

РОЛЬ ТРАВ'ЯНИСТИХ ПОКРИТТІВ АЕРОДРОМІВ У ЗБЕРЕЖЕННІ ТА ВІДНОВЛЕННІ ҐРУНТІВ ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ

Черняк Л. М.¹, Кондакова Т. С.¹, Дмитруха Т. І.¹,
Томаш Манецкі², Лапань О. В.¹

¹Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
пр. Любомира Гузара, 1, 03058, м. Київ, Україна

²Лодзинський технологічний університет,
Стефана Жеромського 114, 90-543 м. Лодзь, Польща
larysa.cherniak@npp.kai.edu.ua

Анотація

У статті досліджено практичну, екологічну та фітореMediaційну роль трав'янистих (дернових) покриттів, що використовуються на територіях аеродромів та аеропортів, з урахуванням їх впливу на якість ґрунтів і можливості відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами авіаційного походження. Показано, що діяльність аеропортів супроводжується значним техногенним навантаженням на ґрунтовий покрив, зокрема внаслідок потрапляння паливно-мастильних матеріалів, що призводить до порушення фізико-хімічних властивостей ґрунту, зниження його біологічної активності та фітотоксичності середовища.

Особливу увагу приділено агроекологічним перевагам створення багаторічного трав'яного покриву спеціального призначення на аеродромах як інструменту забезпечення екологічної безпеки ґрунтів, зменшення ерозійних процесів, пиловиділення та вторинного забруднення ґрунтових і поверхневих вод. У роботі обґрунтовано доцільність поєднання експлуатаційних функцій дернових покриттів із фітореMediaційними властивостями рослин.

Наведено результати експериментальних досліджень з оцінки ефективності фітореMediaції ґрунтів, штучно забруднених авіаційним пали-

вом, із використанням стандартних травосумішей та їх удосконалених варіантів із додаванням ріпаку й віки. Показано зниження рівня фітотоксичності ґрунту та покращення ростових показників тест-рослин у варіантах із фітореMediaнтами. Запропоновано рекомендації щодо оптимізації технології формування рослинних покривів на територіях аеропортів.

Отримані результати можуть бути використані при розробці програм відновлення порушених ґрунтів у зоні впливу аеропортів та інших авіаційних підприємств, а також при впровадженні екологічно безпечних технологій управління земельними ресурсами аеродромів.

Ключові слова: трав'янисті покриття, дернові покриття, фітореMediaція, ґрунти аеродромів, нафтопродукти, авіаційне паливо, екологічна безпека, відновлення ґрунтів.

Cherniak Larysa, Kondakova Tetiana, Dmytrukha Tetiana, Tomasz Maniecki, Lapan Oksana

Abstract

The article investigates the practical, ecological and phytoremediation role of grassy (turf) covers used on airfields and airport territories, with particular attention to their influence on soil quality and

the restoration potential of soils contaminated with petroleum products of aviation origin. It is shown that airport operations are associated with significant technogenic pressure on soil cover, primarily due to the ingress of fuel and lubricants, which leads to deterioration of physicochemical soil properties, reduced biological activity and increased phytotoxicity.

Special attention is paid to the agroecological benefits of establishing perennial grass covers of special purpose on airfields as an effective tool for ensuring soil ecological safety, reducing erosion processes, dust emissions and secondary contamination of groundwater and surface waters. The feasibility of integrating the operational functions of turf covers with the phytoremediation capacity of selected plant species is substantiated.

The paper presents the results of experimental studies assessing the efficiency of phytoremediation of soils artificially contaminated with aviation fuel using standard grass mixtures and improved variants supplemented with rapeseed and vetch. A decrease in soil phytotoxicity and improved growth parameters of test plants were recorded in variants containing phytoremediation species. Based on the obtained results, recommendations for optimizing the technology of plant cover formation on airport grounds are proposed.

The findings can be applied in the development of programs aimed at restoring disturbed soils in airport impact zones and other aviation-related areas, as well as in the implementation of environmentally safe land management practices for airfield territories.

Keywords: grassy covers, turf covers, phytoremediation, airfield soils, petroleum products, aviation fuel, ecological safety, soil restoration.

