

ЗАБРУДНЕННЯ УГІДЬ УНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ: ОГЛЯД РІШЕНЬ ДЛЯ ПОДОЛАННЯ КРИЗИ

Майданович Н., канд. геогр. наук,
<https://orcid.org/0000-0002-0361-8215>

Шустік Л., канд. техн. наук,
<https://orcid.org/0000-0003-3718-3667>

Майданович В., канд. техн. наук,
<https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

Сидоренко С.,
<https://orcid.org/0000-0001-5046-117X>
ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Метою цієї роботи є аналіз видів забруднень на угіддях, що зазнали бойових дій, та огляд наукових досліджень за цією тематикою з метою пошуку раціональних технологічних рішень для подолання кризи.

Методи та матеріали. Дослідження спрямоване на огляд відкритих наукових літературних джерел щодо забруднення сільськогосподарських угідь, що постраждали від ведення військових дій. Дослідження зосереджене на фізичних і хімічних порушеннях у ґрунті, спричинених військовими діями (бомбардування угідь, забруднення угідь осколковими залишками, ущільнення ґрунту військовою технікою, хімічне забруднення важкими металами тощо) та методах відновлення угідь.

Результати дослідження. Першочерговим завданням при усуненні наслідків бойових дій є розмінування територій угідь. Існує ряд засобів для знаходження мін і машин для розмінування, в яких робочим органом може виступати реактивний вибуховий пристрій або механічна система у вигляді ковша, котків обертового ротора тощо.

Рекультивация земель, порушених унаслідок воєнних дій, проводиться у два етапи: технічному й біологічному. Суть технічного етапу — підготовка територій для подальшого цільового використання. Він полягає у плануванні, а також нанесенні ґрунтів або родючих порід на вирівняну поверхню. Біологічний етап — це комплекс заходів щодо відновлення родючості порушених земель. Він охоплює агротехнічні й меліоративні заходи, спрямовані на поновлення флори й фауни.

Для подолання наслідків забруднення ґрунту нафтопродуктами та компенсування втрат азоту на угіддях унаслідок вигорання полів доцільним є застосування активних нафтоокислювальних і відновлювальних ґрунтових мікроорганізмів шляхом їхнього внесення ґрунтообробними-посівними агрегатами, оснащених пристосуваннями для внесення рідких і сухих комплексних добрив.

Висновки. Серед практичних агротехнічних підходів до відновлення ґрунтів після грубої рекультивации угідь можна виділити такі: вирощування біоенергетичних культур на пошкоджених землях; застосування технологій мінімальної обробки ґрунтів із використанням органічних відходів і мікробіологічних препаратів; біотехнології ремедіації ґрунтів. З огляду техніко-технологічних рішень ґрунтообробки для відновлення угідь кожен із наведених наслідків вимагає спеціального підходу.

Рекультивация пошкоджених земель доцільна, коли фахівці оцінюють терміни відновлення господарської діяльності не більше, ніж 15 років. Якщо ґрунтовому покриву потрібен більш тривалий період на відновлення, проводиться консервація земель.

Ключові слова: забруднення ґрунтів, бойові дії, рекультивация, ремедіація, меліорація, ґрунтообробка.

Вступ. За всю історію людства військові конфлікти призводили до масштабних змін навколишнього середовища в цілому [Пляцук, Аліяс, 2012; Lawrence et al., 2015; Kaplan et al., 2022] і ґрунтів зокрема [Hury and Schaetzl, 2006; Broomandi et al., 2020]. Однак наукові розробки та дослідження в галузі моніторингу та еколого-геохімічної оцінки стану ґрунтів мають фрагментарний характер і потребують адаптації до природних та економічних умов країни, що зазнала згубного впливу бойових дій.

Унаслідок повномасштабного вторгнення російських військ в Україну наразі страждає не лише цивільне населення, а й природне середовище в різних екологічних масштабах [Вплив ..., 2022; Makarenko et al., 2022; Rawtani et al., 2022; Pereira et al., 2022; Сплодитель та ін., 2023]. У результаті бойових дій в Україні істотних змін зазнали водне і ґрунтове середовища, порушено цілісність ландшафтів та екосистем, відбулися різноманітні види забруднення, руйнування та знищення цінних біологічних ресурсів [Makarenko et al., 2022; Сплодитель та ін., 2023].

Метою цієї роботи є аналіз видів забруднень на угіддях, що зазнали бойових дій, та огляд наукових досліджень за цією тематикою з метою пошуку раціональних технологічних рішень для подолання кризи.

