

In addition, the data obtained from the analysis of bees and bee products can help beekeepers to preserve bee populations by avoiding heavily polluted areas. Such data can also be useful when attempting to establish environmental limits for concentrations of pollutants toxic to humans or bees.

4.2. Відновлення родючості ґрунту в Україні після воєнних дій

Чайка Т. О.¹, Короткова І. В.²

*¹Полтавське відділення академії наук технологічної кібернетики
України*

²Полтавський державний аграрний університет

1. Загрози для родючості ґрунтів в Україні внаслідок воєнних дій.

Україна має високу різноманітність місць існування та видів, що є частиною більш широкого регіону, який простягається через Центральну та Східну Європу та має назву «Зелене серце Європи». Це і рідкісні степові екосистеми, і прибережні заболочені території, і альпійські луки, і вікові букові ліси, і великі торфовища. На території України зосереджено 35 % біорізноманіття Європи, включаючи 70 000 видів рослин і тварин, багато з яких рідкісні, реліктові й ендемічні.

Воєнні дії наразі не тільки загрожують цим природним багатствам, а вже спричинили значної шкоди. Пересування великогабаритної військової техніки та вибухи завдають шкоди середовищам існування як усередині, так і за межами охоронних територій. Відповідно до супутникових даних Європейської інформаційної системи лісові пожежі та пожежі, спричинені війною, вже пошкодили понад 100 тис. гектарів природних екосистем. Державне агентство лісових ресурсів України вже зафіксувало у 78 разів більше пожеж, ніж за аналогічний період минулого року. Згідно з даними Міністерства екології та природних ресурсів України, щонайменше 900 природоохоронних територій, що разом охоплюють 1,2 мільйона гектарів або 30 % усіх природоохоронних територій України, постраждали від обстрілів, бомбардувань, нафтового забруднення та військових маневрів. Деякі території Смарагдової мережі (Emerald Network) знаходяться під загрозою повного знищення. Так, п'ята частина з 377 об'єктів цієї мережі, які охороняються Бернською конвенцією, зазнала деградації внаслідок воєнних дій. До них належать численні унікальні степові місцезростання найвищої природної цінності, а також густі ліси, що ростуть вздовж річки Сіверський Донець, які є притулком, їжею та місцем гніздування хижих птахів під охороною. Оскільки війська зосереджуються тут, вони ставлять під загрозу цілісність цієї гарячої точки біорізноманіття [435].

⁴³⁵ Beckmann A., Vykhov B. Assessing the environmental impacts of the war in Ukraine. URL: <https://www.fcee.org/news/assessing-the-environmental-impacts-of-the-war-in-ukraine>.

За часів повномасштабного вторгнення країни-агресора на територію України тисячі гектарів родючих українських чорноземів зазнали руйнівного впливу від воєнних дій (бомбардувань, вибухів, горіння, рух військової техніки по полях тощо). Так, ще на початку березня 2022 р. приблизно 110053 км² оброблюваних земель знаходилися у межах ризикової зони сільського господарства в Україні, що складало понад 30 % усіх оброблюваних земель в Україні. Наведені дані щодо оброблюваних площ відрізнялися від даних офіційної статистики, оскільки вони були підраховані з розпізнаної карти класифікації землекористування, загальна площа агроугідь згідно якої складає 365389 км² на території всій Україні. Для розрахунків було використана мапа землекористування Copernicus Global Land Service, що була отримана за сучасними алгоритмами обробки даних дистанційного зондування Землі (рис. 1).



Рис. 1. Мапа Українських агроландшафтів в контексті російської військової агресії

Примітка: Більш темний колір позначає агроландшафти України, які знаходяться в межах зони ризикового сільського господарства.

Джерело: дані [436].

Доцільно відзначити, що ситуація зі збереженням багатства ґрунтів в Україні була не достатньою й у довоєнний час, адже еродованими були визнані майже 26 % (16 млн га) ґрунтового покриву й понад 15 % з них потребували виведення з обробітку та консервації. Руйнівний вплив такого масштабу став наслідком несталих методів ведення сільського господарства, а також розміщення багатьох розораних територій на схилах. У військовий же час ерозійні процеси будуть мати ще більший кумулятивний вплив [437].

⁴³⁶ Майже третина українських полів може бути незасіяними або недоступними. URL: <https://uncg.org.ua/a-third-ua-crops>.

⁴³⁷ Василюк О., Колодежна В. Якою має бути доля пошкоджених вибухами українських територій? URL: <https://uncg.org.ua/iakoiu-maie-buty-dolia-poshkodzhenykh-vybukhamy-ukrainskykh-terytorij>.

Розуміння потенційної шкоди ґрунтам внаслідок воєнних дій відбувається через визнання особливої вразливості деяких ґрунтів, а також через те, що таке ґрунт. Так, щоб пухкий кам'яний матеріал на поверхні Землі став ґрунтом, потрібно перетворити його на потенційне середовище для росту рослин через педогенез. Педогенез включає різні прогресивні процеси, включаючи: вивітрювання мінералів; вилуговування; усадку та набухання глинистих мінералів; додавання аерозольних вкладень; збагачення органікою; внутрішні перерозподіли речовини; розвиток структури ґрунту; диференціацію на ґрунтові горизонти.

Ґрунтоутворення займає тривалий час. Навіть там, де кліматичні умови теплі та вологі, швидкість вивітрювання гірських порід може дозволити утворити не більше ніж 1 м ґрунту за 50 000 років на більшості типів порід. Самі верхні горизонти ґрунту, як правило, є найбільш продуктивною частиною ґрунтового профілю. І природа, і людство втрачають цю крихку плівку, що підтримує життя, на ландшафті, якщо антропогенна діяльність викликає: прискорену ерозію; збивання та змішування профілю (інверсія); пошкодження структури ґрунту шляхом ущільнення; виснаження поживних речовин; забруднення ґрунту; зменшення проникнення води тощо [438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446]. Ущільнення ґрунту збільшує його міцність, зменшує аерацію та гальмує появу сходів, ріст коренів і поглинання поживних речовин [440, 444, 447, 448, 449].

Усі ці наслідки легко виникають під час війни через проїзд транспортних засобів, детонацію вибухонебезпечних боєприпасів та різні інші дії. Одна подія може спричинити миттєву втрату ґрунту (за секунди) через початкове зміщення маси та подальшу поступову втрату ґрунту

⁴³⁸ Sparrow S. D., Wooding F. J., Whiting E. H. Effects of off-road vehicle traffic on soils and vegetation in the Denali Highway region of Alaska. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1978. Vol. 33. P. 20–27.

⁴³⁹ Eckert R. E., Wood M. K., Blackburn W. H., Peterson F. F. Impacts of off-road vehicles on infiltration and sediment production of two desert soils. *Journal of Range Management*. 1979. Vol. 32. P. 394–397.

⁴⁴⁰ Iverson R. M., Hinckley B. S., Webb R. M., Hallet B. Physical effects of vehicular disturbances on arid landscapes. *Science*. 1981. Vol. 212. P. 915–916.

⁴⁴¹ Dregne H. E. Soil and soil formation in arid regions. *Environmental effects of off-road vehicles* / eds. R. H. Webb, H. G. Wilshire. New York : Springer-Verlag, 1983. P. 15–30.

⁴⁴² Webb R. H. Compaction of desert soils by off-road vehicles. *Environmental effects of off-road vehicles* / eds. R. H. Webb, H. G. Wilshire. New York : Springer-Verlag, 1983. P. 51–79.

⁴⁴³ Doe III W. W., Julien P. Y., Odgen F. L. Maneuversheds and watersheds: Modeling the hydrologic effects of mechanized training on military lands. *Proceedings: Water resources education, training, and practice: opportunities for the next century*. Colorado-Keystone : American Water Resources Association, 1997. P. 767–776.

⁴⁴⁴ Demarais S., Tazik D. J., Guertin P. J., Jorgensen E. E. Disturbance associated with military exercises. *Ecosystems of disturbed grounds* / ed. L. R. Walker. New York : Elsevier, 1999. P. 385–396.

⁴⁴⁵ Milchunas D. G., Schulz K. A., Shaw R. B. Plant community structure in relation to long-term disturbance by mechanized military maneuvers in a semiarid region. *Environmental Management*. 2000. Vol. 25. P. 525–539.

⁴⁴⁶ Kiernan K. To protect the ecosystems that underpin livelihoods in conflicts, we need to think beyond just protecting biodiversity, we also need to protect what's under our feet. URL: [https:// https://ceobs.org/geodiversity-also-needs-protection-during-armed-conflicts](https://ceobs.org/geodiversity-also-needs-protection-during-armed-conflicts).

⁴⁴⁷ Grimes D. W., Miller R. J., Wiley P. L. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. *Agronomy Journal*. 1975. Vol. 67. P. 519–523.

⁴⁴⁸ Ayers P. D., Shaw R. B., Diersing V. E., Riper J. Van. Soil compaction from military vehicles. Presentation at the International Summer Meeting. Michigan-St. Joseph : American Society of Agricultural Engineers, 1990.

⁴⁴⁹ Demarais S., Tazik D. J., Guertin P. J., Jorgensen E. E. Disturbance associated with military exercises. *Ecosystems of disturbed grounds* / ed. L. R. Walker. New York : Elsevier, 1999. P. 385–396.

(хвилини-тисячоліття) через збій природних процесів, таких як схильність схилу до ерозії ґрунту. Як миттєва, так і прогресуюча шкода знижує продуктивність ґрунту, а шкода ґрунтовим ресурсам передбачає постійну екологічну, економічну та соціальну шкоду.

Відновлення властивостей ґрунту до попереднього стану в посушливих природних умовах є дуже повільним процесом. Розпушування сильно ущільнених ґрунтів зазвичай виникає через розширення глинистих мінералів під час зволоження, підйому замерзання-відтавання та біологічної активності [441]. Ці процеси відбуваються значно повільніше за швидкістю й інтенсивністю в посушливих екосистемах, сповільнюючи відновлення ґрунтів і характеристик рослин [450]. Біологічна ґрунтова кора зустрічається в багатьох різних середовищах існування [451] і охоплює значні частини посушливих і напівпосушливих регіонів світу. Докази свідчать про те, що біологічна ґрунтова кірка відіграє важливу роль у стабілізації ґрунту [452] та сприяє родючості ґрунту через насичення азотом і збільшення вмісту органічної речовини в ґрунті [453, 454, 455, 456]. Порушення поверхні через воєнні події має негативний вплив на біологічну ґрунтову кірку [449, 450, 453, 457, 458], призводить до втрати різноманіття та біомаси поверхневого шару ґрунту [459].

Уже перед війною Україна, як і інші країни, зіткнулася зі значними екологічними викликами, включаючи кризи зміни клімату та втрати біорізноманіття. Країна вже потеплішала майже на 1,5 °C за останні 30 років, а підвищення середньорічної температури може сягнути 3 °C до середини століття. Наслідки цих змін стають все більш очевидними, наприклад, у зниженні врожайності [435].

⁴⁵⁰ Belnap J., Warren S. D. Patton's tracks in the Mojave Desert, USA: An ecological legacy. *Arid Land Research and Management*. 2002. Vol. 16. P. 245–258.

⁴⁵¹ Belnap J., Eldridge D. J. Disturbance and recovery of biological soil crusts. *Biological soil crusts: Structure, function and management*. Heidelberg : Springer-Verlag, 2001. P. 365–386.

⁴⁵² Warren S. D. Synopsis: Influence of biological soil crusts on arid land hydrology and soil stability. *Biological soil crusts: Structure, function and management* / eds. J. Belnap, O. L. Lange. Heidelberg : Springer-Verlag, 2001. P. 351–362.

⁴⁵³ Rowlands P. G. Soil crusts. *The effects of disturbance on desert soils, vegetation and community processes with emphasis on off-road vehicles: A critical review* : Special Publication / ed. P. G. Rowlands. California : Desert Plan Staff, U.S. Department of the Interior/Bureau of Land Management, Riverside, 1980. P. 46–62.

⁴⁵⁴ Metting B. Biological surface features of semiarid lands and deserts. *Semiarid lands and deserts: Soil resource and reclamation* / ed. J. Skujinš. New York : Marcel Dekker, 1991. P. 257–293.

