



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.43:632.125

© 2023

МЕХАНІЧНА ТА ФІЗИЧНА ДЕГРАДАЦІЯ ОРНИХ ҐРУНТІВ УНАСЛІДОК ВЕДЕННЯ ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

І.В. Пліско¹, К.Ю. Романчук², С.І. Криlach³

¹доктор сільськогосподарських наук

^{2,3}кандидати сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: ¹irinachujan@gmail.com, ²katerina_uvarenko@ukr.net, ³svelana.krylach@gmail.com

ORCID: ¹0000-0001-8111-7662, ²0000-0002-1150-3135, ³0000-0002-3347-6561

Надійшла 19.07.2023

Мета. На основі дослідження впливу воєнних дій на основні агрофізичні параметри ґрунтів виявити особливості прояву їхньої механічної та фізичної деградації і запропонувати ефективні протидеградаційні заходи, що дадуть змогу відновити родючість пошкоджених ґрунтів. **Методи.** Застосовували інформаційно-аналітичний, польовий, лабораторно-аналітичний, математично-статистичний методи. **Результати.** Аналіз літературних джерел підтвердив негативний вплив воєнних дій на ґрунти та ґрунтовий покрив. Встановлено перерозподіл фракцій чорнозему типового важкосуглинкового, що зазнав впливу від вибухів снарядів різного калібру (120 мм, 155 та 330 мм), а саме збільшення вмісту фракцій мулу (часточок розміром менш ніж 0,001 мм) та фізичної глини (сума часточок розміром менш ніж 0,01 мм) порівняно з контрольним варіантом (неушкодженою ділянкою). Збільшення щільності будови ґрунту на 0,39 г/см³ порівняно з контрольним варіантом відмічено у верхньому 10-сантиметровому шарі ґрунту в місцях шляхів, утворених унаслідок пересування військової техніки. Запропоновано заходи з подолання наслідків механічної та фізичної деградації, основними з яких є використання різноманітних способів обробітку ґрунту та агротехнічної меліорації, спрямованих на збільшення потужності кореневмісного шару та поліпшення агрофізичних властивостей орних земель. **Висновки.** Доведено доцільність подальшого проведення поглиблених досліджень впливу воєнних дій на орні ґрунти з метою пошуку способів відновлення їхньої родючості в умовах воєнного стану та в повоєнні часи задля отримання сталих урожаїв сільськогосподарських культур.

Ключові слова: агрофізичні параметри, воєнні дії, орні ґрунти, протидеградаційні заходи.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-01>

Сучасні наукові дослідження свідчать про те, що в останні десятиліття понад 30% земельних ресурсів Європи (з урахуванням земель України) вже мали ознаки деградації [1–7]. У зв'язку із повномасштабною війною, яку розпочала росія проти України 24 лютого 2022 р. та яка, на жаль, триває й сьогодні, вкрай актуальними є питання поглибленого вивчення деградаційних процесів, зумовлених впливом воєнних дій на навколишнє середовище загалом і на ґрунтовий покрив зокрема. За оцінками Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, за час війни в Україні кількість суттєво деградованих сільськогосподарських земель збільшилася на 13%; водночас значний відсоток земель перебуває під загрозою деградації [8]. Через погіршення якісного стану земель, зниження продуктивності сільського господарства та зменшення спроможності країни експортувати сільськогосподарську продукцію війна несе загрозу для продовольчої безпеки усього світу [9, 10].

Руйнування, пов'язані з сучасною війною, є особливо катастрофічними через її масштаби та тривалість. Застосування усього наявного арсеналу систем озброєння, новітньої військової техніки та боєприпасів призводить до радикальних змін ландшафту, обмежуючи його здатність відновлюватися до початкового стану, та до глобального зниження продуктивності орних ґрунтів [11].

Загалом механічні пошкодження ґрунтів пов'язані з деформацією ґрунтового покриву під час пересування колісної та гусеничної військової техніки, безпосереднім рухом військ, бомбардуванням, розмінуванням території та будівництвом оборонної інфраструктури. Побудова підземних укриттів і тунелів супроводжується переміщенням величезної кількості ґрунтової маси. Мінування територій та підходів до позицій також призводить до руйнування, переважно верхнього родючого шару ґрунту, що викликає розвиток ерозійних процесів [12, 13]. У результаті обстрілів, розриву снарядів та мін відбувається засмічення території (полів) золою та металевими уламками, які розлітаються на відстань до 120 м, що стає причиною обмеженої придатності земельних ділянок для сільськогосподарського використання [14, 15].

