

ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ЗА АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Нікітченко Б.Я., Наумовська О.І.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 13, 02000, м. Київ
b.nikitchenko@nubip.edu.ua, el.naumovskaya@gmail.com

Розглянуто проблеми основних видів забруднення, причини деградації сільськогосподарських територій в результаті військової агресії, методи поліпшення стану і сучасні міжнародні практики відновлення порушеного ґрунтового покриву.

Бойові дії, дотепер продовжують відбуватися на території України спричиняючи ряд екологічних проблем, які стосуються якості, стану та, насамперед, прогресуючих деградаційних процесів порушення і руйнації ґрунту. Забруднення ґрунту важкими металами, паливно-мастильними матеріалами, викликає екологічні ризики продуктивного використання угідь на предмет вирощування органічної продукції. Унаслідок обстрілів, мінувань, авіаударів відбуваються пожежі, засмічення територій, поширення токсичних речовин у товщу ґрунту, і як наслідок – погіршення стану ґрунтового покриву. Розглянуто основні фізико-хімічні, екологічні, біологічні зміни ґрунтового покриву за впливу воєнних дій. Описано основні чинники, які спричиняють погіршення якості українських земель. Збіднення ґрунту, спричиняє дестабілізацію всіх хімічних, фізичних та біологічних процесів, тому виникає потреба у пошуку нових альтернативних та простих рішень. Описано міжнародний досвід у сфері відновлення та реабілітації порушених ґрунтів внаслідок воєнних дій та розглянуто основні методи очищення і подальшого використання даних земель. Проаналізовано технологію відновлення ґрунту – фіторе mediaція, використовуючи рослини-аккумулянти забруднюючих, токсичних речовин.

Фіторе mediaція – комплекс методів очистки ґрунтового, водного середовища за допомогою рослин, що є економічно вигідним та одним із найдієвіших методів відновлення порушених ґрунтів з високим виносом забруднюючих речовин. Розглянуто ефективні види рослин, які добре адаптовані до кліматичних умов України, є стійкими до забруднень нафтопродуктами та важкими металами і насамперед проявляють акумулятивні властивості стосовно токсикантів у ґрунті, а саме можуть накопичувати полутанти у своїй фітомасі. *Ключові слова:* деградові ґрунти, важкі метали, нафтопродукти, консервація земель, рослини-аккумулянти.

Ecological substitution of methods of land cover restoration during anthropogenic transformation. Nikitchenko B., Naumovska O.

The article discusses the problems of the main types of pollution, the causes of agricultural land degradation due to military aggression, methods of improving the condition of the land, and modern international practices for restoring disrupted soil cover. The ongoing hostilities in Ukraine continue to cause a range of ecological problems related to soil quality, condition, and, most importantly, the progressing degradation processes of soil disturbance and destruction. Soil pollution with heavy metals and petroleum products poses ecological risks to the productive use of land for growing organic products. As a result of shelling, mining, and airstrikes, fires, land contamination, and the spread of toxic substances in the soil occur, leading to the deterioration of the soil cover. The article examines the main physical-chemical, ecological, and biological changes in the soil cover due to the impact of military actions. It describes the key factors that contribute to the deterioration of the quality of Ukrainian land. Soil depletion destabilizes all chemical, physical, and biological processes, thus creating a need to search for new, alternative, and simple solutions.

The article also presents international experience in the restoration and rehabilitation of degraded soils due to military actions and discusses the main methods of soil purification and subsequent land use. The technology of soil restoration through phytoremediation is analyzed, using plants that accumulate pollutants and toxic substances.

Phytoremediation is a complex of methods for cleaning soil and water environments using plants, which is economically advantageous and one of the most effective methods for restoring disturbed soils with high pollutant removal. Effective plant species that are well adapted to the climatic conditions of Ukraine, are resistant to pollution by oil products and heavy metals, and primarily exhibit accumulative properties with respect to toxicants in the soil, namely, they can accumulate pollutants in their phytomass, are considered. *Key words:* degraded soils, heavy metals, petroleum products, land conservation, pollutant-accumulating plants.

Постановка проблеми. Останніми десятиліттями інтенсивний техногенний вплив спричинив вагоме збільшення площ деградованих ґрунтів, що суттєво впливає на стан та якість ґрунтового покриву. Потрапляння важких металів, радіонуклідів, нафтопродуктів, надлишку пестицидів та інших токсикантів у ґрунтовий покрив в результаті антропогенної діяльності призводять до забруднення всіх компонентів навколишнього природного середо-

вища, що сприяє значному погіршенню родючості ґрунту, знищенню біоценозу та зменшення біорізноманіття [21].

