

УДК 574:630*18(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2026.40.01>

Орлов О.О., Долін В.В.

Орлов О.О., кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID: 0000-0003-2923-5324, orlov.botany@gmail.com
Долін В.В., доктор геологічних наук, професор, головний науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID: 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

КЛАСИФІКАЦІЯ ВІЙСЬКОВОГО ВПЛИВУ НА ЕКОСИСТЕМУ ҐРУНТУ: ФАКТОРИ, НАСЛІДКИ, ІНДИКАТОРИ

Метою дослідження є теоретичне розроблення класифікації факторів військового впливу на екосистему ґрунту, виділення провідних факторів. За масштабом прояву та характером впливу на екосистему ґрунту екологічні фактори були об'єднані у п'ять груп: ландшафтні, фізичні, фізико-хімічні, хімічні та біологічні. У цьому дослідженні вперше виділено групу ландшафтних факторів впливу, яка включає: зміну ландшафту; фрагментацію ландшафту і ґрунтового покриву; лінійну та площинну водну і вітрову ерозію ґрунту, зсуви та просадки ґрунту; деформацію ландшафту з ґрунтовим покривом включно внаслідок обстрілів; захаращення ландшафтів та засмічення поверхні ґрунту внаслідок військових дій; тривале затоплення/підтоплення територій. Для кожного екологічного фактору наведено екологічні наслідки дії та індикатори виявлення, а для частини – методи аналізу. Продемонстровано, що екологічні фактори військового впливу на екосистему ґрунту досліджені з різною детальністю, при цьому здебільшого спостерігається одночасний комплексний вплив різних екологічних факторів на ґрунт, синергетичний вплив яких практично не вивчено. Зроблено висновок, що не досліджено вплив на ґрунт низки фізичних факторів: акустичного, світлового, електромагнітного, а також хімічних факторів, зокрема забруднення ґрунту оптоволоконном.

Виявлено індикатори однозначного причинно-наслідкового зв'язку військових дій з екологічними наслідками. Зокрема, таким індикатором може бути візуальна порівняльна оцінка чітко датованих космічних знімків до і після порушення ландшафтів унаслідок військових дій. При цьому засоби GIS дають змогу визначити площі порушень, провести їх класифікацію та ін. Такі дослідження є актуальними для встановлення площ знищених/трансформованих ландшафтів, розвитку ерозійних процесів, ущільнення ґрунту тощо. Окрім того, індикатором однозначного причинно-наслідкового зв'язку військових дій із лісовими пожежами у комбінації з візуальним порівнянням чітко датованих космічних знімків може бути радіовуглецевий аналіз деревини, коли за ^{14}C отримується чітка часова мітка пожежі. Доказом однозначного причинно-наслідкового зв'язку хімічного забруднення ґрунтів із воєнними діями можуть слугувати органічні вибухівки нітроароматичного ряду та їхні метаболіти: TNT – 31,5 тис т, RDX – 159,2 тис т, Al – 56,5 тис т, залишки та метаболіти яких потрапили у навколишнє середовище України. Установлення однозначного причинно-наслідкового зв'язку хімічного забруднення ґрунтів важкими металами у зоні бойових дій в Україні значно утруднене внаслідок значного довоєнного фону цих металів у ґрунтах промислових районів: Приазов'я, Донбасу, Кривбасу та ін. Зроблено узагальнюючий висновок, що встановлення однозначного причинно-наслідкового зв'язку військових дій з екологічними наслідками в Україні вимагає проведення спеціальних ґрунтових досліджень.

Ключові слова: ґрунти, військові дії, забруднення, фактори впливу, екологічні наслідки, індикатори.

Вступ. Військові дії мають надзвичайний негативний вплив на природні, напівприродні та антропогенні екосистеми – від часткової трансформації окремих компонентів до повного знищення. Цей вплив може бути прямим, опосередкованим або комбінованим (Pereira et al., 2022; Пиріков, Чумаченко, Яковлев, 2022; Вплив війни росії..., 2023; Kotsis, 2024), причому у сухопутних екосистемах він завжди захоплює ґрунт. Вплив військових дій на екосистеми ґрунтів є складним, багатфакторним, у просторовому вимірі він варіює

від вузько локального до регіонального і загальноноконтинентального, а у часовому – охоплює як сучасну ситуацію, так і тривало-продлонгований вплив і віддалені наслідки (Pereira et al., 2022; Жуковський, Орлов, 2025). Окрім того, виділяють такі екологічні наслідки для навколишнього середовища, як прямі, непрямі та довготермінові (Kotsis, 2024).

Після вторгнення росії на територію України у 2014 р. та розв'язання повномасштабної війни 24 лютого 2022 р. увага дослідників до впливу військових дій на ґрунти суттєво зросла, що зумовлено як значною глибиною цього впливу, так і безпрецедентними масштабами порушення навколишнього середовища (Rawtani, Gupta, Khatri,



Ця стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

2022; Вплив війни росії..., 2023; Вплив російської агресії..., 2023), у т. ч. ґрунтового покриву України, що знайшло відображення у збільшенні кількості публікацій, присвячених цій проблемі (Pereira et al., 2022; Rawtani et al., 2022; Datsko et al., 2024; Долін, Орлов, Яковлев, 2024; Solokha et al., 2024; Bonchkovskiy et al., 2025; Yashchenko et al., 2025 та ін.).

Безпрецедентні масштаби руйнування навколишнього середовища внаслідок збройної агресії росії проти України наведено Міністерством економіки, довкілля та сільського господарства України станом на 04 грудня 2025 р. (Екологічні збитки..., 2025). Екологічні збитки на підконтрольних Україні територіях офіційно оцінено в 6,01 трлн грн, однак остаточний масштаб буде відомий після деокупації захоплених агресором територій та проведення відповідних досліджень. За підрахунками Держекоінспекції України, з усіх компонентів біосфери найбільша екологічна шкода в Україні завдана ґрунтам – на суму 1,29 трлн грн, далі у порядку зменшення шкоди йдуть атмосферне повітря – 967 млрд грн та водні ресурси – 117,8 млрд грн. Руйнування територій природно-заповідного фонду, у т. ч. ґрунтів заповідних об'єктів, оцінено в 3,63 трлн грн. Пріоритети забезпечення екологічної безпеки України в умовах війни розглянуто у (Пріоритети забезпечення..., 2024).

Ґрунт являє собою складну екосистему, яка є початком більшості трофічних ланцюжків у континентальних екосистемах, формується за участі біоти у зоні контакту атмосфери та геологічних шарів земної кори і, на думку М.А. Голубця (Голубець, 1997), є основою «плівки життя» у біосфері, де зосереджено максимальне біорізноманіття та продукційний процес.

Знаходячись на поверхні Земної кулі, ґрунти як нерухомі об'єкти на відміну від атмосфери та гідросфери є надзвичайно уразливими компонентами біосфери, які піддаються військовому впливу в першу чергу.

У сучасних умовах індустріального розвитку та повномасштабної війни саме ґрунти виступають головним «депо» техногенних забруднювачів, у т. ч. військового походження, акумулюючи переважну частину викинутих у довкілля токсичних речовин. За оцінками дослідників (Petruzzelli et al., 2010; Sarkar et al., 2021), саме на ґрунтовий покрив припадає до 70–80% маси антропогенних забруднювачів, які надходять із промислових, аграрних, транспортних і військових джерел, а вже потім ці речовини мігрують у поверхневі та підземні води, атмосферу й надходять до біоти. Знаходячись на перетині шляхів міграції, ґрунти одночасно

виконують функції геохімічного «фільтра» та «депо» (Godinho et al., 2024, etc.), слугуючи ключовою ланкою у трансформації, сорбції, тимчасовому зв'язуванні й повторному вивільненні потенційно небезпечних токсичних сполук хімічних елементів, органічних ксенобіотиків, у т. ч. вибухових речовин і продуктів їх деградації. Узагальнено: ґрунти виконують **бар'єрну функцію** на шляху геохімічної міграції забруднювачів у навколишньому середовищі. Це зумовлює провідну еколого-формуючу роль ґрунтів у регулюванні якості поверхневих і підземних вод, стану приземного шару атмосфери, біорізноманіття та стійкості ландшафтів до військово-техногенних навантажень.

Аналітичний огляд

Класифікацію процесів, що спричиняють деградацію ґрунтів у мирний час, наведено у публікації (Зайцев та ін., 2022), де автори виділили 11 видів деградації ґрунтового покриву: механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, забруднення радіонуклідами, гідромеліоративні, забруднення побутовими відходами, руйнування ґрунтового покриву під час геолого-розвідувальних робіт, техногенно небезпечні процеси, «малопродуктивність». Для кожного з них наведено перелік процесів та їхню сутність, а також процеси деградації. Наприклад, фізико-хімічні види деградації ґрунтів включають: зміну в реакції ґрунтового середовища (підкислення або підлуження), ємність вбирання, кількісний та якісний склад увібраних основ, що зумовлює екологічний наслідок – фізико-хімічну деградацію ґрунтів. Гідро-меліоративні види деградації ґрунтів включають: підтоплення, заболочування, засолення, осолонцювання, переосушення, «спрацювання» торфового шару, заліснення, гідрофобізація органогенних ґрунтів.

Аналіз впливу війни росії проти України на стан українських ґрунтів наведено у (Вплив війни росії..., 2023а) та пізніше узагальнено у (Вплив війни росії..., 2023б). Авторами виділено групи типів впливу: механічний, фізичний, хімічний і для кожного з них – конкретні фактори впливу з відповідними екологічними наслідками. Розроблено причинно-наслідкову схему факторів впливу воєнно-техногенного навантаження на ґрунтовий покрив у компартментах: військові дії (фактори впливу) – типи впливів – первинні наслідки – вторинні наслідки – результуючі наслідки. Зокрема, хімічний вплив (хімічне забруднення) характеризується такими первинними наслідками, як забруднення: важкими металами та їхніми сполуками, паливомастильними матеріалами, засобами дезактивації, відходами акумуляторів, фосфор-органічними

сполуками хімічної зброї. Вторинними наслідками хімічного впливу є: зменшення біологічної активності ґрунту, розвиток у ґрунті патогенної мікрофлори, погіршення доступу кисню до коріння рослин та ґрунтової біоти. Результуючими наслідками цього впливу є втрата ґрунтом здатності до накопичення та утримання вологи та зменшення біорізноманіття.

М. Солохою зі співавторами (Solokha et al., 2024) запропоновано екологічні наслідки військового впливу вивчати за схемою: фактор впливу (наприклад, вплив важкого озброєння і техніки) – тип впливу (механічний, фізичний, хімічний) – первинні наслідки – вторинні наслідки – глобальні наслідки.

Дослідники (Філатов та ін., 2025) виділили чотири типи впливу на ґрунт: фізичний, хімічний, біологічний і соціальний та навели відповідну схему. Значну актуальність мають наведені цими авторами індикатори кожного з видів військового впливу на екосистему ґрунту, адже саме вони повинні слугувати об'єктами комплексного багаторічного моніторингу стану екосистеми ґрунту, швидкості й повноти її відновлення після закінчення війни, а також об'єктами розгляду у судових справах за екологічну шкоду, завдану доквітлю Україні росією як агресором. До фізичного впливу ці дослідники віднесли фрагментацію ґрунтового покриву, ущільнення та ерозію ґрунту з індикаторами: об'ємна маса ґрунту, рівень ерозії, частка площі ґрунтів, не вкритих рослинністю (%). До хімічного впливу вони віднесли різні типи забруднення: важкими металами, компонентами вибухівок, нафтопродуктами. Індикаторами пропонується використовувати концентрації у ґрунті важких металів (Pb, Zn); із вибухівок – тринітролоуолу (TNT), гексогену (RDX) та октогену (HMX); рН ґрунту; осередки сильного забруднення. На нашу думку, наведені індикатори не є коректними, адже хімічними фактично є лише важкі метали та вибухівки; рН є фізико-хімічним параметром, а осередки сильного забруднення – скоріше ландшафтним фактором. До біологічного впливу автори (Філатов та ін., 2025) віднесли зміни у мікробіоценозі ґрунту, рослинному покриві, утрату біорізноманіття, індикаторами чого пропонується використати мікробну біомасу ґрунту, фіторізноманіття, покрив інвазійних видів рослин. До соціальних факторів впливу було віднесено закинутість земель та втрату ними господарських послуг з індикаторами: частка площі закинутих земель у певному районі (%), продуктивність сільськогосподарських культур. Авторами зроблено висновок, що наведені чотири типи впливу на ґрунт у результаті зумовлюють

стійкість ґрунтів та можливості їх відновлення, що, на нашу думку, є дискусійним, адже комплекс цих факторів дійсно зумовлює можливості відновлення ґрунтів та повернення їх у господарський обіг, але лише побіжно стосується стійкості ґрунтів, яка визначається переважно природними факторами: типом ґрунту, гранулометричним складом, сумою увібраних основ, буферністю тощо.

Інший підхід до оцінки екологічного впливу на ґрунт запропоновано (Filho et al., 2024). Автори виділили сім провідних груп факторів військового впливу на навколишнє середовище за компонентами біосфери: ґрунти, повітря, вода, біорізноманіття (написання. – *Авт.*): 1. бомбардування, детонація вибухівок, артилерія, дрони, військова авіація; 2. нездетоновані боєприпаси та міни; 3. пожежі, зумовлені вибухами, ракетними атаками та навмисними підпалами; 4. окупація, рух військової техніки (автомобілів, танків), вогнева підтримка бойових дій; 5. військові відходи; 6. атомна війна, радіоактивні частинки; 7. бойові зіткнення, перестрілки, спорудження траншей та бліндажів; використання затоплення як зброї. Для кожної групи факторів авторами наведено екологічні наслідки впливу, у т. ч. на екосистему ґрунту. Зокрема, перша група факторів зумовлює стиснення/ущільнення ґрунту, зменшення його водопоглинаючої здатності, утрату поживних речовин та мінерального складу, утрату мікробіологічної активності ґрунту, деградацію ґрунтової флори і фауни, скорочення біодоступності, гостру токсичність унаслідок забруднення ґрунту, забруднення водоносних горизонтів і ґрунтових вод, ерозію, кислотність ґрунту, деградацію ґрунту. Як бачимо, дослідники (Filho et al., 2024) навели суміш екологічних наслідків різного походження та масштабу впливу.

Дослідники (Піріков, Чумаченко, Яковлев, 2022) джерела небезпеки, що призводять до надзвичайних ситуацій воєнно-техногенного характеру (Діяльність ООН..., 2026), об'єднали у п'ять груп: 1. технічні пристрої та засоби (зброя, військова техніка, боєприпаси); 2. хімічні джерела (хімічно небезпечні підприємства – заводи хімічної промисловості та нафтопереробні заводи, водоочисні споруди, де використовують хімічно небезпечні речовини, та ін.); 3. радіаційні джерела (АЕС, підприємства радіохімічної промисловості, науково-дослідні та науково-конструкторські установи, які працюють з ядерними реакторами, тощо); 4. техногенні джерела (гідротехнічні об'єкти, сховища газу, нафти та нафтопродуктів, склади небезпечних і шкідливих речовин, ТЕС, трубопроводи, об'єкти з виробництва вибухівки, гірничо-добувні територіальні комплекси та

об'єкти); 5. природні джерела небезпеки (геологічні, геофізичні, гідрологічні, метеорологічні та ін.). Цими авторами на основі схеми (Агробіорізоманіття України..., 2005) розроблено ієрархічну модель чинників воєнно-техногенного навантаження на навколишнє середовище від бойових дій. Потік воєнно-техногенного навантаження автори розділили на три типи та для кожного з них навели фактори впливу: 1. механічний вплив (порушення ґрунтового покриву, ерозія, дефляція, дегуміфікація, забруднення металевими відходами, забруднення боєприпасами, що не розірвалися); 2. хімічний вплив (забруднення повітря, забруднення поверхневих вод, забруднення ґрунтових вод, забруднення ґрунту); 3. фізичний вплив (за видами забруднення: теплове, акустичне, вібраційне, світлове, електромагнітне). Слід відзначити, що фактори впливу для різних груп впливу дослідниками (Піріков, Чумаченко, Яковлев, 2022) наведено за різними критеріями: механічний вплив – за процесами та наслідками дії, хімічний вплив – за забрудненням певних середовищ біосфери, фізичний вплив – за видами забруднення/фізичними факторами.