Постановка проблеми

Діяльність аеропорту нерозривно пов'язана зі значним техногенним навантаженням на усі компоненти довкілля [1]. Одним із найнебезпечніших чинників впливу є забруднення ґрунтів в зоні аеропорту нафтопродуктами [2], що призводить до порушення фізико-хімічних властивостей ґрунту, зниження його біологічної активності, зміни структури, порушення водно-повітряного режиму та мікробіологічної рівноваги [3]. Як наслідок, це призводить до накопичення токсичних

сполук, порушенню екологічної рівноваги, а також до деградації ґрунтового покриву.

Актуальність

В умовах інтенсивного розвитку авіаційної галузі особливого значення набуває питання екологічної безпеки функціонування аеропортів, зокрема збереження якості ґрунтів у межах їхніх територій а в зоні впливу даних підприємств. Під час експлуатації повітряних суден та наземних транспортних засобів в зоні аеропорту відбувається регулярне потрапляння до ґрунту паливно-мастильних матеріалів. Це призводить до погіршення структури ґрунту, зниження кількості аборигенних мікроорганізмів, і, як наслідок, до втрати процесу самовідновлення ґрунту та зниження важливих функцій трав'янистих покриттів ґрунту на території аеропорту.

Традиційні методи відновлення ґрунтів є високовартісними та не завжди екологічно безпечними. Враховуючи сучасні тенденції щодо забезпечення сталого екологічно безпечного розвитку аеропортів [4-5], актуальним є пошук високоефективних та екологічно безпечних методів відновлення порушених земель.

Як показали дослідження [6], ефективним, надійним та екологічно безпечним способом відновлення ґрунту є процес фіторемедіації – використання рослин, що здатні відновлювати екологічний сан ґрунту, забрудненого нафтопродуктами.

Проте, питання науково обґрунтованого підбору рослинних видів із високими фіторемедіаційними властивостями для формування дернових покриттів ґрунту на території аеропортів, залишається недостатньо дослідженим і потребує подальшого вивчення.

Зв'язок автора доробку із важливими науковими та практичними завданнями

З урахуванням актуальності проблеми деградації ґрунтів у зонах впливу аеропортів, було проаналізовано роль дернових покриттів ґрунту на території аеропорту та визначено напрямки для поєднання практичної ролі даних покриттів з фіторемедіаційною, для відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

Метою роботи була оцінка практичної та екологічної ролі дернових покриттів ґрунту на території аеропорту та визначення ефективності застосування стандартних трав'янистих сумішей з додаванням рекомендованих нами видів рослин при відновленні порушених ґрунтів в зоні впливу аеропорту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Забруднення колишнього середовища в зоні впливу аеропортів і, зокрема забруднення ґрунтів нафтопродуктами є актуальною екологічною проблемою для сучасної галузі цивільної авіації, враховуючи зростання інтенсивності авіатранспортних процесів [7-8, 14]. У результаті аналізу результатів останніх досліджень проблеми впливу діяльності аеропортів на навколишнє середовище, встановлено, що серед усіх компонентів довкілля ґрунтам приділяється найнижчий рівень уваги. Переважна більшість досліджень пов'язана з питанням впливу діяльності аеропортів на атмосферне повітря. У той же час, ґрунти виконують важливу роль для забезпечення відповідного рівня екологічної безпеки даних територій [15]. Окрім того, порушення ґрунтів впливом хімічного забруднення може призводити до зниження функцій дернових покриттів на території аеропортів. Трав'янисті покриття аеродромів відіграють важливу роль у збереженні екологічної рівноваги та зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище.

Останні дослідження підтверджують, що використання трав'янистих покриттів сприяє не лише фізичному захисту ґрунту від ерозії, але й покращує його біологічну активність. Автори акцентують на здатності трав'янистих рослин абсорбувати хімічне забруднення, наприклад, важкі метали, та сприяти біорозкладу нафтопродуктів [16]. Крім того, трав'яні покриття сприяють поліпшенню водо- та повітропроникності ґрунтів, що важливо для відновлення природних процесів. Тому, важливим науково-практичним завданням є розроблення рекомендацій з використання ефективних технологій відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами в зоні впливу аеропортів. Використання у складі трав'янистих покриттів на аеродромах рослин фіторемедіантів може сприяти зменшенню забруднення ґрунтів [17-19],