Методи та матеріали. Дослідження спрямоване на огляд відкритих наукових літературних джерел щодо забруднення сільськогосподарських угідь, що постраждали від ведення військових дій.

Дослідження зосереджене на фізичних і хімічних порушеннях у ґрунті, спричинених військовими діями (бомбардування угідь, забруднення угідь осколковими залишками, ущільнення ґрунту військовою технікою, хімічне забруднення важкими металами, тощо) та методах відновлення угідь.

Результати та обговорення. *Механічний вплив військових дій на ґрунт* при воєнно-техногенному навантаженні полягає у механічній деформації ґрунтового покриву під час пересування колісної та гусеничної військової техніки, безпосереднього

руху військ, будівництва приповерхневих та підземних споруд, бомбтурбації, розмінування територій і будівництва оборонної інфраструктури [Certini et al., 2013; Сплодитель та ін., 2023].

Термін «бомботурбація» (введений Джозефом Хупі під час дослідження ґрунтів на полях, що зазнали військових дій) означає вплив бомбардування на ґрунт [Hury, J.P. and Schaetzl, R.J. 2006]. Це «похмура гра слів» на кшталт природного процесу «біотурбації», що характеризує природне розпушування ґрунту ґрунтовою біотою. Однак у випадку війни бомби й артилерійські снаряди, вибухаючи, викидають великі масиви землі, формуючи кратери (рис. 1) і спричиняючи повне руйнування або глибоке змішування існуючих горизонтів ґрунту, що надалі призводить до його ерозії та втрати родючості.



Рисунок 1 – Фото вирви від влучання ракети у Київській області (наслідки бомботурбації).

Джерело: t.me/andrii_nebytov/761

За спостереженнями науковців, у Харківській області розміри одного влучання коливаються від 346 м² (від авіабомби) до 3,5 м² (від артилерійських снарядів і снарядів реактивних систем залпового вогню) [Цапко & Водяк, 2022]. На основі даних про кількість воронок на території і потужність снарядів можна визначити величину вивернутої землі від боєприпасів (рис. 2) [Чумаченко та ін., 2020].

Рекультивация таких ґрунтів для їхнього повернення у сільськогосподарське виробництво після обстеження та розмінування здійснюється шляхом механічного загортання скребками бульдозерів і грейдерів без урахування внутрішньої будови



Рисунок 2 – Залежність об'ємів вивернутої землі від калібру снаряду. Джерело: опрацьовано з [Чумаченко та ін., 2020]

грунту та генетичних горизонтів, тобто здійснюється *груба рекультивация*.

Згідно зі ст. 166 Земельного кодексу України, рекультивация порушених земель – це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву і поліпшення продуктивності земель. Вона здійснюється шляхом пошарового нанесення знятої в іншому місці ґрунтової маси на малопродуктивні земельні ділянки або ділянки без ґрунтового покриву, після чого за необхідності ґрунти збагачуються корисними мінералами для поліпшення продуктивних якостей. Відтворення родючості ґрунту після грубої рекультиваци в місцях руйнації прогнозовано буде відбуватися десятки років залежно від площі руйнації та потребуватиме значних фінансових вкладень, без яких вирощування сталих та якісних врожаїв сільськогосподарських культур буде проблематичним.

Окрім первинних деформацій ґрунтового покриву, механічний вплив відображається також у забрудненні ґрунтів продуктами бойової діяльності з металевими відходами гільз, осколками артилерійських снарядів, ракет, мін тощо. Осколкова дія снаряду характеризується числом убійних осколків різної маси і величиною площі зони ураження. Загальна кількість осколків при розривах снарядів різного калібру наведена в таблиці 1.

Проблеми на українській землі не обмежуватимуться поверхнею ґрунту. Навіть

Таблиця 1 – Кількість осколків при розриві снарядів [Артилерійське озброєння..., 2010]

Калібр снаряду, мм	Чило осколків масою	
	від 1 до 4 г	від 4 г і більше
100	900-1200	450-550
122	1000-1500	600-850
152	1800-2200	900-1300

якщо фермери зглядять верхню частину ґрунту, підземні продукти бойової діяльності з металевими відходами можуть діяти як бар'єр або шлюз для води, що може ускладнити вирощування сільськогосподарських культур [Hury and Schaetzl, 2006]. Окрім того, інколи снаряди не вибухають, а залишаються в полях, несучи небезпеку фермерам, які там працюють.