Результати та обговорення

За масштабом прояву та характером впливу на екосистему ґрунту ми згрупували екологічні фактори у п'ять груп (Орлов, 2026):

1. Ландшафтні.
2. Фізичні.
3. Фізико-хімічні.
4. Хімічні.

5. Біологічні.

Слід зазначити, що екологічні фактори військового впливу на екосистему ґрунту досліджено з різною детальністю, при цьому здебільшого спостерігається одночасний комплексний вплив різних екологічних факторів на ґрунт, синергетичний вплив яких практично не вивчено.

1. Ландшафтні фактори військового впливу проявляються на різних рівнях – від локального до регіонального.

1.1. Зміна ландшафту зазвичай – це знищення колишнього природного або антропогенного ландшафту й утворення **белігеративних ландшафтів** (Денисюк та ін., 2023; Denysyk et al., 2025; Ismayilov et al., 2025) із поствійськовими бедлендами включно внаслідок інтенсивних обстрілів території, руйнування населених пунктів, руху важкої військової техніки та пожеж. Прикладом є знищення частини лісових ландшафтів Серебрянського лісу, Кременських лісів та їх перетворення на військові «бедленди» (рис. 1, 2). Характерні масштабні лісові пожежі. Практично повністю знищено антропогенні селітебні міські ландшафти м. Маріуполь, м. Мар'їнка, м. Авдіївка, м. Бахмут, м. Покровськ та багатьох інших. Залишки населених пунктів характеризуються накопиченням значних обсягів будівельного сміття на поверхні ґрунту, оцінка кількості якого поки відсутня. Однак Міністерством розвитку громад та територій України наведено дані щодо кількості відходів, які утворилися на території Київської, Чернігівської та Сумської областей унаслідок їх



Рис. 1. Військовий «бедленд», що утворився у результаті інтенсивних бойових дій на місці лісового біогеоценозу (<https://uncg.org.ua/iakoiu-maie-buty-dolia-poshkodzhenykh-vybukhamy-ukrainskykh-terytorij/>)

тимчасової окупації росією, – 15 млрд т (Духневич, Карпінська, 2025) та знаходяться на поверхні ґрунту.

До повністю змінених природних ландшафтів також належать антропогенні ландшафти, сформовані на їх місці, зокрема місця масових поховань загиблих.

Белігеративні ландшафти у повоєнний час потребують ретельного вивчення та диференційованого відновлення (Устінова, Власенко, 2023).

Екологічні наслідки. Наслідки впливу інтенсивних військових дій на ландшафти і ґрунти проявляються протягом багатьох десятиліть. Так, у мегаполісі Берлін-Бранденбург, де у Другу світову війну велися інтенсивні бої, навіть через 75 років після війни добре помітні їхні наслідки: сформувалися специфічні «ландшафти війни» та «ґрунти війни», які характеризуються значною педотурбацією, наявністю уламків озброєння та боєприпасів у значній товщі ґрунту, підвищеним умістом важких металів тощо (Thestorf, Makki, 2022).

Індикатори: збереженість ландшафту. Можливо встановити на основі космічних знімків (Bonchkovskyi et al., 2025) із застосуванням засобів GIS для визначення площ та ін. Проводиться порівняння чітко датованих знімків первинного непорушеного ландшафту та знімків після військового впливу – для встановлення причинно-наслідкового зв'язку військових дій із порушенням ландшафту з відповідною часовою міткою (рис. 3).

Індикатором однозначного причинно-наслідкового зв'язку військових дій із лісовими пожежами

у комбінації з візуальним порівнянням чітко датованих космічних знімків зі слідами військових порушень може бути радіовуглецевий аналіз згорілої деревини, коли за ^{14}C отримується чітка часова мітка пожежі.

1.2. Фрагментація ландшафту і ґрунтового покриву – переважно внаслідок риття окопів, спорудження різноманітних наземних та підземних фортифікаційних споруд, руху важкої військової техніки, будівництва доріг.

Екологічні наслідки. Порушення ґрунтоворних процесів, зменшення родючості ґрунту, неможливість використання у сільськогосподарському виробництві.

Індикатори: наявність наземних фортифікаційних споруд, слідів важкої військової техніки. Можливо встановити на основі космічних знімків.

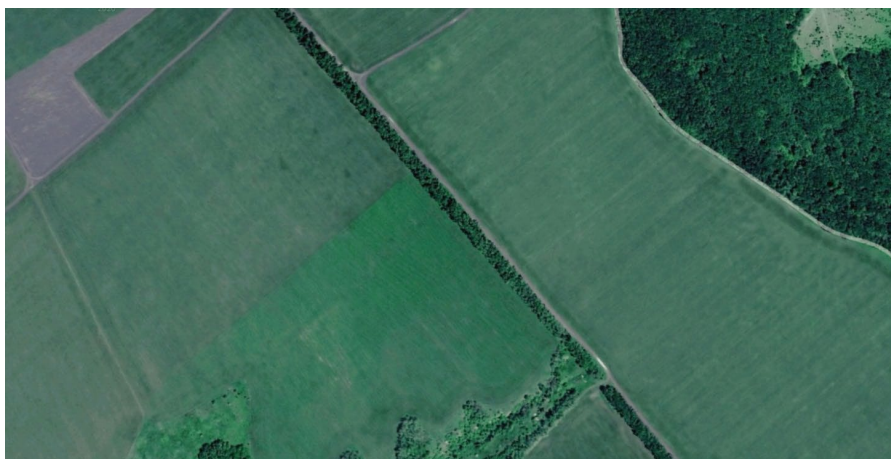
1.3. Лінійна та площинна водна ерозія ґрунту, особливо на схилах долин річок, балок; вітрова ерозія; активізація зсувів ґрунту та просядок унаслідок знищення рослинного покриву і руху важкої бронетанкової техніки.

Екологічні наслідки. Формування характерних ерозійних геоморфологічних форм, зсувів та просядок ґрунту. Зменшення вмісту органічної речовини, зміни у гранулометричному складі верхніх горизонтів ґрунту, зменшення родючості ґрунту.

Індикатори: наявність лінійних водно-ерозійних форм – ярів (можливо визначити за космічними знімками), уміст органічної речовини (визначається за ДСТУ 4289:2004), гранулометричний склад верхніх горизонтів ґрунту (визначається за ДСТУ 4730:2007).



Рис. 2. Знищений дубовий ліс у зоні бойових дій (<https://1news.zp.ua/u-vogni-bojovih-dij-vijna-zminyue-ekologichnij-stan-dovkilliya-zaporizkoi-oblasti/>)



А



Б

Рис. 3. Космічний знімок поля озимини у південно-східній околиці м. Ізюм Харківської обл.: А – до обстрілів, Б – після обстрілів (джерело – МАХАР, травень 2022 р.)

1.4. Деформація ландшафту вибухами, з ґрунтовим покривом включно.

Екологічні наслідки. Формування специфічної геоморфологічної структури ландшафту, зокрема мікрорельєфу – «полів» вирв від вибухів, значні об'єми викинутого матеріалу (власне ґрунту та шарів ґрунтоутворної породи) на поверхню ґрунту, що зберігся, початок педогенезу на таких ділянках (Bonchkovskiy et al., 2025), формування «військових» двочленних ґрунтів. Цей фактор – один із провідних на територіях інтенсивних військових дій, зокрема дослідниками наведено об'єми викиду ґрунтового матеріалу з вирв різного розміру (Bonchkovskiy et al., 2025) – від $0,12 \text{ м}^3$ із вирв діаметром $0,5\text{--}1,0 \text{ м}$; $8,93 \text{ м}^3$ – із вирв діаметром $4\text{--}5 \text{ м}$ до $67,4 \text{ м}^3$ – із вирв діаметром $9\text{--}10 \text{ м}$ та $136,7 \text{ м}^3$ – із вирв діаметром понад 10 м .

Індикатори: наявність полів вирв, які можливо визначити і кількісно оцінити за космічними

знімками (Bonchkovskiy et al., 2025), порівнявши чітко датовані довоєнні знімки певної території зі знімками після обстрілів – для встановлення причинно-наслідкового зв'язку деформації ландшафту з воєнними діями.

1.5. Захарщення ландшафтів та засмічення поверхні ґрунту внаслідок військових дій рештками підбитої та спаленої техніки (рис. 4), численними стріляними та бойовими боєприпасами різних типів, мінами, залишками військових і цивільних споруд, побутовими залишками у місцях базування підрозділів тощо.

Забруднення поверхні органічними компонентами, зокрема стовбурами дерев, трупами людей та тварин. За даними (Шевченко, Пронь, Чеботарьова, 2024), у структурі екологічної шкоди, завданої ґрунтам унаслідок їх забруднення та засмічення, $98,6\%$ становить засмічення вибухонебезпечними й іншими предметами та матеріалами і лише $1,4\%$ – забруднення ґрунтів.



Рис. 4. Лісовий ландшафт, захарашений рештками підбитої військової техніки рф, Поліський р-н Київської обл. Фото О.О. Орлова, травень 2022 р.

Екологічні наслідки. Унеможливує або утруднює обробіток ґрунту та його ремедіацію через наявність механічних перешкод. Засмічення поверхні ґрунту рештками лісової (деревної) рослинності формує три біогеохімічні субцикли поживних речовин, які відрізняються тривалістю: довготерміновий (стовбури дерев) – сотні років; середньотерміновий (гілки дерев) – від кількох десятків до 100 років; короткотерміновий – від 1 до 10 років.

Індикатори: захарашення ландшафтів та засмічення поверхні, які можливо визначити і кількісно оцінити за космічними знімками (Bonchkovskiy et al., 2025).

1.6. Тривале затоплення/підтоплення територій, відповідно, і ґрунтів, унаслідок масштабного руйнування гідротехнічних споруд, у т. ч. гребель Каховської ГЕС та Краснооскільського водосховища.

Екологічні наслідки. Нижче за течією на ділянках різної площі змінюється не лише вологість ґрунту, а і його сольовий режим, відбувається формування випотного режиму, що, своєю чергою, призводить до підтягування засолених ґрунтових вод до поверхні – у коренезаселений шар ґрунту (Dolin et al., 2023). Комплексну оцінку екологічних наслідків руйнування росією греблі Каховської ГЕС подано у (Shumilova et al., 2025), серед них провідними є затоплення, підтоплення, заболочування, ерозія ґрунтів, засолення, осолонцювання, розповсюдження шлейфу забруднювачів різного походження та складу на значну територію.

Індикатори: затоплення території унаслідок руйнування гідротехнічних споруд, які можливо

візуально визначити й кількісно оцінити за космічними знімками засобами GIS.

2. Фізичні фактори військового впливу проявляються за вібрації, дії високих температур, надлишкового тиску вибухової хвилі, значної ваги військової техніки та ін. Окрім того, вплив низки фізичних факторів (світлового, акустичного, електромагнітного) на ґрунт нині кількісно оцінити неможливо за браком даних, тому ми їх не розглядаємо.

2.1. Пірогенна деградація: випалювання верхніх шарів ґрунту термобаричними боєприпасами та боєприпасами з білим фосфором; інший термічний вплив у місцях пожеж та згоряння підбитої техніки.

Екологічні наслідки. Знищення органічного складника ґрунту, живої і неживої органічної речовини, мікробіоценозу ґрунту.

Індикатори: кількість органічної речовини у ґрунті (визначається за ДСТУ 4289:2004), мікробної біомаси ґрунту (визначається за ДСТУ ISO 14240-1:2003).

2.2. Перемішування генетичних горизонтів ґрунту внаслідок військової активності: руху техніки, будівництва фортифікаційних споруд; бомбардувань, артилерійських обстрілів та ін. – так звана «бомботурбація» (Нур, Schaetzl, 2006).

Екологічні наслідки. Порушення природного педогенезу, формування двочленних ґрунтів із початковими етапами педогенезу у верхніх горизонтах.

Індикатори: морфологічна будова ґрунтового профілю.

2.3. Латеральна та радіальна (вертикальна) міграція речовин-забруднювачів.

Екологічні наслідки. Латеральна міграція хімічних речовин починається безпосередньо після вибуху – унаслідок переміщення у повітрі газоподібних та аерозольних частинок і триває пізніше у ґрунтовому покриві (Parakhnenko et al., 2023). Латеральній міграції піддаються і часточки ґрунтового дрібнозему.

Радіальна міграція є характерною для всіх речовин-забруднювачів, вона відбувається у товщі ґрунту переважно під дією гравітації, але може істотно модифікуватися капілярними та осмотичними силами, діяльністю кореневих систем рослин та ріючою діяльністю мезо- та макрофауни.

У результаті латеральної та радіальної міграції речовин-забруднювачів залежно від ландшафтно-геохімічних умов формуються зони винесення, транзиту та акумуляції згаданих речовин, що було наочно показано для ^{137}Cs у Зоні відчуження ЧАЕС ландшафтознавцями – В.С. Давидчуком та ін. (1994).

Індикатори: порівняння концентрацій металів/радіонуклідів у спряжених елементах ландшафту.

2.4. Замінування та розмінування території. У результаті названих заходів руйнується гумусовий горизонт, погіршуються агрохімічні властивості ґрунту та відбуваються зміни його гранулометричного та агрегатного стану. Своєю чергою, це впливає на водоутримувальну здатність та потенційну родючість ґрунту.

Екологічні наслідки. Порушення природного педогенезу.

Індикатори: морфологічна будова ґрунтового профілю.

2.5. Ущільнення ґрунту внаслідок впливу ваги важкої бронетехніки на земну поверхню та вібраційного впливу від вибухів.

Ущільнення ґрунту внаслідок проїзду військової техніки проявляється у залежності від типу ґрунту, його вологості, маси техніки на одиницю площі, кількості проїздів по площі (рис. 5).

Зокрема, для колісної військової техніки показано (Voorhees, 1986), що питоме навантаження <5 т/вісь призводило до ущільнення ґрунту на глибину до 30 см, а 10 т/вісь – на глибину 60 см. Інший, як правило, менший, вплив на ущільнення ґрунту має гусенична бронетанкова техніка. Зокрема, за даними (Müller, Pedron, Barbosa et al., 2021), за триразового проїзду танку Leopard 1A5BR (маса 42,5 т) найбільше ущільнення (з 1,2 до 1,5 г/см³) спостерігалось у шестисантиметровому шарі ґрунту.

Подібні результати були отримані також для танку Abrams M1A1 (маса 63,5 т), однократний проїзд якого зумовлював у преріях поверхневе ущільнення ґрунту (з 1,1 до 1,4 г/см³) до глибини 15 см, особливо у ґрунтах легкого гранулометричного складу та у місцях розвороту гусеничної техніки (Retta, Wagner, Tatarko, Todd, 2013).

Інші дослідники (Althoff, Thien, Todd, 2010) для танку Abrams M1A1 навели дані, що після 1–3-кратного проїзду танку об'ємна щільність ґрунту самовідновлювалася за 1–3 роки, а хімічні



Рис. 5. Танкові сліди і залишки танкової колони рф, знищеної ВСУ під Вугледаром (<https://www.nytimes.com/2023/03/01/world/europe/ukraine-russia-tanks.html>)

властивості ґрунту, зокрема вміст органічного вуглецю, – за 3–4 роки. Дослідниками вказано, що ущільнення ґрунту від важкої військової техніки спостерігається переважно до глибини 25–30 см, однак углиб по ґрунтовому профілю може розподілятися нерівномірно (Iverson et al., 1981; Bonchkovskiy et al., 2025). При цьому у більш глибоких горизонтах ґрунту ущільнення може бути більшим, ніж у поверхневих горизонтах, і зберігатися десятки років (Iverson et al., 1981).