Фізичні пошкодження ґрунтів унаслідок застосування різноманітних систем зброї та важкої військової техніки спричиняють насамперед зміну їх фізичних властивостей. Основними проявами фізичного порушення є переущільнення та знеструктурування ґрунту. Також виокремлюють вібраційний вплив — імпульси від вибухів боєприпасів та від стрільби з різних систем зброї. Вібрація, що передається у ґрунті, здатна викликати його ущільнення, витискання води, просідання поверхні, утворення порожнин та зміни мікрорельєфу [16].

Результати численних досліджень зарубіжних науковців свідчать про те, що до ущільнення ґрунту призводить і рух військових гусеничних транспортних засобів [17, 18]. Навіть рух піших колон під час військових навчань може збільшити об'ємну щільність ґрунту (на 32% порівняно з контрольною ділянкою), знизити швидкість інфільтрації води (майже на 83%), зменшити надземну біомасу, підвищити небезпеку розвитку вітрової та водної ерозії [19].

Дослідження, проведені на військовому полігоні з метою вивчення впливу на ґрунт проходження різних бойових броньованих машин, показали, що інтенсивне використання Leopard 1A5BR протягом року викликало деградацію доріг, полів і водостоків. Найбільше ущільнення (від 1,2 до 1,5 г/см³) відбувалося у поверхневому шарі ґрунту на глибині 0–6 см за 3-разового проходження колон військової техніки [20]. Аналогічні дані отримано і для гусеничного танку Abrams M1A1, який навіть за один прохід може спричинити приповерхнєве (на глибині від 0 до 15 см) ущільнення ґрунту до 1,4 г/см³, особливо коли йдеться про ґрунт легкого гранулометричного складу. Найістотніше ущільнення будови ґрунту збільшувалась у місцях повороту техніки [21].

На природне відновлення ґрунтів можуть піти роки або навіть десятиліття. Відомо, що деякі ґрунти, пошкоджені під час Першої світової війни, досі залишаються непридатними для використання [22, 23]. Для того щоб відновився зруйнований 20-сантиметровий шар гумусу, потрібно від 1500 до 7400 років. За 100 років відновлюється лише шар гумусу завтовшки 0,5–2 см [24].

Результати моніторингу земель Донецької та Луганської обл., починаючи з 2014 р., свідчать про те, що термін відновлення ґрунтів після вибухів (авіабомб та снарядів калібром 80 і 120 мм) для піщаних ґрунтів становить 5–7 років; чорноземи відновлюються швидше — за 2–3 роки, глина заростає рослинами повільно, відновлення може тривати 5–7 років; на мергелі рослинність відновлюється через 5–10 років [25].

На думку багатьох дослідників, порушення цілісності ґрунтів і ґрунтового покриву внаслідок ведення воєнних дій потребують здійснення додаткових ґрунтово-географічних досліджень, картографування територій та вивчення властивостей порушених ґрунтів для детальної оцінки реальної ситуації та довгострокового моніторингу кожного фактора негативного впливу на ґрунтовий покрив. Лише за цих умов можна визначити розмір втрат і розробити ефективні заходи з відновлення родючості пошкоджених орних ґрунтів [26, 27].

Наразі фахівцями ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» на основі результатів пілотних та експериментальних досліджень сучасного стану ґрунтового покриву удосконалено положення щодо методичних засад оцінювання збитків, завданих земельному фонду та ґрунтам унаслідок війни [28], в якому при встановленні загальної шкоди як окремі складові розглядають механічну та фізичну деградації.

