть бути рекомендовані для відновлення якості ґрунтів на території аеропортів та на прилеглих територіях. Показано, що застосування вівса звичайного (*Avena sativa L.*) у технології фіторемедіації значно підвищило якісні характеристики ґрунту.

Ключові слова: фіторемедіація, ґрунти, нафтопродукти, фітотоксичність, відновлення ґрунтів.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Відновлення ґрунтів, що забруднені нафтопродуктами, є однією з найголовніших проблем сучасності. Ця проблема значною мірою стосується також територій аеропортів і прилеглих до них територій [1–2]. Як

відомо, нафтопродукти погіршують продуктивність земель і призводять до деградації ґрунтів, а саме: змінюються фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунтів, погіршується їхня родючість, фіксується зниження активності більшості ґрун-

тових ферментів тощо. Також відомо, що нафтові впливають на мікроорганізми ґрунту через трансформацію фізико-хімічних властивостей ґрунту: відбувається зменшення доступності елементів мінерального живлення, погіршення водного та повітряного режимів, порушення структури ґрунту та фільтраційного режиму [2–4].

Як відомо, на території України для оцінювання рівня забрудненості ґрунтів нафтопродуктами використовують орієнтовно допустиму концентрацію 0,2 мг/кг [5]. В інших джерелах [6; 7] визначено орієнтовно допустиму концентрацію для ґрунту 4 г/кг, яку широко використовують для аналізу забрудненості ґрунтів нафтопродуктами. Для чорноземної зони України пропонується встановити такі градації забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами: незабруднені – менше 400 мг/кг (0,4 г/кг); слабозабруднені – 3 000–6 000 мг/кг (3–6 г/кг); середньозабруднені – 6 000–12 000 мг/кг (6–12 г/кг); сильнозабруднені – 12 000–25 000 мг/кг (12–25 г/кг); дуже сильно забруднені – понад 25 000 мг/кг (>25 г/кг) [8]. У Європі безпечний вміст нафтопродуктів у ґрунті вважається на рівні 1–3 г/кг, 20 г/кг і вище – сигнал серйозної небезпеки [8].

Оскільки природне самоочищення ґрунту від нафтових забруднень є досить тривалим і складним процесом, пошук більш ефективних, безпечних, технологічно нескладних і низьковартісних способів очищення ґрунтів від нафти та нафтопродуктів є надзвичайно актуальним завданням сьогодення.

Як відомо, ґрунт має здатність адсорбувати забруднюючі речовини, тому для очищення ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами, використовують різні методи, а саме: механічні, фізико-хімічні та біологічні [9; 10].

Механічний спосіб очищення ґрунту від нафтових забруднень передбачає збір нафти в рідкому стані спеціальним обладнанням, а також зняття забрудненого шару ґрунту на глибину до 25–30 см. Проте даний спосіб є технологічно складним і малоефективним, оскільки не забезпечує повноцінне очищення ґрунту, а сам процес очистки від нафтових забруднень має відбуватися на спеціалізованих підприємствах.

Фізико-хімічні методи засновані на використанні сорбентів для збору нафти та нафтопродуктів із поверхні ґрунту. Проте цей метод очищення ґрунтів не може бути використаний повсюдно, оскільки він показав ефективність тільки в разі ліквідації невеликої кількості забруднення.

Біологічні методи ґрунтуються на використанні різноманітних біопрепаратів на основі мікроорганізмів, що здатні розкласти вуглеводні сполуки. Так, наприклад, досить популярними й ефективними є біопрепарати Мікрозим™ «Понд Трит», «Петро Трит», «Нафтокс», «Еко-біос». Проте застосування даного методу має значні недоліки, потребує багато часу, оскільки безпосередньо перед обробкою препаратом ґрунт повинен бути підготовленим, а саме: з поверхні ґрунту рекомендується прибрати залишки рослинності та за допомогою механічних засобів видалити залишки нафти. Також значним недоліком є те, що у процесі очищення ґрунту періодично потрібно розпушувати та підтримувати вологість на рівні не нижче 40%. Даний механізм очищення ґрунту від нафти та нафтопродуктів використовують лише тоді, коли пролита нафта проникла у ґрунт на глибину не більше 60 см. У разі розливу нафти, коли нафтопродукт проникає у ґрунт на глибину понад 70 см, процес очистки є ще більш довготривалим і досить незручним, оскільки забруднений нафтовими вуглеводнями шар ґрунту потрібно цілком видалити та перемістити на спеціальні гідроізолювані майданчики, де і відбувається очищення ґрунту біопрепаратами.