Актуальність дослідження. Війна призводить до численних екологічних проблем та загроз компонентам довкілля таких як: заміновані території, загроза біоті Смарагдової мережі, втрата біорізноманіття та загроза червонокнижним видам рослин та тварин і, насамперед, деградація та різноманітні

забруднення ґрунту токсичними речовинами і тд. Беручи до уваги, дані Міністерства оборони України, площа сільськогосподарських земель, які були звільнені від окупації та потребували повного або часткового розмінування становить близько 470 тис. га, проте фахівцями обстежено більше 131 тис. га та із яких близько 115 тис. га було розміновано на початок 2024 року [19].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наукова робота виконується в рамках виконання ініціативної тематики «Наукове обґрунтування оцінювання локальних джерел забруднення агроценозів» (№ 0122U001176), яка полягає у проведенні комплексу досліджень вивчення ступеня трансформації компонентів довкілля за антропогенного впливу локальних джерел їх забруднення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На деградованому ґрунті потрібно вирощувати фітореMediaційні культури через зміну біогеохімічних циклів поживних речовин, мікробного різноманіття ґрунтового покриву, зменшення органічної речовини, збільшення концентрації важких металів, залишків нафтопродуктів. Іони важких металів при більш високих концентраціях токсичні для рослин, але в оптимальних межах вони необхідні як мікротамакроелементи. Багато важких металів є токсичними, як для навколишнього середовища, так і для здоров'я людини. Нафтопродукти та їх залишки призводять до інтоксикації живих організмів та можуть навіть спричинити їх загибель. Через довгий період напіврозпаду нафтопродукти та важкі метали здатні впродовж тривалого часу зберігатися в товщі ґрунту та негативно впливати на ріст і розвиток рослинного покриву. Для рекультивації забрудненого ґрунтового покриву можна використовувати різні технології та методи: промивання ґрунту, фітосанація, фітореMediaція, фітоекстракція, ризофільтрація, пневматичний розрив пласту, хімічне відновлення, механічне очищення [22].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У даній статті описано основні зміни якісних показників ґрунту, які спричинені впливом воєнних дій, проаналізовано та розглянуто вітчизняні та міжнародні методи відновлення ґрунтового покриву.

Новизна. Проблема забруднення ґрунту є одним із головних питань людства, що дає поштовх для відкриття нових шляхів відновлення ґрунтового покриву. Після повномасштабного вторгнення росії відсоток забруднених ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами суттєво виріс, що спричиняє ряд екологічних проблем, які потребують швидких та ефективних екологічних рішень.

Методологічне та загальнонаукове значення. У ході дослідження було використано такі наукові методи: аналізування інформаційних джерел,

емпіричного оцінювання, аналогії та порівняння міжнародного досвіду у сфері запобігання, локалізації, усунення забруднень важкими металами, радіонуклідами, паливно-мастильними матеріалами та пошук ефективних рішень для вирішення проблеми забруднення ґрунтового покриву.

Виклад основного матеріалу. Кожен день війни в Україні приносить згубний вплив на довкілля та інфраструктуру. Розрізняють такі якісні показники стану ґрунтового середовища:

- 1) Фізичні;
- 2) Фізико-хімічні;
- 3) Екологічні;
- 4) Біологічні.

Воєнні дії завдають значної шкоди біорізноманіттю. Кожен вибух снаряду, кожен авіаудар пригнічує, або навіть нівелює ріст рослинності, значно скорочує популяцію ґрунтової фауни, в тому числі мікроорганізмів, в загальному руйнує існуючий біогеоценоз. Важливим є те, що багато рослин здатні накопичувати, акумулювати у своїй фітомасі забруднюючі речовини, якими насичені ґрунти після вибухів снарядів. Сільськогосподарські культури, які вирощені на забруднених територіях не можна використовувати з метою споживання населенням. Шкоди в основному зазнає родючий шар ґрунту, гумусовий шар, в якому знищуються важливі симбіотичні зв'язки рослин та мікроорганізмів. В той же час, у ґрунті збільшується концентрація мінеральних речовин, що призводить до появи екзогенних сукцесій покриву рослин [7].

Фізичні зміни ґрунтового покриву насамперед полягають в перемішуванні генетичних горизонтів після вибухів бомб, снарядів; механічні деформації ґрунту після руху важкої техніки, будівництва фортифікаційних споруд, бліндажів; витискання води, утворення порожнин у структурі покриву, просідання поверхні та певних змінах у мікрорельєфі [1]. Не можна виключати і тепловий вплив на фізичні зміни ґрунту, що спричиняє локальні зміни температури, зміни агрегатного та гранулометричного складу ґрунтового покриву, що призводить до різкого зменшення біорізноманіття [5].