знижуючи витрати на хімічні методи очищення та забезпечуючи стійкість екосистеми.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття

Незважаючи на наявність значної кількості досліджень та публікацій стосовно відновлення ґрунтів від забруднення нафтопродуктами, питання використання трав'янистих покриттів на території аеропорту в процесі фіторемедіації залишається недостатньо вивченим. Бракує практичних рекомендацій щодо оптимального складу травосумішей, здатних ефективно відновлювати ґрунт, забруднений нафтопродуктами, в зоні впливу аеропорту,

Новизна

Новизна даної роботи полягає у визначенні здатності окремих видів рослин, зокрема ріпаку та віки, до зниження рівня забруднення ґрунтів від нафтопродуктів у комплексному використанні з видами рослинами, що використовуються для формування трав'яного покриву території аеродромів. А також у розробці рекомендацій щодо формування ефективних травосумішок, використання яких дозволить вирішити питання відновлення ґрунтів в зоні впливу аеропорту.

Методологічне або загальнонаукове значення

Дослідження фіторемедіаційного потенціалу застосування трав'янистих покриттів в зоні впливу аеропорту має важливе значення для вирішення питання відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Отримані результати можуть стати основою для розробки та впровадження рекомендацій та рішень щодо підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтів у зоні впливу даних підприємств.

Виклад основного матеріалу

У сучасних умовах активного техногенного впливу на біосферу декоративні трав'янисті покриття є невід'ємною часткою урбанізованих еко-

систем із значним потенціалом рівня екосистемних послуг, які виконують важливі естетичну та середовище твірну функції.

Значну роль газони, дернові чи трав'янисті покриття відіграють і для територій аеродромів, враховуючи негативний вплив останніх на навколишнє середовище і бажання науковців всього світу вжити відповідних заходів, спрямованих на зниження цього впливу.

Під дерновим покриттям ми розуміємо верхній шар ґрунту, густо порослий трав'янистими рослинами і скріплений її корінням, що підвищує міцність ґрунту і зменшує його розмочування та пилоутворення, що є особливо актуальним для території аеродромів [20].

Дернові покриття аеродромів та злітно-посадкових смуг належать до газонних покриттів спеціального призначення за класифікацією О.О. Лаптева [12]. Саме цей тип газону використовується для задерніння злітно-посадкових площадок на ґрунтових аеродромах, ділянок між цементними смугами в аеропортах, значення яких зросло у зв'язку із збільшенням повітряних ліній місцевого значення, авіаційних обробок в сільському господарстві, застосуванням авіації у суспільному та промисловому секторі.

Трав'янисті покриття на аеродромах можуть створюватися на окремих ділянках злітно-посадкових смуг, зокрема й у місцях, де не потрібне тверде покриття, для облаштування руліжних доріжок, що з'єднують злітно-посадкові смуги з перонами та іншими об'єктами аеродрому, для озеленення перонів – місць стоянки літаків, а також для облаштування санітарно-захисних зон навколо аеродрому задля запобігання поширення шумового та аерозольного забруднення, поширення пожеж тощо.

Дернові покриття спеціального призначення на аеродромах володіють низкою важливих експлуатаційних, екологічних та естетичних функцій:

- сприяють підвищенню рівня безпеки польотів через зменшення відблисків від освітлювальних засобів, покращення видимості для пілотів під час зльотно-посадкових маневрів;

- сприяють уповільненню та зупинці літаків як на злітно-посадкових смугах, так і у разі виконання літака за її межі;

- сформований трав'яний покрив перешкод-

жає вітровій та водній ерозії ґрунту, його розмиванню й появі ям, утворення яких знижує безпеку;

- дерновий покрив, як надземна його частина, так і підземна, запобігає забрудненню ґрунтових вод нафтопродуктами та іншими шкідливими речовинами, які можуть потрапити в ґрунт під час експлуатації аеродрому;

- виконують шумопоглинальну роль, особливо за умов розташування аеродромів у межах урбанізованих територій;

- відіграють середовищотвірну роль, сприяють очищенню повітря та здійснюють пилозапобігання;

- можуть використовуватися для зонування та розмежування зон аеродрому, створюючи висококультурний естетичний аспект.