Ущільнення ґрунту через інтенсивний рух військової техніки полями призводить до зниження врожайності більшості агрономічних культур у всьому світі [Nawaz et al., 2013]. Ущільнення ґрунту – це фізична форма його деградації, яка змінює структуру ґрунту, обмежує проникнення води та повітря та зменшує проникнення коренів у ґрунт [Hury and Schaetzl, 2006]. Чорноземи особливо вразливі до ущільнення: завдяки своєму товстому шару органічної речовини вони пухнасті й легкі. Наслідки ущільнення ґрунту досі недооцінені. Повне розуміння процесів, пов'язаних із ущільненням ґрунту, необхідне для вирішення регіональних виробничих питань і майбутньої глобальної проблеми продовольчої безпеки.

Хімічний вплив військових дій є менш очевидним фактором забруднення, ніж фізичний, але більш шкідливим із огляду на складність і тривалість подолання його наслідків. Потенційно токсичні метали, наприклад, свинець, миш'як і ртуть можуть вимиватися з боєприпасів і зброї в ґрунт і ґрунтові води. Так забруднюючі речовини ще з часів Першої світової війни досі знаходяться в ґрунтах [Broomandi et al., 2020].

До хімічного забруднення воєнно-техногенного походження належить пальне

транспортних засобів, мастильні матеріали, сольвенти, відходи гальванічного виробництва, залишки вибухових речовин, дезактиваційні речовини, важкі метали та їхні сполуки, радіоактивні речовини тощо [Islam et al., 2007; Сплодитель та ін., 2023].

Накопичення токсичних речовин у ґрунтах викликає серйозне занепокоєння у зв'язку з потенційним негативним впливом на ріст культур, якість отриманих продуктів харчування та загальний стан навколишнього середовища [Pichtel, 2012; Bordeleau et al., 2008; Islam et al., 2007].

За оцінками Державної служби України з надзвичайних ситуацій, приблизно 30% території України потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами і мають бути обстежені на предмет мінної загрози та очищені [Звіт ..., 2023].

Дослідження на території Донецької області показали, що внаслідок бойових дій мають місце значні забруднення ґрунтів важкими металами (стронцієм, титаном, ванадієм та кадмієм) [Кравченко та ін., 2015; Сплодитель та ін., 2023]. Установлено наявність змін у гранулометричному складі та концентрації мікроелементів і важких металів у відібраних пробах ґрунтів у зоні ведення активних бойових дій (лісостепова частина Харківської області) [Солоха та ін., 2022].

При обслуговуванні та ремонті зразків озброєння і військової техніки в польових таборах ґрунти забруднюються *пально-мастильними матеріалами, відпрацьованими маслами, антифризами та органічними розчинниками*. У місцях збереження паливно-мастильних матеріалів, технічного обслуговування військової техніки відзначається найбільша концентрація нафтопродуктів. Після потрапляння в ґрунт вуглеводні можуть повністю або частково займати поровий простір ґрунту, що блокує потік повітря та води. Це впливає на дихання коренів рослин, на ґрунтові мікроорганізми, а також на забезпечення цих біот вологою. Установлено, що при вмісті нафтопродуктів і важких металів у ґрунті в концентраціях, характерних для забруднених сільськогосподарських

земель унаслідок воєнних дій, найбільш негативний вплив на рослини здійснює комплексний вплив свинцю і нафтопродуктів [Писаренко та ін., 2022].

Перспективні рішення з подолання кризи. Першочерговим завданням при усуненні наслідків бойових дій є розмінування територій угідь. Для цього використовуються міношукачі, дрони-розміновувачі тощо. Є багато різновидів засобів для знаходження мін і машин для розмінування, в яких робочим органом може бути реактивний вибуховий пристрій або механічна система у вигляді ковша, котків обертального ротора тощо. Для підвищення ефективності роботи машини для розмінування системи можуть поєднуватися. Найбільш ергономічними є машини з дистанційним керуванням, при цьому всередині машини знаходження екіпажу не допускається (рис. 3).



Рисунок 3 – Вигляд машини для розмінування «MV-10» виробництва фірми «DOK-ING»
[Техніка для розмінування]

Після припинення воєнних дій і розмінування території потрібно виконати комплекс робіт із відновлення земель: рекультивуацію, ремедіацію, фітомеліорацію тощо.

Рекультивацію земель, порушених унаслідок воєнних дій, проводять у два етапи: технічному й біологічному [Кучерявий та ін., 2006]. Суть технічного етапу полягає у підготовці територій для подальшого цільового використання. Він полягає у плануванні, а також нанесенні ґрунтів або родючих порід на вирівняну поверхню. Біологічний етап — це комплекс заходів щодо відновлення родючості порушених земель. Він охоплює агротехнічні й меліоративні заходи, які спрямовані на поновлення флори й фауни.