Екологічні наслідки. Ущільнення ґрунту зумовлює значне збільшення його об'ємної маси (особливо у верхніх горизонтах), погіршення водного та повітряного режимів ґрунту, зменшення порозності та водопроникності, фільтрувальної здатності, погіршення (аж до повного знищення) природної гранулометричної та агрегатної структури (Saljnikov et al., 2022), особливо помітне у добре структурованих чорноземних ґрунтах (Solokha et al., 2024), формування ущільнених прошарків на різних глибинах у ґрунтовому профілі і, як результат, погіршення умов зростання рослин, у т. ч. сільськогосподарських, зменшення їх урожайності до 50% (Bonchkovskiy et al., 2025). Утрата гранулометричної та агрегатної структури, зменшення вмісту органічної речовини сприяють ущільненню ґрунту (Saljnikov et al., 2022). Ущільнення ґрунту утруднює інфільтрацію вологи у його товщу, зменшує внутрішньоґрунтовий стік, активізує поверхневий стік та водну ерозію, обмежує товщину коренезаселеного шару ґрунту, утруднює просторовий ріст і розвиток кореневих систем рослин.

Індикатори: об'ємна маса ґрунту (визначається за ДСТУ ISO 11272-2001).

2.6. Комплекс процесів, зумовлений впливом вибухової хвилі.

У результаті впливу вибухової хвилі за вибухів 122- та 152-міліметрових артилерійських снарядів із масою вибухівки 4,5 та 8,4 кг відповідно відбувається ущільнення об'ємної маси ґрунту у радіусі 1,65 та 2,03 м від епіцентру вибуху (Вплив війни росії..., 2003б). Загальною закономірністю є збільшення радіусу впливу вибуху на ущільнення ґрунту зі збільшенням маси боєзаряду. Окрім того, вибухи снарядів великих калібрів, ракет і авіабомб зумовлюють порушення однорідності ґрунту на глибину до 2 м, його типової макроструктури, при цьому утворюються тріщини, які розбивають ґрунт на окремі блоки (Вплив війни росії..., 2003а) (рис. 6, 7).

Насамперед вплив вибухової хвилі проявляється на стінках вирв як ущільнення, з іншого боку – прояви колювальної дії процесів під дією сили тяжіння – формування на дні вирви шару більш-менш крупних уламків ґрунту та ґрунтової породи.

У вирвах також проявляються процеси кольматції (переважно на дні) та лессиважу (на стінках та дні) – за рахунок механічного низхідного переносу дрібнодисперсних мулистих та глинистих часточок.

Екологічні наслідки. Збільшення об'ємної щільності ґрунту.

Індикатори: об'ємна щільність ґрунту (визначається за ДСТУ ISO 11272-2001).

2.7. Вібраційний вплив.

Джерелами слугують двигуни військової техніки та вибухи.



Рис. 6. Вирва від вибуху авіабомби ФАБ-500 (лютий 2022 р.), с. Базар Коростенського р-ну Житомирської області. Фото О.О. Орлова, листопад 2025 р.

Екологічні наслідки. Ущільнення ґрунту, втрата однорідності та типової макроструктури, просідання поверхні ґрунту.

Індикатори: морфологічна характеристика ґрунтового профілю, об'ємна щільність ґрунту (визначається за ДСТУ ISO 11272-2001).

2.8. Радіаційний вплив на ґрунти.

Може зумовлюватися використанням боєприпасів зі збідненим ураном ^{235}U . Такі боєприпаси широко використовувалися як бронейні та бетонобійні у війні в Югославії (Kuzmanović et al., 2025) та Перській затоці (Radiological conditions..., 2003). Офіційна інформація щодо їх використання у військових діях в Україні відсутня.

Окрім того, радіаційний вплив на ґрунти може зумовлюватися ядерним тероризмом росії на об'єктах ядерної енергетики України – Чорнобильській та Запорізькій АЕС. Рух важкої техніки через радіоактивно забруднені території Зони відчуження ЧАЕС у лютому 2022 р., риття окопів та масштабні пожежі у Рудому лісі у березні 2022 р. призвели до вторинного переносу радіоактивного забруднення, істотної зміни форм та стану радіоактивності, ймовірного збільшення мобільності радіонуклідів та забруднення харчових ланцюжків. За нашими даними, 25–26 лютого 2022 р. потужність експозиційної дози гамма-випромінювання на північно-західній околиці м. Київ становив 30–40 мкр/год, що у два-три рази перевищувало «довоєнні» показники.

У 2022–2025 рр. зафіксовано щонайменше 22 атаки на ядерні об'єкти України; Запорізька АЕС 10 разів пройшла першу стадію аварії у

Фукусімі. А 14 лютого 2025 р. росією був нанесений удар БПЛА по захисному конфайменту енергоблока № 4 Чорнобильської АЕС (Росія завдала удару..., 2025), що, за даними МАГАТЕ, призвело до втрати ним частини радіаційно-захисних функцій включно зі здатністю утримувати викиди радіоактивності (Саркофаг..., 2025).

На окупованій росією Запорізькій АЕС обсяг радіоактивності в басейнах витримки відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) на шести реакторах, які потребують постійного охолодження, оціночно становить: трансуранових елементів (актинидів) – 4.72×10^{18} Бк; ^{90}Sr – 2.85×10^{18} Бк; ^{137}Cs – 3.83×10^{18} Бк. Окрім того, на промайданчику Запорізької АЕС розташовано сухе сховище відпрацьованого ядерного палива, яке не потребує охолодження, де заповнено 174 контейнера, обсяг радіоактивності у яких (з урахуванням розпаду) оціночно становить: трансуранових елементів (актинидів) – 1.23×10^{19} Бк; ^{90}Sr – 5.98×10^{18} Бк; ^{137}Cs – 8.12×10^{18} Бк. Пошкодження басейнів витримки ВЯП та/або сховища відпрацьованого ядерного палива з виходом накопиченої радіоактивності в навколишнє середовище може спричинити глобальну ядерну катастрофу та значний транскордонний вплив (Dolin et al., 2024).

Мережа сховищ радіоактивних відходів (РАВ) Державного спеціалізованого підприємства «Об'єднання «Радон», включаючи Київське (Пирогово) (центральний майданчик), філії у Дніпрі, Львові, Одесі та Харкові, які збирають, транспортують та тимчасово зберігають тверді і рідкі РАВ та відпрацьовані джерела іонізуючого



Рис. 7. Вирва від вибуху ракети до системи «Ураган» (лютий 2022 р.), Древянський ПЗ, окол. с. Малі Миньки Коростенського р-ну Житомирської області. Фото О.О. Орлова, листопад 2025 р.

випромінювання, є потенційним джерелом загрози радіоактивного забруднення території України. У 2022 р. росія обстріляла сховище РАВ у с. Пирогово, на щастя, радіоактивні речовини не потрапили у навколишнє середовище. За разгерметизації ємностей із РАВ унаслідок обстрілів можемо мати ефект «брудної» ядерної бомби – із забрудненням території комплексом радіонуклідів.

Відвали попелу ТЕС, що працюють на вугіллі та/або сланці, які містять значні (техногенно підсилені) активності природних радіонуклідів, – ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K , ^{210}Pb у попелі.

Радіоактивне забруднення ґрунту може відбуватися внаслідок використання росією тактичної (чи іншої) ядерної зброї.

Екологічні наслідки. Радіоактивне забруднення ґрунту комплексом радіонуклідів – залежно від джерела забруднення, збільшення мобільності радіонуклідів унаслідок пилоутворення та пожеж.

Індикатори: питома активність кожного з радіонуклідів у ґрунті. Співвідношення питомої активності радіонуклідів в ізотопному складі може бути беззаперечною просторовою і часовою міткою ядерної події унаслідок військової агресії росії. Так, збільшене співвідношення $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ свідчить про викид радіоактивності з активної зони атомного реактора АЕС.

3. Фізико-хімічні фактори військового впливу проявляються у ґрунтах.

3.1. Підкислення або підлуження ґрунтів. Підкислення ґрунту – зменшення рН ґрунтового розчину відбувається внаслідок використання у боєприпасах речовин, під час згоряння/вибуху яких утворюються CO , CO_2 та ангідриди – SO_2 , N_xO_x , P_2O_5 та ін., які під час контакту з водою атмосфери утворюють кислоти. Цей самий процес відбувається внаслідок масштабних лісових пожеж та пожеж на промислових об'єктах, у т. ч. нафтобазах (Kabylda, Gendelis, Kravets et al., 2024), а також на військових об'єктах: артилерійських складах та ін. Підкислення ґрунту може бути викликано витоками азотної та інших кислот із ємностей, а підлуження – витоками аміаку.

Екологічні наслідки. Зменшення рН ґрунтового розчину $<5,5$ зумовлює вилугування з верхніх горизонтів ґрунту K , Ca , Mg , а за зменшення величини $\text{pH} < 4,5$ – до переходу алюмінію у доступні для рослин токсичні форми (Barabasz et al., 2002).

Індикатори: рН ґрунтового розчину (визначається за ДСТУ 8346:2015).

3.2. Зміни в ємності вбирання, кількісному та якісному складі увібраних основ.

Екологічні наслідки. Зменшення родючості ґрунту.

Індикатори: сума увібраних основ (визначається за ДСТУ 4362:2004).

3.3. Зміни у гідролітичній кислотності ґрунту.

Екологічні наслідки. Зменшення родючості ґрунту.

Індикатори: гідролітична кислотність ґрунту (визначається за ДСТУ 7537:2014).

3.4. Зменшення буферності ґрунтів. Буферність є одним з інтегральних показників родючості ґрунту, це стійкість ґрунту до коливань рН ґрунтового розчину (Надточий, 1998), підтримання стабільної концентрації водневих і гідроксильних іонів, що є важливим для рослин.

Екологічні наслідки. Зменшення родючості ґрунту, зміни у доступності елементів живлення для рослин, суми поглинутих основ, перехід низки важких металів у доступні, токсичні для рослин форми.

Індикатори: показник нейтралізації (ПН), ступінь буферної ємності в кислотному і лужному інтервалах (СБЄк і СБЄл), індекс кислотно-основної рівноваги ($\text{Kr} = \text{СБЄк} : \text{СБЄл}$) (Надточий, Трембіцький, 2003). Буферність ґрунту визначається за ДСТУ 4456:2005.

3.5. Зміна співвідношення концентрацій фізико-хімічних форм знаходження металів та радіонуклідів у ґрунтах.

Екологічні наслідки. Збільшення концентрації мобільних форм металів та радіонуклідів у ґрунтах призводить до їх активного поглинання рослинами та міграції трофічними ланцюжками: ґрунт – рослини – тварини.

Індикатори: частка мобільних фракцій металів від валового вмісту у ґрунтах; частка мобільних фракцій радіонуклідів від валового вмісту у ґрунтах.

4. Хімічні фактори військового впливу є найбільш різноманітними, що зумовлюється різноманітністю речовин-забруднювачів, які надходять у навколишнє природне середовище внаслідок ведення військових дій. Для них характерною є тісна взаємодія з такими фізичними факторами, як латеральна міграція та радіальна (вертикальна) міграція (Parakhnenko et al., 2023; Yashchenko et al., 2025).

4.1. Евтрофікація ґрунтів, особливо у місцях тривалого базування військових підрозділів або перебування значних мас цивільного населення.

Екологічні наслідки. Значне збільшення концентрації сполук азоту та фосфору у ґрунтах, зміна співвідношення кількості мікроорганізмів, які відповідають за утилізацію азотистих та амонійних залишків у ґрунті; потрапляння забруднювачів до ґрунтових вод.

Індикатори: концентрація у ґрунті сполук азоту та фосфору, співвідношення кількості мікроорганізмів, які відповідають за утилізацію азотистих та амонійних залишків у ґрунті.

Пункти 4.2–4.4 і частково пункт 4.5, наведені нижче, пов'язані з хімічним забрудненням повітря, зумовленим різними джерелами. Усі речовини-забруднювачі, які знаходяться у повітрі, через певний час осідають на ґрунт, включаючись у біо-геохімічні цикли. За даними Мінприроди України, станом на 01 лютого 2025 р. викиди забруднювачів у повітря, пов'язані з війною, становили в Україні понад 72,6 млн т.

4.2. Неорганічні металічні забруднення, представлені переважно важкими металами – Fe, Cu, Zn, Pb, Mo, Mn, Cd, Ni, Cr, W (Chai et al., 2022; Вплив війни росії..., 2023; Parakhnenko et al., 2023; Solokha et al., 2024; Гуліч та ін., 2024; Datsko et al., 2024) та алюмінієм (Explosive..., 2022). Під час дослідження важких металів у ґрунті зони бойових дій (Solokha et al., 2024) слід урахувувати їх кларки, а також допустимі рівні вмісту у ґрунті (Гігієнічні регламенти..., 2020).

На жаль, використання важких металів у ґрунтах для встановлення однозначного причинно-наслідкового зв'язку їх підвищених концентрацій із військовими діями в Україні значно утруднене, а часто неможливе внаслідок значного їх вмісту у ґрунтах промислових районів Сходу та Півдня України: Приазов'я, Донбасу, Кривбасу та ін. (Важкі метали..., 2014). За умов промислово-техногенних регіонів, зокрема Донбасу, локальні (точкові) збройні забруднення та руйнування ґрунтового покриву накладаються на багаторічну індустріальну трансформацію еколого-геохімічних умов, що зумовлює перехід від точкових до квазі-суцільних територіальних зон ґрунтової деградації й забруднення важкими металами та ін. Затоплення шахт, некероване відкачування шахтних вод і руйнування систем дренажу призводять до підйому рівня підземних вод, формування кислотних шахтних дренажів, інтенсивної міграції важких металів, солей та, потенційно, радіонуклідів у ґрунти, поверхневі та підземні води (Environmental Assessment..., 2017; Vasyliuk, 2023; Are abandoned..., 2026). Це супроводжується просіданням земної поверхні, підтопленням сільськогосподарських угідь, зниженням придатності великих територій для землекористування й створенням тривалих осередків техногенно-військової геохімічної небезпеки. Руйнування шламосховищ, хвостосховищ, золівдвалів та інших промислових накопичувачів відходів під час обстрілів або під впливом гідродинамічних ефектів (наприклад, через руйнування гідротехнічних споруд) різко збільшує площу розсіювання раніше локалізованих токсичних фаз, перетворюючи їх із точкових джерел забруднення на територіальні системи дифузної контамінації ґрунтів і донних відкладів. У таких умовах саме ґрунтовий покрив і пов'язані з

ним геохімічні бар'єри виступають головною довготривалою «пам'яттю» військово-техногенних впливів, що потребує пріоритетного моніторингу, картування й цілеспрямованих заходів з ремедіації.

Дослідження (Solokha et al., 2024), проведені у Харківській області у місцях бойових дій, із наявністю решток танків Т72В3 продемонстрували значні перевищення гігієнічного нормативу вмісту важких металів у ґрунті (Гігієнічні регламенти..., 2020): Pb – 38,9 рази; Cd – 8,5 рази; Zn – 7,4 рази; Cu – 4 рази. Для низки важких металів виявлено значні перевищення фонових концентрацій: Zn – 605,5 рази; Co – у 76; Cu – 19; Fe – 10,5; Ni – 5,6; Pb – 5,6; Cr – 4,6 рази (Solokha et al., 2024). Слід підкреслити значну варіабельність даних щодо забруднення важкими металами ґрунтів зони бойових дій, зумовлену: елементним складом боеприпасів; кларками відповідних елементів; ступенем техногенного довоєнного впливу (фактично техногенним забрудненням) – довоєнними фоновими концентраціями (Yashchenko et al., 2025).