Відповідно до свого функціонального призначення дернові покриття такого типу повинні володіти низкою характерних властивостей та відповідати певним вимогам. Основним їхнім завданням є не естетичні чи високодекоративні властивості, а здатність до витримування суттєвого фізичного навантаження, їхня стійкість та довговічність, виконання певних еколого-санітарних та технічних функцій. Основною умовою для цього є науковообґрунтовані підходи до створення та подальшого агротехнічного догляду покриттів такого функціонального призначення, формування їх на основі комплексного підходу до оцінки вихідних умов та перспективних експлуатаційних характеристик.

Дернові покриття спеціального призначення повинні володіти низкою властивостей:

- 1) висока експлуатаційна стійкість – сформований трав'яний покрив повинен витримувати суттєве постійне навантаження від літаків, руху людей, техніки тощо;

- 2) формувати належний рівень густоти та щільності покриття, що забезпечує належний рівень експлуатаційних характеристик;

- 3) володіти високою відновлювальною здатністю, високим рівнем самопідтримки декоративності;

- 4) мати високу посухо-, жаро-, холодо- та морозостійкість, забезпечувати цілорічний естетичний вигляд;

- 5) бути стійкими до ураження шкідниками та хворобами, формувати якісний покрив за мінімального застосування агротехнічних засобів.

Основний видовий склад газонних травосумішей представлений видами родин злаків та бобових. Принципи складання травосумішок полягають у змішуванні насіння трав з різними типами кущіння, розташування і потужності кореневої системи, різної висоти. Коренева насиченість є однією з головних діагностуючих ознак стану газонних фітоценозів та визначає щільність дернового покриву, його еластичність і стійкість до фізичних навантажень. Більш стійкими вважаються газони, які складаються з трьох і більше видів рослин з кореневищним та нещільнокущовим типом кущіння. Травосуміші для аеродромів повинні складатися з видів, які утворюють рівномірний та густий травостій і щільне переплетення коренів на глибині щонайменше 12 см, мають пружність і стійкість до механічного розриву, однорідні структуру і щільність ґрунту на всій робочій площі. Крім того, при підборі видів для травосуміші суттєве значення мають кліматичні і ґрунтові умови регіону із врахуванням біологічних особливостей росту і розвитку рослин.

Згідно результатів досліджень вчених газонознавців правильно підібрані компоненти в газонних травосумішах дозволять сформувати фітоценоз, який має ярусну будову в надземній і підземній сферах, що також підвищує проективне покриття, до того ж, унаслідок біологічних відмінностей між видами рослин у такій травосуміші кожний компонент зможе зайняти певну екологічну нішу, де будуть найбільш сприятливі умови для його росту і розвитку. Все це дозволить більш ефективно використовувати ресурси середовища, збільшити довголіття травостою, знизити кількість бур'янів і зменшити кількість коштів на утримання та догляд, а тож, що є дуже важливим, дає можливість зберегти високі показники функціональної ефективності протягом тривалого часу.

Під час злітно-посадкових операцій відбувається потужний викид гарячої газової суміші, що спричиняє високу запиленість, значна кількість дрібного пилу розноситься на великі відстані. Дернові покриття спеціального призначення відіграють важливу роль як засоби захисту аеродромів від джерел пилоутворення. Тому в авіаційній галузі необхідним є впровадження нових технологій створення трав'янистих покриттів, індивідуального підбору травосуміші, які сприятимуть

зниженню екологічного навантаження повітряного транспорту на навколишнє середовище.

Трав'янисті покриття такого складу послугують надійним захистом від утворення вітрової та водної ерозії ґрунту на аеродромі, а також знизять ризик утворення весняних паводків. В цьому значну роль відіграє структуроутворювальна функція кореневої системи в ґрунтовому шарі та сам травостій, що чисельними пагонами і листками захищає поверхню ґрунту від цих процесів. Наявність травостою уповільнює швидкість руху потоку води у підземних шарах. Травостій вистилає поверхню ґрунту і цим захищає її від впливу водного потоку. У своїй сукупності міцна дернина з густим травостоєм є відмінним засобом проти розмивної дії води.