Також первинні зміни ґрунтового покриву спостерігаються внаслідок засмічення ґрунтів уламками, артилерійськими снарядами, гільзами, мінами та ракетами, які можуть спричиняти ерозію, деградацію ґрунтового покриву, масштабні зсуви поверхні та невідомі зміни структури. Воєнні дії пошкоджують дренажні системи, від яких залежить рівень підземних вод, пошкодження даних систем може призводити до підтоплення значних територій, в тому числі сільськогосподарського призначення. Фізичні зміни ґрунтового покриву провокують погіршення повітропроникності, водопроникності ґрунту, та здатності ґрунту утримувати вологу. Вибухи та вогнепальні постріли призводять до руйнування, розривання структури ґрунтового покриву та випалювання

поверхневого рослинного шару. Колосальна сила вибухів здатна перемішувати значну масу ґрунту з одного місця на інше, перемішувати генетичні горизонти та призводити до його реструктуризації. Воєнні дії супроводжуються постійним використанням важкої техніки, що призводить до ущільнення, стискання ґрунту та стає причиною непридатності у подальшому їх ефективному використанні. Всі ці зміни призводять до опустелювання значних територій та погіршення умов вирощування сільськогосподарських культур [1].

«Бомбтурбація» – це тип порушення ґрунту, під час якого спостерігається перемішування генетичних горизонтів, утворення локальних типів повоєнних ландшафтів та значні зміни мікрорельєфу. Поява кратерів впродовж воєнних дій спричиняється бомбардуванням територій, одним з наслідків дії вибуху є утворення воронки, що з'являється завдяки вивільненню великої кількості енергії снаряду та утворення кругової ударної хвилі. Вибухова хвиля порушує повітряно-водний режим ґрунту та дестабілізує процеси гумусоутворення [2].

Екологічні зміни полягають насамперед у накопиченні у ґрунті забруднюючих речовин таких як:

- рухомі та нерухомі форми важких металів
- нафтопродукти (паливно-мастильні матеріали)
- радіоактивні речовини та їх сполуки

У епіцентрах бойових дій важкі метали подекуди перевищують фонові значення в десятки, а то і навіть сотні разів. Разом із залишками боєприпасів до ґрунту потрапляють токсичні елементи такі як: Cd, As, Cr, Cu, Pb та інші.

У результаті окиснення залишків зброї до ґрунтового профілю потрапляє S, яка при взаємодії з водою перетворюється на сульфатну кислоту, змінюючи кислотність ґрунту та знищує мікроорганізми від яких безпосередньо залежить утворення гумусового шару.

Через рух та проходження важкої воєнної техніки ґрунт ущільнюється та до нього надходить величезна кількість паливно-мастильних матеріалів, порушується повітряний та водний режим профілю, ускладнюється біодоступність поживних речовин до рослин, порушуються біохімічні процеси та зменшується доступ кисню до ризосфери.

Оболонки боєприпасів здебільшого виготовляють з чавунного сплаву з додаванням вищенаведених важких металів, а в деяких випадках було виявлено навіть збіднений уран, з плином часу вони окислюються та здатні потрапляти до ланцюгів живлення.

Не можна не згадати, фосфорні бомби до складу яких входить білий фосфор у якого температура горіння до 1300 °C. Продукти горіння, потрапляючи на поверхню ґрунту, утворюють солі, що посилює горизонтальну міграцію залишків фосфорних бомб на значні відстані. Висока температура горіння боєприпасів спричиняє загибель великої кількості мікроорганізмів, навіть ґрунтоутворюючих.

Надмірний вміст фосфатів у ґрунті приносить шкоду росту і розвитку рослинам. Фосфорні бомби здатні викликати великі за площею пожежі, які досить проблемно загасити, доки не вигорить весь фосфор або не перешкодити доступ до кисню [11].

Протягом горіння білого фосфору в повітря виділяється білий дим, що в основному складається з триоксиду P_4O_6 та пентаоксиду P_4O_{10} . Оксиди фосфору, які утворилися є надмірно гігроскопічними, тобто здатні абсорбувати вологу, утворюючи фосфоровмісні кислоти: пірофосфорна $H_4P_2O_7$, ортофосфорна H_3PO_4 , гіпофосфорна H_3PO_2 , ортофосфориста H_3PO_3 , поліфосфорні кислоти та циклічні і лінійні поліфосфати. За умови низької концентрації кисню впродовж горіння білого фосфору може утворитися фосфін PH_3 . Фосфін здатний знаходитися в повітрі набагато довше, ніж інші продукти реакції, через слабку розчинність у воді, газоподібний стан та слабку здатність до взаємодії з іншими речовинами. Фосфін перебуваючи у газоподібному стані впродовж одного дня здатен розкладатися до безпечних речовин. Проте, при динамічному горінні аерозолі фосфору здатні обволікатися оксидами, чим і консервують у собі найпростіший білий фосфор.