З огляду техніко-технологічних рішень *грунтообробки* для відновлення угідь кожен із наведених наслідків вимагає спеціального підходу. Зокрема, риття окопів, бліндажів і траншей вимагає проведення засипання ґрунтом указаних об'єктів екскаваторами, бульдозерами, скреперами, планувальниками тощо. Після цього є необхідність ущільнення поверхні котками кільчасто-шпоровими або зубо-шпоровими до прийнятних значень ($1,1 - 1,4 \text{ г/см}^3$). Сівба може бути реалізована сівалками, що представлені всіма групами, наведеними в класифікаторах.

Ущільнення танками і вантажівками вимагає розущільнення глибокорозпушувачами або чизелями шару ґрунту на глибину не менше 50 см. Після розущільнення ґрунт прикочується котками. Подальша сівба проводиться сівалками всіх груп.

Вигорання полів призводить до втрат азоту, для компенсування якого потрібне використання комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів і бункерів із чизельними модулями для внесення азотних добрив. Доцільно також вносити ґрунтові мікроорганізми. Альтернативою внесенню добрив під лапу чизеля може бути використання аплікаторів для внесення рідких комплексних добрив, аміачної води тощо.

Воронки (вирви), наслідком яких є переміщення на поверхні великих мас ґрунту, ущільнення та забруднення внутрішнього простору вимагають засипання, ущільнення поверхні котком до значень $1,1-1,4 \text{ г/см}^3$. Для цього використовуються кільчасто-шпорові, зубо-шпорові котки. Сівба може бути реалізована сівалками, що представлені всіма групами, наведеними в класифікаторах. Доцільне є внесення у поверхневий шар мікробіоти для зменшення надходження токсичних елементів до рослин, а також стримування рівня забруднення врожаю в межах допустимих значень. Якщо вирви великого діаметру — доцільно влаштовувати апарелі для заїзду бульдозерів. При круговому методі розміщення воронок їхнє засипання відбувається ефективніше, оскільки ви-

ключаються порожні проїзди.

Умовно спрощено (тільки за розміром і об'ємом викинутого ґрунту) класифікувавши воронки (згідно з таблицею) на великі, середні, малі і дрібні, можна зробити висновок, що для засипання дрібних заглиблень доцільно залучати ґрунтообробну техніку сільськогосподарського призначення, а для решти — дорожньо-будівельну, наприклад, екскаватори, скрепери, бульдозери, планувальники тощо.

Рекультивация земель від забруднень паливно мастильними матеріалами здійснюється шляхом розпушування ґрунту для проникнення кисню й розвитку окисно-відновлювальних реакцій; внесення органічних мінеральних добрив та сівби трав для інтенсифікації природних процесів біохімічного очищення. При цьому використовуються глибокорозпушувачі з бункерами для мінеральних добрив. Сівба проводиться зерно-трав'яними сівалками. Можна також використовувати посівні модулі з пневматичними чи механічними системами розкидання сипучих матеріалів. Модулі можуть встановлюватися на важких боронах, культиваторах, котках, дискаторах тощо.

Враховуючи надзвичайну складність боротьби з наслідками забруднення ґрунту, при якій механічні і фізичні засоби рекультивации не можуть забезпечити повного й безпечного вилучення нафти й нафтопродуктів із ґрунту, доцільно застосовувати ґрунтові мікроорганізми. Для цього слід проводити внесення в ґрунт активних нафтоокислюючих мікроорганізмів шляхом використання ґрунтообробно-посівних агрегатів, оснащених пристосуваннями для внесення рідких і сухих комплексних добрив.

Установлено, що слабе забруднення нафтою або нафтопродуктами може бути ліквідовано в процесі самоочищення за 2-3 роки, а забруднення в концентрації більше 13 г/кг веде до міграції нафтопродуктів у підґрунтові води [Liu et al., 2021]. Слід зауважити, що не існує якогось одного мікроорганізму, здатного руйнувати всі компоненти сирової нафти. Бактері-

альний вплив характеризується високою селективністю, і повне розкладання всіх компонентів нафти потребує численних бактерій різноманітних видів. При цьому утворюється ряд проміжних продуктів, для руйнування яких потрібні свої мікроорганізми. Парафінові вуглеводні найбільш легко розкладаються бактеріями. Більш стійкі циклопарафінові й ароматичні вуглеводні зникають із середовища повільніше, процеси можуть тривати роками чи десятиліттями.