В країнах світу останнім часом проблемі боротьби з акустичним забрудненням навколишнього середовища від авіаційного транспорту, особливо поблизу аеропортів, приділяється велика увага [13-14]. Дернування льотного поля, а також території навколо аеропорту призводить до зниження рівня шумового забруднення через поглинання, розсіювання та відбивання звуків численними надземними вегетативними органами газонних трав, а також дернові покриття знижують дзеркальне, відбиття яскравого джерела світла (сонця), зменшуючи кількість відблисків.

Дернові покриття сприяють зменшенню теплового забруднення на території аеродромів. За рахунок транспірації у спекотний період дерновий травостій випаровує велику кількість вологи, тим самим знижуючи температуру повітря на 5-15°C, тому дерноване льотне поле порівняно з вкритим бетонним покриттям відрізняється більшою відносною вологістю та нижчою температурою поверхні та повітря.

Під час процесу фотосинтезу дерновий травостій виділяє кисень і поглинає вуглекислий газ, тим самим покращуючи якість атмосферного повітря, знижуючи кількість забруднюючих речовин, що викидається авіатранспортом.

За рахунок окремих представників дернові покриття мають фітонцидні властивості, завдяки яким природним шляхом відбувається дезінфекція території і знищення патогенних мікроорганізмів.

До того ж дернові покриття позитивно впливають на емоційний та психологічний стан паса-

жирів та працівників аеропортів, рівна поверхня великого розміру та зеленого кольору заспокоює та підвищує настрій, налаштовує людину на позитив, не перенапружує нервову систему.

Зважаючи на вищевикладене актуальним науковим напрямом є обґрунтування створення стійких дернових фітоценозів та трав'яних покриттів спеціального призначення на територіях аеропортів й аеродромів з високим техногенним тиском для поєднання практичної та екологічної функцій покриттів.

Метою нашого дослідження було експериментальне дослідження ефективності фітореMediaції ґрунту, забрудненого авіаційним керосином, з використанням удосконаленої суміші рослин при формуванні рослинного покриття, регламентованого нормативно-технічними документами [20] шару на поверхні ґрунтового покриву аеропортів.

Експериментальне дослідження фітореMediaційної здатності сформованих рослинних покриттів було виконане за розробленою методикою з використанням стандартних для формуван-