У даній роботі пропонується використовувати простий, надійний і ефективний спосіб очищення ґрунтів від нафти та нафтопродуктів – фіторе mediaцію, тобто очищення ґрунту від нафти та нафтопродуктів за допомогою рослин. Натепер наявні вимоги до рослин-фіторе медіантів, а саме:

- вони повинні мати здатність акумулювати забруднюючі речовини переважно в надземних органах;
- виявляти стійкість до накопиченої забруднюючої речовини;
- вирізнятися швидкими темпами росту та великою біомасою;
- мати високу здатність до відновлення біомаси після скошування.

Переваги фіторе mediaції порівняно з іншими методами очищення ґрунту від нафти та нафтопродуктів такі:

- низька вартість;
- не потребує вилучення та транспортування забрудненої землі;
- естетичність;
- маловідходність.

Метою дослідження було визначення ефективності відновлення якості ґрунту, що забруднені нафтопродуктами, різними видами рослин.

З метою вибору виду рослин, що характеризуються найбільшою ефективністю у відновленні якості ґрунтів, нами було проведено експериментальне дослідження ефективності застосування технології фітореMediaції для відновлення штучно забруднених нафтопродуктами (авіаційним керосином марки ТС-1) ґрунтів.

Багато дослідників рекомендують використовувати злакові трави [9–10]. Основною перевагою трав вважається мочкувата коренева система, що має велику площу поверхні, а також здатна глибоко проникати у ґрунт. Позитивний ефект досягається завдяки тому, що розвинена коренева система сприяє поліпшенню газоповітряного режиму забруднених ґрунтів і поліпшенню якості ґрунту завдяки біоактивним сполукам, що виділяються коренями.

Також є низка досліджень [10], що вказують на стійкість бобових рослин (*Fabaceae*) до забруднення ґрунту нафтопродуктами, що пояснюється здатністю їх до фіксації атмосферного азоту, чим вони забезпечують азотний компонент мінерального живлення в нафтозабрудненому ґрунті.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Матеріали для дослідження: авіаційний керосин марки ТС-1, проби ґрунту з характеристиками, представленими в табл. 1, насіння вівса, вики звичайної та гірчиці, ростильні, термостат, вода.

Для дослідження були обрані такі види рослин, як: овес посівний (*Avena sativa L.*), вика звичайна (*Vicia Sativa L.*), гірчиця біла (*Sinapis alba*). Завданням дослідження було порівняти здатність вказаних видів рослин до впливу на концентрацію нафтопродукту у ґрунті. Передбачалось, що буде зафіксовано зниження фітотоксичності ґрунту методом фітореMediaції.

I етап дослідження полягав у пророщуванні насіння досліджуваних видів рослин на штучно забруднених авіаційним паливом ґрунтах (у концентрації 10 ОДК), вимірюванням ростових характеристик проростків (схожість, середня довжина кореня та стебла), відбором проб ґрунту з ростильень на 10 добу від початку експерименту для подальшого визначення за допомогою біотестування індексу фітотоксичності.

II етап полягав у тестуванні відібраних проб ґрунту за допомогою рослини-біоіндикатора, а саме крес-салату, який є чутливим до нафтового забруднення ґрунту, а також визначення фітотоксичного ефекту в порівнянні з контрольною пробою ґрунту.

Підготували 5 ростильень із різними зразками повітряно-сухого ґрунту (200 г) для пророщування насіння (рис. 1):

– 1 – контроль (ґрунт без нафтопродукту);

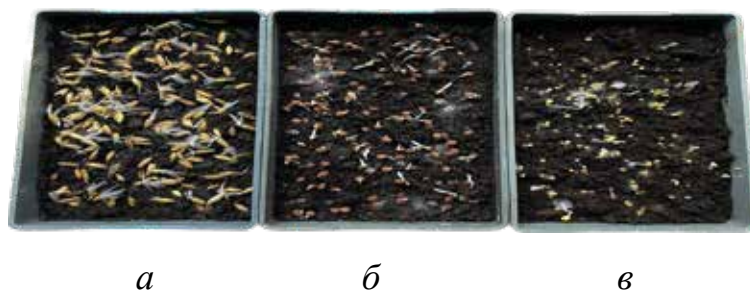


Рис. 1. Досліджувані зразки ґрунту із проростками рослин на 3-й день досліджень: а – овес звичайний (*Avena sativa L.*); б – вика звичайна (*Vicia Sativa L.*); в – гірчиця біла (*Sinapis alba*)