⁴⁵⁵ Johansen J. R. Cryptogamic crusts of semiarid and arid lands of North America. *Journal of Phycology*. 1993. Vol. 29. P. 140–147.

⁴⁵⁶ Warren S. D. Ecological role of microphytic soil crusts in arid ecosystems. *Microbial diversity and ecosystem function* : Proceedings of the IUBS-IUMS Workshop / eds. D. Allsopp, R. R. Colwell, D. L. Hawksworth. U. K., Egham : CAB International, 1995. P. 199–209.

⁴⁵⁷ Anderson D. C., Harper K. T., Holmgren R. C. Factors influencing development of cryptogamic soil crusts in Utah deserts. *Journal of Range Management*. 1982. Vol. 35. P. 180–185.

⁴⁵⁸ Warren S. D., Eldridge D. J. Biological soil crusts and livestock in arid ecosystems: Are they compatible? *Biological soil crusts: Structure, function and management* / eds. J. Belnap, O. L. Lange. Heidelberg : Springer-Verlag, 2001. P. 403–417.

⁴⁵⁹ Belnap J., Eldridge D. J. Disturbance and recovery of biological soil crusts. *Biological soil crusts: Structure, function and management* / eds. J. Belnap, O. L. Lange. Heidelberg : Springer-Verlag, 2001. P. 365–386.

Головне питання, що викликає занепокоєння, полягає в тому, як різні види порушень внаслідок воєнних дій впливають на параметри ґрунту, сукцесію рослин і потенціал відновлення [460]. Зважаючи на те, що значна частина воєнних дій у 2022 р. відбувається в зоні найродючіших ґрунтів України і Європи, то вони опиняються під значним впливом забруднення й ерозії, що у значній ступені негативно позначиться на сільському господарстві та дещо менше – на дикій природі. Дослідження свідчать, що сучасні війни можуть спричинити такі екологічні порушення [461]:

- активізація екзогенних процесів (зсувів, ерозії схилів);
- забруднення поверхневих і підземних вод;
- коливання мікроклімату;
- забруднення повітря;
- порушення біологічного кругообігу речовин;
- руйнування інфраструктури, сільськогосподарського виробництва, промислового потенціалу, комунікацій;
- докорінна зміна стану природних комплексів.

Влітку 2022 року значна кількість сільськогосподарських угідь у Херсонському, Запорізькому, Миколаївському та інших областях, що зазнали бомбардувань, була спалена разом з урожаєм. Однак, окрім зазначених візуальних пошкоджень ґрунту є й хімічне забруднення, як наслідок кожного вибуху снаряду. Такий ґрунт може бути придатним для ведення сільського господарства після відновлення, тоді як природне відновлення від окремих хімічних забруднень може тривати сотні років. У виробництві військової зброї та вибухових речовин використано хімічні сполуки, які не підлягають біологічному розкладанню, що створює реальну загрозу забруднення ґрунту та поверхневих вод, негативно впливати на біоту та екосистемні послуги, від яких отримують користь люди [462].

Порушення ґрунту, спричинені воєнними діями, в основному бувають трьох типів, як результат завдання прямої шкоди або, частіше, непрямого впливу [463]:

1. Фізичні порушення включають ущільнення внаслідок будівництва оборонної інфраструктури, риття траншей або тунелів, ущільнення через рух техніки та військ або утворення кратерів бомбами.

2. Хімічні порушення є результатом надходження забруднюючих речовин, таких як нафта, важкі метали, нітроароматичні вибухові речовини, фосфорорганічні нервово-паралітичні речовини, діоксини з гербіцидів або радіоактивні елементи.

⁴⁶⁰ Kade A. N., Warren S. D. Soil and plant recovery after historic military disturbances in the Sonoran desert, USA. *Arid Land Research and Management*. 2002. Vol. 16 (3). P. 231–243. doi: 10.1080/153249802760284784

⁴⁶¹ Platsuk L., Ibragim A. N. Recovering of the destroyed soils after the Iraq war. *Екологічна безпека*. 2012. № 2 (14). С. 37–40.

⁴⁶² Kiernan K. Geodiversity also needs protection during armed conflicts. URL: <https://ceobs.org/geodiversity-also-needs-protection-during-armed-conflicts>.

⁴⁶³ Certini G., Scalenghe R., Woods W. I. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*. 2013. Vol. 127. P. 1–15. doi: 10.1016/j.earscirev.2013.08.009

3. Біологічні порушення виникають як ненавмисні наслідки впливу на фізичні та хімічні властивості ґрунту або навмисного введення мікроорганізмів, смертельних для вищих тварин і людини, таких як ботулін або сибірська виразка. Ґрунт являє собою безпечну нішу, де такі патогени можуть зберігати свою вірулентність десятиліттями.

2. Фізичні порушення ґрунтів внаслідок воєнних дій.

Запеклі бої на території України супроводжуються пошкодженням цілісності ґрунтів внаслідок розривів від бомбардування, обстрілів ракетами, мінами й артилерійськими снарядами, що призводить до утворення урвищ, глибоких вирв (рис. 2) з порушенням природної цілісності генетичних горизонтів, що викликає значну трансформацію рельєфу, на значних площах у північній, східній та південній частинах країни (табл. 1).

1. Фізичний вплив на ґрунти внаслідок війни

Події	Результат	Наслідки
Будівництво окопів і ровів	Утворення ям і ровів	Зміна фізичних характеристик рельєфу та гідрологічної поведінки системи поверхневих і підземних вод
Обстріли та бомбардування	Утворення кратерів і зміщення ґрунтових горизонтів	Зміна ландшафтів і рельєфу
Застосування протитанкових і протипіхотних мін	Утворення кратерів	Порушення структури ґрунту, залишок на полях металевих фрагментів і вибухових речовин
Маневри військової техніки на полі	Ущільнення ґрунту	Зміна гідралічних властивостей ґрунту, що робить поля більш вразливими до ерозії
Пожежі у посівах і лісах	Вигорання родючого шару	Знищення корисної мікрофлори ґрунту, порушення його водного балансу та схильність до ерозії

Джерело: побудовано за [464].



Фото: © The State Emergency Service of Ukraine



Уламки російської ракети Точка-У в українському пшеничному полі, Донецька область (Фото: © REUTERS/Gleb Garanich)

Рис. 2. Російські ракети на сільськогосподарських полях в Україні

Джерело: дані [435, 465].

⁴⁶⁴ Пошкоджена земля: як відновити родючість ґрунту після бомбардувань та пожеж? (28.07.2022). URL: <https://www.agrilab.ua/poshkodzhena-zemlya-yak-vidnovyty-rodyuchist-gruntu-pislya-bombarduvan-ta-pozhezh>.

⁴⁶⁵ Кумбер Є. «Ніде у світі з таким не стикалися». Росія застосувала проти України всі наявні типи ракет – Повітряні сили. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/raketni-udari-po-ukrajini-rosiya-vikoristovuye-vsi-tipi-raket-ale-pochinaye-ekonomiti-dorogi-50256188.html>.

Закопані протитанкові та протипіхотні міни також викликають порушення ґрунту, якщо вони вибухають. Фактично, сама установка міни може спричинити значне порушення ґрунту. Після її активації ґрунт навколо міни швидко забруднюється пластиковими та металевими осколками, а також залишками вибухових речовин [463].

Військова техніка (танки, БТР тощо) вже залишали та продовжують залишати свої сліди на багатьох українських полях. Існують дослідження вимірювання впливу військової техніки на ґрунт, які проводилися у США. Здійснювалося порівняння вплив військової техніки на пилуватих суглинках і пилуватоважкосуглинкових ґрунтах на прикладі гусеничного танку M1A1, вагою 57,2 т, швидкістю руху 8 км/год і шириною гусениці 63,5 см (рис. 3). В результаті визначено, що пилуваті суглинки зазнавали більше негативного впливу від руху техніки на 1,4–7,3 % порівняно з важкосуглинковими ґрунтами. При цьому, ущільненість ґрунту залежить від кількості проходів техніки та може коливатися у межах 5,6–14,4 % на пилуватих суглинках і 1,7–16,5 % на важкосуглинкових ґрунтах.

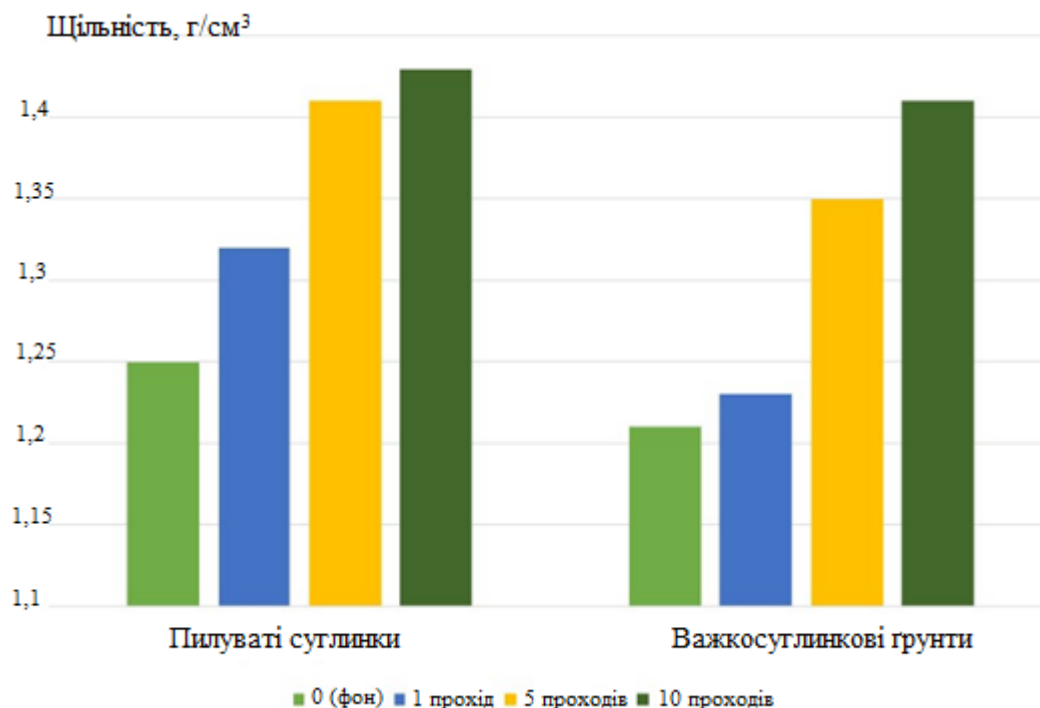


Рис. 3. Ущільнення від проходження танку M1A1 на різних типах ґрунту

Джерело: дані [464].

Доцільно відзначити, що такий тип ґрунтів в Україні характерний для територій, де велися бойові події. Так, пилуваті суглинки зустрічаються здебільшого в північних регіонах на Київщині, Сумщині та Чернігівщині, а важкосуглинкові ґрунти превалюють на Миколаївщині, Запоріжжі та Харківщині. Однак, такий поділ ґрунтів є умовним, оскільки декілька ґрунтових відмін може бути навіть у межах одного поля.

Вітчизняними фахівцями було розроблено план дій для відновлення ґрунтів після фізичного впливу воєнних дій (табл. 2).

2. План дій для відновлення ділянок після воєнних дій

Після важкої військової техніки	Внаслідок риття окопів, бліндажів тощо
1. Розмінування території	
2. Оцифрування ділянок за допомогою супутникового/БПЛА/наземного моніторингу з прив'язкою до системи координат	
3. Вимірювання пенетрометром ступеня та глибини ущільнення	3. Видалення об'єктів «неґрунтової» природи: дерев'яних, металевих та інших
4. Прийняття рішення щодо обробітку ґрунту для боротьби з ущільненням (необхідність глибокого розпушування)	4. Закопування з урахуванням, що порядок шарів ґрунту має бути близьким до непошкоджених ділянок, а верхній шар (20–30 см) – найбільш родючим

Джерело: побудовано за [464].

Відомо, що у результаті вибуху снарядів на полях також утворюються вибухові хвилі, які здійснюють їх хімічне забруднення, та супроводжуються утворенням вирв, ущільненням ґрунтів, знищенням рослинності (в тому числі внаслідок пожежі відбувається утворення гідрофобного шару на невеликих глибинах, який запобігає/обмежує інфільтрацію води) та загибеллю ґрунтової фауни (рис. 4).