Алюміній широко використовується у сучасних боеприпасах у війні росії проти України – від корпусів детонаторів та пострілів гранатометів до компонентів вибухівки та ракетного палива. Наприклад, артилерійський снаряд 155 мм HE LU 211IM містить суміш TNT, RDX та 13,5% алюмінієвої пудри; снаряд ОФ-25, 152 мм – 73% RDX та 26% алюмінієвої пудри; ракета 9М22 «Град» до системи залпового вогню БМ-21 містить 73% RDX та 26% алюмінієвої пудри; ракета С-300 5В55 містить 50% RDX; 40% TNT та 10% Al; ракета 9К79 «Точка СС-21» містить алюміній як компонент ракетного палива (Explosive..., 2022) тощо.

Екологічні наслідки. Акумуляція комплексу важких металів та алюмінію у місцях тривалого військового протистояння може призвести до утворення локальних військово-техногенних геохімічних аномалій із різним спектром забруднюючих елементів, що може накласти на невизначений термін заборону на господарське використання земель (Вплив війни росії..., 2023).

Значні концентрації важких металів (Pb, Cd, Hg та ін.) у ґрунті порушують гомеостаз мікробіоценозу, скорочують його біорізноманіття, змінюють співвідношення функціональних груп мікроорганізмів, зменшують мікробіологічну активність ґрунту (Naz et al., 2022). Це зменшує багатство ґрунту та погіршує процеси розкладу органічної речовини.

Алюміній, що має амфотерні властивості, за взаємодії з ґрунтовим розчином може утворювати гідроксиди: $AlOH$, $Al(OH)_2$, $Al(OH)_3$, $Al(OH)_4$, які викликають ацидофікацію ґрунту. Вона, своєю чергою, ще більше підвищує розчинність алюмінію, призводячи до активізації біогеохімічного

циклу алюмінію і подальшої ацидофікації ґрунту (Vojórzquez-Quintal et al., 2017). У кислих ґрунтах за $\text{pH} = 4\text{--}4,5$ значна частка алюмінію знаходиться у мобільних формах (Rosseland et al., 1990), які поглинаються рослинами кореневим шляхом, призводячи до оксидативного стресу, порушення мінерального живлення, процесів водорегуляції, фотосинтезу та метаболізму азоту (Kumar, 2024). Простежується тісний зв'язок лісових та інших пожеж із викидами NO_2 та SO_2 у повітря та зменшенням pH ґрунту, що призводить до мобілізації алюмінію у навколишньому середовищі (Barabasz et al., 2002).

За даними (Yashchenko et al., 2025), вибухи боеприпасів зумовлюють забруднення поверхні ґрунту неорганічними та органічними компонентами, площа якого зростає зі збільшенням калібру боеприпасу (табл. 1).

Таблиця 1. Середні діаметри забрудненої зони від вибухів боеприпасів (за Yashchenko et al., 2025)

Калібр, мм	Середній діаметр забрудненої зони, м	Розрахункова середня площа забрудненої зони, м ²
76, 82, 85, 100	20	314
120, 122	30	707
140, 152, 155, 160	50	1963
203, 220, 240	70	3847
Авіаційні бомби ФАБ-250, ФАБ-500	100	7850

Індикатори: валовий вміст важких металів у ґрунті та вміст мобільних форм, доступних для рослин.

4.3. Неорганічні та органічні забруднювачі, переважно газоподібні та аерозольні, які знаходяться у повітрі і є продуктами горіння різноманітних об'єктів: лісів, полів, будівель населених пунктів та промисловості, ТЕЦ, нафтобаз, транспорту та ін., а також вибухів на артскладах та за ведення активних бойових дій. До неорганічних належать газоподібні оксиди вуглецю, азоту, сірки, фосфору, сажа тощо, а до найважливіших органічних – бенз(а)пірен та діоксини, а також бензол, толуол, формальдегід, полівінілхлорид та ін. (Kabylda et al., 2024).

Екологічні наслідки. Газоподібні та аерозольні частинки, які утворилися в результаті масштабних пожеж у лісах, трав'яних біотопах, на об'єктах цивільної інфраструктури, промислових та військових об'єктах, у місцях активних бойових дій, гравітаційно осідають на ґрунт і включаються у біогеохімічний колообіг. За даними (Pereira et al., 2022), під час згорання 1 т деревини утворюється 125 кг CO , 12 кг CO_2 , 2 кг NO_2 , 22 кг частинок пилу і сажі, які надходять в атмосферу. Окрім місцевого

та регіонального впливу, згадані речовини зумовлюють негативні транскордонні екологічні ефекти (Kabylda et al., 2024; Margitay et al., 2025).

Неорганічні забруднювачі, як правило, надходять до ґрунту у концентраціях значно менших за гостру токсичність. Однак локальні концентрації органічних забруднювачів: бенз(а)пірену, діоксину та тринітротолуолу часто перевищують гостру токсичність, зумовлюючи загибель частини мікробіоти ґрунту.

Окрім того, продукти горіння, переважно CO_2 і NO_2 , є парниковими газами, які зумовлюють регіональне та глобальне потепління клімату (Вплив російської збройної агресії на зміну клімату..., 2023; Kabylda et al., 2024; Шевченко, Пронь, Чеботарьова, 2024). Так, за даними Міндовкілля України (Зміна клімату, 2023), станом на 02 січня 2023 р. внаслідок російської агресії проти України в атмосферу потрапило близько 33 млн т CO_2 екв., домінуючим джерелом були масштабні лісові пожежі – 23,4 млн т CO_2 екв.

Індикатори: залишкові концентрації бенз(а)пірену, діоксинів у ґрунті.

4.4. Неорганічні газоподібні забруднювачі, які утворюються внаслідок пошкодження ємностей та/або трубопроводів з азотною, сірчаною та іншими кислотами, аміаком та ін. За даними Центру екологічних ініціатив «Екодія», 05 та 09 квітня 2022 р. росія пошкодила цистерни з азотною кислотою у м. Рубіжне (Луганська обл.) (Пошкодження промислових об'єктів..., 2022), виникла надзвичайна ситуація. У результаті обстрілу 09 жовтня 2025 р. на Донеччині пошкоджено магістральний аміакопровід «Тольятті – Одеса», де стався масштабний витік аміаку. Російські війська прицільно обстрілюють аміакопровід у с. Максютівка у Куп'янському районі на Харківщині, витік аміаку становив 136 т; у Сумській області 21 березня 2022 р. в результаті артобстрілу заводу ПАТ «Сумхімпром» був пошкоджений резервуар з аміаком (Витоки аміаку, 2025). Небезпечних об'єктів, пов'язаних з аміаком, в Україні досить багато, серед них найбільшим є Одеський припортовий завод.

Екологічні наслідки. Підкислення ґрунтів у разі витіку кислот, підлуження – у разі витіку аміаку, утрата буферності ґрунтів.

Індикатори: pH ґрунту (визначається за ДСТУ 8346:2015).

4.5. Складні органічні речовини, переважно компоненти вибухівок нітроароматичного ряду – 2,4,6-тринітротолуол (TNT) та його деривати – 2ADNT та 4ADNT, гексоген (RDX) та октоген (HMX), а також численні інші види вибухівок, які надходять у ґрунт у результаті вибухів боеприпасів. Усі вони є штучно синтезованими

ксенобіотиками, відсутніми у природі, токсичними для всіх груп біоти, що охарактеризовано у (Долін, Орлов, Яковлев, 2024).

Вибухові речовини рухливі в ґрунтовому розчині, і після їх надходження у довкілля вони не локалізуються в точці вивільнення, а диспергуються по денній поверхні навколо епіцентру вибуху і дифундують через пори матриці ґрунту (Pennington, Brannon, 2002; Taylor, Bigl, Packer, 2015), досягаючи ґрунтових вод (Conceptual model..., 2006). Показано, що у водоймах не відбувається значної сорбції TNT із поверхневих вод донними відкладами, а у суходільних екосистемах – сильної сорбції ґрунтовими часточками (Spangord et al., 1985). В інших дослідженнях (Pennington, 1988) зроблено протилежний висновок про достовірно сильнішу сорбцію як TNT, так і 4ADNT глинистими часточками ґрунтів порівняно з мулистими.

Визначити вміст TNT у компонентах екосистем (ґрунті, представниках біоти) через тривалий проміжок часу після вибуху (рік і більше) є досить складним завданням, адже в них одночасно присутні як залишкові кількості власне TNT, так і продукти його трансформації, переважно 2ADNT та 4ADNT (Pennington, Brannon, 2002), уміст яких із часом значно перевищує вміст TNT. Особливо це стосується 4ADNT, сорбція якого у ґрунтах переважно визначається їхнім гранулометричним складом. Саме 4ADNT досить добре детектується у лізіметричних водах ґрунтів, тоді як 2ADNT та

TNT знаходяться у незначних кількостях та здебільшого не детектуються. TNT обмінно сорбується ґрунтом, що ускладнює очищення ґрунту від нього, що також ускладнюється його досить значною розчинністю у воді – 130 мг/л (Richter-Torres et al., 1995). Показано, що у лісовому ґрунті через чотири роки після вибухів залишилося понад 90% RDX та HMX та близько 40% TNT (DuBois and Baytos, 1972), а через 20 років – 70% RDX та HMX та близько 10% TNT (DuBois and Baytos, 1991). Тривалість періоду напівочищення лісових екосистем від цих вибухових речовин становила: HMX – 39 років, RDX – 36 років, TNT – 1 рік.

Наведено дані (Ольховик, Дудар, 2025), що головним джерелом виникнення військово-техногенних геохімічних аномалій є обстріли артилерійсько-ракетним озброєнням. За експертною оцінкою цих авторів, лише за три роки повномасштабної війни росії проти України обидві сторони використали: 30–32 млн артилерійських снарядів, переважно калібру 152 мм; 5–7 млн мінометних мін, переважно калібру 120 мм; близько 2 млн ракет до БМ-21 «Град» калібру 122 мм. На жаль, нині відсутні доступні дані щодо використаних інших ракет – крилатих, балістичних (за винятком ракет С-300 та С-400), а також ракет до систем залпового вогню «Ураган» і «Смерч».

Наведені вище дані дають змогу орієнтовно розрахувати масу використаної вибухівки у війні росії проти України, при цьому нами використано мінімальні оцінки (табл. 2).

Таблиця 2. Маса вибухівки у використаних боєприпасах у війні росії проти України (2022–2025 рр.)

Вид боєприпасу	Кількість використаних одиниць, тис шт.	Маса і тип вибухівки за [64]	Маса вибухових речовин на 1 боєприпас, кг [64]			Маса вибухових речовин у використаних боєприпасах (2022–2025 рр.), т		
			TNT	RDX	Al	TNT	RDX	Al
Артилерійський снаряд ОФ-25, 152 мм	30 000 [за 36]	6,8 кг, тип А-ІХ-2 (73% – RDX; 26% – Al)	–	4,964	1,768	–	148 920	53 040
Мінометна міна М50, 120 мм	5000 [за 36]	2,325 кг, TNT	2,325	–	–	11 625	–	–
Ракета 9М22 «Град» до системи залпового вогню БМ-21	2000 [за 36]	6,4 кг, тип А-ІХ-2 (73% – RDX; 26% – Al)	–	4,672	1,664	–	9344	3328
Фугасна авіабомба ФАБ-500 М62, КАБ-500	87,5 [за 32, 38]	209 кг, TNT	209	–	–	18 287,5	–	–
Ракети С-300 5В55 та С-400	1,382 [за 39]	79,8 кг (50% – RDX; 40% – TNT; 10% – Al)	31,92	39,9	7,98	44,113	55,142	11,028
БПЛА Shahed-136	57,557 [за 39]	45 кг, тип ТГФ-35П2 (60% – TNT; 35% – RDX; 5% – Al)	27	15,75	2,25	1554,039	906,523	129,503
Разом						31 511	159 226	56 509

Таким чином, за нашою мінімальною оцінкою, протягом повномасштабної війни росії проти України було використано боєприпасів, які містили вибухівки: TNT – 31,5 тис т, RDX – 159,2 тис т, Al – 56,5 тис т, залишки та метаболіти яких забруднили навколишнє середовище України.

Проблема полягає у тому, що для бризантних вибухівок характерним є неповне спрацювання та широкий розмах частки вибухівки, яка витрачається на детонацію, – від 99,9% маси для детонації високого порядку (Taylor et al., 2004) до 65–73% для детонації низького порядку (Pennington et al., 2006), а за використання старих боєприпасів 30-річної давнини – 70–80% (Ольховик, Дудар, 2025). У результаті детонації високого порядку залишки вибухівки та продуктів її деградації (до 0,1% від маси заряду) осідають на ґрунт у вигляді частинок мікронного розміру. За детонації низького близько 20–35% маси вибухівки диспергується у навколишньому середовищі, гравітаційно осідає на ґрунт, але, як правило, часточки мають розміри у 10–1000 разів більші.

Екологічні наслідки. Формування мозаїчних «полів» забруднення вибухівками. Пригнічення росту і розвитку рослин, збіднення біорізноманіття рослин і тварин, мікробоценозу ґрунту. Порушення продукційного процесу, істотне зменшення врожайності сільськогосподарських культур, забруднення сільськогосподарської продукції нормованими забруднювачами військового походження (Єгорова, 2023).

Індикатори: уміст TNT, 2ADNT, 4ADNT, RDX, NMX у ґрунті. Для встановлення однозначного причинно-наслідкового зв'язку з бойовими діями та отримання беззаперечної часової мітки для визначення ступеню деградації TNT дослідники використали [¹⁴C]TNT, у т. ч. для визначення мас-балансу продуктів його розкладу у ґрунті та рослинах (Nerovim et al., 2005). Уміст TNT, 2ADNT, 4ADNT, RDX визначається методами зворотньо-фазової високоефективної рідинної хроматографії (Method 8330A, 2007).

4.6. Компоненти хімічної зброї, у т. ч. фосфор-органічні сполуки та ін., які росія застосувала також у Чечні та Сирії (Chai, Berlyand, Goralnick et al., 2022).

Екологічні наслідки. Вивчено недостатньо. Загибель частини видів макро-, мезо- і мікробіоти ґрунту.

Індикатори: залишкові кількості фосфор-органічних сполук у ґрунті.

4.7. Паливо-мастильні матеріали на основі нафтопродуктів.

Екологічні наслідки. На локальному рівні вони можуть призвести до повної загибелі біологічного

складника ґрунту. У результаті потрапляння нафтопродуктів (вуглеводнів) у ґрунт порушується його важлива властивість – здатність до самовідновлення, та відбувається зниження біологічної активності. Після потрапляння у ґрунт вуглеводні можуть повністю або частково займати поровий простір ґрунту, що блокує у ньому потік повітря та води. Це впливає на дихання коренів рослин, ґрунтові мікроорганізми, а також на забезпечення цих груп біоти вологою (Вплив війни росії проти України..., 2023).

Індикатори: залишкові кількості паливо-мастильних матеріалів у ґрунті.

4.8. Продукти розкладу органічних речовин у місцях масових поховань загиблих.

Екологічні наслідки. Отруєння ґрунтів та ґрунтових вод токсичними продуктами розкладу органічних речовин.

Індикатори: органічні форми фосфору, органічні форми азоту у ґрунті.

4.9. Комплекс неорганічних та органічних сполук, які входять до складу оптоволоконна як компонента FPV-дронів. Це відносно новий вид озброєння, який знедавна масово використовується у війні росії проти України, однак поведінка оптоволоконна у навколишньому середовищі вивчена вкрай недостатньо. Використовують два основні типи оптоволоконна: скляне та полімерне, дрон несе 20 км оптоволоконна і більше. Основу оптоволоконна першого типу становить кварцове скло, вкрите оболонкою з тонкого шару пластику; оптоволоконно другого типу складається з оптичних полімерів. Масштаби забруднення оптоволоконном навколишнього середовища зони бойового зіткнення та прилеглих територій в Україні поки що, до закінчення війни, встановити неможливо, але можна експертно оцінити, що протягом 2022–2025 рр. на згаданій території накопичено десятки тисяч кілометрів оптоволоконна (рис. 8).