Мета досліджень — на підставі результатів вивчення впливу воєнних дій на основні агрофізичні параметри ґрунтів виявити особливості прояву їх механічної та фізичної деградації та запропонувати ефективні протидеградаційні заходи, що сприятимуть швидшому відновленню родючості пошкоджених ґрунтів.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження здійснювали на деокупованих територіях Харківського р-ну Харківської обл., де відбувалися активні бойові дії, на трьох об'єктах (полях): об'єкт 1 — біля с. Мала Рогань (Вільхівська сільська громада); об'єкт 2 — біля с. Новий Коротич (Пісочинська селищна громада); об'єкт 3 — біля с. Кутузівка (Вільхівська сільська громада). Досліджували орні ґрунти — чорноземи типові важкосуглинкові на лесоподібному суґлинку.

Відбір проб ґрунту на об'єктах досліджень здійснювали згідно з ДСТУ 4287:2004. В межах об'єкта 1 проби відбирали у воронках, утворених внаслідок артилерійських обстрілів снарядами різного калібру (120 мм, 155 та 330 мм). Контрольними зразками слугували проби, відібрані на неушкодженій ділянці поля з орного (0–30 см) шару ґрунту.

В межах об'єкта 2 проби відбирали у вирві від вибуху авіабомби вагою 100 кг у трьох місцях: у верхній частині вирви (на глибині 30 см), на схилі (до 1500 см) та в нижній частині (до 3000 см). Як контрольний зразок використовували пробу з глибини 0–30 см неушкодженої ділянки поля. Гранулометричний склад досліджуваних ґрунтів визначали за допомогою лазерного дифрактометра Mastersizer 3000E. Щільність будови ґрунту на об'єкті 2 визначали розрахунковим методом, застосовуючи лінійну та квадратичну педотрансферні моделі, розроблені співробітниками лабораторії геоекоефізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» [29], з використанням показників ґрунту, зокрема вмісту фізичної глини та загального гумусу.

У межах об'єкта 3 щільність будови ґрунту визначали прямим виміром у польових умовах згідно з ДСТУ ISO 11272:2001 у шарах товщиною 0–10 см, 10–20 та 20–30 см у двох варіантах: I — у межах сільськогосподарського поля (контроль) та II — на дорозі, утвореній внаслідок пересування ворожої військової техніки.

Для обробки даних використовували програму STATISTICA 10 та MS Excel.

Результати досліджень. Визначено особливості впливу воєнних дій на фізичні показники орних ґрунтів, зокрема на їх гранулометричний склад та щільність будови. Перш за все воєнні дії призводять до прямого знищення ґрунтово-рослинного покриву, в результаті чого відбувається механічна та фізична деградація ґрунтів і, як наслідок, зниження або втрата їх родючості.

Механічна деградація. Аналіз даних щодо гранулометричного складу ґрунтів на об'єкті 1 (рис. 1), де зразки відбирали на місці утворення воронок від артилерійських снарядів різного калібру (від 120 до 330 мм), показав, що порівняно з контролем уміст