В результаті відбувається зміна гідролітичного режиму та руйнується структура ґрунту, можливі невеликі зсуви і селеві потоки що врешті-решт провокує ерозію ґрунту й опустелювання [466, 467, 468, 469, 470, 471].

Ущільнений – це деградований за своєю структурою ґрунт, оскільки в ньому змінена інтенсивність процесів, які панували на довоєнному ґрунтовому ландшафті (гуміфікація, вилуговування, вивітрювання та колообіг води) [464]. Відмінні процеси ґрунтоутворення неодмінно призведуть до зміни складу ґрунту, як, наприклад, у Центральній Європі, де до сьогодні стикаються з цим після Першої світової війни. Швидкість відновлення ґрунту – процес дуже тривалий, тому що глобальна середня швидкість його утворення становить приблизно 0,06 мм/рік [472].

3. Хімічне забруднення ґрунтів внаслідок воєнних дій.

Хімічні речовини (зокрема елементи та сполуки, що не піддаються біологічному розкладанню), які використовуються у військовій амуніції та

⁴⁶⁶ Althoff P. S., Thien S. J. Impact of M1A1 main battle tank disturbance on soil quality, invertebrates, and vegetation characteristics. *Journal of Terramechanics*. 2005. Vol. 42. P. 159–176.

⁴⁶⁷ Garten C. T., Ashwood T. L. Modeling soil quality thresholds to ecosystem recovery at Fort Benning, GA, USA. *Journal of Ecological Engineering*. 2004. Vol. 23. P. 351–369.

⁴⁶⁸ Perkins D. B., Haws N. W., Jawitz J. W., Das B. S., Rao P. S. C. Soil hydraulic properties as ecological indicators in forested watersheds impacted by mechanized military training. *Ecological Indicators*. 2007. Vol. 7. P. 589–597.

⁴⁶⁹ Reyes M. R., Raczkowski C. W., Reddy G. B., Gayle G. A. Effect of wheel traffic compaction on runoff and soil erosion in no-till. *Applied Engineering in Agriculture*. 2005. Vol. 21. P. 427–433.

⁴⁷⁰ Doerr S. H., Shakesby R. A., Walsh R. P. D. Soil water repellency: Its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Reviews*. 2000. Vol. 51. P. 33–65.

⁴⁷¹ Doerr S. H., Shakesby R. A., Blake W. H., Chafer C. J., Humphreys G. S., Wallbrink P. J. Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology*. 2006. Vol. 319. P. 295–311.

⁴⁷² France's Zone Rouge is a lingering reminder of World War I's Battle of Verdun. URL: <https://education.nationalgeographic.org/resource/red-zone>.

вибухових речовинах, можуть забруднювати ґрунт і поверхневі води, що згодом може спричинити шкідливий вплив на здоров'я людини та великі екосистеми в усьому світі [473, 474].



Пожежа на полі пшениці у Миколаївській області



Вирва від снаряду на полі у Чернігівській області



Пуск із ракетного комплексу «Нептун»



Знищення сільськогосподарської техніки у Харківській області

Рис. 4. Негативний вплив воєнних дій на сільськогосподарські поля в Україні

Джерело: дані [475, 476, 477, 478].

⁴⁷³ Lima D., Bezerra M., Neves E., Moreira F. Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment. *Reviews on Environmental Health*. 2011. Vol. 26. P. 101–110.

⁴⁷⁴ Poesen J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs: Soil erosion in the Anthropocene. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2017. Vol. 43. P. 64–84.

⁴⁷⁵ Росіяни продовжують палити український хліб: на Миколаївщині вигоріло поле пшениці. URL: <https://tsn.ua/ato/rosiyani-prodovzhuyut-paliti-ukrayinskiy-hlib-na-mikolayivschini-vigorilo-pole-pshenici-foto-2120245.html>.

⁴⁷⁶ Петрович О. Військові шрами на українських полях, або Як відновити аграрний ландшафт після бомбардування. URL: <https://latifundist.com/blog/read/2884-vijskovi-shrami-na-ukrayinskih-polyah-abo-yak-vidnoviti-agrarnij-landshaft-pislya-bombarduvannya>.

⁴⁷⁷ Вріхед С. Ракетний удар: як та чим ми будемо знищувати ворожу техніку? URL: <https://www.rvk.news/region-news/raketnij-udar-yak-ta-chim-mi-budemo-znishhuvati-vorozhu-tehniku>.

⁴⁷⁸ На Харківщині російська ракета влучила у працюючий трактор. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/na-harkivsini-rosijska-raketa-vlucila-u-pracuucij-traktor>.

Як наслідок, зони військових дій з інтенсивними конфліктами, військові навчальні зони, зони стрільби, а також місця виробництва/утилізації вибухових речовин і боєприпасів вважаються одними з основних джерел забруднення наземних екосистем [479 , 480 , 481]. Такі приклади забруднення включають великий перелік органічних і неорганічних речовин у ґрунті та воді, які можуть становити значну небезпеку для здоров'я людини, а також для навколишнього середовища. Наприклад, після попадання в навколишнє середовище більшість потенційно токсичних елементів (ПТЕ) у боєприпасах окислюються під впливом повітря, особливо у вологому середовищі. Через їх підвищену розчинність у певних хімічних середовищах вони можуть стати мобільними/доступними. Потенційний вплив на людину може призвести до несприятливих наслідків, включаючи пошкодження життєво важливих органів, таких як печінка та нирки, патологію еритроцитів і подразнення епітеліальних тканин [477, 479, 482].

Дослідження свідчать, що кожна війна або навіть військові навчання протягом десятиліть залишають після себе великі території, забруднені значною мірою токсичними сполуками, головним чином вибуховими речовинами і боєприпасами (та їх залишками). Як видно з рис. 5 через воєнні дії найбільше забруднення ґрунту за всю світову історію відбулося у Франції. Після Першої світової війни 1914 р. велику територію, відому як «Зона Руж», було оголошено непридатною для використання у зв'язку з забрудненням ґрунту хімічними речовинами та важкими металами [483].

Значне забруднення ґрунту також було в Іспанії у 1939 р. під час Другої світової війни та у США через військові навчання 2011 р. Враховуючи інтенсивність і кількість використаної зброї (в тому числі заборонених видів) з 24 лютого 2022 р., Україна може посісти перше місце у цьому списку, оскільки воєнними діями охоплені величезні площі.

Хімічне забруднення ґрунтів внаслідок воєнних дій доцільно розглядати з таких позицій: забруднення потенційно токсичними елементами, вибуховими речовинами й іншими елементами.

Забруднення важкими металами ґрунту може мати негативні наслідки ще не один десяток років. Наприклад, кулі здатні вивільняти свинець, який далі поглинається рослинами. Свинець, розподіляється у різних фракціях ґрунту, тому спочатку може бути інертним, але потім через зміну умов ґрунту (наприклад, рН, вологість) стає реакційноздатним.

⁴⁷⁹ Gorecki S., Nessler F., Hube D., Mullot J., et al. Human health risks related to the consumption of foodstuffs of plant and animal origin produced on a site polluted by chemical munitions of the First World War. *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 599–600. P. 314–323.

⁴⁸⁰ Pichtel J. Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Applied and Environmental Soil Science*. 2016. Vol. 2012, 617236.

⁴⁸¹ Olson K., Tharp M. How did the Passaic River, a Superfund site near Newark, New Jersey, become an Agent Orange dioxin TCDD hotspot? *Journal of Soil and Water Conservation*. 2020. Vol. 75. P. 33A–37A.

⁴⁸² Ryu H., Han J., Jung J. W., Bae B., Nam K. Human health risk assessment of explosives and heavy metals at a military gunnery range. *Environmental Geochemistry and Health*. 2007. Vol. 29. P. 259–269.

⁴⁸³ The Real “No-Go Zone” of France: A Forbidden No Man’s Land Poisoned by War. URL: <https://www.messynessychic.com/2015/05/26/the-real-no-go-zone-of-france-a-forbidden-no-mans-land-poisoned-by-war>.

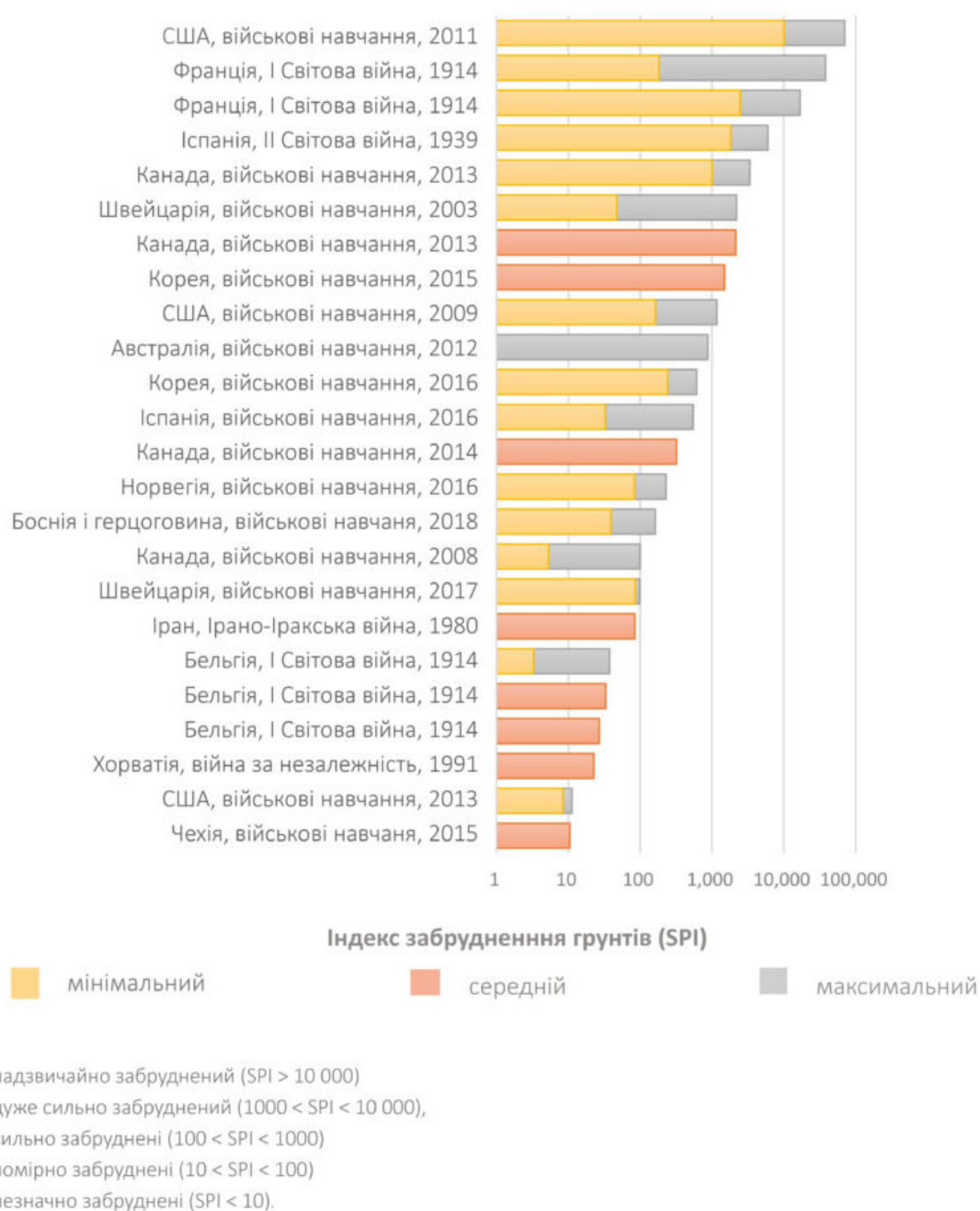


Рис. 5. Рейтинг хімічних забруднень ґрунтів внаслідок військових дій (полігони і війни)

Джерело: дані [484].