Оптоволоконно потрапляє на поверхню рослинності і ґрунту, починає розкладатися, що призводить до забруднення мікропластиком ґрунтів та ґрунтових вод, компонентів біоти. Повноцінне дослідження продуктів розкладу оптоволоконних кабелів та швидкості їх розкладу поки відсутні, однак попередній аналіз показав, що вони розкладаються повільно і можуть знаходитися у ґрунті до 600 років (Дрони на оптоволоконні..., 2025), поступово вивільнюючи забруднювачі.

Екологічні наслідки. Поки невідомі.

Індикатори: наявність оптоволоконна.

5. Біологічні фактори військового впливу проявляються на територіях різної площі.

5.1. Знищення коренезаселеного шару ґрунту.

Екологічні наслідки. Дегуміфікація – зменшення багатства ґрунту, передусім; кількості



Рис. 8. Оптоволоконно від FPV-дронів на полі у зоні бойових дій
Джерело: Reddit

гумусу у його верхніх горизонтах. За даними (KSE, 2024), станом на кінець 2024 р. загальна площа земельних угідь України, пошкоджених війною, становила 186 тис км² (31% загальної площі країни). На площі близько 30 тис км² втрата природної родючості ґрунту перевищує 75%.

Із позицій біогеохімії за В.І. Вернадським, гумусована товща ґрунту розглядається як провідна «біокосна» система, у якій живі організми, продукти їх метаболізму й мінеральна основа ґрунтоутворних порід у тісній взаємодії формують єдиний функціональний комплекс, відповідальний за родючість, буферність та екологічний стан ґрунту (Вернадський, 2012). Гумус забезпечує структурування, вологоємність, катіонообмінну здатність та кислотну-основну буферність ґрунту (Вернадський, 2012) та живлення судинних рослин, а також є головним середовищем існування ґрунтової біоти, від якої залежать мінералізація органічної речовини (Feller, Manlay, 2001), колообіг елементів живлення й самоочищення ґрунту від ксенобіотиків. У воєнно-техногенних умовах (механічне руйнування ґрунту важкою технікою, вибухами, пожежами, техногенним засоленням і закисленням, надходженням важких металів та вибухових речовин) порушується мінералізація гумусу, руйнуються органо-мінеральні комплекси, погіршується кислотно-основна та адсорбційна буферність,

що веде до втрати родючості, зниження стійкості мікробіоценозів і збільшення мобільності токсичних компонентів у ґрунтовому профілі. Таким чином, **деградація гумусу як ключової «біокосної» підсистеми трансформує ґрунт із фактора екосистемної стійкості на джерело вторинного забруднення вод і біоти в зонах інтенсивних воєнно-техногенних впливів.**

Індикатори: потужність гумусового горизонту за результатами візуальної оцінки ґрунтового профілю, багатство ґрунту (визначається за ДСТУ 4362:2004), кількість гумусу (визначається за ДСТУ 7828:2015).

5.2. Знищення рослинного покриву або його окремих компонентів. Особливо помітне у лісових екосистемах, коли знищується деревний – едифікаторний – ярус, на основі якого функціонував великий геохімічний колообіг хімічних елементів – через ґрунт.

Екологічні наслідки. Дегуміфікація – зменшення багатства ґрунту, передусім кількості гумусу у верхніх горизонтах ґрунту, унаслідок знищення рослинного покриву та порушення накопичувальної гілки великого колообігу азоту; знищення гумусового або гумусово-елювіального горизонту; зменшення родючості ґрунту.

Індикатори: візуальне порівняння довоєнних космічних знімків і знімків із військовим впливом; зменшення багатства ґрунту, зміни у кількості та фракційному складі гумусу (визначається за ДСТУ 4362:2004).

5.3. Знищення певних консументних ланок – груп тварин – від крупних копитних у Чорнобильському радіаційному біосферному заповіднику (лось, козуля, кабан) та біосферному заповіднику Асканія-Нова (бізони, сайгаки, антилопи, зебри) до мишоподібних гризунів, які забезпечували стійке функціонування великого колообігу поживних речовин (азоту, фосфору, калію, кальцію та ін.) у трав'яних біогеоценозах та запобігали щорічному накопиченню мортмаси.

Екологічні наслідки. Загальмованість великого колообігу поживних речовин, особливо помітна у степових біогеоценозах, щорічне накопичення мортмаси на поверхні ґрунту, що призводить до сукцесії рослинного покриву, зокрема у біосферному заповіднику Асканія-Нова – до заміни дерновинних ковил (*Stipa* spp.) кореневищними злаками, наприклад пирієм (*Agropyron* spp.).

Індикатори: відсутність трав'яних тварин, накопичення мортмаси – утворення степового войлоку або лучної дернини.

5.4. Негативні зміни у мікробіоценозі ґрунту.

Екологічні наслідки. Зменшення мікробної біомаси ґрунту, зміни у співвідношенні екологічних

груп мікроорганізмів, загальне збіднення біорізноманіття мікробоценозу.

Індикатори: мікробна біомаса ґрунту (визначається за ДСТУ ISO 14240-1:2003). Окрім того, за (Solokha et al., 2024), дієвими індикаторами можуть бути: коефіцієнт мінералізації (K_{\min}) (1)

$$K_{\min} = C_{SAA} / C_{MIA}, \quad (1)$$

де C_{SAA} – кількість мікроорганізмів, які іммобілізують мінеральні форми азоту;

C_{MIA} – кількість мікроорганізмів-органотрофів та коефіцієнт трансформації органічної речовини (K_{tom}) (2):

$$K_{\text{tom}} = C_{MIA} + C_{SAA} \times (C_{MIA} / C_{SAA}) \quad (2)$$

5.5. Зміни у біологічному та біохімічному складниках ґрунту у процесі первинного сингенезу – під впливом піонерної рослинності, часто – однорічних адвентивних інвазійних видів, таких як амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.), хрінниця густоцвіта (*Lepidium densiflorum* Schrad.), вероніка персидська (*Veronica persica* Poir.), та багаторічників, таких як золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.). Дослідниками продемонстровано, що *Solidago canadensis* (Yuan, Wang, Zhang et al., 2013) та *Ambrosia artemisiifolia* (Москалик, Легета, 2019) мають виражені алелопатичні властивості, які пригнічують схожість, ріст і розвиток інших видів рослин.

Екологічні наслідки. Зміни у флористичному складі та ценотичній структурі угруповань (Зав'ялова та ін., 2025), зміни біогеохімічних циклів елементів живлення у ланці «ґрунт – рослинність», зміни у співвідношенні екологічних груп мікроорганізмів у ґрунті під впливом алелопатичних речовин судинних рослин (фенольних сполук, колінів та ін.).

Індикатори: наявність адвентивних інвазійних видів рослин, мікробна біомаса ґрунту.

Висновки

1. Екологічні фактори військового впливу на екосистему ґрунту досліджені з різною деталістю, при цьому здебільшого спостерігається одночасний комплексний вплив різних екологічних факторів на ґрунт, синергетичний вплив яких практично не вивчено.

2. Практично не досліджено вплив на ґрунт низки фізичних факторів: акустичного, світлового, електромагнітного та хімічних факторів, зокрема забруднення оптоволоконном.

3. Індикатором однозначного причинно-наслідкового зв'язку військових дій з екологічними наслідками може бути візуальна порівняльна оцінка чітко датованих космічних знімків до і після порушення ландшафтів унаслідок військових дій, при цьому засоби GIS дають змогу

визначити площі порушень, провести їх класифікацію та ін. Такі дослідження є актуальними для встановлення площ знищених/трансформованих ландшафтів, розвитку ерозійних процесів, ущільнення ґрунту тощо.

4. Індикатором однозначного причинно-наслідкового зв'язку військових дій із лісовими пожежами у комбінації з візуальним порівнянням чітко датованих космічних знімків може бути радіовуглецевий аналіз деревини, коли за ^{14}C отримується чітка часова мітка пожежі.

5. Установлення однозначного причинно-наслідкового зв'язку хімічного забруднення ґрунтів важкими металами у зоні бойових дій в Україні значно утруднене внаслідок значного довоєнного фону цих металів у ґрунтах промислових районів: Приазов'я, Донбасу, Кривбасу та ін.

6. Доказом однозначного причинно-наслідкового зв'язку хімічного забруднення ґрунтів із воєнними діями можуть слугувати органічні вибухівки нітроароматичного ряду та їхні метаболіти: TNT, 2ADNT, 4ADNT, RDX, HMX тощо, які вивчені в Україні недостатньо.

7. За мінімальною оцінкою, протягом повномасштабної війни росії проти України було використано боєприпасів, які містили вибухівки: TNT – 31,5 тис т, RDX – 159,2 тис т, А1 – 56,5 тис т, залишки та метаболіти яких забруднили навколишнє середовище України.

8. Установлення однозначного причинно-наслідкового зв'язку військових дій з екологічними наслідками в Україні вимагає проведення спеціальних ґрунтовних досліджень.

Література

1. Агробіорізноманіття України: Теорія, методологія, індикатори, приклади. Книга 2 / О.О. Созінов та ін. Київ : Нічлава, 2005. 592 с. ISBN: 966-8939-01-8
2. Аналіз прояву деградаційних процесів ґрунтового покриву Київської області за впливу воєнних дій / Є.М. Бережнюк та ін. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 4. С. 116–128. <https://10.33730/2310-4678.1.2025.324377>
3. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) / С.П. Кармазіненко та ін. Київ : Інтерсервіс, 2014. 168 с. <https://file.lib.in.ua/pdf/samchuk-anatolii-vazhki-metaly-u-komponentakh-navkolyshnoho-seredovyscha-m-mariupol-ekoloho-heokhimichni-aspekty.pdf>
4. Вернадський В.І. Геохімія живої речовини. *Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського*. Т. 4, кн. 1. Київ : Велес, 2012. 504 с.
5. Витоки аміаку. 2025. <https://censor.net/ua/tag/107/amiak>
6. Сплідитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорочіна Л. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ : ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», Land Matrix, 2023а. 155 с. <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemelvid-rosii2.pdf>
7. Сплідитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорочіна Л. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / за ред. Н. Гозак, М. Дячук, Л. Федорова. Київ : ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023б. 32 с.

<https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf>

8. Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України / В.П. Строкаль та ін. ; за заг. ред. В.П. Строкаль. Київ : НУБіП України, 2023. 218 с. ISBN 978-617-8351-36-6

9. Іванюта С. Вплив російської збройної агресії на зміну клімату: висновки і рекомендації. Київ : Національний інститут стратегічних досліджень, 2023. 3 с. <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2023-01/climate-change-01022023.pdf>

10. Гігієнічні регламенти допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14 липня 2020 р. № 1595. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (дата звернення: 23.01.2026).

11. Голубець М.А. Плівка життя. Львів : Поллі, 1997. 186 с. ISBN 966-7307-02-6

12. Війна в Україні: проблема забруднення важкими металами сільськогосподарських угідь та продукції (Аналіз літературних даних) / М.П. Гуліч та ін. *Довкілля та здоров'я*. 2024. № 4. С. 40–44. <https://doi.org/10.32402/dovkil2024.04.038>

13. Ландшафти Чернобыльской Зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / В.С. Давычук и др. ; под ред. А.М. Маринича. Киев : Наукова думка, 1994. 112 с.

14. Денисюк Г.І., Кізон А.Г., Канський В.С. Белігеративні ландшафти України. *Український географічний журнал*. 2023. № 3. С. 23–34. <https://doi.org/10.15407/ugz2023.03.023>

15. Діяльність ООН щодо охорони навколишнього середовища в районах, вражених збройним конфліктом: перспективи для України (2022). https://ukrainepravo.com/international_law/public_international_law/diyal%60nist%60oon-shchodo-okhoronynavkolysn%60ogo-seredovyschha-v-rayonakh-vrazhenykh-zbroynum-konflik/ (дата звернення: 20.01.2026).

16. Долін В.В., Орлов О.О., Яковлев Є.О. Геохімічні маркери деградації екосистем унаслідок військової агресії. *Геохімія техногенезу*. 2024. № 38. С. 59–75. <https://doi.org/10.32782/geotech2024.38.08>

17. Дрони на оптоволокну як нове джерело забруднення. *Екологічні наслідки війни в Україні. Травень–червень 2025 р.* <https://uwecworkgroup.info/environmental-consequences-of-the-war-in-ukraine-may-june-2025-review/>

18. ДСТУ 8346:2015. Якість ґрунту. Методи визначення питомої електропровідності, рН і щільного залишку водної витяжки. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2017.

19. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 2006-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 19 с.

20. ДСТУ 4114-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. [Чинний від 2003-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002.

21. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2005-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004.

22. ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. [Чинний від 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007.

23. ДСТУ 4456:2005. Якість ґрунту. Метод визначення кислотно-основної буферності ґрунту. [Чинний від 2006-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005.

24. ДСТУ 7537:2014. Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності. [Чинний від 2015-04-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2014.

25. ДСТУ 7828:2015. Якість ґрунту. Визначення групового та фракційного складу гумусу за методом Тюріна у модифікації Пономарьової та Плотникової. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2015.

26. ДСТУ ISO 11272-2001. Якість ґрунту. Визначення щільності складення на суху масу (ISO 11272:1998, IDT).

[Чинний від 2003-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001.

27. ДСТУ ISO 14240-1:2003. Якість ґрунту. Визначення ґрунтової мікробної біомаси. Частина 1. Метод субстрат-стимульованого дихання (ISO 14240-1:1997, IDT). [Чинний від 2004-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2003.

28. Духневич А.В., Карпінська Н.В. Екологічні наслідки війни: оцінка впливу відходів на навколишнє середовище. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2025. № 01. С. 347–352. <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.01.55>

29. Сгорова Т.М. Еколого-геохімічні небезпеки белігеративних агроландшафтів. *Екологічні науки*. 2023. № 3(48). С. 37–41. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.5>

30. Екологічні збитки для довкілля України станом на 04 грудня 2025 р. <https://me.gov.ua/News/Detail/6fab61dd-28e9-4b18-8b22-ef06f10498a2?lang=uk-UA&title=EkologichniRuInuvannyaVUkraini&showMenuTree=true>

31. Жуковский О.В., Орлов О.О. Фактори та екологічні наслідки впливу військових дій на лісові екосистеми України. *The Impact of the War in Ukraine on Agriculture, Forestry, Fisheries, and Veterinary Medicine* (October 29–30, 2025, Riga, the Republic of Latvia): International scientific conference. Riga: Baltija Publishing, 2025. С. 35–39. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-626-3-9>

32. Відновлення рослинного покриву, пошкодженого внаслідок воєнних дій на території національного природного парку «Залісся» / Л. Зав'ялова та ін. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 45–62. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.5>

33. Класифікація процесів, що спричиняють деградацію земельних угідь / Ю.О. Зайцев та ін. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. С. 150–159. <https://10.33730/2077-4893.3.2022.266420>

34. Зміна клімату, 2023: збільшення викидів внаслідок війни та прогнози / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 2023 02 січня. mepr.gov.ua/news/40943.html

35. Керовані авіаційні бомби 2025. <https://suspilne.media/1179062-vid-pocatku-2025-roku-armia-rf-zapustila-poukraini-majze-44-tisaci-kerovanih-aviabomb/>

36. Москалик Г.Г., Легета У.В. Алелопатичні властивості деяких інвазійних видів рослин-трансформерів. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія «Біологія»*. 2019. № 1(75). С. 73–79. <https://10.25128/2078-2357.19.1.9>

37. Надточий П.П. Кислотно-основная буферность почвы – критерий оценки ее качественного состояния. *Почвоведение*. 1998. № 9. С. 1094–1102.

38. Надточий П.П., Трембіцький В.А. Кислотно-основна буферність і проблема вапнування кислих ґрунтів Полісся: актуальні питання агроекології. *Вісник Державного агроекологічного університету*. 2003. № 2. С. 3–17. http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/6275/1/VDAU_2003_2_3-17.pdf

39. Ольховик Ю.О., Дудар Т.В. Геохімічні особливості забруднення ґрунтів України під час війни. *Геохімія техногенезу*. 2025. Вип. 11. С. 12–18. <https://doi.org/10.32782/geotech2025.39.02>

40. Орлов О.О. Фактори військового впливу на екосистему ґрунту. *Сталій розвиток лісового господарства в умовах воєнної агресії: виклики, проблеми та шляхи вирішення* : мат. конф., м. Житомир, 11–12 лютого 2026 р. Житомир, 2026. С. 5–9.