Проведення грубої рекультивації верхнього шару ґрунту з використанням меліоративних заходів потребує значних затрат, але це допоможе відновленню землі природним шляхом і займе менше часу. Однак варто зазначити, що рекультивація земель можлива тільки тоді, коли фахівці оцінюють терміни відновлення господарської діяльності не більше, ніж за 15 років. Якщо ґрунтовому покриву потрібен більш тривалий період на відновлення, проводиться *консервація* земель. Її суть полягає у виведенні земель із господарського використання з подальшим засадженням багаторічними травами чи залісненням. Консервація є більш екологічним варіантом, однак для природного відновлення землі буде потрібно десятки років.

Консервація територій, які зазнали значного забруднення від вибухів боєприпасів, дасть змогу також виконати вимоги законодавства України щодо запобігання поширення процесів опустелювання, а також дотримання Європейської стратегії захисту біорізноманіття до 2030 року (виведення з обробітку 30% всіх сільськогосподарських земель).

Ремедіація — це процес виведення забруднювачів із навколишнього середовища, зокрема з ґрунту, підземних, поверхневих вод та атмосфери з метою захисту здоров'я людини та довкілля.

Українські науковці розробили шляхи фітомеліорації та ремедіації деградованих ґрунтів способом вирощування такої енергетичної культури, як міскантус гігантський [Vodiak et al., 2022; Tsapko et

al., 2023]. Вирощування міскантусу гігантського на грубо рекультивованих ґрунтах сприяє отриманню дешевої енергетичної біосировини, відтворенню родючості ґрунтів, зменшенню розораності ґрунтів, збереженню біорізноманіття, підвищенню рівня екологічної безпеки землеробства та є доступним способом протидії змінам клімату [Новохацький та ін., 2017; Tsapko et al., 2023].

Детальний аналіз біологічних методів ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами, як складової системи методів екологічної реабілітації ґрунтів представлено в роботах [Самохвалова, 2014; Корсун, Довбаш, 2018; Sen Gupta et al., 2020]. У документі [Dermont et al., 2008] подано стислий виклад варіантів і технологій ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами, та огляд польових застосувань технологій відновлення ґрунтів, виконаних у Сполучених Штатах за останні 25 років. Зокрема оцінка використання пробіотичних препаратів для очистки агроценозів, забруднених унаслідок воєнних дій, засвідчила, що пробіотичні препарати проводять іммобілізацію важких металів, переводять їх у недоступні для рослин форми, тим самим знижуючи фітотоксичність ґрунту та забезпечуючи продовольчу безпеку продуктів харчування [Цьова, 2022].

Висновки. Забруднення сільськогосподарських угідь в Україні внаслідок бойових дій і накопичення токсичних речовин у ґрунтах викликає серйозне занепокоєння через потенційний негативний вплив на ріст культур, якість отриманих продуктів харчування та загальний стан навколишнього середовища.

Відтворення родючості ґрунту після грубої рекультивації в місцях руйнації прогнозовано буде відбуватися десятки років залежно від площі та складності забруднень і потребуватиме консолідації наукових і господарських підходів для подолання кризи.

Серед практичних агротехнічних підходів до відновлення ґрунтів після грубої рекультивації угідь можна виділити такі:

виращування біоенергетичних культур на пошкоджених землях; застосування технологій мінімальної обробки ґрунтів із використанням органічних відходів і мікробіологічних препаратів; біотехнології ремедіації ґрунтів.

Перелік літератури

Артилерійське озброєння і боєприпаси: навчальний посібник /А. Й. Дерев'янчук, М.Б. Шелест.— Суми: Вид-во СумДУ, 2010. — 415с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2022/Artozbroiennya_i_boieprypasy.pdf

Вплив воєнних дій на довкілля України. (2022). Екологія. Право. Людина / Електронний ресурс. URL: file:///C:/Users/USER/Desktop/Vplyv-vijny-na-dovkillya_oglyad_25-03-2022_fin.pdf

Корсун С. Г., Довбаш Н. І. (2018). Трансформації в агроценозі кукурудзи під впливом важких металів: монографія. К.: Аграр. наука. — 192 с

Кучерявий В.П. Рекультивация та фітомеліорація : навч.-метод. посібн. / В.П. Кучерявий, Я.В. Генік, А.П. Дида, М.М. Колодко. — Львів : Вид-во ГАФСА, 2006. — 117 с.

Новохацький, М., Бондаренко, О., & Гусар, І. (2017). Дослідження техніко-технологічних рішень технологій виращування багаторічних енергетичних культур для виробництва твердого біопалива. *Техніка і технології АПК*, (4), 26-30.