Велика кількість аерозолів від горіння фосфору може долати буферність ґрунту і змінювати його рівень pH. Взаємодія металів з конденсатами фосфору може призводити до подальшої міграції та вимивання з ґрунту. Білий фосфор здатний викликати опіки листя, його опадання та згортання, хлороз, в'янення, некротичні плями та безпосередньо загибель рослини [10].

Істотного впливу навколишньому середовищу завдає і токсичний склад капсулів снарядів – засоби, які потрібні для загоряння порохового заряду у зброї або ж безпосередньо детонації снаряду. У складі капсулів є ініціюючі речовини для детонації бризантних вибухових речовин, що здатні руйнувати та роздроблювати предмети, які знаходяться в зоні вибуху [4].

Здебільшого за складом, капсулі є ударно-запальною сумішшю речовин таких як: гримуча ртуть, антимоній, бертолетова сіль, азид свинцю, тринітрорезорцинат свинцю, нітрат стронцію, магнієвий порошок, нітрат і карбонат бісмуту. Через потрапляння цих речовин до ґрунту, атмосфери та підземних, прогнозується значне забруднення важкими металами та залишками вибухових речовин [12].

Після обстрілів нафтобаз та великих промислових об'єктів у ході горіння в повітря може потрапляти велика кількість канцерогенних забруднювачів таких як: важкі метали, легкі органічні сполуки, діоксид сірки, окис вуглецю, оксиди азоту та ін. Під час горіння мазутів (рідких палив) разом з димовими газами до повітря надходять: оксиди вуглецю, азоту та сірки, сірчаний ангідрид, тверді та газоподібні залишки неповного згоряння нафтопродуктів, спо-

луки натрію та ванадію, що провокує виникнення кислотних дощів. Горіння нафти супроводжується потраплянням до повітря небезпечних речовин, які можуть становити загрозу життю людини та росту і розвитку живих організмів таких як: сірчана кислота, сажа та продукти згоряння також бензоапірен, який є канцерогеном. Кислотні дощі, викликані здебільшого сірчаною кислотою можуть загрожувати баштанним сільськогосподарським культурам (кабачки, огірки, кавуни). Розлив нафти небезпечний однією своєю особливістю, вуглеводи нафти можуть розчинятися у собі інші забруднюючі речовини (важкі метали) становлячи цим ще більшу небезпеку як для водних об'єктів так і для ґрунтового середовища [5].

Геохімічні властивості нафти розглядаються насамперед як властивості її складових: циклічних вуглеводнів, метанових вуглеводнів, смол, асфальтенів та сірчистих сполук. Твердий парафін достатньо важко окислюється та руйнується в повітрі, він здатний закупорювати ґрунт, лишаючи його можливості вільного дихання та вологообміну. Це, насамперед, спричиняє цілковиту деградацію біогеоценозу. Ароматичні вуглеводні є одними з найбільш токсичних складових нафти, у концентрації близько 1% від вологи ґрунтового покриву гине весь рослинний покрив. Токсичний екологічний вплив смолистих компонентів на ґрунт полягає в погіршенні водно-фізичних властивостей, бо нафта проникає вертикально по профілю а основна маса смолисто-асфальтенових компонентів поглинається у гумусовому шарі, блокуючи доступ повітря та вологи, зменшується пористість ґрунту. Дані компоненти є гідрофобними, бо огортають кореневу систему, чим погіршують доступ повітря та вологи. Забруднення нафтою утворює нову екологічну обстановку, що спричиняє глибокі зміни природних біоценозів та у подальшому їх деградацію [6].

На сьогодні, у сучасних бронебійних боєприпасів активна частина складається здебільшого зі збідненого урану. Використовують даний метал через його особливу фізичну властивість – самозаймання та горіння при зіткненні з броньованою технікою. Дрібні уламки уранової серцевини боєприпасу поширюються та викликають займання горючих засобів та детонацію наявних боєприпасів вже всередині броньованої техніки. Приблизно 70% збідненого урану в снаряді згорає, перетворюючись в аерозоль радіотоксичних оксидів урану таких як: U_3O_8 , UO_2 розмірами частинок від 0,5 до 5 мікрон. Вагома частина даних аерозолів потрапляє до повітря, згодом осідає на поверхню ґрунту і проникає у підземні води забруднюючи дані середовища на тривалий час, допоки не мине період напіврозпаду [8].