Із залишками зброї, окрім свинцю (Pb), у ґрунт потрапляють інші метали, такі як: сурма (Sb), хром (Cr), нікель (Ni), цинк (Zn), кадмій (Cd), миш'як (As), ртуть (Hg), уран (U), 2, 4-динітротолуол (DNT), 2, 4, 6-тринітротолуол (TNT), 1, 3, 5-тринітро-1, 3, 5-триазациклогексан (RDX)

⁴⁸⁴ Broomandi P., Guney M., Kim J. R., Karaca F. Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*. 2020. Vol. 12 (21), 9002. doi: 10.3390/su12219002

[485, 486, 487, 488]. Переважна більшість цих сполук є стійкими до біологічного розкладання або обробки і, таким чином, залишаються в біосфері, стаючи джерелом забруднення, потенційно шкідливим для здоров'я людини та навколишнього середовища через їх можливий токсичний вплив [489, 490].

Дослідження рослин на військових полігонах засвідчило, що вони здатні накопичувати важкі метали, які здебільшого представлені високим вмістом свинцю та його супутників (міді, нікелю, цинку та миш'яку). При цьому забруднення не обмежувалося тільки територією полігону, а завдяки вимиванню виходило за його межі [464]. Це, як вже було зазначено, створює безпосередню загрозу для здоров'я людей і довгострокову екологічну шкоду для води та ґрунту.

Доцільно відзначити, що найважливішими факторами забруднення ґрунтів виступають їх хімічні властивості та кліматичні умови. Так, процеси мобілізації важких металів посилюватимуться специфічними характеристиками кислих ґрунтів, їх піщаним складом, низькою ємністю катіонного обміну та низьким рівнем органічної речовини (окремо або в комбінації). Тоді як рухливість потенційно токсичних елементів обмежується в лужних ґрунтах, текстурою суглинків/мулистих суглинків/глини, високою ємністю та високим вмістом органіки.

Щодо впливу забруднення на довкілля вибуховими речовинами необхідно відзначити дослідження воєнних дій на сході України (в Амвросіївському та Шахтарському районах Донецької області), проведене декілька років тому міжнародною організацією «Екологія-Право-Людина». За допомогою супутникових знімків було ідентифіковано розмір і кількість воронок, тип снаряду, розрив якого призвів до утворення воронки, а також оцінено масштаби руйнувань ґрунтового покриву та підраховано збитки, нанесені державі. Дослідники змогли нарахувати утворення 15505 воронок від розривів снарядів на території, площею 225 км². Місця з великою щільністю воронок мали змішані шари ґрунтів, підстилаючи породу, безліч уламків чавуну. Окрім того, через детонацію в довкілля потрапили тонни токсичних речовин. За підрахунками, на цій території розкидано не менше 392 тонн металевих уламків, що робить поля непридатними для сільськогосподарського використання. Також у довкілля потрапили

⁴⁸⁵ Gebka K., Beldowski J., Beldowska M. The impact of military activities on the concentration of mercury in soils of military training grounds and marine sediments. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23.

⁴⁸⁶ Oh S. Y., Yoon H. S., Jeong T. Y., Jeong T. Y., Kim S. D. Evaluation of remediation processes for explosive-contaminated soils: Kinetics and Microtox[®] bioassay. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2016. Vol. 91. P. 928–937.

⁴⁸⁷ Tomic N. T., Smiljanic S., Jovic M., Gligoric M., Povrenovic D., Dosic A. Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines, and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit: Part 1-Pseudo-total Concentration. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2018. Vol. 229: 301.

⁴⁸⁸ Tomic N. T., Smiljanic S., Jovic M. P., Gligoric M., Povrenovic D., Dosic A. Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit: Part 2: Determination of Heavy Metal Fractions. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2018. Vol. 229, 303.

⁴⁸⁹ Certini G., Scalenghe R., Woods W. I. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 2013.

⁴⁹⁰ Fayiga A. O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environmental Chemistry*. 2019. Vol. 16. P. 81–91.

продукти окиснення від як мінімум 58 тонн вибухових речовин і 70 тонн оксиду алюмінію, що створилися як результат окиснення порошкоподібного алюмінію, який застосовується разом із тротилом в якості вибухової речовини [491].

Кількість вищезазначених хімічних елементів, що потрапили в ґрунт від розриву 15505 снарядів, залежно від калібру наведено у табл. 3.

3. Кількість хімічних елементів, що потрапляють в ґрунт від снарядів

Калібр снаряду, мм	Кількість воронок даного калібру	Маса заліза, т	Маса вуглецю, т	Маса сірки, т	Маса міді, т
82	4342	12,50	0,20	0,23	0,09
120	2775	47,95	0,75	0,90	0,35
152	8347	312,51	4,88	5,86	2,28
220	41	3,90	0,06	0,07	0,03

Джерело: дані [491, с. 74].

Вибухова речовина використаних снарядів складається з амотолу та гексогену, під час детонації яких утворюється низка хімічних сполук, – чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), водяна пара (H₂O), бурий газ (NO), закис азоту (N₂O), діоксид азоту (NO₂), формальдегід (CH₂O), пари ціаністої кислоти (HCN), азот (N₂), а також велика кількість ідентифікованої та неідентифікованої токсичної органіки, окислюються навколишні ґрунти, деревина, дернина, конструкції. Варто також зазначити, що воронки – це тільки видима частина розривів снарядів, оскільки димові, запалювальні та встановлені на осколкову дію снаряди не залишають воронки, але викиди від них існують, порахувати навіть приблизну кількість яких неможливо. Також небезпечними й абсолютно інертними є металеві уламки від оболонки боєприпасів, оскільки для їх виробництва зазвичай використовують чавун із включеннями сірки та міді. Остання представляє собою важкий метал, а деякі її сполуки можуть бути токсичними та негативно впливати на функціонування живих організмів [491].

Артилерійські снаряди калібру 120 мм та 152 мм дають кількість уламків масою від 1 г: 1600–2350 та 2700–3500 відповідно [492]. Чим дрібніші уламки, тим більше співвідношення площі їх поверхні до маси. Таким чином, хімічні елементи, вищезазначені у табл. 3, з поверхні уламків будуть окиснюватися, надходити до кругообігу речовин довкілля та включатися до трофічних ланцюгів. Якщо один снаряд 120 мм утворює від 1600 до 2350 уламків, то 2775 таких снарядів спричинять утворення від 4,44 млн до 6,5 млн уламків. І це тільки снаряди установки «Град». Тобто хімічні речовини, що потрапили у ґрунт, дуже розпорошені, а це сприяє їх швидкому розповсюдженню, зокрема потраплянню у ґрунтові та поверхневі води [491].

⁴⁹¹ Воєнні дії на сході України – цивілізаційні виклики людству. Львів : ЕПЛ, 2015. 136 с.

⁴⁹² Дерев'янчук А. Й., Шелест А. Й. Артилерійське озброєння і боєприпаси : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2010. 415 с.

Згідно дослідження [493], на околицях Савур-Могили в результаті розриву 15505 снарядів було вивернуто від 91,4 тис. м³ до 114,3 тис. м³ ґрунту (табл. 4). Всі сучасні фугасні і осколково-фугасні снаряди викидають у середньому на 1 кг вибухової речовини 1,2–1,5 м³ ґрунту.

4. Об'єм вивернутого ґрунту від розривів снарядів

Калібр снаряду	Маса вибухової речовини всіх використаних снарядів даного калібру, кг	Об'єм вивернутого ґрунту, м ³
82	1736,8	від 2084,16 до 2605,2
120	13875	від 16650 до 20812,5
152	58429	від 70114,8 до 87643,5
220	2132	від 2558,4 до 3298
Всього:	76172,8	від 91407,36 до 114259,2

Джерело: дані [491, с. 76].

Тобто, якщо один Камаз-самоскид вміщує 8–9 м³ ґрунту, то біля Савур-Могили було вивернуто стільки ґрунту, скільки можуть вміщувати мінімум 11425–10156 вантажних машин. Якщо в перспективі здійснювати рекультивацію даної території, то елементарно це вимагатиме хоча б розрівнювання ландшафту, тобто закопування назад такої кількості ґрунту, вже не говорячи про очищення від хімічних речовин та уламків металевої оболонки снарядів. Варто також зазначити, що для вибухових снарядів є нормою випадки, коли детонація не відбувається у 3 % снарядів, тобто вони залишаються нерозірваним. Тобто, якщо 15505 воронок – це лише 97 %, то в ґрунті на різній глибині залишаються ще приблизно 480 снарядів, що очікують свого часу. Це означає, що рекультивація буде не тільки довготривалим процесом, а і надзвичайно небезпечним.

У дослідженні міжнародної організації «Екологія-Право-Людина» було проведено хімічний аналіз ґрунту на території заповідника «Крейдова флора» (розміщений в околицях м. Слов'янськ). Було встановлена концентрація титану у пробі ґрунту на місці розриву снаряду, що у 150 разів перевищувала фонові показники. Концентрація ванадію становила 100 мг/кг. Сплави на основі титану з добавками ванадію застосовують в авіаційній і ракетній техніці. Дослідники також виявили перевищення сульфатів у 2,3 рази, рухомих форм важких металів: кадмію – 1,5 рази, свинцю – 1,3 рази. Також у с. Заквітне на місці розривів снарядів виявилось перевищення стронцію, концентрація якого становила 150 мг/кг на місці утворення воронки площею 12 м². Вміст кадмію у цій же пробі перевищував норму більш як у 9 разів, а сульфатів – у 4 рази. На місці розривів снарядів у Донецькій області було зафіксовано перевищення за рухомими формами важких металів, зокрема марганцю, міді, заліза, свинцю, кадмію, хрому і цинку [494].

⁴⁹³ Норенко К. Наслідки розривів снарядів на сході України: понівечена отруєна земля. *Екологія. Право. Людина*. 2015. № 23–24 (63–64). С. 60–63.

⁴⁹⁴ Войціховська А. Дослідження ЕПЛ впливу військових дій на довкілля на сході України. *Екологія. Право. Людина*. 2015. № 23–24 (63–64). С. 57–59.

4. Біологічні порушення ґрунтів внаслідок воєнних дій.

Необхідно додати, що від вибухів сильно страждає природна рослинність поблизу, її фактично не залишається. Відбуваються випадки, коли вибух руйнує також водонепроникний шар корінних порід, що підвищує просочування води в ґрунт, яка в ньому не затримується оскільки активно розмиває стінки вирви. Це пришвидшує відкладення органічної речовини всередині ґрунтового профілю через збільшення кількості мікрота макрофауни, але сприяє закисленню, а не збагаченню ґрунту [495]. Доцільно пам'ятати також про те, що таким шляхом агресивні забруднюючі речовини потрапляють у водоносні горизонти та водні шляхи, сприяючи переносу деяких з них далеко за межі поля бою, впливаючи на залежну від них біоту й екосистемні послуги, від яких отримують користь люди [462].

Для повного розуміння механізму впливу детонації боєприпасів на довкілля пропонується схема (рис. 6). Прослідковуючи ланцюжки реакцій, отримуємо, що наслідок ерозії ґрунтів – це втрата родючого шару та вивільнення накопиченої в ньому органіки в атмосферу, що є основною причиною глобальних змін клімату й опустелювання.