Писаренко, П. В., Самойлік, М. С., Галицька, М. А., Диченко, О. Ю., Тараненко, С. В. (2022). Дослідження впливу техногенного забруднення внаслідок воєнних дій на показники ґрунту агроценозів. *Аграрні інновації* №14. С. 94-102. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.14>

Пляцук Л.Д., Аліяс Н.І. (2012). Відновлення ґрунтів, порушених у ході війни в Іраку / Л.Д. Пляцук, // *Екологічна безпека : зб. наук. праць*. № 2 (14). — С. 37-40. URL: [http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2\(14\)/Pdf/37.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2(14)/Pdf/37.pdf)

Самохвалова, В. Л. (2014). Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених

важкими металами. *Біологічні студії*, 8(1), 217-236. DOI: <https://doi.org/10.30970/sbi.0801.337>

Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. (2023) Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii2.pdf>

Техніка для розмінування. DOK-ING MV-10. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://wiki.minoshukach.com.ua/wiki/tehnika-dlya-rozminuvannya/dok-ing/dok-ing-mv-10/>

Цьова, Ю. (2022). Фітотоксична оцінка використання пробіотичних препаратів для очистки агроценозів, забруднених внаслідок воєнних дій. *Аграрні інновації*, (14), 122-128. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.18>

Чумаченко, О., Кривов'яз, Є., & Колганова, І. (2020). Відновлення забруднених боєприпасами земель: техніко-економічні та екологічні аспекти. *Економіка природокористування і сталий розвиток*. DOI: [10.37100/2616-7689/2020/8\(27\)/11](https://doi.org/10.37100/2616-7689/2020/8(27)/11)

Bordeleau, G., Martel, R., Ampleman, G., & Thiboutot, S. (2008). Environmental impacts of training activities at an air weapons range. *Journal of environmental quality*, 37(2), 308-317. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0197>

Broomandi P, Guney M, Kim JR, Karaca F. (2020). Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*. 2020; 12(21):9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>

Certini, G., Scalenghe, R., & Woods, W. I. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127, 1-15. DOI: [10.1016/j.earscirev.2013.08.009](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009)

Dermont G., Bergeron M., Mercier G., Richer- Laflèche M. (2008) Metal-contaminated soils: remediation practices and treatment technologies. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*. Vol. 12, № 3. P. 188-209. DOI: [10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(2008\)12:3\(188\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-025X(2008)12:3(188))

Hupy, J.P. and Schaetzl, R.J. (2006). In-

roducing “bombturbation,” a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science* 171(11):p 823-836. DOI: 10.1097/01.ss.0000228053.08087.19.

Islam, E.; Yang, X.; He, Z.; Mahmood, Q. (2007). Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *J. Zhejiang Univ. Sci.* Vol. 8, 1–13. DOI: 10.1631/jzus.2007.B0001

Kaplan G., Rashid T, Pietrelli A., Ferrara V. (2022). Monitoring war-generated environmental security using remote sensing: A review. *Land Degradation and Development*. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4249>

Lawrence, M. J., Stemberger, H. L., Zolderdo, A. J., Struthers, D. P., & Cooke, S. J. (2015). The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews*, 23(4), 443-460. DOI: <https://doi.org/10.1139/er-2015-003>

Liu, J. W., Wei, K. H., Xu, S. W., Cui, J., Ma, J., Xiao, X. L., ... & He, X. S. (2021). Surfactant-enhanced remediation of oil-contaminated soil and groundwater: A review. *Science of the Total Environment*, 756, 144142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144142>

Makarenko, N. A. et al. (2022). Вплив російської воєнної агресії на природні ресурси України: аналіз ситуації, методологія оцінювання. Наукові доповіді НУБіП України. Біологія, біотехнологія, екологія. № 4(98). DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovid2022.04.003>.

Nawaz, M. F., Bourrie, G., & Trolard, F. (2013). Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for sustainable development*, 33, 291-309. DOI:10.1007/s13593-011-0071-8

Pereira P, Bašić F, Bogunovic I, Barcelo D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Sci Total Environ*. Sep 1;837:155865. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155865.

Pichtel, J. (2012). Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: a review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012. 617236. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/617236>

Rawtani D, Gupta G, Khatri N, Rao PK, Hussain CM. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Sci Total Environ*. Dec 1; 850:157932. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157932.