41. Перелік російських авіабомбових ударів під час російського вторгнення (2023). https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%B0%D0%B2%D1%96%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85_%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B2_%D0%BF%D1%96%D0%B4_%D1%87%D0%B0%D1%81_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B2%D

1%82%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F#2023

42. Перелік ракетних ударів (2025). https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B2_%D0%BF%D1%96%D0%B4_%D1%87%D0%B0%D1%81_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F

43. Піріков О.В., Чумаченко С.М., Яковлев Є.О. Геоінформаційний системний підхід до аналізу впливу збройних конфліктів на екологічний стан навколишнього природного середовища. *Екологічна безпека та природокористування*. 2022. № 1(41). С. 5–17. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.5-17>

44. Пліско І.В., Романчук К.Ю., Криlach С.І. Механічна та фізична деградація орних ґрунтів унаслідок ведення воєнних дій в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2023. Т. 101. № 10(847). С. 5–12. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-01>

45. Пошкодження промислових об'єктів: влучання у цистерну з азотною кислотою, 05 квітня 2022 р., місто Рубіжне. 2022. <https://ecoaction.org.ua/1500-vypadkiv-shkody-dovkilliu.html>

46. Іванюта С., Якушенко Л. Пріоритети забезпечення екологічної безпеки України в умовах російської воєнної агресії : аналітична доповідь. Київ : Національний інститут стратегічних досліджень, 2024. 61 с. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.11>

47. Росія завдала удару по конфайменту над енергоблоком № 4 ЧАЕС. 2025. <https://uaea.com.ua/news/pek-news/chaes.html>

48. Саркофаг на Чорнобильській АЕС почав «протікати» після удару російського БПЛА – МАГАТЕ. 06.12.2025. <https://focus.ua/uk/economics/735915-udav-po-chornobilskiy-aes-sarkofag-pochav-protikati-podrobici>

49. Устінова І.І., Власенко Н.О. Екоцид та повоєнне відновлення бєлігеративних ландшафтів України: проблеми, досвід, перспективи. *Grail of Science*. 2023. № 27. С. 658–668. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.05.2023.113>

50. Філатов В.М., Руденко Д.М., Крайнюков О.М. Деградація ґрунтів у контексті збройного конфлікту: концептуальна модель. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 340–348. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.32>

51. Шевченко О.В., Пронь О.С., Чеботарьова І.В. Вплив повномасштабних бойових дій на стійкість територій до кліматичних змін. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 67. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-106>

52. Alasfar R.H. & Isaifan R.J. Aluminum environmental pollution: the silent killer. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. P. 44587–44597. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14700-0>

53. Althoff P.S., Thien S.J., Todd T.C. Primary and residual effects of Abrams tank traffic on prairie soil properties. *Soil & Water Management & Conservation*. 2010. № 7(6). P. 2151–2161. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0091>

54. Are abandoned mines flooding in Ukraine's Donbas region? *Conflict and Environment Observatory*. <https://ceobs.org/abandoned-mines-are-flooding-in-ukraines-donbas-region/>. Assessed 13.02.2026

55. Barabasz W., Albińska D., Jaśkowska M., Lipiec J. Ecotoxicology of aluminium. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2002. Vol. 11, № 3. P. 199–203. <https://www.pjoes.com/pdf-87442-21301?filename=Ecotoxicology+of.pdf>

56. Biliavska L., Iutynska G., Loboda M., Ropotilov B., & Skrotskyi S. Diagnostics and bioremediation of soils affected by military operations in Ukraine. *Biological Systems: Theory and Innovation*. 2024. № 15(3). P. 67–78. <https://doi.org/10.31548/biologiya/3.2024.67>

57. Bojórquez-Quintal E., Escalante-Magaña C., Echevarría-Machado I. et al. Aluminum, a friend or foe of higher plants in acid soils. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. P. 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01767>

58. Bonchkovskiy O., Ostapenko P., Bonchkovskiy A., Shvaiko V. War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 964, 178594. <https://10.1016/j.scitotenv.2025.178594>.

59. Bonchkovskiy O.S., Ostapenko P.O., Shvaiko V.M., Bonchkovskiy A.S. Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyivska territorial hromada). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2025. № 32(3). P. 474–487. <https://doi.org/10.15421/112342>

60. Chai P.R., Berlyand Y., Goralnick E., Goldfine C.E., VanRooyen M.J., Hryhorczuk D. & Erickson T.B. Wartime toxicology: the spectre of chemical and radiological warfare in Ukraine. *Toxicology Communications*. 2022. № 6(1). P. 51–57. <https://doi.org/10.1080/24734306.2022.2056374>

61. *Conceptual model for the transport of energetic residues from surface soil to groundwater by range activities* / Jay L. Clausen, Nic Korte, Mary Dodson, Joe Robb, and Shirley Rieven. Final Report ERDC/CRREL TR-06-18. US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center. November 2006. 165 p. https://www.researchgate.net/publication/235065123_Conceptual_Model_for_the_Transport_of_Energetic_Residues_from_Surface_Soil_to_Groundwater_by_Range_Activities#fullTextFileContent

62. Datsko O., Zakharchenko E., Butenko Y. et al. Ecological assessment of heavy metal content in Ukrainian soils. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. № 25(11). P. 100–108. <https://doi.org/10.12911/22998993/192669>

63. Datsko O., Melnyk O., Kovalenko I. et al. Estimation of the content of trace metals in Ukrainian military-affected soils. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2025. Vol. 53, Iss. 1, 14328. <https://doi.org/10.15835/nbha53114328>

64. Denysyk, H.I., Kanskiy, V.S., Ataman, L.V., Volovyk, V.M., & Denysyk, B.H. (2025). Belligerent landscape boundaries of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. № 34(1). P. 32–40. <https://doi.org/10.15421/112504>

65. Didenko N.O. Soil damage and recovery in Ukraine: lessons from global post-war experiences. *Меліорація і водне господарство*. 2024. № 2. С. 79–86. <https://doi.org/10.31073/mivg202402-391>

66. Dolin V., Yakovlev Ye., Kopylenko O., Trofymchuk O., Stefanyshyn D., Orlov O. Environmental and radiological threats caused by the explosive destruction of the Kakhovka HPP DAM: *Current Issues of Radiobiology – 2023* / Ukrainian Radiobiological Society, Zhytomyr, 2023. P. 13–15. <http://doi.org/10.35668/rad.2023>

67. Dolin V., Lo Frano R., Cancemi S.A. Assessment of spent nuclear fuel in Ukrainian storage system: inventory and performance. *Energies*. 2024. Vol. 17, 1945. <https://doi.org/10.3390/en17081945>

68. DuBois F.W. and Baytos J.F. *Effect of Soil and Weather on the Decomposition of Explosives*. Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-4943. 1972.

69. DuBois F.W. and Baytos J.F. *Weathering of Explosives for Twenty Years*. Los Alamos National Laboratory Report LA-11931. 1991. <https://www.osti.gov/servlets/purl/5616373>

70. Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine: The OSCE publication. Kyiv: VAITE, 2017. 88 p. ISBN 978-966-2310-87-0: https://www.osce.org/sites/default/files/f/documents/4/3/362566_0.pdf. Assessed 13.02.2026

71. *Explosive Ordnance Guide for Ukraine*. Second edition. Geneva: Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD), 2022. 222 p. info@gichd.org

72. Feller C., Manlay R. Humus, fertility and sustainability of cropping systems: concepts over the past three centuries. 2001, Publication № 147, Université Laval, Québec, Canada. 24 p. <https://www.verdeterreprod.fr/wp-content/uploads/2019/05/>

- Humus-fertility-and-sustainability-of-cropping-systems-concepts-over-the-past-three-centuries.pdf
73. Filatov V.M., Rudenko D.M., Krainiukov O.M.. Soil degradation in the context of armed conflict: A Conceptual Framework. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 340–348. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.32>
74. Filho L.W., Eustachio J.H.P.P., Fedoruk M. and Lisovska T. War in Ukraine: an overview of environmental impacts and consequences for human health. *Frontiers in Sustainable Resource Management*. 2024. Vol. 3, 1423444. <https://doi.org/10.3389/frsma.2024.1423444>
75. Filho L.W., Fedoruk M., Eustachio J.H.P.P. et al. The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 364, 121399. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399>
76. Godinho R.P., deOliveira C., Guerra M.B.B., deCarvalho T.S., Martins G.C., da Silveira Pereira W.V., Ramos S.J., Guimarães Guilherme L.R. Rare earths as emerging trace element contaminants in the soil. *Current Pollution Reports*. 2024. № 10. P. 443–458. <https://doi.org/10.1007/s40726-024-00312-y>
77. Hupy J.P., Schaetzl R.J. Introducing «bomburbation», a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science*. 2006. Vol. 171(11). P. 823–836. <https://doi.org/10.1097/01.s0000228053.08087.19>
78. Ismayilov M., Kuchinskaya I., Karimova E. Impact of military conflicts on landscape transformation (a case study for the Aghdam district of the Republic of Azerbaijan). *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2025. Вип. 62. С. 194–204. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-15>
79. Iverson R.M., Hinckley B.S., Webb R.M., & Hallet B. Physical effects of vehicular disturbances on arid landscapes. *Science*. 1981. Vol. 212(4497). P. 915–917. <https://doi.org/10.1126/science.212.4497.915>
80. Kabylda A., Gendelis S., Kravets T. et al. Trajectory of air quality in Ukraine. *Intern. Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81, № 1. P. 239–249. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314854>
81. Kotsis K.T. The impact of war on the environment. *European Journal of Ecology, Biology and Agriculture*. 2024. № 1(5). P. 89–100. [https://doi.org/10.59324/ejeba.2024.1\(5\).07](https://doi.org/10.59324/ejeba.2024.1(5).07)
82. KSE, 2024. *What environmental consequences did Ukraine suffer during the war, in addition to the damage from the explosion of the Kakhovka hydroelectric power station?* <https://shorturl.at/ezVT>
83. Kumar A. Excessive aluminium in soil. *Queios*. 2024. 293IOY.2. <https://doi.org/10.32388/293IOY>
84. Kuzmanović P., Forkapić S., Mrđa D., Hansman J., Knežević Radić J. The impact of depleted uranium on the environment in Serbia. *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 984, 179734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179734>
85. Lawrence M.J., Stemberger H.L.J., Zolderdo A.J., Struthers D.P., and Cooke S.J. The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Review*. 2015. Vol. 23. P. 443–460. <https://doi.org/10.1139/er-2015-0039>
86. Lebed V., Solokha M., Solovei V. et al. Methodological and practical aspects of using satellite imagery to assess the military impact on soils. *Scientific Horizons*. 2024. № 27(12). P. 56–75. <https://doi.org/10.48077/scihor12.2024.56>
87. Margitay L., Oshurkevych-Pankivska O., Pankivskiy Y., Drovnin S. and Kurenda S. Consequences of the ongoing war in Ukraine on the environment. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2025. № 8(1). P. 828–846. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080135>
88. Method 8330A. *Nitroaromatic and nitramines by high performance liquid chromatography (HPLC)*. Revision 1. February 2007. 28 p. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/8330a.pdf>
89. 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. Vol. 43(87). P. 1–31. <https://doi.org/10.5902/2179460X62685>
90. Naz M., Dai Z., Hussain S., Tariq M., Danish S., Khan I.U., Qi S., Du D. The soil pH and heavy metals revealed their impact on soil microbial community. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 321, 115770. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115770>
91. Nepovim A., Hebner A., Soudek P., Gerth A., Thomas H., Smrcek S., Vanek T. Degradation of 2,4,6-trinitrotoluene by selected helophytes. *Chemosphere*. 2005. № 60. P. 1454–1461. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.073>
92. Parakhnenko V.H., Zadorozhna O.M., Liakhovska N.O., Blahopoluchna A.H. Environmental assessment of chemical pollution of soils as a result of the war. *Таврійський наук. вісник*. 2023. № 131. P. 367–373. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.46>
93. Pennington J.C. *Soil sorption and plant uptake of 2,4,6-trinitrotoluene. Technical Report EL-88-12*. Environmental Laboratory of Waterways Experimental Station. Vicksburg, 1988. 173 p. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA200502.pdf>
94. Pennington, J.C., Brannon, J.M., Environmental fate of explosives. *Thermochimica Acta*. 2002. № 384. P. 163–172. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(01\)00801-2](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(01)00801-2)
95. Pennington J.C., Jenkins T.F., Ampleman G. et al. *Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges: Final Report*. Strategic Environmental Research and Development Program ERDC TR-06-13. November 2006. Arlington, 2006. 166 p. https://www.enviro.wiki/images/4/41/Pennington-2006_ERDC-TR-06-13_ESTCP-ER-1155-FR.pdf
96. Pereira P., Bašilić F., Bogunovich I., and Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 837, 155865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>
97. Petruzzelli G., Gorini F., Pezzarossa B., Pedron F. The fate of pollutants in soil. *CNR Environment and Health Interdepartmental Project*. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2010. P. 1–38. <https://dta.cnr.it/wp-content/uploads/2019/12/PIAS-C1.pdf>. Accessed 12.02.2026
98. Radiological conditions in areas of Kuwait with residues of depleted uranium. *Radiological assessment reports series*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2003. 72 p. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1164_web.pdf
99. Rawtani D., Gupta G., Khatri N. et al. Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 850, 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>
100. Retta A., Wagner L.E., Tatarko J., Todd T.C. 2013. Evaluation of bulk density and vegetation as affected by military vehicle traffic of Fort Riley, Kansas. *Transactions of the ASAE*. 2013. Vol. 56(2). P. 653–665. <https://doi.org/10.13031/2013.42687>
101. Richter-Torres P., Dorsey A., Hodes C.S. *Toxicological profile for 2,4,6-Trinitrotoluene*. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia, 1995. 208 p. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK594549/pdf/Bookshelf_NBK594549.pdf
102. Rosseland B.O., Eldhuset T.D., Staurnes M. Environmental effects of aluminium. *Environmental geochemistry and health*. 1990. 12(1–2). P. 17–27. [https://doi.org/10.1016/0960-5294\(90\)90000-0](https://doi.org/10.1016/0960-5294(90)90000-0) Environmental-effects-of-aluminium.pdf
103. Saljnikov E., Mirschel W., Prasuhn V. et al. Types of physical soil degradation and implications for their prevention and monitoring. In: *Advances in understanding of soil degradation*. Eds. E. Saljnikov, L. Mueller, A. Lavrishchev, F. Eulenstein. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2022. P. 43–73. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3>
104. Sarkar B., Mukhopadhyay R., Ramanayaka S., Bolan N., Sik Ok Y. The role of soils in the disposition, sequestration and decontamination of environmental contaminants. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Lond., B, Biological Sciences*. 2021. 376(1834), 20200177. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0177>