Таблиця 1

Характеристики ґрунтової суміші

Характеристика	Значення
Масова частка органічної речовини, %, не менше	70
Зольність, %, не більше	30
Масова частка азоту нітратного, мг/100г, не менше	12
pH, одиниць	5,0–7,0
Масова частка амонійного азоту, мг/100г, не менше	3
Масова частка рухомого фосфору (P ₂ O ₅), мг/100г, не менше	15
Масова частка рухомого калію (K ₂ O), мг/100г, не менше	20
Склад	торф верховий, торф низинний.

– 2 – штучно забруднений паливом ґрунт (із внесеним авіаційним паливом із концентрацією 10 ОДК керосину);

– 3, 4, 5 – ростильні із пробами ґрунту із внесеним авіаційним паливом із концентрацією 10 ОДК керосину для висаджування рослин із метою фітореMediaції.

У кожен ростильню на поверхню ґрунту було висіяно по 200 насінин кожного з видів рослин для пророщування, після попереднього промивання та сушіння насіння. Проби з рослинами, контроль (чистий ґрунт) і нафтозубруднений ґрунт без рослин були розміщені в термостат за температури 23 °С для пророщування.

На 3-ю добу експерименту було визначено схожість і виміряно ростові характеристики проростків (рис. 1): з кожної ростильні було відібрано по 5 рослин, виміряна довжина кореня та стебла проростків, визначена кількість насінин, що проросли (рис. 2 та табл. 2).

Після проведеного аналізу результатів досліджень, що представлені в табл. 1, можемо зробити висновок про те, що найвища схожість на ґрунті, штучно забрудненому нафтопродуктом, властива виці звичайній (представник бобових). Для даної рослини характерна також найбільша маса сиріої

речовини проростків. Щодо злакових, то овес має близькі до виці показники за ростовими параметрами. Найнижчі ростові характеристики мала гірчиця. На 10 добу спостереження було проведено повторне аналогічне вимірювання ростових характеристик зразків досліджуваних рослин. Результати вимірювань представлені на рис. 3–4.

Після проведеного аналізу результатів досліджень, представлених на рис. 5, можемо зробити висновок про те, що тенденція розвитку рослин змінилася, найкращі ростові характеристики на штучно забрудненому нафтопродуктом ґрунті мав овес (представник злакових). Для даного виду рослин в умовах проведеного дослідження характерний також найбільший приріст маси сиріої речовини. Проростки інших видів використаних рослин мали схожі ростові показники, але нижчі за ті, що спостерігали для проростків виці.

Наступним етапом в експерименті був відбір проб ґрунту з усіх ростильні на 10-у добу після проведення фітореMediaції, визначення його фітотоксичності методом біотестування з використанням насіння крес-салату [11]. Ростові характеристики проростків салату представлені в табл. 3.

Фітотоксичний ефект (далі – *ФЕ*) розраховували за формулою:

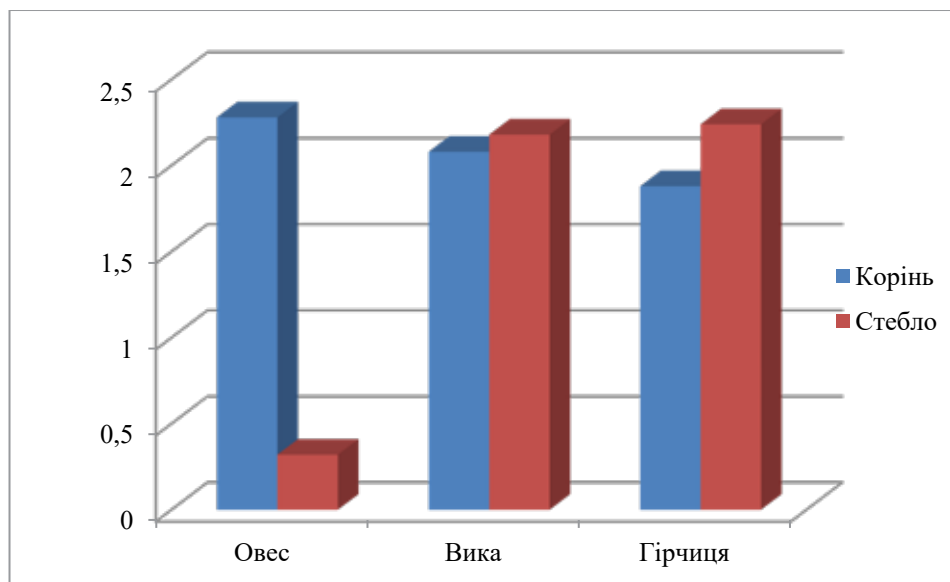


Рис. 2. Ростові характеристики органів 3-добових проростків досліджуваних рослин

Таблиця 2

Результати вимірювання схожості та маси сиріої речовини проростків досліджуваних рослин

№	Овес	Вика	Гірчиця
Схожість на третю добу дослідження, %	34	51,5	31
Маса сиріої речовини на третю добу дослідження, г	0,389	0,542	0,254
Маса сиріої речовини на десяту добу дослідження, г	1,342	0,853	0,493