Sen Gupta, G., Yadav, G., Tiwari, S. (2020). Bioremediation of Heavy Metals: A New Approach to Sustainable Agriculture. In: Upadhyay, A., Singh, R., Singh, D. (eds) *Restoration of Wetland Ecosystem: A Trajectory Towards a Sustainable Environment*. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7665-8_13

Tsapko, Y., Starchenko, O., & Vodiak, Y. (2023). Using the ecosystem services potential of Chernozem to restore war-damaged land. *International Journal of Environmental Studies*, 80:2, 399-409, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2179760>

Vodiak Ya., Tsapko Yu., Kucher A., Krupin V., Skorokhod I. (2022). Influence of growing Miscanthus giant on ecosystem services of chernozem. *Energies*. Vol.15, 4157. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15114157>

References

Artillery weapons and ammunition: study guide / A. J. Derevyanchuk, M.B. Rustle. Sumy: Publishing House of Sumy State University, 2010. — 415p. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2022/Artozbroiennya_i_boieprypasy.pdf

Bordeleau, G., Martel, R., Ampleman, G., & Thiboutot, S. (2008). Environmental impacts of training activities at an air weapons range. *Journal of environmental quality*, 37(2), 308-317. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0197>

Broomandi P, Guney M, Kim JR, Karaca F. (2020). Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*. 2020; 12(21):9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>

Certini, G., Scalenghe, R., & Woods, W. I. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127, 1-15. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.08.009

Chumachenko, O., Kryvyovvaz, E., & Kolganova, I. (2020). Remediation of munitions-contaminated lands: technical, eco-

nomie and ecological aspects. *Economics of nature use and sustainable development*. DOI: 10.37100/2616-7689/2020/8(27)/11

Curly, V.P. Reclamation and phytoremediation: teaching method. manual / V.P. Kucheryavy, Ya.V. Genyk, A. P. Dida, M. M. Pad - Lviv: GAFSA Publishing House, 2006. - 117 p.

Dermont G., Bergeron M., Mercier G., Richer- Laflèche M. (2008) Metal-contaminated soils: remediation practices and treatment technologies. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*. Vol. 12, № 3. P. 188-209. DOI:10.1061/(ASCE)1090-025X(2008)12:3(188)

Equipment for demining. DOK-ING MV-10. Electronic resource. Access mode: <https://wiki.minoshukach.com.ua/wiki/tekhnika-dlya-rozminuvannya/dok-ing/dok-ing-mv-10/>

Hupy, J.P. and Schaetzl, R.J. (2006). Introducing “bombturbation,” a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science* 171(11):p 823-836. DOI: 10.1097/01.ss.0000228053.08087.19.

Islam, E.; Yang, X.; He, Z.; Mahmood, Q. (2007). Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *J. Zhejiang Univ. Sci.* Vol. 8, 1–13. DOI: 10.1631/jzus.2007.B0001

Kaplan G., Rashid T, Pietrelli A., Ferrara V. (2022). Monitoring war-generated environmental security using remote sensing: A review. *Land Degradation and Development*. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4249>

Korsun, S. G., Dovbush, N. I. (2018). Transformations in the agrocenosis of corn under the influence of heavy metals: monograph. K.: Agrarian. science. - 192 p

Lawrence, M. J., Stemberger, H. L., Zolderdo, A. J., Struthers, D. P., & Cooke, S. J. (2015). The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews*, 23(4), 443-460. DOI: <https://doi.org/10.1139/er-2015-003>

Liu, J. W., Wei, K. H., Xu, S. W., Cui, J., Ma, J., Xiao, X. L., ... & He, X. S. (2021). Surfactant-enhanced remediation of oil-contaminated soil and groundwater: A

review. *Science of the Total Environment*, 756, 144142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144142>

Makarenko, N. A. et al. (2022). Вплив російської воєнної агресії на природні ресурси України: аналіз ситуації, методологія оцінювання. Наукові доповіді НУБіП України. Біологія, біотехнологія, екологія. № 4(98). DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovid2022.04.003>.

Nawaz, M. F., Bourrie, G., & Trolard, F. (2013). Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for sustainable development*, 33, 291-309. DOI:10.1007/s13593-011-0071-8

Novokhatskyi, M., Bondarenko, O., & Husar, I. (2017). Research of technical and technological solutions of technologies for growing perennial energy crops for the production of solid biofuel. *Techniques and technologies of agriculture*, (4), 26-30.

Pereira P, Bašić F, Bogunovic I, Barcelo D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Sci Total Environ*. Sep 1;837:155865. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155865.