Достеменно не відомо майбутній вплив залишків снарядів із збідненого урану на навколишнє середовище та людину. Проте, всім відомий так званий термін «синдром Перської затоки», він виник внаслідок Косовської війни 1998–1999 років. Війна привернула

увагу багатьох держав-лідерів та була вирішена завдяки втручанням НАТО. За офіційними даними, впродовж війни було застосовано приблизно 31 тисячі боєголовок з масою 10 тон збідненого урану. Окрім радіоактивного впливу на довкілля, уран також є канцерогеном і мутагеном, а його частинки неможливо повністю вилучити з ґрунту [9].

Впродовж з 24 березня по 5 червня 1999 року під час Косовської війни, літаки НАТО провели близько 34 000 польотів, призводячи до високого рівня забруднення локальної території, в опадах, які потрапляли на поверхню ґрунту була маса токсичних речовин таких як: полібутадин, стеарат свинцю, поліетилен, перхлорат амонію, повінілхлорид, високотоксичні гідроксиди та вихлопні гази, які містили оксиди азоту (основного руйнівника озонового шару) [9].

Біологічні зміни ґрунтового покриву полягають у зменшенні та загибелі популяцій підземних мікроорганізмів, черв'яків, комах, які відіграють важливу роль у ґрунтоутворенні, а саме [16]:

- розкладають органічні рештки, утворюючи гумусовий шар;

- підтримують фертильність, кислотність ґрунту.

Усі організми ґрунтового середовища є дуже важливими, утворюючи вагому складову біорізноманіття та підтримуючи екологічну стійкість ґрунту. Ґрунтові організми гинуть від переущільнення поверхневого шару важкою технікою, теплових ударів, руйнування та перемішування горизонтів, зневоднення товщі ґрунту та обмеження доступу повітря [2].

Беручи до уваги міжнародний досвід боротьби з деградованими ґрунтами після війни, можна сказати, що кожна країна використовувала різні методи, деякі були ефективні, а деякі не допомагали покращувати стан ґрунту. Найбільших пошкоджень ґрунтових ресурсів зазнала територія Франції під час Першої світової війни, відомо, що під час битви на Соммі сільськогосподарські угіддя було зруйновано, окопи пронизували поля, залишаючи деградовані землі. Приблизно 250 000 акрів, тобто 100 000 га сільськогосподарських угідь було знищено настільки, що було прийнято рішення вилучити дані землі з користування та висаджувати лісові насадження.

Під час воєнних дій на території Франції близько 1,5 мільйони акрів лісових насаджень було в зонах ведення активних бойових дій або в окупації, а близько 494 000 акрів лісів було знищено, місцева фауна також постраждала, у тому числі популяція європейського буфало значно скоротилася та перебувала під загрозою зникнення [1].

Під час Другої світової війни Норвегія протягом 5 років була окупована нацистами, первинні збитки було завдано ґрунтам безпосередньо самими норвежцями, які викопували окопи та захисні смуги. Завдяки зарядам динаміту закладеного на територіях країни та опадам почалися зсуви та перемішування мате-

ринських горизонтів. Відступаючи, німецька армія знищила землі на майже 15 мільйонах акрів, сільськогосподарські території та лісові угіддя зазнали суттєвих втрат. Нідерландці відкриттям дамби, мали за мету призупинити наступ німців, а в свою чергу це спричинило деградацію земель, засолення та затоплення.

У травні 1943 року аби знищити промислові склади в Німеччині було розбомблено дві вагомні греблі в Рурській долині, що спричинило затоплення близько 7500 акрів сільськогосподарських угідь [20].

Військові дії, які відбувалися в пустелях Північної Африки були досить суттєвими та спричинили багато пошкоджень. Ґрунтовий покрив був ущільнений військовими машинами та танками, рослинність була повністю знищена, а пилові бурі почали виникати все частіше, особливо в районах проведення бойових дій.

Одним з найбільш згубних, руйнівних та довготривалих наслідків для довкілля було ядерне бомбардування Хіросіми та Нагасакі. У серпні 1945 року було скинуто дві ядерні боєголовки впродовж трьох днів, попри збитки від радіаційного забруднення територій радіонуклідами, були додаткові втрати, викликані масштабними пожежами, токсичними опадами, після бомбардування, забруднення ґрунтового та водного середовищ загибель та зникнення тваринного і рослинного світу [2].