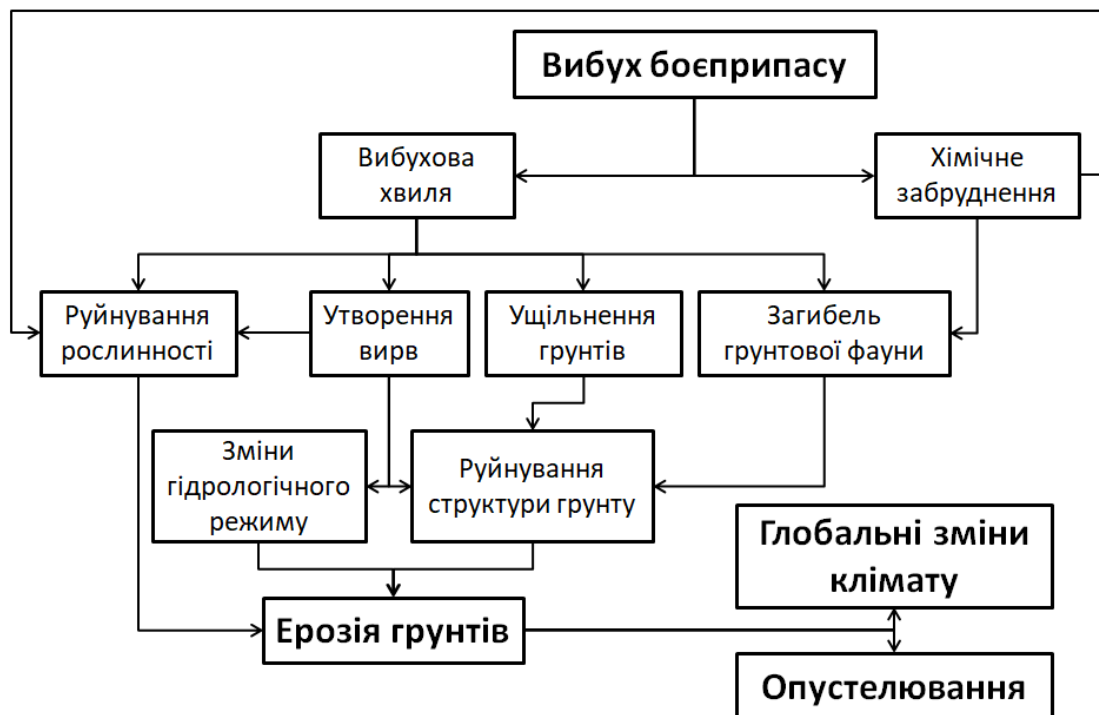


Рис. 6. Механізм впливу детонації боєприпасів на довкілля

Джерело: дані [437].

Воєнні дії призводять також до забруднення ґрунтів паливно-мастильними матеріалами й іншими нафтопродуктами, яке відбувається внаслідок руху та пошкоджень сухопутної військової техніки. У ґрунтах, просочених паливно-мастильними матеріалами, знижується

⁴⁹⁵ Heiderscheidt D. The Impact of World War one on the Forests and Soils of Europe. *Ursidae*. 2018. Vol. 7, Issue 3. URL: <https://digscholarship.unco.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1175&context=urj>.

водопроникність, витісняється кисень, порушуються біохімічні та мікробіологічні процеси. Внаслідок цього погіршується водний, повітряний режими та колообіг поживних речовин, порушується кореневе живлення рослин, гальмується їх ріст і розвиток, що спричиняє загибель [496].

Небезпеку становить і знищена військова техніка, яка перетворюється на тонни металобрухту, тобто канцерогенне сміття. Отже, після закінчення війни утилізація такої кількості металобрухту стане ще одним викликом, оскільки переробка військового брухту є більш складним і трудомістким процесом.

Ще одна проблема – шахтні води. Більшість шахт на Сході України внаслідок бойових дій затоплюється ґрунтовими водами, перетворюючись на шахтні води, які потім підмивають ґрунт. Ця вода або вимиває ґрунти, від чого відбуваються провали або навіть техногенні землетруси, як, наприклад, у Макіївці, де підземні поштовхи відбуваються постійно [497].

Ще одним важливим негативним впливом військових дій на ґрунти є негативний вплив на ріст культур і забруднення врожаю, оскільки з ґрунту важкі метали, що залишилися в ньому, потрапляють в сільськогосподарські культури, знижуючи при цьому їх продуктивність і якість [480, 498, 499]. В результаті цього, рослинна продукція має менший вміст поживних речовин та підвищену концентрацію токсичних елементів, що може мати негативний вплив на здоров'я людини [500].

Потрапляючи з ґрунту в рослини через кореневу систему, важкі метали можуть переміщуватися активно (метаболічним шляхом) або пасивно. У першому випадку поглинання та переміщення іонів металів здійснюється за системою, що складається з протопластів клітин, пов'язаних плазмодесмами. При пасивному транспорті іони, досягнувши поверхні кореня, потрапляють у вільний простір кореня і далі з транспіраційним струмом пересуваються по рослині. З активним транспортом по рослині пересувається частина металів, які виконують деякі біологічні функції (мідь, цинк, кобальт і ін.), а також метали, які хімічно подібні до необхідних елементів (кадмій є хімічним аналогом цинку). Проте більшість металів, особливо ті, які не є необхідними для рослин (свинець), переміщуються за допомогою дифузії. Контактуючи з клітинними стінками та рядом мінеральних і органічних сполук, що

⁴⁹⁶ Омельчук О., Садогурська С. Природа та війна: як військове вторгнення Росії впливає на довкілля України. URL: <https://ecoaction.org.ua/pryroda-ta-vijna.html>.

⁴⁹⁷ Війна в Україні знищує ґрунти – як врятувати мертві землі. URL: <https://superagronom.com/blog/925-viyna-v-ukrayini-znischuye-grunti--yak-vryatuvati-mertvi-zemli>.

⁴⁹⁸ Bordeleau G., Martel R., Ampleman G., Thiboutot S. Environmental Impacts of Training Activities at an Air Weapons Range. *Journal of Environmental Quality*. 2008. Vol. 37. P. 308–317.

⁴⁹⁹ Islam E., Yang X., He Z., Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *Journal of Zhejiang University: Science B*. 2007. Vol. 8. P. 1–13.

⁵⁰⁰ Волошин І. М., Мезенцева І. В. Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів. *Вісник Львівського університету. Сер. Географічна*. 2009. № 37. С. 120–128.

містяться у клітинах, метали осідають і втрачають біологічну активність. В той самий час, коли відбувається забруднення ґрунту великою кількістю металів, деяка їх частина здатна обминати захисні системи рослин і токсично впливати на них [501].

Коренева система виконує функції накопичення та зниження токсичності важких металів в багатьох видів рослин. Завдяки цьому, підвищені концентрації важких металів мають негативний вплив на кореневу систему рослин. В результаті токсичної дії важких металів, відбувається зменшення довжини головного кореня, кількості бокових коренів, біомаса кореня, а також відбувається відмирання корневих волосків. Всі зазначені порушення, призводять до зниження поглинання живильних речовин та води, в результаті чого, відбувається пригнічення росту та розвитку, а також можлива загибель рослини [500].

Стверджується, що важкі метали мають негативний характер впливу на фотосинтезуючі пігменти, в результаті чого, рослини страждають від такої хвороби, як хлороз. З метою експериментальних досліджень [502] дії важких металів (хрому, свинцю та міді) на фотосинтезуючий апарат рослин була використана їх концентрація від 1 до 30 ГДК. Визначено, що через кореневу систему вони не мають пригнічуючої дії на фотосинтетичний апарат рослин, адже показники співвідношення хлорофілів *a* та *b* (Chl *a/b*) входили в діапазон 3,2–3,7, за нормального діапазону в 2,5–3,0. При проведенні дослідів з аеральним нахождением важких металів на листки рослин, отримані результати, показали, що важкі метали не мають негативного впливу на рослини. Було використано розчини солей важких металів хрому, свинцю та кадмію в концентраціях 30 ГДК.

У результаті можлива поява візуальних ознак токсичності. Основні ознаки пригнічення рослин під впливом токсикантів неспецифічні та проявляються в основному в зниженні схожості насіння, уповільненому зростанні, ненормальному розвитку корневих систем, хлорозі, в'яненні, загибелі рослин. Однак у сільськогосподарському виробництві слід враховувати, що візуальні ознаки токсичності починають проявлятися, коли концентрації токсичних елементів значно перевищують санітарно-гігієнічні нормативи, встановлені для продукції рослинництва. При цьому вміст елементів у ґрунті, за якого з'являються ознаки фітотоксичності, також значно перевищують ГДК.

Так, ознаки ртутного отруєння проявляються при концентрації елементу в ґрунті 25–50 мг/кг (ГДК 2,1 мг/кг), кадмієвого – при 25–100 мг/кг (ОДК 0,5–2,0), свинцевого – 250–2000 мг/кг (ОДК 32–130 мг/кг),

⁵⁰¹ Самусенко Ю. В. Вплив важких металів на врожайність сільськогосподарських культур. URL: <https://superagronom.com/blog/494-vpliv-vajkih-metaliv-na-vroжайnist-silskogospodarskih-kultur>.

⁵⁰² Крайнюков О. М., Кривицька І. А., Черкашина Ю. Ю. Оцінка впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин. *Young Scientist. Сер. Біологічні науки*. 2020. № 4 (80). С. 244–252. doi: 10.32839/2304-5809/2020-4-80-51

миш'якового – при 25–50 мг/кг (ОДК 2–10 мг/кг). Тому візуальна діагностика забрудненості ґрунту та рослин металами не має сенсу [501].

Особливої уваги у цьому контексті заслуговує місце України на ринку органічної продукції, оскільки останні роки вона входила до ТОП 5 найбільших постачальників органічної продукції до ЄС. Вже після початку широкомасштабного російського вторгнення на територію України вітчизняні сільськогосподарські виробники не мають доступу до щонайменше до 30 % земель (близько 140 тис. га), які перебували під органічним виробництвом до війни [503, 504]. Значна частина земель, що зайняті під органічним виробництвом, яке відіграє значну роль у забезпеченні продовольчої безпеки [505, 506] та збереженню родючості ґрунтів [507, 508, 509], знаходяться в областях ведення бойових дій або були під окупацією [510]:

- Херсонська область (близько 81,5 тис. га) – лідер за кількістю органічних сільськогосподарських угідь в Україні, область майже повністю знаходилася під окупацією російських військ;

- Запорізька область (близько 44,5 тис. га);

- Харківська область (близько 4 тис. га);

- Чернігівська область (близько 10 тис. га).

Тому обробка сільськогосподарських угідь на територіях, які постраждали від військових дій, без проведення аналізу ґрунту не можлива, оскільки сільськогосподарська продукція перестає бути безпечною за споживачів. Так, Регламентом Комісії (ЄС) № 1881/2006 від 19 грудня 2006 року встановлено максимальні норми певних забруднюючих речовин (в нашому випадку – важких металів) у харчових продуктах [511]:

- капустяні овочі, листові овочі та культивовані гриби – 0,30 мг/кг сирової ваги для свинцю та 0,20 мг/кг для кадмію;

⁵⁰³ Україна через війну втратила третину органічних земель. URL: <https://dia.dp.gov.ua/ukra%20%97na-cherez-vijnu-vtratil-tretinu-organichnix-zemel>.

⁵⁰⁴ Чайка Т. О., Лотиш І. І. Ринок органічної продукції України в умовах війни: стан, виклики та перспективи. *Урожайність та якість продукції рослинництва за сучасних технологій вирощування (присвячена пам'яті професора Г. П. Жемели)* : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 30 верес. 2022 р.). Полтава, 2022. С. 175–181. URL: <https://drive.google.com/file/d/1kARYLHbV57Eya13arhZV-xueeb1gBe51/view>.

⁵⁰⁵ Сіренко Н. М., Чайка Т. О. Органічні продукти харчування у забезпеченні продовольчої безпеки України. *Економіка АПК*. 2012. № 1. С. 43–48. URL : http://eapk.org.ua/sites/default/files/eapk/2012/2012_01/12_01_08.pdf.

⁵⁰⁶ Chaika T., Korotkova I., Barabolia O., Shokalo N., Chetveryk O., Bilenko O., Krykunova V. Technological peculiarities of growing mustard and two-grained spelt (*Triticum Dicoccum* (Schrank) Schuebl) by organic farming methods. *International Journal of Botany Studies*. 2021. Vol. 6, Issue 6. P. 205–210. URL: <https://www.botanyjournals.com/pdf?refno=6-5-288>.

⁵⁰⁷ Чайка Т. О. Розвиток виробництва органічної продукції в аграрному секторі економіки України : монографія. Донецьк : Вид-во «Ноулідж», 2013. 320 с.

⁵⁰⁸ Чайка Т. О. Екологічні наслідки традиційного сільського господарства. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 3. С. 95–99. doi: 10.31210/visnyk2013.03.18

⁵⁰⁹ Чайка Т. О. Причини та механізми економічного стимулювання підвищення родючості ґрунтів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 3. С. 155–158. doi: 10.31210/visnyk2014.03.32

⁵¹⁰ Звернення щодо ситуації в органічному секторі України. URL: <https://organicinfo.ua/news/organic-appeal>.

⁵¹¹ Регламент Комісії (ЄС) № 1881/2006 від 19 грудня 2006 року. URL: https://vetif.gov.ua/images/documents/zakon/es/com_reg_1881.pdf.