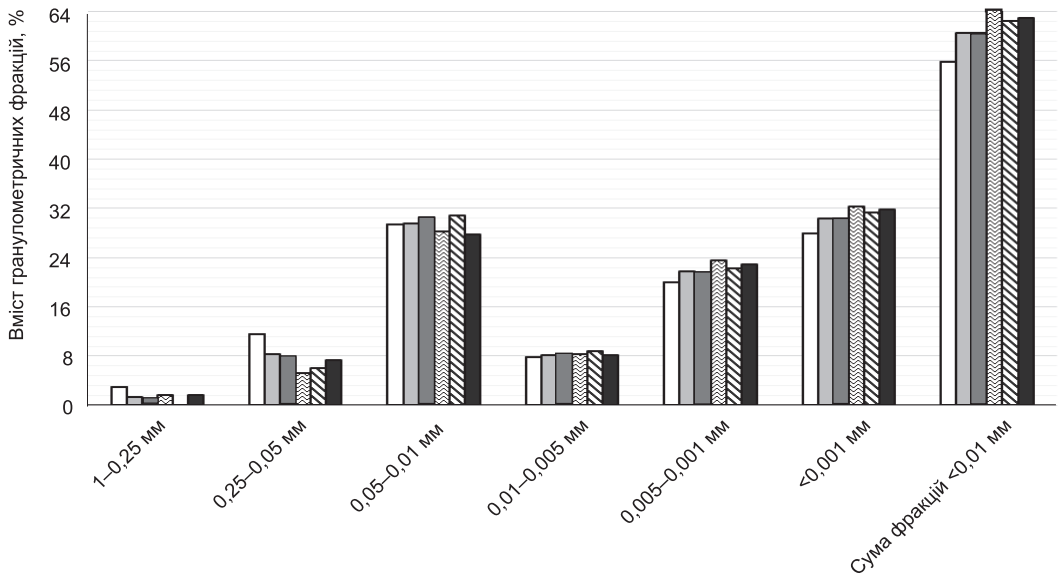


Рис. 1. Вплив воєнних дій на гранулометричний склад ґрунту (об'єкт 1): □ — контроль (неушкоджена ділянка, глибина 0–30 см); ■ — воронка від авіабомби (глибина 200 см); ■ — воронка від снаряда (калібр 120 мм, глибина 200 см); ▨ — воронка від снаряда (калібр 330 мм, глибина 80 см); ▩ — воронка від снаряда (калібр 120 мм, глибина 60 см); ■ — воронка від снаряда (калібр 155 мм, глибина 90 см)

піску середньої (1–0,25 мм) та мілкої (0,25–0,05 мм) фракцій знижувався відповідно на 1,3–3,0 та 2,3–11,1%; уміст пилу крупної (0,05–0,01 мм) та середньої (0,01–0,005 мм) фракцій суттєво не змінювався; вміст пилу дрібної фракції (0,005–0,001 мм) та мулу (менше 0,001 мм) дещо збільшувався — на 0,5–3,7% і 2,2–4,5% відповідно.

Найвищий уміст піску середньої фракції зафіксовано у контрольному варіанті (неушкоджена ділянка поля). Вміст піску цієї фракції у зразку, відібраному на місці вибуху авіабомби, був майже у 2,2 раза меншим. Найнижчим його вмістом характеризувалися зразки на місці утворення воронки від снаряду калібром 120 мм у шарі на глибині 60 см. Уміст мулистий фракції у досліджених варіантах об'єкта варіював від 28,05 до 32,41%. Загалом простежувалася тенденція до збільшення вмісту мулистих часточок у варіантах ґрунту, які зазнали впливу вибухів, порівняно з контрольним. Аналогічна тенденція простежувалась і стосовно вмісту фізичної глини: він збільшувався на 2,82% у воронці від снаряду калібром

120 мм порівняно з контрольним та на 9% у воронці від снаряду калібром 330 мм.

Аналізуючи результати визначення гранулометричного складу ґрунтів на об'єкті 2 (рис. 2), тобто на місці виникнення воронки від вибуху авіабомби вагою 100 кг, та досліджуючи верхню частину, схил та нижню частину цієї воронки, встановили, що тут порівняно з контролем знижується вміст піску середньої та мілкої фракцій, а також крупного пилу. Це характерно в першу чергу для нижньої частини воронки.

Водночас відмічено деяке збільшення порівняно з контролем пилу середньої та мілкої фракцій. Ця тенденція зберігалася і для фракції фізичної глини: в нижній частині воронки її вміст збільшувався на 6,69%, на схилі — на 6,71, а у верхній частині — на 10,17%. Це свідчить про перерозподіл фракцій досліджених ґрунтів, що є наслідком переміщення і перемішування їх горизонтів після розриву снарядів та вкрай негативно впливає на можливість вирощування сільськогосподарських культур на пошкоджених ґрунтах.