Pichtel, J. (2012). Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: a review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012. 617236. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/617236>

Pisarenko, P. V., Samoilik, M. S., Halytska, M. A., Dychenko, O. Yu., Taranenko, S. V. (2022). Study of the impact of man-made pollution due to military operations on soil indicators of agrocenoses. *Agrarian innovations* No. 14. P. 94-102. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.14>

Plyatsuk, L. D., Aliyas, N. I. (2012). Restoration of soils disturbed during the war in Iraq. *Ecological safety: coll. of science works* No. 2 (14). - P. 37-40. URL: [http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2\(14\)/Pdf/37.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2(14)/Pdf/37.pdf)

Rawtani D, Gupta G, Khatri N, Rao PK, Hussain CM. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Sci Total Environ*. Dec 1; 850:157932. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157932.

Samohvalova, V. L. (2014). Biological

methods of remediation of soils contaminated with heavy metals. *Biological Studies*, 8(1), 217-236. DOI: <https://doi.org/10.30970/sbi.0801.337>

Sen Gupta, G., Yadav, G., Tiwari, S. (2020). Bioremediation of Heavy Metals: A New Approach to Sustainable Agriculture. In: Upadhyay, A., Singh, R., Singh, D. (eds) *Restoration of Wetland Ecosystem: A Trajectory Towards a Sustainable Environment*. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7665-8_13

Sploditel, A., Golubtsov, O., Chumachenko, S., Sorokina, L. (2023). The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis results. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-ro-sii2.pdf>

The impact of military actions on the environment of Ukraine. (2022). *Ecology. Right. Human / Electronic resource*. URL:

file:///C:/Users/USER/Desktop/Vplyv-vi-jny-na-dovkillya_oglyad_25-03-2022_fin.pdf

Tsapko, Y., Starchenko, O., & Vodiak, Y. (2023). Using the ecosystem services potential of Chernozem to restore war-damaged land. *International Journal of Environmental Studies*, 80:2, 399-409, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2179760>

Tsova, Yu. (2022). Phytotoxic evaluation of the use of probiotic preparations for cleaning agrocenoses contaminated by military operations. *Agrarian innovations*, (14), 122-128. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.in-nov.2022.14.18>

Vodiak Ya., Tsapko Yu., Kucher A., Krupin V., Skorokhod I. (2022). Influence of growing *Miscanthus* giant on ecosystem services of chernozem. *Energies*. Vol.15, 4157. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15114157>

UDC 631.95

COMBAT LAND POLLUTION: A REVIEW OF SOLUTIONS TO OVERCOME THE CRISIS

Maidanovych N., Ph. D. of Geogr. Sc., <https://orcid.org/0000-0002-0361-8215>

Shustik L, Ph. D. Tech. Sc., <https://orcid.org/0000-0003-3718-3667>

Maidanovych V., Ph. D. Tech. Sc, <https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

Sidorenko S., <https://orcid.org/0000-0001-5046-117X>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The purpose of this work is to analyze the types of pollution on the lands that have undergone hostilities and to review scientific research on this topic in order to find rational technological solutions to overcome the crisis.

Methods and materials. The study is aimed at reviewing open scientific literary sources regarding the contamination of agricultural lands affected by the conduct of military operations. The research focuses on physical and chemical disturbances in the soil caused by military actions (bombing of land, land contamination by shrapnel remains, soil compaction by military equipment, chemical pollution by heavy metals, etc.) and land restoration methods.

Research results. The primary task in eliminating the consequences of hostilities is the demining of land areas. There is a wide range of types of means for finding mines and machines for demining,

in which the working body can be a reactive explosive device or a mechanical system in the form of a bucket, rollers of a rotating rotor, etc.

Reclamation of lands disturbed as a result of military operations is carried out in two stages: technical and biological. The essence of the technical stage is to prepare the territories for the next target use. It consists in planning, as well as applying soil or fertile rocks to a leveled surface. The biological stage is a set of measures to restore the fertility of disturbed lands. It covers agrotechnical and reclamation measures aimed at restoring flora and fauna.

To overcome the consequences of soil pollution by oil products and to compensate for nitrogen losses on land due to burning of fields, it is advisable to use active oil-oxidizing and regenerating soil microorganisms, by applying them with tillage and seeding units equipped with devices for applying liquid and dry complex fertilizers.

Conclusions. *Among the practical agrotechnical approaches to soil restoration after rough reclamation of land, the following can be distinguished: cultivation of bioenergy crops on damaged lands; application of minimal tillage technologies using organic waste and microbiological preparations; biotechnologies of soil remediation. In view of the technical and technological solutions of soil treatment for land restoration, each of the following consequences requires a special approach.*

Reclamation of damaged lands is advisable when experts estimate the terms of restoration of economic activity at no more than 15 years. If the soil cover needs a longer period for recovery, land conservation is carried out.

Keywords: *soil pollution, hostilities, reclamation, remediation, land reclamation, soil treatment.*