- зернові, висівки, зародки, пшениця, рис, бобові, соя, а також ягоди – 0,20 мг/кг для свинцю та кадмію;
- зернові, за винятком висівок, зародків, пшениці та рису – 0,10 мг/кг для кадмію;
- фрукти та овочі (за винятком капусти, листових і грибів) – 0,10 мг/кг для свинцю та 0,050 мг/кг для кадмію.

У цьому випадку перед засіванням полів обов'язково треба провести аналіз ґрунту, який забруднений внаслідок воєнних дій, та здійснити заходи щодо їх відновлення. Як відомо, розриви снарядів від військової техніки утворюють вирви, які відрізняються розмірами та глибиною через різну потужність бойового заряду (рис. 7).



Рис. 7. Вирви на полях внаслідок обстрілів і розриву снаряду
Джерело: дані [484].

За спостереженнями науковців ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» НААН, у Харківській області розміри одного влучання коливаються від 3,5 м² (від артилерійських снарядів та снарядів реактивних систем залпового вогню) до 346 м² (від авіабомби) [464]. Також на супутникових знімках Ізюмського району Харківської області на ділянці 1 км² знайшли 480 вирв від снарядів калібру 82 мм, 547 вирв від снарядів 120 мм і 1025 – калібру 152 мм. Вибухами на тій ділянці фронту вивернуто близько 90 тис. тонн ґрунту. 250-кілограмова авіабомба, детонуючи, може залишити по собі вирву діаметром до 8 метрів і глибиною до 4 метрів і вивертає близько 375 м³ ґрунту [497].

У дослідженні [484] наведено референтні/граничні значення концентрації забруднюючих речовин у ґрунті, що знаходяться у військових зонах і на територіях, які постраждали від війни. При цьому, незважаючи на те, що деякі попередні вказівки були розраховані Науково-дослідним інститутом біотехнології для деяких вибухових речовин у ґрунтах [512, 513], єдині офіційні рекомендації щодо вибухових матеріалів у ґрунтах походять від Агенції з охорони довкілля (ЕРА) США [512]. Цей підхід схожий на той, що використовується для контролю промислового забруднення, заснований

⁵¹² Robidoux P. Y., Lachance B. L., Didillon F. O., Dion G. I. S. *Development of Ecological and Human Health Preliminary Soil Quality Guidelines for Energetic Materials to Ensure Training Sustainability of Canadian Forces*; Report No. 45936; National Research Council of Canada: Ottawa, ON, Canada, 2006.

⁵¹³ U.S. EPA. *Ground Water & Drinking Water: Perchlorate*; U.S. EPA: Washington, DC, USA, 2003.

на встановлених гранично допустимих концентраціях речовин у навколишньому середовищі. Однак, доступність цих загальних обмежень і законодавства обмежена декількома країнами. Крім того, ці межі не завжди збігаються за змістом, а їхнє наукове обґрунтування не завжди є зрозумілим.

5. Оцінка негативного впливу воєнних дій на земельні ресурси.

Необхідно зазначити, що наявність значного переліку важливих юридичних інструментів захисту довкілля, не убезпечує його від негативних наслідків через воєнні конфлікти в усьому світі [514]. Так, програмою ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) починаючи з 1999 року було здійснено понад 20 пост-конфліктних економічних оцінок, в яких визначалися наслідки війни для довкілля. Першим пост-конфліктним економічним дослідженням була оцінка країн, на які вплинула перша війна в Перській затоці [491].

При цьому, не на всіх територіях воєнні конфлікти призводили до екологічної катастрофи. Разом з тим, відсутність масштабних наслідків не означала, що вони не будуть довготривалими. Впливи на довкілля були найрізноманітнішими, та все ж серед них можна виокремити деякі спільні риси. Типовими негативними наслідками для довкілля були такі [515]:

1. Високий загальний рівень забруднення.
2. Постраждали водні екосистеми (річки, моря, підземні води).
3. Забруднення питної води.
4. Забруднені та зруйновані ґрунти, і як наслідок – забруднені продукти харчування.
5. Забруднення атмосферного повітря як наслідок пожеж на хімічних підприємствах, сміттєвих полігонах та у природних лісових насадженнях.
6. Руїнування природних ландшафтів.
7. Впливи на біорізноманіття.
8. Шкода для здоров'я людей, зокрема наявність довготривалих ефектів від токсичних, канцерогенних, радіоактивних речовин.
9. Поява екологічних біженців.
10. Низька позиція влади у вирішенні екологічних питань.

Забруднення довкілля взагалі, та ґрунтів зокрема, було спричинене різними факторами. Наприклад, у колишній Югославії та Косово воно здебільшого було викликане бомбардуванням промислових підприємств, в наслідку чого велика кількість викидів шкідливих речовин потрапляла у водні об'єкти, атмосферу та ґрунт [516]. У Секторі Гази високий рівень забруднення був пов'язаний із неймовірно великою кількістю утворених

⁵¹⁴ Protecting of Environment during Armed Conflicts. An Inventory and Analysis of Environment Law. UNEP, 2009. URL: http://postconflict.unep.ch/publications/int_law.pdf.

⁵¹⁵ Palestinian National Early Recovery and Reconstruction Plan for Gaza 2009–2010. URL: <http://www.undp.ps/en/focusareas/crisis/paeremar09.pdf>.

⁵¹⁶ Assessment of the Environmental Impact of Military Activities during the Yugoslavia Conflict. Preliminary findings. – The regional Environmental Center for Central and Eastern Europe, 1999. URL: <http://www.monde-diplomatique.fr/cahier/kosovo/ecologierapport>.

відходів, а також бомбардуваннями очисних споруд, що спричинило скиди неочищених стоків у Середземне море [517].

На проблему щодо забруднення та зруйнування ґрунтів (в результаті чого відбувалося забруднення продуктів харчування) було зроблено наголос у аналітичних звітах колишньої Югославії та Сектору Гази. Так, великої шкоди завдали розриви снарядів. Відновлення природного ґрунтового покриву потребує роки: для поновлення природою зруйнованих 20 см шару гумусу необхідно від 1500 до 7400 років, за 100 років відновиться тільки 0,5–2 см [518].

У колишній Югославії було зупинено сільськогосподарське виробництво на території площею 2,5 млн га через забруднення внаслідок воєнних дій. У Руанді нерозірвані боєприпаси забруднювали 900 тис. м² ґрунту, що складало 3,5 % території країни [519].

Руйнування природних ландшафтів також впливає на родючість ґрунтів, тому наголос на їх руйнації ландшафтів був присутній в оцінці стану довкілля всіх країн. У Секторі Гази найбільшу шкоду спричинив проїзд важкої воєнної техніки, в Лівані – експлуатація кар'єрів, на території Косово та Судану – наявність воронок. Великого впливу ландшафти зазнали від переселення великої кількості людей у Руанді та Судані. При спорудженні нових поселень знищуються лісові покриви. Зокрема, через вирубку лісів межа пустелі у Судані просунулась на 50–200 км. Загалом у Північному Судані було знищено 2/3 лісів, а у Південному – 40 % лісів, і ці зміни тривають [520].

У Лівані під час воєнних конфліктів на довкілля здійснювався додатковий кар'єрний тиск. Діяльність близько 200 кар'єрів призводила до знищення природної рослинності, забруднення повітря пилом, погіршення загального стану доріг. Окрім цього пожежі знищили природні лісові території. Всього в Південному Лівані сталося 48 лісових пожеж, для їх ідентифікації були використані космічні знімки NASA. Всього за різними підрахунками згоріло від 1800 до 2338 га лісів [521].

Для порівняння, на території Сходу України сталося близько 3000 пожеж за літо 2014 року. UNDP звітує, що вплив 48 пожеж у Лівані був класифікований як важкий, зі значними, довгостроковими наслідками приблизно на 10–20 років (середній регенераційний період дерев у Лівані). Загальні збитки лісовому господарству склали 15,9 млн дол. США [491].

⁵¹⁷ Detailed Infrastructure Damage Assessment. Gaza – 2014. UNDP. URL: <http://www.ps.undp.org/content/dam/papp/docs/Publications/UNDP-papp-researchdamageassessment2014.pdf>.

⁵¹⁸ Janjic V. NATO air strikes – ecological consequences, 1999. URL: <http://www.knjizevnarec.co.yu/eko/index.html>.

⁵¹⁹ Summary Report. Rwanda: From Post-Conflict to Environmentally Sustainable Development. UNEP. URL: http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/issue07/1117_eng_ch9.pdf.

⁵²⁰ Sudan. Post-Conflict Environmental Assessment. UNEP, 2007. URL: http://postconflict.unep.ch/publications/UNEP_Sudan.pdf.

⁵²¹ Republic of Lebanon. Economic Assessment of Environmental Degradation Due to July 2006 Hostilities. – October, 2007. – The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/7619/397870LB.pdf?sequence=1>.

Також для аналізу просторового пошкодження природних ландшафтів пропонується використовувати індекс щільності пошкоджених ділянок на одиницю площі та концентрацію типів пошкоджених ділянок [522]:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{F},$$

де P – індекс пошкодженої площі; f – окремі об'єкти в даній сукупності (воронки, бліндажі тощо); F – площа ділянки (площа місцевості).

Вважається, що ландшафти є непошкодженими за значення $P < 1 \%$, слабо пошкоджені – значення P у межах $1-5 \%$, помірно пошкоджені – $5-25 \%$, сильно порушені – $25-50 \%$ та занадто порушені – $P > 50 \%$ ділянки.

Сьогодні оцінити вплив воєнних дій на великих територіях можливо за допомогою супутників. Наприклад, для оцінки деградації земельних ресурсів півночі Лівану використовували поєднання супутникових зображень з біофізичними та соціально-економічними даними, що визначило вісім ключових показників [523]:

1. Втрата рослинного покриву; причина ерозії ґрунту.
2. Штучна берегова лінія; вплив на екологію морського узбережжя.
3. Густота населення; експлуатація земельних ресурсів.
4. Доступність земель сільськогосподарського призначення; залишення важкодоступних земель і міська міграція.
5. Пошкодження ландшафту; прямий вплив на рослинний покрив, ґрунтові та водні ресурси.
6. Відстань до центру конфлікту; більша шкода навколишньому середовищу в осередку конфлікту.
7. Територія під вогнем; відсутність управління збільшує ризик серйозних та інтенсивних пожеж.
8. Відновлення рослинності; швидкість відростання рослинності.

Використовуючи ці показники та довгостроковий моніторинг зміни ґрунтового покриву, дослідники склали новий індекс під назвою зведений індекс деградації земель (composite land degradation index – CLDI). Вони розділили досліджувану ділянку на кадастрові одиниці, використовуючи індекс для оцінки впливу одиниць на деградацію землі за шкалою від 0,0 до 3,0, що відповідає низькому та високому ризику деградації відповідно. Інтегроване моделювання та картографування показали, що основними чинниками деградації земель у районах із високим або помірним CLDI є їх близькість до зон конфлікту, розростання міст, збільшення щільності населення та незапланована міська забудова на периферії міст. Дані польових досліджень, проведених у 2011 та 2012 роках, були використані

⁵²² Тания И. В. Пространственно-временной анализ нарушения природных комплексов республики Абхазия в результате военных действий и особенности их восстановления : автореф. дис... канд. геогр. наук : 11.00.11. Екатеринбург, 2000. 18 с.

⁵²³ George M., Nader M., Molen I. Van der, Lovett J. Evaluating exposure to land degradation in association with repetitive armed conflicts in north Lebanon using multi-temporal satellite data. *Environmental monitoring and assessment*. 2014. Vol. 186, Issue 11. P. 7655–7672. doi: 10.1007/s10661-014-3957-5.

для визначення причин зміни ґрунтового покриву та поточного стану земель на досліджуваних ділянках. Порівнюючи результати моделі та дані безпосередньо з місць дослідження, визначено, що CLDI ефективно відображає наслідки повторюваних збройних конфліктів на деградацію землі з 90 % точністю [523].