Фізична деградація проявилася насамперед у переуцільненні досліджених

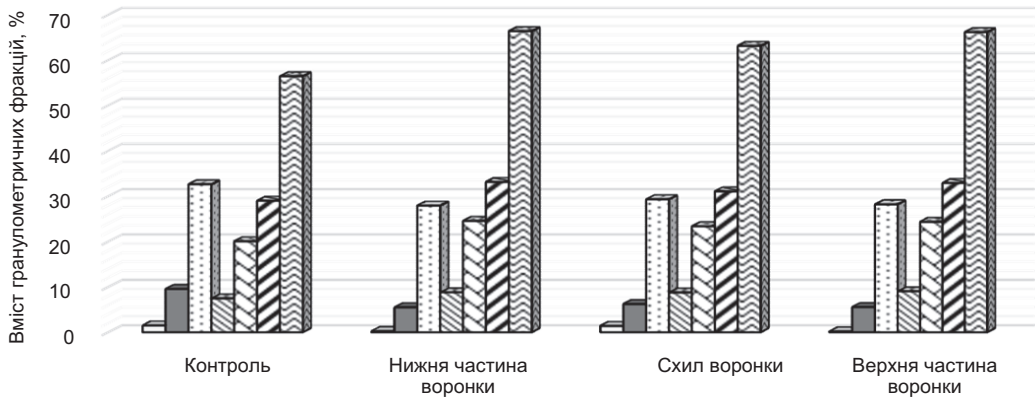


Рис. 2. Вплив воєнних дій на гранулометричний склад ґрунту (об'єкт 2): □ — 0–25 мм; ■ — 0,05–0,01 мм; ▤ — 0,005–0,001 мм; ▨ — сума фракцій — < 0,01; ▩ — 0,25–0,05; ▪ — 0,01–0,005; ▫ — < 0,001 мм

ґрунтів. Зокрема, за результатами визначення щільності будови ґрунту на об'єкті 2 методом педотрансферного моделювання встановлено, що у контрольному зразку цей показник становить за лінійною моделлю — 1,28 г/см³ (рис. 3, а), а за квадратичною моделлю — 1,21 г/см³ (рис. 3, б). Збільшення ущільнення на 0,14–0,16 г/см³ зафіксовано на пошкодженому ґрунті, а саме в нижній частині, на схилі та у верхній частині воронки, утвореної від снаряда калібром 330 мм.

Аналогічна тенденція зберігалася для значень щільності будови ґрунту, розрахованих за квадратичною моделлю.

Визначення щільності будови ґрунту у варіанті II свідчить про виникнення процесу переущільнення в місцях перебування військової техніки: у шарі ґрунту глибиною 0–10 см щільність збільшилася на 0,39 г/см³, а в шарі ґрунту глибиною 10–20 см — на 0,17 г/см³ порівняно з контрольним зразком. Найбільше ущільнення, до 1,37 г/см³,

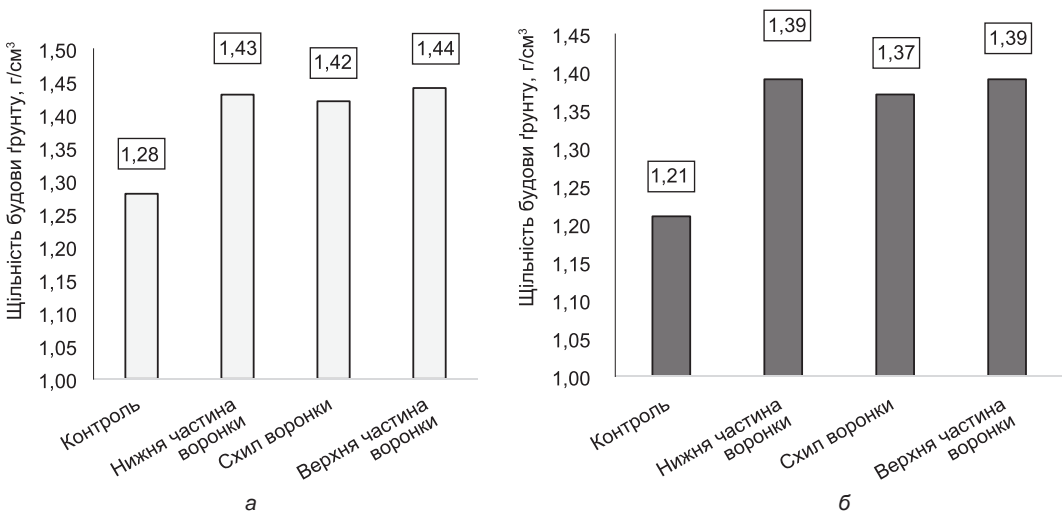


Рис. 3. Щільність будови ґрунту у варіанті з воронкою від снаряда калібром 330 мм, розрахована методом педотрансферного моделювання (об'єкт 2): а — за лінійною моделлю ($Z = 1,5606 - 0,0011 \cdot x - 0,0664 \cdot y$); б — за квадратичною моделлю ($Z = 1,6929 - 0,0103 \cdot x - 0,0645 \cdot y + 0,0001 \cdot x^2 - 0,0001 \cdot x \cdot y + 0,0006 \cdot y^2$, де Z — щільність будови, г/см³; x — вміст фізичної глини (часточок розміром менше 0,01 мм), %; y — вміст гумусу, %)