Рисунок 1. Зразки рослин після пророщування

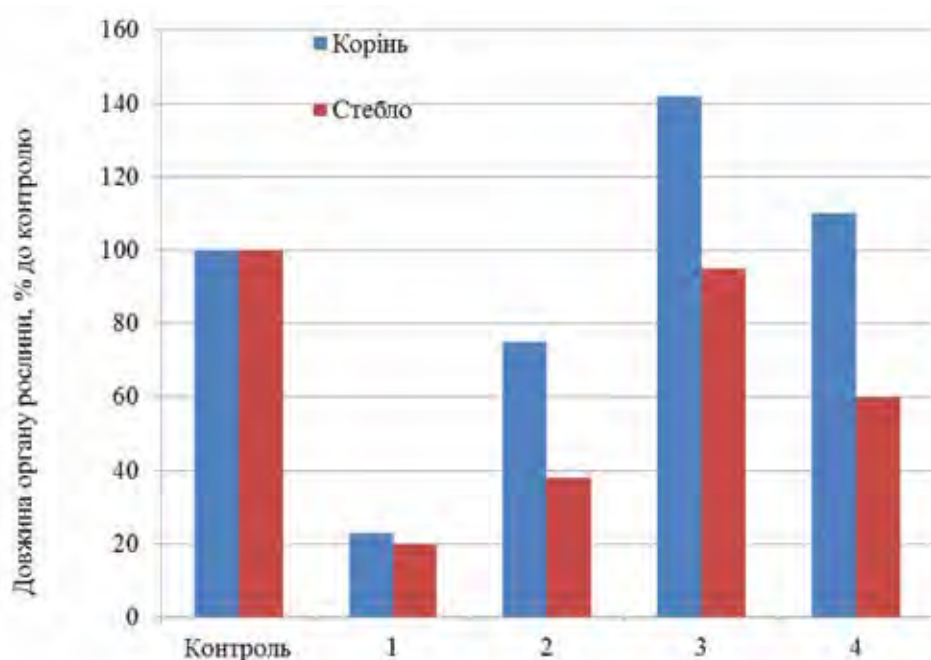


Рисунок 2. Залежність довжини органу тест-рослин від типу суміші рослин (на 7-му добу фітореMediaції): 1 – чиста проба ґрунту з пророщуванням стандартної суміші рослин; 2 – проба ґрунту, штучно забруднена авіаційним паливом у кількості 10 ОДК з пророщуванням стандартної суміші рослин; 3 – проба ґрунту штучно забруднена авіаційним паливом у кількості 10 ОДК з пророщуванням стандартної суміші рослин з додаванням віки; 4 – проба ґрунту, штучно забруднена авіаційним паливом у кількості 10 ОДК з пророщуванням стандартної суміші рослин з додаванням ріпаку

ня рослинного покриття на території аеропорту видів рослин [20] та додаванням запропонованих нами видів рослин, що були обрані для використання у технології фіторемедіації на основі попередніх результатів скринінгу рослин [21]. До кожної ростильні розміром 200x100мм було додано 200 г ґрунту та висіяно стандартну кількість насіння рослин. Було сформовано чотири проби ґрунту: 1 – чиста проба ґрунту з пророщуванням стандартної суміші рослин; 2 – проба ґрунту, штучно забруднена авіаційним паливом у кількості 10 ОДК з пророщуванням стандартної суміші рослин; 3 – проба ґрунту штучно забруднена авіаційним паливом у кількості 10 ОДК з пророщуванням стандартної суміші рослин з додаванням віки; 4 – проба ґрунту, штучно забруднена авіаційним паливом у кількості 10 ОДК з пророщуванням стандартної суміші рослин з додаванням ріпаку. Далі проби було накрито поліетиленовою плівкою та розміщено у термостаті за температури 23°C для пророщування. Вимірювання ростових характеристики рослин здійснювали на 7-му добу пророщування (рис. 1).

Біотестування досліджуваних проб ґрунту було здійснено за стандартною методикою біотестування ґрунту «ростовий тест». Результати експериментальних досліджень (рис. 2) підтвердили підвищення зниження рівня фітотоксичності ґрунту, забрудненого авіаційним паливом, при додаванні рослин ріпаку та віки до стандартних трав'яних сумішей покритті аеродрому.

Враховуючи знання про біологічні особливості та закономірність формування високоякісних дернових фітоценозів через науково обґрунтований підбір видів до травосумішей, запропоновано удосконалений компонентний склад травосуміші, із додавання ріпаку та гірчиці, застосування яких сприятиме забезпеченню фіторемедіаційою здатності даного рослинного покриття ґрунту з одночасним збереженням експлуатаційних характеристик, продуктивності, стійкості та довговічності трав'янистих фітоценозів при надмірному фізичному навантаженні злітно-посадкових смуг аеродромів та аеропортів.

Дані матеріали можуть використовуватися при складанні раціональних травосумішей та проведенні заходів з підвищення екологічної ролі та стійкості, довговічності газонних покривів для урбанізованих ландшафтів.

Висновки

Встановлено, що під час експлуатації зони аеропорту фіксується значне техногенне навантаження на ґрунти, зокрема забрудненням нафтопродуктами, що призводить до порушення їх фізико-хімічних властивостей і зниження біологічної активності.

Доведено, що трав'янисті суміші з додаванням ріпаку та віки забезпечують підвищену ефективність процесу фіторемедіації сприяючи зниженню рівня фітотоксичності ґрунту.

Показано, що застосування запропонованих сумішей рослин дозволяє знизити ризик деградації ґрунту, підвищити екологічну стійкість території аеропорту та сприяти мінімізації негативно впливу на навколишнє середовище.