Не можна не згадати, прямі екологічні збитки під час воєнних дій в Перській затоці, що сталися у 1991 році. У намірах зупинити вторгнення було знищено заводи з опріснення води, що завдало шкоди економіки Кувейту та Саудівської Аравії. Війська Ірану вилили мільйони галонів нафти в мілкі води затоки та регулярно знищували нафтові родовища Кувейту. Детонатори, які встановили заздалегідь, знищили близько 1250 свердловин нафти, а ще 600 свердловин горіло після детонації вибухівки. Військові машини, що рухалися пустелею, знищили не лише рослинний покрив, а й пошкодили природну кірку ґрунтового покриву пустелі, що посилює вітрову ерозію [2].

Починаючи з 1989 року після закінчення Холодної війни в Європі було покинуто та потребувало відновлення приблизно 1,5 мільйони гектарів територій, здебільшого подальше використання даних земель вважалося недоцільним, через вагомий хімічний забруднення та велику кількість замінованих територій, що спричинило появу природних заповідників. Концепція перетворення забруднених територій після війни в природні заповідники, міжнародні парки миру, так звані – Natura 2000 набула популярності в усіх країнах Європи, тобто всі компоненти довкілля з часом можуть самовідновлюватися.

У Франції за десятиліття після Другої світової війни було відновлено більшість територій шляхом лісонасаджень, а сільськогосподарські угіддя повернуті у обробіток, але деякі сільськогосподар-

ські території не можна було повертати, через надмірне хімічне забруднення та нерозірвані снаряди, тому перевагу віддали поверхневому очищенню, висаджуванню лісів або консервуванню територій. Будівництво житла, ведення сільського господарства було суворо заборонено на територіях з високими концентраціями важких металів та інших токсичних речовин.

Після війни в Перській затоці, влада Кувейту не відновлювала ґрунтовий покрив та водні об'єкти, а лише утилізували забруднений ґрунт та засипали піском нафтові озера або підпалювали. Кувейтським інститутом наукових досліджень та Японським центром нафтової енергетики було розпочато спільну програму у 1994 році з відновлення території площею 1 га, покритою нафтопродуктами. Було апробовано 3 основні та ефективні методи біоремедіації: компостні відвали, землеробство та біовентиляційні палі. Як наслідок, біодеградація нафти була до 84% шлему, тобто майже повне очищення території, але даний метод досить трудомісткий та нерентабельний [3].

Університет Кувейту виявив, що декілька рослин здатні виживати в нафтозабрудненому ґрунті, тобто виявляли стійкість, їх коріння було здорове, а мікробіота кореневої системи зменшувала концентрацію нафтопродуктів. Дане дослідження показало, ефективне рішення проблеми, що легке забруднення нафтою зменшується приблизно на 80% за півроку, а важке забруднення впродовж року. Таким чином, фіторемедіація економічно ефективна та дієва, головне обрати рослини дотичні до місцевого рельєфу та клімату [3].

У Болгарії досліджували ефективність конопель (*Cannabis sativa* L.) послаблення забруднення важкими металами ґрунту використовуючи фіторемедіанти у зоні локального впливу підприємства кольорових металів. Шляхом сівозміни: озимий горох, озима пшениця, озимий ячмінь та коноплі було досягнуто екстрагування біомасою коноплі таких важких металів: Zn, Cu, Cd, Pb.

У США було доведено ефективність кукурудзи (*Zea mays* L.) з використанням синтетичних хелатів, як підсилюючого ефекту в поглинанні Pb, з допомогою хелатів було помітно істотне збільшення акумуляції Pb в стеблах, ніж в коренях з 500 мг/кг до 1000 мг/кг [22].

Одним з найперспективніших методів очищення компонентів довкілля на сьогодні вважається фіторемедіація з грецької *phyton* – рослина, й англійської *remediation* – виправлення [13].

Фіторемедіація об'єднує в собі велику кількість дієвих методів, які базуються на різних процесах очищення, поглинання та розкладання токсикантів:

- фітоекстракція – поглинання забруднюючих речовин кореневою системою рослин і переміщення та акумуляція їх у надземній частині рослин;

- фітостимуляція покращує мікробний обмін речовин у ризосфері рослин;

– фітодеградація полягає у розкладанні забруднюючих речовин до нетоксичних сполук, в основному базується на біорізноманіттю рослин та їх метаболізму;

– ризофільтрація – поглинання рослинною ризосферою розчинених форм забруднюючих речовин;

– ризодеградація – процес розкладання токсикантів у ризосфері рослин за допомогою ґрунтових мікроорганізмів.