зафіксовано у верхньому шарі ґрунту, що в подальшому може стати істотною перешкодою для проростання та розвитку тут сільськогосподарських культур.

Заходи з подолання негативних наслідків механічної та фізичної деградації мають бути спрямовані на відновлення родючості пошкоджених орних ґрунтів. Одним із таких заходів, на наш погляд, є використання глибокого обробітку, глибина якого визначається щільністю або твердістю пошкоджених ґрунтів. Плантажна оранка, глибоке меліоративне розпушування і щілювання — заходи агротехнічної меліорації, спрямовані на збільшення потужності кореневмісного шару та поліпшення агрофізичних властивостей ґрунту.

Слід також проводити роботи з моніторингу орних ґрунтів з максимальним охопленням усієї потенційно ураженої площі, використовуючи сучасні технології, зокрема високоточні супутникові знімки. Це дасть змогу дистанційно виявляти та ідентифікувати металеві й вибухонебезпечні предмети, розмінювати та знешкоджувати їх, фіксувати, відцифрувати, встановлювати рівень можливої шкоди від кожної потенційно небезпечної ділянки поля. Досить ефективним у період війни є використання елементів точного землеробства, яке запроваджується багатьма фермерськими господарствами та агрохолдингами і дає можливість заощаджувати добрива,

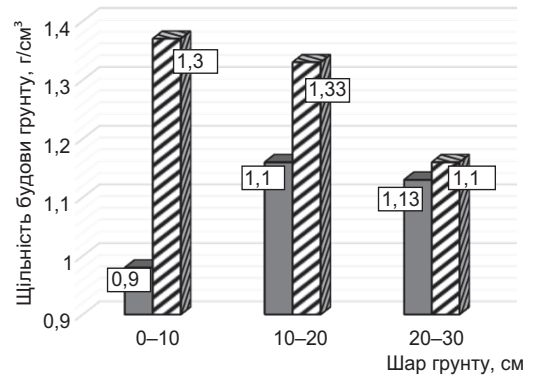


Рис. 4. Вплив перебування військової техніки на щільність будови ґрунту (об'єкт 3): ■ — контроль; ▨ — штучно утворена дорога

меліоранти, посівний матеріал, пальне тощо. Застосування саме цієї технології сприятиме підвищенню рівня родючості ґрунтів в умовах негативного деградаційного впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив.

Ще одним способом відродження пошкоджених ґрунтів, на думку спеціалістів з Української природоохоронної групи (UNCG), може бути створення «червоних зон» на територіях, де велися інтенсивні військові дії. Впровадження перелічених заходів водночас сприятиме і виконанню вимог законодавства України з консервації земель та запобігання опустелюванню, а також вимог Стратегії біорізноманіття ЄС до 2030 р.

Висновки

Воєнні дії призводять до довготривалих важких наслідків, насамперед до механічної та фізичної деградації орних ґрунтів. Експериментально підтверджено перерозподіл фракцій ґрунтів, пошкоджених від снарядів різного калібру та авіабомб, що проявляється у збільшенні вмісту мулистих часточок та фракції фізичної глини. Доведено істотне ущільнення ґрунтів на схилах, у нижній та верхній частинах воронки, утворених від вибухів авіабомб. Зафіксовано збільшення ущільнення ґрунту на місці дороги, утвореної в результаті пересування ворожої військової техніки, насамперед у верхньому

10-сантиметровому шарі, що створює значні перешкоди для проростання та розвитку сільськогосподарських культур.