Список використаної літератури

1. 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.
2. Brtnický, M., Pecina, V., Baltazár, T., Vašinová Galiová, M., Baláková, L., Beš, A., & Radziemska, M. (2020). Environmental Impact Assessment of Potentially Toxic Elements in Soils Near the Runway at the International Airport in Central Europe. *Sustainability*, 12(17), 7224. <https://doi.org/10.3390/su12177224>
3. Шевчик-Костюк, Л. З., Романюк, О. І., & Ощাপовський, І. В. (2022). Особливості забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами: огляд. *Acta Biologica Ukrainica*, (1), 32-40. <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2022-1-04>
4. Mohammad Parhamfar, Towards green airports: Factors influencing greenhouse gas emissions and sustainability through renewable energy, *Next Research*, Volume 1, Issue 2, 2024, 100060, ISSN 3050-4759, <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2024.100060>.
5. Jegan Ramakrishnan, Tingting Liu, Rongrong Yu, Karthick Seshadri, Zhonghua Gou, Towards greener airports: Development of an assessment framework by leveraging sustainability reports and rating tools, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 93, 2022, 106740, ISSN 0195-9255,

<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106740>.

6. 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.

7. Xiong, C., Tian, Y., Liu, X., Tan, R., & Luan, Q. (2022). The Different Impacts of Airports on the Ecological Environment under Distinct Institutional Contexts. *Land*, 11(2), 291. <https://doi.org/10.3390/land11020291>

8. Hamidreza Moradi, Gholamali Shafabakhsh, Ali Naderan, Effect of airport pollution on airport cities and air quality of the area (case study: Imam Khomeini international airport), *Journal of Transport & Health*, Volume 34, 2024, 101729, <https://doi.org/10.1016/j.jth.2023.101729>.

9. Борецька І.Ю. , Джура Н.М. , Романюк О.І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. Екологічні науки № 6(39), 2021, С. 72-76.

10. Софіїч О. Р., Гринь С. О. Фіторедіація як спосіб відновлення нафтозабруднених ґрунтів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. 2020. Ч. IV. С.44

11. Л. Д. Романчук, Н. Г. Матвійчук, Б. В. Матвійчук. Фіторемедіація ґрунтів шляхом вирощування енергетичних культур. № 11 (2025): Український журнал природничих наук. С. 223-224.

12. Газони: технологічні особливості створення та експлуатації: навч. посіб. / І.М. Дідур, В.М. Прокопчук, О.І. Циганська, В.І. Циганський; Вінн. нац. аграр. ун-т. – Вінниця: ВНАУ, 2019. – 293 с.

13. Ramos, A., & Maia, N. (2020). Environmental Impacts of Airport Noise: A Review of Case Studies and Mitigation Strategies. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101934.

14. Anna Maria Sulej, Żaneta Polkowska, and Jacek Namieśnik. (2022). Contamination of Runoff Water at Gdańsk Airport (Poland) by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs). *Sensors*. 2011, 11(12), 11901-11920. <https://doi.org/10.3390/s111211901>.

15. L.M. Nunes, Y.-G. Zhu, T. Y. Stigter, J. P. Monteiro and M. R. Teixeira. (2011). Environmental impacts on soil and groundwater at airports: origin, contaminants of concern and environmental risks. *J. Environ. Monit.*, 13, 3026–3039 <https://doi.org/10.1039/c1em10458f>.

16. Korzeniowska, J. & Stanisławska-Głubiak, E. (2023). The Phytoremediation Potential of Local Wild Grass Versus Cultivated Grass Species for Zinc-Contaminated Soil. *Agronomy*, 13(1), 160. <https://doi.org/10.3390/agronomy1301010>.

17. Шевчик Л. З., Романюк О. І. Аналіз біологічних способів відновлення нафтозабруднених ґрунтів. *Scientific Journal «ScienceRise: Biological Science»*. 2017. № 1(4). С. 31–39. Rizwan, M.

18. Ali, S.; Rizvi, H.; Rinklebe, J.; Tsang, D.C.W.; Meers, E.; Ok, Y.S.; Ishaque, W. Phytomanagement of Heavy Metals in Contaminated Soils Using Sunflower: A Review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2016, 46, 1498–1528.

19. Arjun Kafle, Anil Timilsina, Asmita Gautam, Kaushik Adhikari, Anukul Bhattarai, Niroj Aryal, Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents, *Environmental Advances*, Volume 8, 2022, 100203, <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203>

20. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1229-13#Text>.

21. Скринінг рослин для фіторемедіаційного відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. / Л. Черняк та ін. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2024. № 4. С. 24–25.