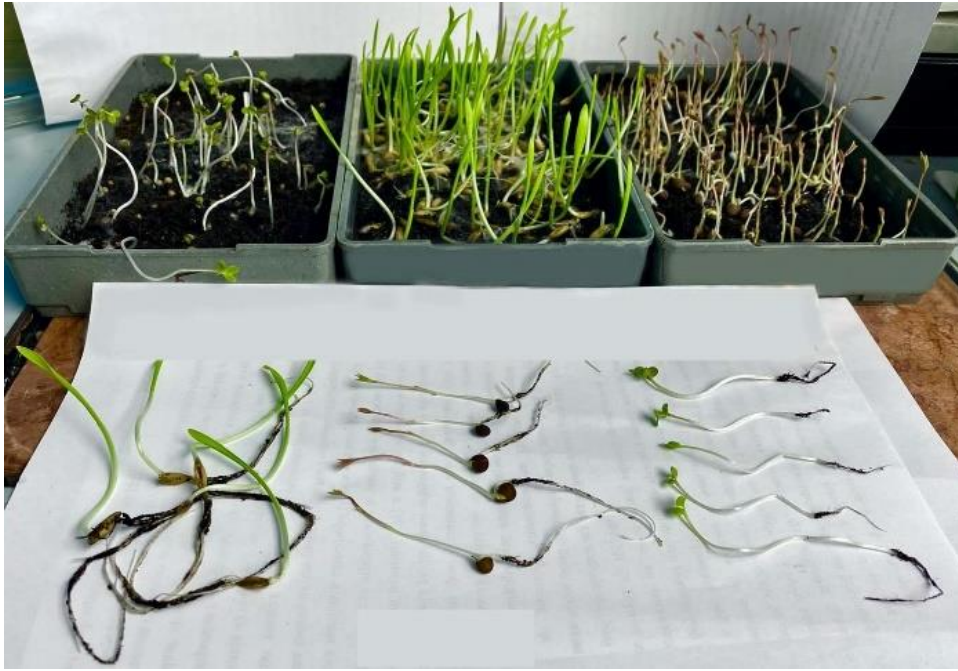


Рис. 3. Вимірювання ростових характеристик 10-добових проростків

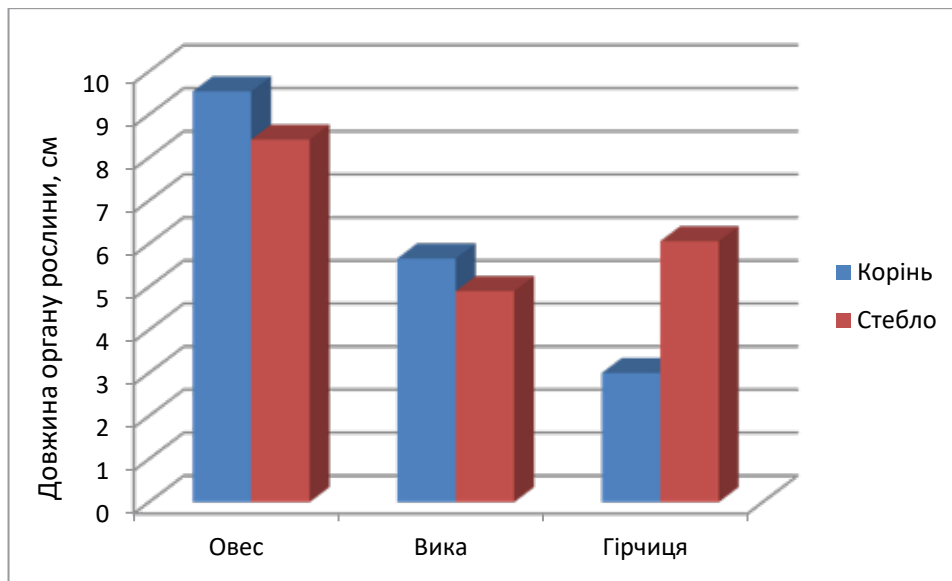


Рис. 4. Ростові характеристики органів 10-добових проростків досліджуваних рослин

Таблиця 3

Вимірювання морфометричних характеристик салату

Ростові характеристики проростків, см	Проба					
	Проба № 1 (контроль)	Проба № 2 (грунт із ПММ на початку експерименту)	Проба № 2 (грунт із ПММ на 10 добу (без росл.))	Проба № 3 (овес)	Проба № 4 (вика)	Проба № 5 (гірчиця)
Корінь, см	2,5	2,38	2,21	3,17	2,3	2,25
Стебло, см	2,55	1,69	1,86	2,34	2,18	2
Загальна сер. довжина рослини, см	5,08	4,08	4,08	5,51	4,42	4,25

Шкала оцінювання рівнів токсичності ґрунту

Рівень пригнічення ростових процесів, %	Рівень токсичності
0–20	Токсичність відсутня або її рівень низький
20,1–40	Середній
40,1–60	Вищий за середній
60,1–80	Високий
80,1–100	Максимальний

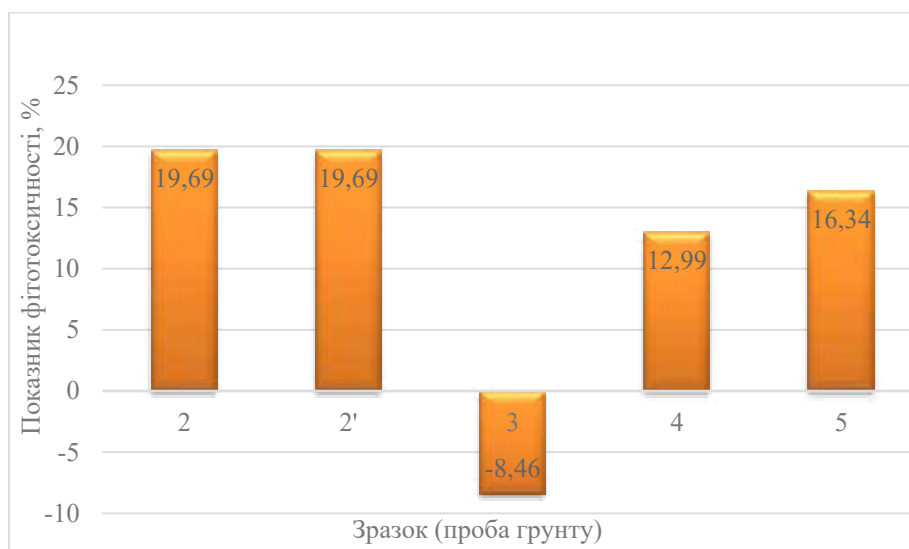


Рис. 5. Індекс фітотоксичності ґрунту за ростовими характеристиками салату

$$\Phi E = \frac{L - L_x}{L} \times 100\%,$$

де L – морфометричні характеристики рослин у контрольному варіанті;

L_x – морфометричні характеристики рослин у досліджуваних зразках.

Рівень фітотоксичності зразків ґрунту оцінювали за шкалою [11], у якій рівень токсичності варіював від ледве помітного до максимального (табл. 4).

Результати обчислення фітотоксичного ефекту проб ґрунту подано на діаграмі (рис. 5).

На діаграмі, представленій на рис. 5, можна бачити, що найбільшу ефективність у відновленні якості ґрунту, штучно забрудненому авіаційним паливом, має овес (представник злакових). Вика звичайна також характеризується певним рівнем ефективності. Тоді як використання гірчиці в технології фітореємедіації не забезпечило зниження рівня фітотоксичності штучно забрудненого авіаційним паливом ґрунту.