З метою протидії деградаціям запропоновано здійснювати глибокий обробіток і проводити заходи агротехнічної меліорації, здатні поліпшити агрофізичні властивості ґрунту та відновити його родючість. Необхідна також розробка довгострокової програми поступової реабілітації пошкоджених ґрунтів в умовах воєнного стану та у повоєнні часи. Такі заходи сприятимуть отриманню в подальшому сталих урожаїв сільськогосподарських культур.

Plisko I.¹, Romanchuk K.², Krylach S.³

National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovskiy», 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: ¹irinachujan@gmail.com, ²katerina_uvarenko@ukr.net, ³svetlana.krylach@gmail.com; ORCID: ¹0000-0001-8111-7662; ²0000-0002-1150-3135; ³0000-0002-3347-6561

Mechanical and physical degradation of arable soils as a result of military operations in Ukraine

Goal. Based on the study of the impact of military actions on the main agrophysical parameters of soils, to identify the peculiarities of the manifestation of their mechanical and physical degradation, and to propose effective anti-degradation measures that will make it possible to restore the fertility of damaged soils. **Methods.** Information-analytical, field, laboratory-analytical, and mathematical-statistical methods were used. **Results.** Analysis of literary sources confirmed the negative impact of military operations on soils and soil cover. The redistribution of the fractions of typical heavy loamy chernozem, which was affected

by the explosions of projectiles of different calibers (120, 155, and 330 mm), was established, namely an increase in the content of silt fractions (particles smaller than 0.001 mm), and physical clay (the sum of particles smaller than 0.01 mm) compared to the control option (undamaged area). An increase in the density of the soil structure by 0.39 g/cm³ compared to the control variant was noted in the upper 10-centimeter layer of the soil in the places of paths formed as a result of the movement of military equipment. Measures to overcome the consequences of mechanical and physical degradation are proposed, the main of which are the use of various methods of soil cultivation and agrotechnical melioration, aimed at increasing the strength of the root layer and improving the agrophysical properties of arable land. **Conclusions.** The expediency of further in-depth studies of the impact of military actions on arable soils to find ways to restore their fertility in the conditions of martial law and in the post-war period to obtain stable harvests of crops is proven.

Key words: agrophysical parameters, military actions, arable soils, anti-degradation measures.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovivnyk202310-01>

Бібліографія

1. Saljnikov E., Mirschel W., Prasuhn V. et al. Types of physical soil degradation and implications for their prevention and monitoring. *Advances in Understanding Soil Degradation*; In E. Saljnikov, L. Mueller, A. Lavrishchev, F. Eulenstein (eds.). *Innovations in Landscape Research*. Springer, Cham. 2022. P. 43–73. doi: 10.1007/978-3-030-85682-3_2
2. Bouma J. How to communicate soil expertise more effectively in the information age when aiming at the UN Sustainable Development Goals. *Soil Use Management*. 2019. V. 35 (1). P. 32–38. doi: 10.1111/sum.12415
3. Kartini N.L., Saifulloh M., Trigunasih N.M., Narka I.W. Assessment of soil degradation based on soil properties and spatial analysis in dryland farming. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. V. 24 (4). P. 368–375. doi: 10.12911/22998993/161080
4. Волощук М. Деградація ґрунтів — глобальна екологічна проблема. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2017. Вип. 51. С. 63–70. doi: 10.30970/vgg.2017.51.8738
5. Зайцев Ю.О., Собко В.І., Кожевнікова В.Л. та ін. Класифікація процесів, що спричиняють деградацію земельних угідь. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. С. 150–159. doi: 10.33730/2077-4893.3.2022.266420
6. Ferreira C.S.S., Seifollahi-Aghmiuni S., Destouni G. et al. Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of The Total Environment*. 2022. V. 805. P. 150–160. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150106
7. Медведєв В.В., Пліско І.В., Криlach С.І. та ін. Фізична деградація орних ґрунтів України (оцінювання, профілактика, призупинення). Харків: ФOP Бровін О.В., 2020. 110 с.
8. Децик О., Алексєєв В. Урятувати українські чорноземи. Як війна знищує родючість наших земель і що з цим робити. 2022. URL: https://antikor.com.ua/articles/597351-spasti_ukrainskie_chernozemy_kak_vojna_unichtohaet_plodorodie_nashih_zemelj_i_cho_s_etim_delatj
9. Rawtani D., Gupta G., Khatri N. et al. Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of the Total Environment*. 2022. V. 850. 157932. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157932
10. Pata U.K., Kartal M.T., Zafar M.W. Environmental reverberations of geopolitical risk and economic policy uncertainty resulting from the Russia-Ukraine conflict: A wavelet based approach for sectoral CO₂ emissions. *Environmental Research*. 2023. V. 231 (1). 116034. doi: 10.1016/j.envres.2023.116034
11. Hury J. The Environmental Footprint of War. *Environment and History*. 2008. V. 14 (3). P. 405–421. doi: 10.3197/096734008X333581
12. Olson K., Speidel D. Review and analysis: successful use of soil tunnels in medieval and modern warfare and smuggling. *Open J. of Soil*