105. Shumilova O., Sukhodolov A., Osadcha N. et al. Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*. 2025. Vol. 387. P. 1181–1186. <https://www.science.org>
106. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Sementsova K. and Mariychuk R. Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 13, 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>
107. Solokha M., Pereira P., Symochko L. et al. Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 902, 166122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>
108. Spanggord R.J., Mabey W.R., Chou T.W. et al. Environmental fate of selected nitroaromatic compounds in the aquatic environment. In: Rickert DE, ed. *Chemical industry institute of toxicology series: Toxicity of nitroaromatic compounds*. Washington, DC: Hemisphere Publishing Corporation, 1985. P. 15–34. https://books.google.com.ua/books/about/Toxicity_of_Nitroaromatic_Compounds.html?id=0uuEAAAAIAAJ&redir_esc=y
109. Taylor S., Hewitt A., Lever J. et al. TNT particle size distribution from 155-mm howitzer rounds. *Chemosphere*. 2004. Vol. 55. P. 357–367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.11.031>
110. Taylor S., Bigl S., Packer B. Condition of in situ unexploded ordnance. *Science of the Total Environment*. 2015. № 505C. P. 762–769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.059>
111. Thestorf K., Makki M. Soils and landforms of war – Pedological investigations 75 years after World War II. *Geomorphology*. 2022. Vol. 407, 108189. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108189>
112. Vasyliuk O. Unregulated coal mining destroys Donbas nature. Posted on April 24, 2023. Ukraine War Environmental Consequences Work Group. <https://uwecworkgroup.info/unregulated-coal-mining-destroys-donbas-nature/>. Assessed 13.02.2026
113. Voorhees W.B. The effect of soil compaction on crop yield. SAE Transactions. *JSTOR*. 1986. Vol. 95, section 3. P. 1078–1084. <http://www.jstor.org/stable/44725467>
114. Yashchenko L., Androshchuk O., Vasylenko L., Chornoivan Y. Environmental risks of heavy metal pollution in war-affected soils in Ukraine. *European Journal of Environmental Sciences*. 2025. Vol. 15, № 1. P. 18–27. <https://doi.org/10.14712/23361964.2025.3>
115. Yuan Y., Wang B., Zhang S. et al. Enhanced allelopathy and competitive ability on invasive plant *Solidago canadensis* in its introduced range. *J. Plant Ecology*. 2013. Vol. 6(3). P. 253–263. <https://doi.org/10.1093/jpe/rts033>
- References**
1. *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators, Examples. Book 2* (2005). O.O. Sozinov, V.I. Prydatko, S.M. Chumachenko et al. K.: Nichlava. 592 p. ISBN: 966-8939-01-8 [in Ukrainian]
 2. Berezhniak E.M., Bondar V.I., Naumovska O.I. et al. (2024). Analysis of the manifestations of degradation processes of soil cover of Kyiv Region under the influence of military actions. *Balanced use of natural resources*, 4: 116–128 [in Ukrainian]. <https://10.33730/2310-4678.1.2025.324377>
 3. *Heavy metals in the environment of Mariupol' (ecological-geochemical aspects)* (2014). S.P. Karmazynenko, I.V. Kuraeva, A.I. Samchuk, Yu.Yu. Voytiuk, V.Y. Manichev. Kyiv: Interservice. 168 p. [in Ukrainian]. Accepted at: <https://file.lib.in.ua/pdf/samchuk-anatolii-vazhki-metaly-u-komponentakh-navkolnyshnoho-seredovyscha-m-mariupol-ekoloho-heokhimichni-aspekty.pdf>
 4. Vernadskyi V.I. (2012). Geochemistry of living matter. *Selected scientific works of academician V.I. Vernadskyi. Vol. 4, book 1*. Kyiv: Veles Publish., 504 p. [In Ukrainian]
 5. *Ammonia emissions*. (2025). [in Ukrainian]. Accepted at: <https://censor.net/ua/tag/107/amiak>
 6. *Influence of war of russia against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis of results* (2023a). A. Sploditel', O. Holubtsov, S. Chumachenko, L. Sorokina. Kyiv: «Centr of Ecological Initiatives «Ecodia», Land Matrix. 155 c. [in Ukrainian]. Accepted at: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii2.pdf>
 7. *Influence of war of russia against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis of results* (2023b). A. Sploditel', O. Holubtsov, S. Chumachenko, L. Sorokina. Eds. N. Gozak, M. Diachuk, L. Fedorov. Kyiv: «Centr of Ecological Initiatives «Ecodia». 32 p. [in Ukrainian]. Accepted at: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf>
 8. *Influence of russian aggression in state of natural resources of Ukraine* (2023). Stokal V.P., Berezhniak E.M., Naumovska O.I., Vagaliuk L.V., Ladyka M.M., Serbeniuk G.A., Palamarchuk S.P., Pavliuk S.L. Ed. V.P. Stokal. Kyiv: Publisher Centr NUBiP of Ukraine. 218 p. ISBN 978-617-8351-36-6 [in Ukrainian].
 9. *Influence of russian armed aggression on climate change: conclusions and recommendations* (2023) / [S. Ivaniuta]. Kyiv : National Institute of Strategic Research 3 p. [in Ukrainian]. Accepted at: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2023-01/climate-change-01022023.pdf>
 10. *Hygienic regulations of permissible content of chemical substances in the soil* (2020). Order of the Ministry of Health of Ukraine. 14 July, 2020, № 1595. [in Ukrainian]. Accepted at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (accessed on 23 January 2026).
 11. Holubets' M.A. (1997). *Membrane of Life*. Lviv: «Polli» Publish. 186 p. ISBN 966-7307-02-6 [in Ukrainian]
 12. Hulich M.P., Kharchenko O.O., Petrenko O.D. et al. (2024). War in Ukraine: problem of contamination by heavy metals of agricultural territories and production (Literary review). *Environment and Health*, 4: 40–44 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32402/dovkil2024.04.038>
 13. Davydchuk V.S., Zarudnaia R.F., Micheli S.V., Petrov M.F., Sorokina L.Yu., Tkachenko A.N. (1994). *Landscapes of Chernobyl Exclusion Zone and their Evaluation According to Conditions of Radionuclides Migration*. Ed. A.M. Marinich. Kyiv: Naukova Dumka. 112 p. [in Russian].
 14. Denysyk, H.I., Kiziun, A.H., & Kanskyi, V.S. (2023). The Belligerent Landscapes of Ukraine. *Ukr. Geogr. Journal*, № 3. P. 23–34. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ugz2023.03.023>
 15. *UN activities for environment protection in the regions affected by armed conflict: perspectives for Ukraine* (2022) [in Ukrainian]. Accepted at: <https://ukrainepravo.com/international-law/public-international-law/diyal%60nist%60oon-shchod-okhoronynavkolyshn%60ogo-seredovyscha-v-rayonakh-vrazhnykh-zbroynym-konflik/>
 16. Dolin V.V., Orlov O.O., Yakovlev E.O. (2024). Geochemical markers of ecosystems degradation in consequence of military aggression. *Geochemistry of Technogenesis*, 38: 59–75 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/geotech2024.38.08>
 17. Drones with optic fiber as a new source of contamination. *Ecological consequences of war in Ukraine* (2025). May – June 2025 [in Ukrainian]. Accepted at: <https://uwecworkgroup.info/environmental-consequences-of-the-war-in-ukraine-may-june-2025-review/>
 18. DSTU 8346:2015. *Soil quality. Methods of value of powered electrical conductivity, pH and dence water extract residue* (2017). [Valid from 2017-07-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].
 19. DSTU 4362:2004. *Soil quality. Indexes of soil fertility* (2006). [Valid from 2006-01-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. 19 p. [in Ukrainian].
 20. DSTU 4114-2002. *Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds according to Machygin modified method* (2002). [Valid from 2003-01-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].

21. DSTU 4289:2004. *Soil quality. Methods of determination of organic matter* (2004). [Valid from 2005-07-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].
22. DSTU 4730:2007. *Soil quality. Determination of granulometric composition by pipette method in modification of N.A. Kachynskiy* (2007). [Valid from 2008-01-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].
23. DSTU 4456:2005. *Soil quality. Methods of determination of soil acid-base buffering capacity* (2005). [Valid from 2006-10-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].
24. DSTU 7537:2014. *Soil quality. Determination of hydrolytic acidity* (2014). [Valid from 2015-04-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].
25. DSTU 7828:2015. *Soil quality. Determination of group and fractional composition of humus according to Tiurin method, in modification of Ponomariovoi and Plotnikovoi* (2015). [Valid from 2016-07-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].
26. DSTU ISO 11272-2001. *Soil quality. Determination of dry weight density* (2001). (ISO 11272:1998, IDT). [Valid from 2003-07-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].
27. DSTU ISO 14240-1:2003. *Soil quality. Determination of soil microbial biomass. Part 1. Methods of substrate-stimulated respiration* (2003) (ISO 14240-1:1997, IDT). [Valid from 2004-07-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine [in Ukrainian].
28. Dukhnevich A.V., Karpinska N.V. (2025). Ecological consequences of war: evaluation of waste impact on the environment. – Electronic scientific edition «*Analytical and comparative law*», 01: 347–352 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.01.55>
29. Egorova T.M. (2023). Ecological-geochemical threats of beligerative agrolanscapes. *Ecological Sciences*, 3(48): 37–41. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.5>
30. *Environmental losses of the environment of Ukraine as of December 4, 2025*. [in Ukrainian]. Accepted at: <https://me.gov.ua/News/Detail/6fab61dd-28e9-4b18-8b22-ef06f10498a2?lang=uk-UA&title=EkologichniRuinuvanniaVUkraini&showMenuTree=true>
31. Zhukovskiy O.V., Orlov O.O. (2025). Factors and ecological consequences of influence of military operations on forest ecosystems of Ukraine. *The Impact of the War in Ukraine on Agriculture, Forestry, Fisheries, and Veterinary Medicine* (October 29–30, 2025, Riga, the Republic of Latvia): International scientific conference. Riga: Baltija Publishing. P. 35–39 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-626-3-9>
32. Zavalova L., Kolomiychuk V., Kucher O. et al. (2025). Restoration of vegetation damaged by military operations on the territory of National Natural Park «Zalissia». *Biota. Human. Technology*, 3: 45–62. Electronic edition [in Ukrainian]. Accepted at: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.5>
33. Zaytsev Yu.O., Sobko V.I., Kozhevnikova V.L. et al. (2022). Classification of processes that cause land degradation. *Agroecological Journal*, 3: 150–159 [in Ukrainian]. <https://10.33730/2077-4893.3.2022.266420>
34. *Climate Change, 2023: increased emissions due to war and projections* / Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. 02 January, 2023 [in Ukrainian]. Accepted at: mepr.gov.ua/news/40943.html
35. *Guided aerial bombs* (2025) [in Ukrainian]. Accepted at: <https://suspijne.media/1179062-vid-pocatku-2025-roku-armia-rf-zapustila-po-ukraini-majze-44-tisaci-kerovanih-aviabomb/>
36. Moskalyk G.G., Legeta U.V. (2019). Allelopathic properties of some invasive plant species-transformers. *Scientific notes of Ternopil' National Pedagogical University*. Ser. Biology, 1(75): 73–79 [in Ukrainian]. <https://10.25128/2078-2357.19.1.9>
37. Nadochy P.P. (1998). Acid-base buffering of the soil is a criterion for assessing its quality state. *Soil Science*, 9: 1094–1102 [in Russian]
38. Nadochy P.P., Trembitskiy V.A. (2003). Acid-base buffering and the problem of liming of acidic soils of Polissya: current issues of agroecology. *Bulletin of the State Agroecological University*, 2: 3–17 [in Ukrainian]. http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/6275/1/VDAU_2003_2_3-17.pdf
39. Olkhovyk Y.O., Dudar T.V. (2025). Geochemical features of soil contamination during the war in Ukraine. *Geochemistry of Technogenesis*, 11: 12–18 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/geotech2025.39.02>
40. Orlov O.O. (2026). Factors of military influence on soil ecosystem. In: «*Sustainable forestry development in conditions of military aggression: challenges, problems and solutions*»: Conf. Mat. (Zhytomyr, 11–12 February, 2026). P. 5–9 [in Ukrainian]
41. *List of russian airstrikes during the russian invasion* (2023) [in Ukrainian]. Accepted at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B2_%D0%BF%D1%96%D0%B4_%D1%87%D0%B0%D1%81_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%B0%D0%B2%D1%96%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85_%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B2_%D0%BF%D1%96%D0%B4_%D1%87%D0%B0%D1%81_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F#2023)
42. *List of missile strikes* (2025). Accepted at: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B2_%D0%BF%D1%96%D0%B4_%D1%87%D0%B0%D1%81_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F
43. Pyrikov O.V., Chumachenko S.M., Yakovlev E.O. (2022). Geoinformation systems approach to analyzing the impact of armed conflicts on the ecological state of the environment. *Environmental safety and environmental management*, 1(41): 5–17 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.5-17>
44. Plisko I.V., Romanchuk K.Yu., Krylach S.I. (2023). Mechanical and physical degradation of arable soils as a result of military operations in Ukraine. *Bulletin of Agrarian Science*, vol. 101, № 10(847): 5–12 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-01>
45. *Damage to industrial facilities: hit in a tank with nitric acid, April 5, 2022, the city of Rubizhne* (2022) [in Ukrainian]. Accepted at: <https://ecoaction.org.ua/1500-vypadkiv-shkody-dovkilliu.html>
46. *Priorities for ensuring the ecological security of Ukraine in the conditions of russian military aggression: analytical report* (2024). [S. Ivaniuta, L. Iakushenko]. Kyiv: National Institute for Strategic Research. 61 p. [in Ukrainian]. Accepted at: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.11>
47. *Russia strikes at the confinement over power unit № 4 of ChNPP* (2025) [in Ukrainian]. Accepted at: <https://uaea.com.ua/news/pek-news/chaes.html>
48. *The sarcophagus at the Chernobyl nuclear power plant began to «leak» after being hit by a russian BPLA – IAEA*. 06.12.2025 [in Ukrainian]. Accepted at: <https://focus.ua/uk/economics/735915-udar-po-chornobilskiy-aes-sarkofag-pochav-protikati-podrobitci>
49. Ustinova I.I., Vlasenko N.O. (2023). Ecocide and post-war recovery of beligerative landscapes of Ukraine: problems, experience, perspectives. *Intern. Sci. Journal «Grail of Science»*, 27: 658–668 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.05.2023.113>
50. Filatov V.M., Rudenko D.M., Krayniukov O.M. (2025). Soil degradation in the context of armed conflict: a conceptual model. *Ukrainian Journal of Natural Science*, 13: 340–348 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.32>
51. Shevchenko O.V., Pron' O.S., Chebotarova I.V. (2024). The impact of full-scale military actions on the resilience of territories to