Ерозійні процеси зазвичай розвиваються в кратерах, траншеях, комунікаційних траншеях і бліндажах. Такі порушення природних контурів ґрунту часто можуть спричинити порушення природних моделей стоку дощової води у різних масштабах. Моделі воєнного часу у подальшому усядковуються наступними водними потоками, а нові канали розмиваються в ландшафті [462]. Рекомендоване розміщення на порушених територіях – відновлення рослинності з використанням трендів біологічного відновлення. Основними заходами на сильно порушених територіях є рекультивація та поліпшення земель. Найбільш прийнятними методами відновлення порушених територій за короткочасного впливу військових подій є меліорація і консервація ґрунтів. Слабо пошкоджені та непорушені території потребують покращення шляхом озеленення і відновлення рекреаційних територій [461].

Наразі проведено дослідження територій Донецчини, які постраждали внаслідок воєнних дій та здійснено оцінювання шкоди, завданої земельним ресурсам. За допомогою супутникових знімків вдалося ідентифікувати розміри воронок і оцінити масштаби руйнувань ґрунтового покриву внаслідок воєнних дій на сході України, а саме на території Амвросіївського та Шахтарського районів Донецької області.

Амвросіївський район розташований в південній частині Донецького краю, на відстані 82 кілометри від Донецька, на півночі межує з Шахтарським районом, на південному сході – з Ростовською областю, на 73 кілометри простягається прикордонна смуга. Шахтарський район розташований на відстані 170 км від Маріупольського морського порту, переважають ґрунти – чорноземи звичайні.

У результаті проведених досліджень виявлено на території Амвросіївського району 1137 воронок загальною площею 21138 м² і 9987 воронок загальною площею 161914 м² на території Шахтарського району. Воронки утворилися від застосування осколкових та осколково-фугасних мін, установок «Град», снарядів буксованих гармат і самохідних гаубиць, а також реактивних снарядів системи залпового вогню «Ураган».

Дослідження на території Донецької області показали, що внаслідок воєнних дій мають місце забруднення ґрунтів важкими металами – свинцем, стронцієм, титаном, ванадієм, кадмієм, марганцем, нікелем. Для виключення природного поширення цих металів проаналізовано фонові проби.

Використавши методику розрахунку розмірів шкоди відповідно до національного законодавства, розраховано розмір шкоди, заподіяної внаслідок забруднення земельних ресурсів на території Амвросіївського

та Шахтарського районів (до 24 лютого 2022 року) на площі 18,3 га на місці розривів снарядів, яка становить понад 9 млн грн (на 2015 рік). Для розрахунків використано середню нормативно грошову оцінку земель досліджуваних районів згідно отриманої інформації від державного агентства земельних ресурсів України.

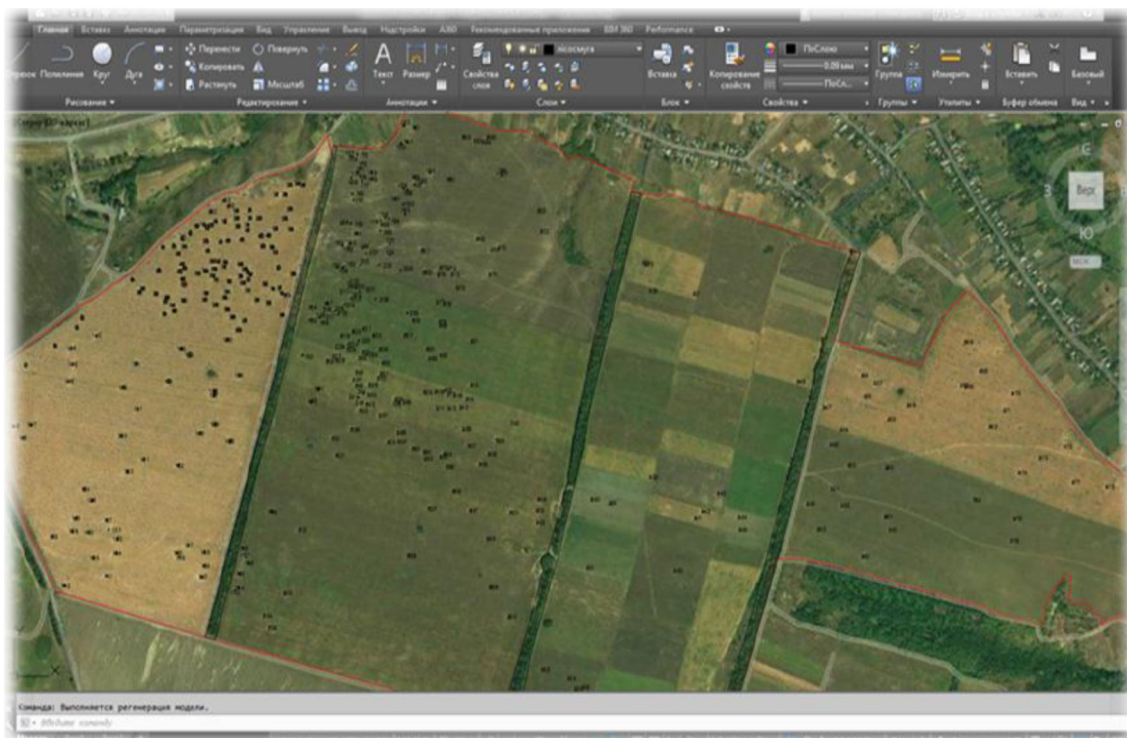
Якщо ж реплікувати розрахунок шкоди на всі воронки, що утворилися в наслідок розривів снарядів на Донеччині та Луганщині, то шкода, заподіяна земельним ресурсам і вартість рекультивації порушених земель сягатиме мільярдів гривень. Для природнього відновлення земельних ресурсів від забруднення важкими металами необхідно сотні років, а проведення рекультивації забруднених та порушених земель можливе лише в мирних умовах [491].

Згідно з Методикою визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства [524], землі вважаються забрудненими, якщо в їхньому складі виявлені негативні кількісні або якісні зміни, що сталися в результаті господарської діяльності чи впливу інших чинників. При цьому зміни можуть бути зумовлені не тільки появою в зоні аерації нових шкочинних речовин, яких раніше не було, а і збільшенням вмісту речовин, що перевищує їхню гранично допустиму концентрацію, які характерні для складу незабрудненого ґрунту або у порівнянні з даними агрохімічного паспорта (для земель сільськогосподарського призначення).

Основою розрахунків розміру шкоди від забруднення земель є нормативна грошова оцінка земельної ділянки, яка зазнала забруднення. Розмірною одиницею для розрахунку величини шкоди приймається товща землі в 0,2 м (об'єм ґрунтової маси 2000 м³ на один гектар земної поверхні). Витрати для здійснення заходів щодо зниження чи ліквідації забруднення земель збільшуються залежно від глибини просочування забруднюючої речовини у співвідношенні як 10:3 (тобто при збільшенні глибини в 10 разів відносно товщі землі 0,2 м витрати для ліквідації забруднення збільшуються в 3 рази).

Розглянемо приклад визначення вартості відновлення родючості ґрунтів від наслідків воєнних дій. Так, за допомогою супутникових знімків було обстежено територію Степанівської сільської ради Шахтарського району Донецької області, площею 3,01 га на наявність вирв від снарядів, їх кількість, розміри та визначення калібру снарядів (до повномасштабного вторгнення 2022 року). Використання геоінформаційних технологій дозволило оцінити розмір кратерів, тип кратерів, можливе хімічне забруднення, кількість воронок тощо (рис. 8).

⁵²⁴ Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98/conv/page2>.



**Рис. 8. Територія з виявленими кратерами у с. Степанівка
Шахтарського району Донецькій області**
Джерело: дані [525].



**Рис. 9. Супутниковий знімок території з кратерами різного діаметру
та розміру**

Примітки: червоним позначено кратери розміром 82 мм, синім – кратери 120 мм, зеленим – кратери 150 мм, жовтим – кратери 220 мм.

Джерело: дані [525].

⁵²⁵ The recultivation of the agricultural land, that was deteriorated during hostilities in the east of Ukraine / O. Chumachenko et al. *GeoTerrace-2020* (Lviv, 7-9 december 2020). URL: <https://openreviewhub.org/uk/node/2331>.

Перш, ніж почати процес відновлення родючості ґрунтів зазначеної ділянки потрібно здійснити її розмінування та знешкодження вибухових пристроїв, що не розірвалися. Важливість цього процесу полягає в тому, що не можна використовувати територію, яка загрожує життю та здоров'ю людей. Наразі є різні види розмінування: гуманітарне, кінцевим етапом якого є передача землі користувачу з наданням відповідних гарантій безпеки і якості; оперативне; бойове розмінування.

Гуманітарне розмінування поділяється на декілька процесів [526]:

- спершу проводиться нетехнічне обстеження територій, за результатом якого формується мапа поля й описується ситуація;
- за висновками цього обстеження приймається рішення щодо того, яким чином обстежувати, як очищувати тощо;
- якщо за результатами нетехнічного обстеження не буде виявлено прямих або непрямих доказів, ділянка вважатиметься розблокованою і доступною для використання за призначенням.

Вартість проведення гуманітарного розмінування на сьогодні складає 3–4 дол. США за 1 м², що з урахуванням обраної ділянки складає 90,3–120,4 тис. дол. США. Однак, на сьогодні завдяки волонтерському проєкту Military.feodal.online від компанії Feodal фермер може залишити заявку на безкоштовне гуманітарне розмінування [527].



Рис. 10. Гуманітарне розмінування сільськогосподарських угідь

Джерело: дані [528].

В Україні діють міжнародні стандарти протимінної діяльності (IMAS), які розроблено з урахуванням міжнародних стандартів протимінної діяльності, затверджених Службою ООН з протимінної діяльності (UNMAS). Національні стандарти протимінної діяльності розробляються центром протимінної діяльності, погоджуються

⁵²⁶ Немцева Ю. Фермерам пояснили, як буде відбуватись процес розмінування полів. URL: <https://kurkul.com/news/30212-fermeram-poyasnili-yak-bude-vidbuvatis-protses-rozminuvannya-poliv>.

⁵²⁷ Пістрюга Т. Розмінувати поля: час, гроші, ризики та чорний ринок саперів. URL: <https://latifundist.com/interview/626-rozminuvati-polya-chas-groshi-riziki-ta-chornij-rinok-saperiv>.

⁵²⁸ Стало відомо, скільки коштує розмінування фермерських полів. URL: <https://kurkul.com/news/30872-stalo-vidomo-skilki-koshtuye-rozminuvannya-fermerskih-poliv>.

національним органом протимінної діяльності та затверджуються Кабінет Міністрів України [529].



Рис. 11. Гусенична машина для розмінування Bozena-5
Джерело: дані [530].

Доцільно відзначити, що орієнтовно загальна кількість випущених снарядів на дослідній території склала 379. Наразі за даними [527] кожен п'ятий боєприпас, який прилітав на нашу територію, не вибухав. Вони становлять окрему категорію (unexploded ordnance або боєприпас, що не вибухнув) і становлять найбільшу загрозу для життя людей і техніки. Таким чином, може бути 75 снарядів, які не підірвалися. У такому випадку для розмінування території доцільно залучити саперів, оскільки навіть залишки боєприпасів можуть становити загрозу.

Для визначення подальших заходів щодо відновлення ґрунтів необхідно зробити екологічний аналіз на забруднювачі, оскільки ґрунт є своєрідним фільтром, через який з водою і пилом проходять різні органічні та неорганічні речовини. Також наявні у ґрунті важкі метали, нітрати та пестициди мають здатність накопичуватися у рослинах, а отже і в організмі людини. Враховуючи зазначене, дослідну територію доцільно перевірити за такими показниками: рН, свинець, кадмій, цинк, мідь, нікель, хром загальний, марганець, кобальт, радіаційний фон, ртуть, миш'як, сурма, ванадій, амоній, нітрати, хлориди, сірка, формальдегід, феноли. Вартість подібного аналізу становить 5900 грн [531].

Також було встановлено кількість вирв від кожного виду снарядів та об'єм вивернутого ґрунту (таблиця 5).

⁵²⁹ Войціховська А. Дослідження ЕПЛ впливу військових дій на довкілля на сході України. *Екологія. Право. Людина*. 2015. № 23–24 (63–64). С. 57–59.

⁵³⁰ Розмінувати поля: час, гроші, ризики та чорний ринок саперів. URL: <https://latifundist.com/interview/626-rozminuvati-polya-chas-groshi-riziki-ta-chornij-rinok-saperiv>.