Science. 2020. V. 10 (5). P. 194–215. doi: 10.4236/ojss.2020.105010

13. *Macharia H.M.* The impact of military exercises and operations on local environment. *J. of language, technology & entrepreneurship in Africa*. 2016. V. 7 (2). P. 140–152.

14. *Certini G., Scalenghe R., Woods W.I.* The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*. 2013. V. 127. P. 1–15. doi: 10.1016/j.earscirev.2013.08.009

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

16. *Голубцов О., Сорокіна Л., Сплодитель А., Чумаченко С.* Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с.

17. *Reyes M.R., Raczkowski C.W., Reddy G.B., Gayle G.A.* Effect of wheel traffic compaction on runoff and soil erosion in *no-till*. *Applied Engineering in Agriculture*. 2005. V. 21 (3). P. 427–433. doi: 10.13031/2013.18462

18. *Broomandi P., Guney M., Kim J.R., Karaca F.* Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*. 2020. V. 12 (21). 9002. doi: 10.3390/su12219002

19. *Whitcotton R., David M., Darmody R., Price D.* Impact of foot traffic from military training on soil and vegetation properties. *Environmental Management*. 2000. V. 26. P. 697–706. doi: 10.1007/s002670002224

20. *Müller C.R., Pedron F.A., Barbosa B.W.* et al. Soil degradation after traffic of a military combat vehicle leopard 1A5BR. *Ciência e Natura, Santa Maria*. 2021. V. 43 (87). P. 1–31. doi: 10.5902/2179460X62685

21. *Retta A., Wagner L.E., Tatarko J., Todd T.C.* Evaluation of bulk density and vegetation as affected by military vehicle traffic at Fort Riley, Kansas. *Transactions of the ASAE*. 2013. V. 56 (2). P. 653–665. doi: 10.13031/2013.42687

22. *Thestorff K., Makki M.* Soils and landforms of war — Pedological investigations 75 years after World War II. *Geomorphology*. 2022. V. 407. 108189. doi: 10.1016/j.geomorph.2022.108189

23. *Bardgett R.* Soil and War. *Earth Matters: How soil underlies civilization*. Oxford University Press, 2016. P. 105–134. doi: 10.1093/oso/9780199668564.003.0010

24. *Воєнні дії на сході України — цивілізаційні виклики людству; за заг. ред. О. Кравченко.* Львів: ЕПЛ, 2015. С. 115.

25. *Блага А.Б., Загороднюк І.В., Короткий Т.Р.* та ін. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України; за заг. ред. А.П. Бущенко. Київ: КИТ, 2017. 88 с.

26. *Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л.* Практики з відновлення земель. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. С. 58–98.

27. *Pozniak S.* Soils in the modern changing world. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2015. Вип. 49. С. 275–279. doi: 10.30970/vgg.2015.49.8644

28. *Балюк С.А., Кучер А.В., Солоха М.О.* та ін. Вплив збройної агресії та воєнних дій на сучасний стан ґрунтового покриття, оцінка шкоди та збитків, заходи з відновлення: наук. доп. Харків: ФОП Бровін О.В., 2022. 102 с.

29. *Медведев В.В., Пліско І.В., Бігун О.М.* Досвід педотрансферного моделювання у дослідженнях фізики ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 1. С. 17–24.