- climate change. *Economy and Society*, 67. Electronic resource [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-106>
52. Alasfar R.H. & Isaifan R.J. (2021). Aluminum environmental pollution: the silent killer. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 44587–44597. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14700-0>
53. Althoff P.S., Thien S.J., Todd T.C. (2010). Primary and residual effects of Abrams tank traffic on prairie soil properties. *Soil & Water Management & Conservation*, 7(6): 2151–2161. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0091>
54. Are abandoned mines flooding in Ukraine's Donbas region? *Conflict and Environment Observatory*. <https://ceobs.org/abandoned-mines-are-flooding-in-ukraines-donbas-region/> (assessed 13.02.2026).
55. Barabasz W., Albińska D., Jaśkowska M., Lipiec J. (2002). Ecotoxicology of aluminium. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(3): 199–203. <https://www.pjoes.com/pdf-87442-21301?filename=Ecotoxicology+of.pdf>
56. Biliavska L., Iutynska G., Loboda M., Ropotilov B., & Skrotyski S. (2024). Diagnostics and bioremediation of soils affected by military operations in Ukraine. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 15(3): 67–78. <https://doi.org/10.31548/biologiya/3.2024.67>
57. Bojórquez-Quintal E., Escalante-Magaña C., Echevarría-Machado I. *et al.* (2017). Aluminum, a friend or foe of higher plants in acid soils. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01767>
58. Bonchkovskiy O., Ostapenko P., Bonchkovskiy A., Shvaiko V. (2025). War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*, 964, 178594. <https://10.1016/j.scitotenv.2025.178594>.
59. Bonchkovskiy O.S., Ostapenko P.O., Shvaiko V.M., Bonchkovskiy A.S. (2025). Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyivska territorial hromada). *Journal of Geology, Geography and Geocology*, 32(3): 474–487. <https://doi.org/10.15421/112342>
60. Chai P.R., Berlyand Y., Goralnick E., Goldfine C.E., VanRooyen M.J., Hryhorczuk D. & Erickson T.B. (2022). Wartime toxicology: the spectre of chemical and radiological warfare in Ukraine. *Toxicology Communications*, 6(1): 51–57. <https://doi.org/10.1080/24734306.2022.2056374>
61. *Conceptual model for the transport of energetic residues from surface soil to groundwater by range activities* (2006). Jay L. Clausen, Nic Korte, Mary Dodson, Joe Robb, and Shirley Rieven. Final Report ERDC/CRREL TR-06-18. US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center. 165 p. Accepted at: https://www.researchgate.net/publication/235065123_Conceptual_Model_for_the_Transport_of_Energetic_Residues_from_Surface_Soil_to_Groundwater_by_Range_Activities#fullTextFileContent
62. Datsko O., Zakharchenko E., Butenko Y. *et al.* (2024). Ecological assessment of heavy metal content in Ukrainian soils. *Journal of Ecological Engineering*, 25(11): 100–108. <https://doi.org/10.12911/22998993/192669>
63. Datsko O., Melnyk O., Kovalenko I. *et al.* (2025). Estimation of the content of trace metals in Ukrainian military-affected soils. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 53(1), 14328. <https://doi.org/10.15835/nbha53114328>
64. Denysyk, H.I., Kanskiy, V.S., Ataman, L.V., Volovyk, V.M., & Denysyk, B.H. (2025). Belligerent landscape boundaries of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geocology*, 34(1): 32–40. <https://doi.org/10.15421/112504>
65. Didenko N.O. (2024). Soil damage and recovery in Ukraine: lessons from global post-war experiences. *Melioration and water management*, 2: 79–86. <https://doi.org/10.31073/mivg202402-391>
66. Dolin V., Yakovlev Ye., Kopylenko O., Trofymchuk O., Stefanyshyn D., Orlov O. (2023). Environmental and radiological threats caused by the explosive destruction of the Kakhovka HPP DAM: *Current Issues of Radiobiology–2023*.–UkrainianRadiobiologicalSociety,Zhytomyr.P.13–15. <http://doi.org/10.35668/rad.2023>
67. Dolin V., Lo Frano R., Cancemi S.A. (2024). Assessment of spent nuclear fuel in Ukrainian storage system: inventory and performance. *Energies*, 17: 1945. <https://doi.org/10.3390/en17081945>
68. DuBois F.W. and Baytos J.F. (1972). *Effect of Soil and Weather on the Decomposition of Explosives*. Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-4943.
69. DuBois F.W. and Baytos J.F. (1991). *Weathering of Explosives for Twenty Years*. Los Alamos National Laboratory Report LA-11931. Accepted at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/5616373>
70. *Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine: The OSCE publication* (2017). Kyiv: VAITE, 88 p. ISBN 978-966-2310-87-0: https://www.osce.org/sites/default/files/f/documents/4/3/362566_0.pdf Assessed 13.02.2026
71. *Explosive Ordnance Guide for Ukraine* (2022). Second edition. Geneva: Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHHD), 222 p. Accepted at: info@gichd.org
72. Feller C., Manlay R. (2001). Humus, fertility and sustainability of cropping systems: concepts over the past three centuries. Publication № 147. Université Laval, Québec, Canada. 24 p. <https://www.verdeterreprod.fr/wp-content/uploads/2019/05/Humus-fertility-and-sustainability-of-cropping-systems-concepts-over-the-past-three-centuries.pdf>
73. Filatov V.M., Rudenko D.M., Krainiukov O.M. (2025). Soil degradation in the context of armed conflict: A Conceptual Framework. *Ukrainian Journal of Natural Science*, 13: 340–348. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.32>
74. Filho L.W., Eustachio J.H.P.P., Fedoruk M. and Lisovska T. (2024). War in Ukraine: an overview of environmental impacts and consequences for human health. *Frontiers in Sustainable Resource Management*, 3: 1423444. <https://doi.org/10.3389/fsrma.2024.1423444>
75. Filho L.W., Fedoruk M., Eustachio J.H.P.P. *et al.* (2024). The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*, 364: 121399. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399>
76. Godinho R.P., de Oliveira C., Guerra M.B.B., de Carvalho T.S., Martins G.C., da Silveira Pereira W.V., Ramos S.J., Guimarães Guilherme L.R. (2024). Rare earths as emerging trace element contaminants in the soil. *Current Pollution Reports*, 10: 443–458. <https://doi.org/10.1007/s40726-024-00312-y>
77. Hupy J.P., Schaetzl R.J. (2006). Introducing «bomburbation», a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science*, 171(11): 823–836. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000228053.08087.19>
78. Ismayilov M., Kuchinskaya I., Karimova E. (2025). Impact of military conflicts on landscape transformation (a case study for the Aghdam district of the Republic of Azerbaijan). *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Ser. «Geology. Geography. Ecology»*, 62: 194–204. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-15>
79. Iverson R.M., Hinckley B.S., Webb R.M. & Hallet B. (1981). Physical effects of vehicular disturbances on arid landscapes. *Science*, 212(4497): 915–917. <https://doi.org/10.1126/science.212.4497.915>
80. Kabylda A., Gendelis S., Kravets T. *et al.* (2024). Trajectory of air quality in Ukraine. *Intern. Journal of Environmental Studies*, 81(1): 239–249. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314854>
81. Kotsis K.T. (2024). The impact of war on the environment. *European Journal of Ecology, Biology and Agriculture*, 1(5): 89–100. [https://doi.org/10.59324/ejeba.2024.1\(5\).07](https://doi.org/10.59324/ejeba.2024.1(5).07)
82. KSE, 2024. *What environmental consequences did Ukraine suffer during the war, in addition to the damage from the explosion of the Kakhovka hydroelectric power station?* Accepted at: <https://shorturl.at/eazVT>
83. Kumar A. (2024). Excessive aluminium in soil. *Queios*, 293IOY.2. <https://doi.org/10.32388/293IOY>
84. Kuzmanović P., Forkapić S., Mrđa D., Hansman J., Knežević Radić J. (2025). The impact of depleted uranium on the environment

- in Serbia. *Science of the Total Environment*, 984: 179734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179734>
85. Lawrence M.J., Stemberger H.L.J., Zoldero A.J., Struthers D.P., and Cooke S.J. (2015). The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Review*, 23: 443–460. <https://doi.org/10.1139/er-2015-0039>
86. Lebed V., Solokha M., Solovei V. *et al.* (2024). Methodological and practical aspects of using satellite imagery to assess the military impact on soils. *Scientific Horizons*, 27(12): 56–75. <https://doi.org/10.48077/scihor12.2024.56>
87. Margitay L., Oshurkevych-Pankivska O., Pankivskiy Y., Drovnin S. and Kurenda S. (2025). Consequences of the ongoing war in Ukraine on the environment. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 8(1): 828–846. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080135>
88. Method 8330A. *Nitroaromatic and nitramines by high performance liquid chromatography (HPLC)*. Revision 1. February 2007. 28 p. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/8330a.pdf>
89. Müller C.R., Pedron F.A., Barbosa B.W. *et al.* (2021). Soil degradation after traffic of a military combat vehicle Leopard 1A5BR. *Ciência e Natura, Santa Maria*, 43(87): 1–31. <https://doi.org/10.5902/2179460X62685>
90. Naz M., Dai Z., Hussain S., Tariq M., Danish S., Khan I.U., Qi S., Du D. (2022). The soil pH and heavy metals revealed their impact on soil microbial community. *Journal of Environmental Management*, 321: 115770. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115770>
91. Nepovim A., Hebner A., Soudek P., Gerth A., Thomas H., Smrcek S., Vanek T. (2005). Degradation of 2,4,6-trinitrotoluene by selected helophytes. *Chemosphere*, 60: 1454–1461. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.073>
92. Parakhnenko V.H., Zadorozhna O.M., Liakhovska N.O., Blahopoluchna A.H. (2023). Environmental assessment of chemical pollution of soils as a result of the war. *Tavriyskiy Scientific Bulletin*, 131: 367–373. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.46>
93. Pennington J.C. (1988). *Soil sorption and plant uptake of 2,4,6-trinitrotoluene. Technical Report EL-88-12*. Environmental Laboratory of Waterways Experimental Station. Vicksburg. 173 p. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA200502.pdf>
94. Pennington, J.C., Brannon, J.M. (2002). Environmental fate of explosives. *Thermochimica Acta*, 384: 163–172. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(01\)00801-2](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(01)00801-2)
95. Pennington J.C., Jenkins T.F., Ampleman G. *et al.* (2006). *Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges: Final Report*. Strategic Environmental Research and Development Program ERDC TR-06-13. November 2006. Arlington. 166 p. Accepted at: https://www.enviro.wiki/images/4/41/Pennington-2006_ERDC-TR-06-13_ESTCP-ER-1155-FR.pdf
96. Pereira P., Bašilić F., Bogunovich I., and Barcelo D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of the Total Environment*, 837: 155865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>
97. Petruzzelli G., Gorini F., Pezzarossa B., Pedron F. (2010). The fate of pollutants in soil. *CNR Environment and Health Interdepartmental Project*. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche: 1–38 <https://dta.cnr.it/wp-content/uploads/2019/12/PIAS-C1.pdf>. Accessed 12.02.2026
98. Radiological conditions in areas of Kuwait with residues of depleted uranium (2003). *Radiological assessment reports series*. Vienna: International Atomic Energy Agency. 72 p. ISSN 1020–6566. Accepted at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1164_web.pdf
99. Rawtani D., Gupta G., Khatri N. *et al.* (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of the Total Environment*, 850: 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>
100. Retta A., Wagner L.E., Tatarko J., Todd T.C. (2013). Evaluation of bulk density and vegetation as affected by military vehicle traffic of Fort Riley, Kansas. *Transactions of the ASAE*, 56(2): 653–665. <https://doi.org/10.13031/2013.42687>
101. Richter-Torres P., Dorsey A., Hodes C.S. (1995). *Toxicological profile for 2,4,6-Trinitrotoluene*. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia. 208 p. Accepted at: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK594549/pdf/Bookshelf_NBK594549.pdf
102. Rosseland B.O., Eldhuset T.D., Staurnes M. (1990). Environmental effects of aluminium. *Environmental geochemistry and health*, 12(1-2): 17–27. Accepted at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3>
103. Saljnikov E., Mirschel W., Prasuhn V. *et al.* (2022). Types of physical soil degradation and implications for their prevention and monitoring. In: *Advances in understanding of soil degradation*. Eds. E. Saljnikov, L. Mueller, A. Lavrishchev, F. Eulenstein. Cham: Springer Nature Switzerland AG. P. 43–73. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3>
104. Sarkar B., Mukhopadhyay R., Ramanayaka S., Bolan N., Sik Ok Y. (2021). The role of soils in the disposition, sequestration and decontamination of environmental contaminants. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Lond., B, Biological Sciences*, 376(1834): 20200177. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0177>
105. Shumilova O., Sukhodolov A., Osadcha N. *et al.* (2025). Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*, 387: 1181–1186. <https://www.science.org>
106. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Sementsova K. and Mariychuk R. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*. 13: 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>
107. Solokha M., Pereira P., Symochko L. *et al.* (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902: 166122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>
108. Spangord R.J., Mabey W.R., Chou T.W. *et al.* (1985). Environmental fate of selected nitroaromatic compounds in the aquatic environment. In: Rickert DE, ed. *Chemical industry institute of toxicology series: Toxicity of nitroaromatic compounds*. Washington, DC: Hemisphere Publishing Corporation. P. 15–34. Accepted at: https://books.google.com.ua/books/about/Toxicity_of_Nitroaromatic_Compounds.html?id=0uuEAAAIAAJ&redir_esc=y
109. Taylor S., Hewitt A., Lever J. *et al.* (2004). TNT particle size distribution from 155-mm howitzer rounds. *Chemosphere*, 55: 357–367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.11.031>
110. Taylor S., Bigl S., Packer B. (2015). Condition of in situ unexploded ordnance. *Science of the Total Environment*, 505C: 762–769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.059>
111. Thestorff K., Makki M. (2022). Soils and landforms of war – Pedological investigations 75 years after World War II. *Geomorphology*, 407: 108189. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108189>
112. Vasyliuk O. Unregulated coal mining destroys Donbas nature. Posted on April 24, 2023. Ukraine War Environmental Consequences Work Group. <https://uwecworkgroup.info/unregulated-coal-mining-destroys-donbas-nature/>. Assessed 13.02.2026.
113. Voorhees W.B. (1986). The effect of soil compaction on crop yield. *SAE Transactions. JSTOR*, 95(3): 1078–1084. <http://www.jstor.org/stable/44725467>
114. Yashchenko L., Androshchuk O., Vasylenko L., Chornoivan Y. (2025). Environmental risks of heavy metal pollution in war-affected soils in Ukraine. *European Journal of Environmental Sciences*, 15(1): 18–27. <https://doi.org/10.14712/23361964.2025.3>
115. Yuan Y., Wang B., Zhang S. *et al.* (2013). Enhanced allelopathy and competitive ability on invasive plant *Solidago canadensis* in its introduced range. *J. Plant Ecology*, 6(3): 253–263. <https://doi.org/10.1093/jpe/rts033>

CLASSIFICATION OF MILITARY IMPACT ON SOIL ECOSYSTEM: FACTORS, CONSEQUENCES, INDICATORS

Orlov O.O., Dolin V.V.

Orlov O.O., PhD of biological sciences, senior researcher, senior researcher of SI «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID: 0000-0003-2923-5324, orlov.botany@gmail.com

Dolin V.V., Doctor of geological sciences, professor, chief researcher, SI «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID: 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

The objective of the study is the theoretical development of the classification of military factors affected the soil ecosystem, and identification of leading factors. According to the scale of manifestation and nature of the impact on the soil ecosystem, environmental military factors were combined into 5 groups: landscape, physical, physicochemical, chemical and biological. This study first identified a group of landscape impact factors, which includes: landscape change; fragmentation of landscape and soil cover; linear and planar water and wind erosion of soil, landslides and subsidence; landscape deformation including soil cover due to shelling; littering of landscapes and soil surface contamination as a result of military operations; prolonged flooding/submergence of territories. For each environmental military factor, the environmental consequences of the action and detection indicators are provided, and for some, analysis methods are elucidated. It has been demonstrated that the environmental factors of military impact on the soil ecosystem have been studied with varying degrees of detail, while in most cases there is a simultaneous complex impact of different environmental factors on the soil, the synergistic effect of which has been practically not studied. It was concluded that the impact on the soil of a number of physical factors - acoustic, light, electromagnetic, as well as some chemical factors, in particular, soil contamination with optical fiber, has not been investigated.

Indicators of a clear causal relationship between military actions and environmental consequences have been identified. In particular, such an indicator may be a visual comparative assessment of clearly dated satellite images before and after the disturbance of landscapes due to military actions. At the same time, GIS tools allow to determine the areas of violations, classify them, etc. Such studies are relevant for establishing the areas of destroyed/transformed landscapes, the development of erosion processes, soil compaction, etc. In addition, radiocarbon analysis of wood, when ^{14}C provides a clear time mark of the fire, can be an indicator of a clear causal connection between military actions and forest fires in combination with a visual comparison of clearly dated satellite images. Organic explosives of the nitroaromatic series and their metabolites TNT, 2ADNT, 4ADNT, RDX, HMX can serve as evidence of a clear causal relationship between chemical contamination of soils and military operations. These compounds have not been studied sufficiently in Ukraine. Calculations have shown that, according to a minimum estimate, during the full-scale war between Russia and Ukraine, ammunition containing explosives was used: TNT – 31.5 thousand tons, RDX – 159.2 thousand tons, Al – 56.5 thousand tons, the residues and metabolites of which entered the environment of Ukraine. Establishing a clear cause-and-effect relationship between chemical contamination of soils with heavy metals in the combat zone in Ukraine is significantly difficult due to the high pre-war background of these metals in the soils of industrial areas - the Azov region, Donbass, Kryvbas, etc. The general conclusion is that establishing a clear causal relationship between military actions and environmental consequences in Ukraine requires special deep research.

Key words: soils, military actions, contamination, influencing military factors, environmental consequences, indicators.

Дата першого надходження статті до видання: 23.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026