ВИСНОВКИ. Після проведення аналізу отриманих результатів можна зробити висновок про

те, що представники злакових (овес) і бобових (вика звичайна) можуть бути рекомендовані для відновлення якості ґрунтів на території аеропортів та на прилеглих територіях. Зокрема було показано, що застосування вівса в технології фітореємедіації значно підвищило якісні характеристики ґрунту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Використання рослинних тест-систем для визначення екологічного стану ґрунтів на території аеропорту / Л.М. Черняк та ін. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2020. № 4 (123). С. 50–55.
2. Environmental Pollution in the Airport Impact Area—Case Study of the Boryspil International Airport / М.М. Radomska et al. *Ecological Problems*. 2020. Vol. 5. № 2. Р. 76–82.
3. Вплив забруднення нафтопродуктами на мікробіоценоз ґрунту та фітотоксичний ефект в умовах Ужгородського району Закарпаття / Р.М. Боднарюк та ін. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Біологія»*. 2017. Вип. 42. С. 86–93.
4. Environmental impacts on soil and groundwater at airports: origin, contaminants of concern and

environmental risks / Y.-G. Nunes. *J. Environ. Monit.* 2011. № 13. P. 3026–3039. DOI: 10.1039/c1em10458f.

5. Методика визначення збитку, зумовленого забрудненням ізасмічення земельних ресурсів у результаті порушення природоохоронного законодавства / Міністерство охорони навколишнього природного середовища і ядерної безпеки. Київ. 1998.

6. ГСТУ 41-00032626-00-023-2000. Охорона довкілля. Рекультивация земель під час спорудження нафтових і газових свердловин. Київ : Міністерство екології та природних ресурсів України, 2000. 69 с.

7. РД41-580 4046-200-91. Охрана окружающей среды при строительстве разведочных и эксплуатационных скважин на нефть и газ. Киев : Госкомгеологии Украины, 1991. 64 с.

8. Assesment of Fitototic Toxicity of Mixed Aviation Fuels Using of Plant Testers / I. Trofimov et al. 2020. № 11. P. 9–17.

9. Ighovie Efe S., Edwin Okpali A. Management of Petroleum Impacted Soil with Phytoremediation and Soil Amendments in Ekpan Delta State, Nigeria. *Journal of Environmental Protection.* 2012. Vol. 3. № 5. P. 386–393. DOI: 10.4236/jep.2012.35048.

10. Джура Н.М. Перспективи фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів рослинами *Faba bona Medic.* (*Vicia faba L.*) *Вісник Львівського університету. Серія «Біологічна».* 2011. Т. 57. С. 117–124.

11. Григорчук І.Д. Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки токсичності ґрунтів на території м. Кам'янець-Подільського. *Biological systems.* 2016. Т. 8. №. 2. С. 212–218.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING THE PHYTOREMEDIATION METHOD FOR THE RESTORATION OF OIL-CONTAMINATED SOIL

Larysa Cherniak

Candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of ecology National Aviation University, 1 Liubomyra Huzara ave., Kyiv, Ukraine, 03058, specially@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4192-3955

Oleksandr Mikhyeyev

Doctor of biological sciences, senior researcher, head of the laboratory of radiation epigenomic

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, 148 Zabolotnogo str., Kyiv, Ukraine, 03143, mikhalex7@yahoo.com

ORCID: 0000-0003-4069-3625

Oksana Lapan

Doctor of philosophy in the field of biology, assistant of the department of ecology

National Aviation University, 1 Liubomyra Huzara ave., Kyiv, Ukraine, 03058, k.lapan@ukr.net

ORCID: 0000-0001-6509-4456

Tetyana Dmytrukha

Candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of ecology

National Aviation University, 1 Liubomyra Huzara ave., Kyiv, Ukraine, 03058, dmitrucha79@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5195-9519

Lilia Yaremchuk

Environmental engineer of the 1'st category

National Aviation University, 1 Liubomyra Huzara ave., Kyiv, Ukraine, 03058, lili.669754@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3084-2407