Дані методи вважаються ґрунтоохоронними, тобто такими, що після їх застосування ґрунт не втрачає свої властивості. Процес розробки та впровадження фіторе mediaційних технологій включає в себе декілька завдань:

– характеристика місцевості, опис забруднення, а саме визначення кількості та глибини просочування забруднюючих елементів;

– добір рослин, які будуть акумулювати, розкладати токсиканти, якими забруднена досліджувана ділянка [14].

Забруднений ґрунт потрібно підготувати перед висаджуванням рослин-акумулятивів, тобто забезпечити нормальний рівень аерації ґрунту, провести дослідження ґрунту для визначення типу та ступеню забруднення і можливо використовувати біостимулятори росту рослин та регуляторів кислотності ґрунту для більшого виносу токсикантів. Для кращого очищення потрібно враховувати умови вирощування вибраних рослин та густоту висаджування [15].

Основними перевагами технології фіторе mediaції забрудненого токсикантами ґрунту можна вважати:

– у основі даного методу лежить використання біологічних, обмінних процесів рослин та мікроорганізмів;

– фіторе mediaція ефективний та економічно вигідний метод для очищення великих площ забруднених земель;

– даний метод сприяє підтримці екологічної стійкості та збереженню біорізноманіття, так як не застосовуються хімічні речовини для очищення, а лише обмінні процеси мікроорганізмів та рослин [22].

До рослин, які здатні накопичувати токсичні речовини відносять такі енергетичні культури як: *Miscanthus giganteus*, який за використання гуматів активно нарощує кореневу та надземну частину, що у свою чергу збільшує накопичення забруднювачів рослиною; *Brassica napus L.*, який добре пристосований до кліматичних умов України, виступає, як сидерат, покращує структуру ґрунту завдяки добре

розвиненій кореневій системі, є не лише енергетичною та олійною культурою, а й хорошим абсорбентом важких металів з ґрунтового профілю, а саме: Co, Cd, Pb, Cu, Zn; *Hippophae rhamnoides L.*, багаторічна культура, яка покращує стан земельного покриву, а саме, збільшує кількість азотфіксаторів, деструкторів нафти та підвищує вміст амонійного та загального азоту [23, 24].

Україна має досить значний досвід відновлення порушених земель, внаслідок Чорнобильської катастрофи. Чорнобильська катастрофа відбулася 26 квітня 1986 року була спричинена вибухом на четвертому реакторі. У докiлля потрапила велика кількість радіоактивних речовин, що несло за собою колосальну загрозу для біорізноманіття та здоров'я людей. За офіційними даними, з сільськогосподарського обігу було виведено близько 5 мільйонів гектарів земель, а довкола атомної станції було створено 30 кілометрів зони відчуження. Загалом було забруднено внаслідок аварії на ЧАЕС більше 200000 км² [17]. Після аварії було прийнято Закон України від 27.02.1991 року «Про правовий режим територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» [18]. За об'ємом та ступенем ураження земель наслідки можна було порівняти з бойовими діями, тому цей досвід застосування методів і підходів відновлення ґрунтового покриву є важливим для повоєнної України. Слід відмітити, наявність чітких та обґрунтованих критеріїв зонування пошкоджених територій і насамперед відповідних дій із подальшим управлінням такими землями [2].

Головні висновки. Враховуючи всі плюси та мінуси різних методів відновлення порушених сільськогосподарських територій: консервації земель, порівнюючи міжнародний досвід Болгарії, США, ми дійшли висновку, що найоптимальнішим та найдешевшим методом є фіторе mediaція. Основним завданням у фіторе mediaції є правильний підбір рослин-акумулятивів забруднюючих речовин зважаючи на забруднення, тип ґрунту та кліматичні умови.

Перспективи використання результатів дослідження. Фіторе mediaція є перспективним методом очищення та поліпшення стану ґрунту зі значним потенціалом, бо при її використанні можливий вагомий виніс фітомасою рослин-акумулятивів: важких металів, залишків нафтопродуктів, органічних забрудників; даний метод є економічно вигідним та сприяє підтриманню екологічної стійкості і біорізноманіття.

Література

1. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J.R., & Karaca, F. (2020). Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*, 12(21), 9002. doi: 10.3390/su12219002
2. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. 2023. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii2.pdf>
3. Chabay, I., Frick, M., & Helgeson, J. (2015). Land Restoration. *Elsevier*. (p. 572). doi: 10.1016/c2013-0-18711-9
4. Лобойченко В.М., Пліско Г. (2017). Оцінка екологічних наслідків від вибухів патронів та гранат на складах боєприпасів. *Збірник наукових робіт курсантів*, Вип. 15. С. 112–120.

5. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 18 березня 2022 року. 2022. URL: <https://mepr.gov.ua/informatsiya-pro-naslidky-dlya-dovkillya-vid-rosijskoyi-agresiyi-v-ukrayini-24-lyutogo-18-bereznia-2022-roku-2/>
6. Процько Я.І. (2010). Вплив нафти та нафтопродуктів на ґрунтовий покрив. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Вид. 2-ге. Полтава. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2010/02/189.pdf>
7. Evans, R., & Seddon, B. (2022). *Vybukhovi boieprypasy, posibnyk*. GICHD: 1th ed. URL: https://www.gichd.org/fileadmin/AMAT/_uploads/GICHD_Ukraine_Guide_2022_Second_Edition_in_Ukrainian.pdf
8. Станкевич С.В., Головань Л.В. (2020). Техноекология: навч. посібн. Харків: Видавництво Іванченко І. С. 337 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Stankevich_2020_338.pdf
9. Sullivan, C. (2014). Kosovo Liberation Army (KLA). History & Facts. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/topic/Kosovo-Liberation-Army>
10. Toxicological Profile for White Phosphorus. Atlanta, GA, USA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1997. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK598135/>
11. Вілора В. (2022). Екологія в умовах війни: бомба уповільненої дії. Армія Інформ. Інформаційне агентство. URL: <https://armyinform.com.ua/2022/06/05/ekologiya-v-umovah-vijny-bomba-upovilnenoj-di-i/>
12. Сидоренко В. Л. (2013). Деякі аспекти визначення рівнів забруднення навколишнього природного середовища продуктами аварії на складі боєприпасів. *Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості*, 1, С. 110-119
13. Булаченко Р. В. (2013). Можливості застосування рослин фіторемедіантів для захисту ґрунтів Полтавщини від діяльності об'єктів нафтопромислового комплексу. Розробка екологічно безпечних технологій процесів і устаткування. *Екологічна безпека*, 15(1). С. 99-102. URL: [https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2013_1\(15\)/Pdf/99.pdf](https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2013_1(15)/Pdf/99.pdf)
14. Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Землеробство» (2019). Вінниця: ТОВ «Твори». Вип. 2(97). 134 с. URL: https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2021/04/maket-zem-2-19_pidgotovlenij.pdf
15. Лисиця А.В. (2018). Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Рівне: Дока-центр, 94 с. URL: https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/2019/la_19_03_ms.pdf
16. Чорний С.Г. (2018). Оцінка якості ґрунтів: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ, 233 с. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3259/1/Chornyj_Ocinka_jakosti_gruntiv.pdf
17. Красіков О. М. (2016). До 30-річчя Чорнобильської катастрофи: причини, наслідки та уроки. URL: <https://elar.naiu.kiev.ua/bitstreams/f1a19acb-0f1d-42db-a031-80cc306513e5/download>
18. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27.02.1991 № 791а-ХІІ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/791%D0%B0-12> (дата звернення: 05.02.2025)
19. Тхорик Л.О., Бережнюк Є.М. (2024). Забруднення ґрунтів важкими металами внаслідок воєнних дій в Україні та можливі заходи з їх відновлення. Київ: «Екологія – Філософія існування людства». № 10. 309 с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/zbirnik_filosofiya_2024.pdf#page=275
20. Johnsen, I.V., Mariussen, E., & Voie, H. (2019). Assessment of intake of copper and lead by sheep grazing on a shooting range for small arms: a case study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26 (8), 7337–7346.
21. Цицора Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех Л.В. (2022). Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультивзації у сучасних системах землеробства. Вінниця: ТОВ «Друк». 1200 с. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/31038.pdf>
22. Кляченко О.Л., Мелничук М.Д., Іванова Т.В. (2015). Екологічні біотехнології: теорія і практика. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД». 254 с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/ekologichni_biotekhnologii_31-07-15.pdf
23. Подан І.І., Джура Н.М. (2019). Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. *Екологічні науки*, 2(25). С. 182–186. doi: 10.32846/2306-9716-2019-2-25-30
24. Шевчик Л.З. Екологічна оцінка та фіторемедіація нафтозабруднених ґрунтів : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16 / Л. З. Шевчик. Дніпро : Дніпропетр. нац. ун-т ім. О. Гончара, 2017 р. – 21 с. URL: http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/dissertation_5902f7c3b8f84.pdf
25. Строкаль В.П., Бережнюк Є.М., Наумовська О.І. та ін. Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: монографія / за заг. ред. В. П. Строкаль. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2023. 218 с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/monografiya-ostanniy_variant_isbn_5.pdf