The purpose of this study was to determine the effectiveness of restoring the quality of the soil contaminated with the petroleum products using the phytoremediation method. The paper analyzes the problem of the soil pollution by the petroleum products at technogenically loaded territories, in particular, the territories of airports and the territories adjacent to them. The advantages and prospects of using the phytoremediation method to restore the quality of the soil contaminated with the petroleum hydrocarbons are justified. In order to select the plant species that are characterized by the greatest efficiency in restoring the quality of oil-polluted soils, we conducted an experimental study of the effectiveness of the phytoremediation technology for the restoration of the soil samples artificially contaminated with the petroleum products (TC-1 aviation kerosene). The following plant species were chosen for the study: oat (*Avena sativa L.*), common vetch (*Vicia Sativa L.*), white mustard (*Sinapis alba*). With the help of the standard “growth test” method using lettuce as a biotest, the level of phytotoxicity of the samples artificially contaminated with the aviation fuel of the TC-1 brand, with the amount of 10 ODC, was determined before and after the usage of the phytoremediation technology. The comparative

characteristics of the phytotoxicity index for the investigated soil samples artificially contaminated with the aviation fuel before and after the restoration of its quality with the help of the phytoremediation method using different types of plants are presented. It is established that the representatives of cereals (oats) and legumes (common vetch) can be recommended for restoring the quality of soils at the territory of airports and at the adjacent territories. In particular, it is shown that the usage of common oats (*Avena sativa L.*) in the phytoremediation technology significantly increased the quality characteristics of the soil.

Key words: phytoremediation, soils, oil products, phytotoxicity, soil restoration.

REFERENCES

1. Cherniak L.M., Mikheev O.M., Madzhd S.M., Hryb A.O. (2020). The use of plant test systems to determine the ecological condition of soils on the territory of the airport. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho*. № 4 (123). Pp. 50–55 [in Ukrainian].
2. Radomska M.M., Madzhd S.M., Cherniak L.M., Mikhyeyev O.M. (2020). Environmental Pollution in the Airport Impact Area—Case Study of the Boryspil International Airport. *Ecological Problems*. № 5 (2). Pp. 76–82.
3. Bodnariuk R.M., Vakerych M.M., Petrosova V.I., Nikolaichuk V.I., Hasynets Ya.S. (2017). The impact of oil pollution on soil microbiocenosis and phytotoxic effect in the conditions of the Uzhhorod district of Zakarpattia. *Nauk. Visnyk Uzhhorod. Un-tu. Ser. "Biol."*. № 42. Pp. 86–93 [in Ukrainian].
4. Nunes Y.-G. Zhu L.M., Stigter T.Y., Monteiroa J.P., Teixeira M.R. Environmental impacts on soil and groundwater at airports: origin, contaminants of concern and environmental risks. *J. Environ. Monit.* 2011. № 13. P. 3026–3039. DOI: 10.1039/c1em10458f.
5. Methodology for determining damage caused by pollution and clogging of land resources as a result of violation of environmental protection legislation (1998). Kyiv : Ministerstvo okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha i yadernoi bezpeky [in Ukrainian].
6. HSTU 41-00032626-00-023-2000 (2000). Environment protection. Land reclamation during the construction of oil and gas wells. Kyiv : Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. 69 p. [in Ukrainian].
7. RD 41-580 4046-200-91 (1991). Environmental protection during the construction of exploratory and production wells for oil and gas. Kyiv : State Committee for Geology of Ukraine. *Goskomgeologii Ukrainy*. 64 p. [in Russian].
8. Trofimov I., Psvliukh L., Novakivska T., Bondarenko D. Assesment of Fitototic Toxicity of Mixed Aviation Fuels Using of Plant Testers. 2020. № 11. P. 9–17.
9. Ighovie Efe S., Edwin Okpali A. (2012). Management of Petroleum Impacted Soil with Phytoremediation and Soil Amendments in Ekpan Delta State, Nigeria. *Journal of Environmental Protection*. № 3 (5). Pp. 386–393. DOI: 10.4236/jep.2012.35048.
10. Dzhura N.M. (2011). Prospects of phytoremediation of oil-contaminated soils with plants *Faba bona Medic. (Vicia faba L.)* *Visnyk Lvivskoho universytetu. Ser. "Biol."*. № 57. Pp. 117–124 [in Ukrainian].
11. Hryhorchuk I.D. (2016). The use of plant bioindicators to assess soil toxicity in the territory of the city of Kamianets-Podilskyi. *Biological systems*. № 8 (2). Pp. 212–218 [in Ukrainian].

Стаття надійшла 20.09.2022