⁵³¹ Хімічний аналіз ґрунту. URL: https://himanaliz.ua/uk/poslugi/khimichnij-analiz-gruntu/?utm_source=Google&utm_medium=CPC&utm_campaign=Analiz-Pochvy-Poisk-Ukr&utm_term=%20Ваналіз%20%20Вгрунтів&gclid=EAlaIQobChMIxfPVyprT_AIVGhF7Ch2gSgFwEAAAYAiAAEgLcJPD_BwE.

5. Розрахунок об'єму вивернутого ґрунту

Калібр, мм	Кількість вирв	Вивернутий ґрунт на 1 снаряд, м ³	Об'єм вивернутого ґрунту, м ³
82	76	0,54	41,04
120	114	6,75	769,50
150	169	9,45	1597,05
220	20	71,40	1428,00
Всього	379	88,14	3835,59

Джерело: дані [525].

Враховуючи необхідний об'єм ґрунту можна визначити вартість регенерації землі з урахуванням, що вартість чорнозему з доставкою у Донецькій області складає приблизно 200 грн/м³: $3835,59 \cdot 200 = 767078$ грн. Для здійснення механічних робіт для регенерації земель необхідне залучення бульдозерів 132 кВт (180 к.с.) і самоскидів МАЗ 551605, вартість робіт яких становитиме приблизно 131 тис. грн [525]. У підсумку загальна вартість регенерації (рекультивациі) земель становитиме 898078 грн.

Для рекультивациі дослідної ділянки необхідно провести також хімічну меліорацію, яка складається з набору активів зв'язки, спрямованих на повне поліпшення ґрунту з метою підвищення продуктивності сільськогосподарських культур [532, 533]. На дослідній території представлені ґрунти 51 чорнозему середньогумусного та 46 чорнозему звичайного середньогумусного. Через високу забрудненість ґрунту активними металами прийнято коефіцієнт його кислотності на рівні $pH = 3,0$, що вимагає проведення вапнування [534] (чим вищий рівень кислотності, тим гостріша потреба у внесенні вапняних добрив і більша віддача від їх застосування). Це передбачає внесення в ґрунт вапнякових матеріалів із метою усунення зайвої кислотності ґрунту, оскільки при невідповідному pH [535]:

1) кислий ґрунт пригнічує життєздатність корисних мікроорганізмів та загалом ґрунтової мікрофлори;

2) високий рівень кислотності нівелює обмінні процеси як в ґрунті, так і в рослині;

3) у кислих ґрунтах накопичуються шкідливі сполуки, такі, як важкорозчинний алюміній і у великій кількості марганець;

4) в рослинах, вирощених на кислих ґрунтах міститься значно більше важких металів (Pb, Hg), ніж в рослинах, вирощених на ґрунтах з оптимальним pH .

⁵³² Рекультивациа та фітомеліорація / В. П. Кучерявий та ін. Львів : Світ, 2006. 116 с.

⁵³³ Панас Р. М. Рекультивациа земель : навч. посіб. ; 2-ге вид., стер. Львів : Новий Світ-2000, 2007. 222 с.

⁵³⁴ Волошин І. М., Мезенцева І. В. Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів. *Вісник Львівського університету. Сер. Географічна*. 2009. № 37. С. 120–128.

⁵³⁵ Вапняк гранульований. URL: <https://ukrgo.com.ua/go/view-160395/vapnyak-granulovaniy-granulovane-vapno-izvestnyak>.

Для розкислення ґрунтів проводиться основне вапнування шляхом внесення гранульованого вапняку: CaCO_3 – 92–98 %, CaO – 52–56 %, реактивність – 95–100 %, фракція – 3–7 мм. При вапнуванні завдання полягає в рівномірному розподіленні та ретельному перемішуванні меліоранту з верхніми 10–20 см ґрунту при основному внесенні восени або рано навесні. В разі розкидання вапна зверху на ґрунт після основних агротехнічних заходів досягається позитивний ефект, але результат більшою мірою буде залежати від кількості опадів. Бажано також всі добрива та біологічні добавки у ґрунт вносити після вапнування, адже вапно підвищує поглинаючі властивості ґрунту і всі корисні речовини швидше засвоюються [536].

Проведення заходу з вапнування має наступний ефект [535, 537]:

- 1) збільшується насиченість ґрунту основами до оптимального рівня;
- 2) збільшується доступність рослинам азоту, фосфору, молібдену;
- 3) ґрунт збагачується кальцієм;
- 4) знижується рухливість і негативний вплив на рослини алюмінію та марганцю;
- 5) підвищується біологічна активність ґрунту;
- 6) поліпшуються агрофізичні та фізико-хімічні властивості ґрунту;
- 7) збільшується ефективність мінеральних добрив;
- 8) вапнування сприяє перетворенню недоступних сполук фосфору в ґрунті у доступні рослинам форми, що сприяє зменшенню норм внесення фосфорних добрив;
- 9) підвищення урожайності більшості культур на 15–50 %.

Норми внесення вапна коливаються від 2 до 8 т на 1 га відповідно до кислотності ґрунту та його буферної здатності. Ці норми повинні бути достатніми для підтримання в ґрунті слабокислої та близької до нейтральної реакції середовища. Вапнування ґрунту проводять один раз у 4–6 років, найефективніше діє на 2-й або 3-й рік після застосування [538].

Серед багатьох наявних нині методів розрахунку дозу вапна на гектар ґрунту в Україні поширений розрахунок дози CaCO_3 (чистого тонкорозмеленого і сухого, т/га) за результатами визначення гідролітичної кислотності за методом Каппена [536]:

$$D_{\text{CaCO}_3} = H_g \cdot 1,5,$$

де H_g – гідролітична кислотність, смоль/кг ґрунту; 1,5 – перевідний коефіцієнт.

У нашому випадку доза вапна на гектар орного ґрунту становитиме 4,5 т/га ($3,0 \cdot 1,5$). Знаючи площу обраної ділянки та кількість внесеного вапна для вирівнювання кислотності ґрунту на гектар,

⁵³⁶ Господаренко Г. Управління кислотністю ґрунтів: вапнування. URL: <http://agro-business.com.ua/ahrami-kultury/item/18782-upravlinnia-kyslotnistiu-gruntiv-vapnuvannia.html>.

⁵³⁷ Гранульоване вапно. URL: <https://znamagro.in.ua/granulovanyj-vapnyak>.

⁵³⁸ Вапнування ґрунтів. URL: https://esu.com.ua/search_articles.php?id=33110.

знаходимо загальний обсяг вапна: $3,01 \cdot 4,5 = 13,55$ т. У подальшому, знаючи необхідну кількість внесення вапна та вартість 1 тонни (в середньому 4000 грн з урахуванням доставки [539]), визначається вартість вапна 54200 грн ($13,55 \cdot 3500$).

Вартість внесення гранульованого вапна в ґрунт шляхом розкидання мінеральних добрив і трактором потужністю 300 кВт (407 к.с.) дорівнює 13951,5 грн і складається з: заробітної плати тракториста – 13500 грн, вартості машинних операцій з урахуванням площі – $150 \text{ грн/га} \cdot 3,01 \text{ га} = 451,5$ грн. Відповідно до цього загальна вартість агрохімічної рекультивациі становитиме суму вартості гранульованого вапна та його внесення в ґрунт – 68151,5 грн ($13951,5 + 54200$).

Таким чином, загальні витрати на відновлення дослідної території наведено у таблиці 6 (без врахування витрат на гуманітарне розмінування, які можливо здійснити безкоштовно за проєктом Military.feodal.online від компанії Feodal, оскільки ринкова вартість складає 90,3–120,4 тис. дол. США).

6. Витрати на відновлення родючості ґрунтів території, площею 3,01 га у с. Степанівка Шахтарського району Донецької області

Стаття витрат	Сума, грн	Частка у загальній сумі, %
Екологічний аналіз ґрунту на забруднювачі, 20 показників	5900	0,6
Чорнозем для засипання вирв від снарядів, 3835,59 м³	767078	78,9
Механічні роботи для регенерації земель із залученням бульдозерів 132 кВт (180 к.с.) і самоскидів МАЗ 551605	131000	13,5
Гранульоване вапно для вапнування ґрунту, 13,55 т	54200	5,6
Внесення гранульованого вапна трактором потужністю 300 кВт (407 к.с.)	13952	1,4
Всього	972130	100,0

Джерело: авторські розрахунки.

Доцільно зазначити, що для відновлення дослідної території з метою використання її у майбутньому для сільськогосподарського виробництва доцільно після агрохімічної меліорації застосувати фітормеліорацію ґрунту. Вона представляє собою комплекс заходів із вирощування на порушених землях певного асортименту сільськогосподарських культур. Фітомеліоративний процес може тривати 10–15 років і навіть більше та закінчується тоді, коли продуктивність сільськогосподарських культур досягне продуктивності таких самих культур на сусідніх територіях.

Найважливішим завданням сільськогосподарської фітомеліорації є розробка системи агротехнічних заходів з урахуванням специфіки насипного гумусованого шару ґрунту та забезпечення відновлення його родючості в найкоротший термін. Вирішальне значення при цьому

⁵³⁹ Гранульоване вапно для розкислення ґрунту. URL: <https://ukrgo.com.ua/go>.

відіграє правильний підбір сільськогосподарських культур, які б не лише забезпечили високу врожайність, але й сприяли поліпшенню родючості едафотопу. Встановлено, що ефективними культурами-фітомеліорантами щодо поліпшення фізико-хімічних властивостей опідзолених ґрунтів є люцерна та еспарцет; агрофізичних – люцерна, еспарцет та гірчиця; агрохімічних – люцерна, еспарцет, люпин та соя. За типами кореневої системи, характером їх розподілу за профілем, ці фітомеліоранти суттєво різняться [540].

Завдяки глибокій кореневій системі конюшини й еспарцету з глибоких шарів ґрунту (материнської породи) переноситься кальцій і нагромаджується в орному шарі. Крім того, ці рослини характеризуються позитивною дією на біоекологічні властивості ґрунту: активізують мікробіологічні процеси ґрунту, сприяють розвитку азотфіксуючих мікроорганізмів, пригнічують розвиток бур'янів, фітопатогенів та шкідливих комах [541].

Також доцільно зберігати та заліснювати землі, які постраждали від наслідків військових дій, протягом певного періоду часу. Це може бути одним із можливих векторів освоєння та відновлення земель, пошкоджених боєприпасами [532]. Наприклад, для заліснення дослідної площі 3,01 га необхідно 1204 дерева, що визначається шляхом ділення площі досліджуваного об'єкта на площу (30100 м²), необхідну для одного дерева і для його повного росту (25 м²).

Необхідно додати, що у районах бойових дій відбувається масове забруднення ґрунтів металевими осколками від снарядів, мін і мастильних матеріалів, а пряме забруднення спричинене збідненням ураном, який використовується для підвищення ефективності деяких боєприпасів. Враховуючи кількість уламків від артилерійського снаряду калібру 120 мм [492], 114 таких снарядів утворять від 182,4 тис. до 267,9 тис. уламків. Тобто, хімічні речовини, що потрапили у ґрунт, є дуже розпорошеними, що сприятиме їх швидкому розповсюдженню у ґрунт і поверхневі води. Наслідки такої міграції можуть спричинити порушення у функціонуванні живих організмів, оскільки мідь є важким металом, окремі сполуки якого можуть бути досить токсичними [493].

Таким чином, до негативних впливів на ґрунти внаслідок військових дій відносяться:

- послаблення, припинення природних процесів ґрунтоутворення;
- знищення природних ґрунтів;
- ущільнення та порушення природної структури;
- посилення сезонного висихання;

⁵⁴⁰ Демчук Н. Фітомеліорація та структурна меліорація: шляхи вирішення проблеми кислотності ґрунту. URL: <https://superagronom.com/blog/785-fitomeliorsiya-ta-strukturna-meliorsiya-shlyahi-virishennya-problemi-kislotnosti-gruntu>.

⁵⁴¹ Впровадження новітньої технології хімічної та фітомеліорації кислих та засолених ґрунтів / Н. В. Заїменко та ін. *Nauka innov.* 2016. № 12 (1). С. 66–77. doi: 10.15407/scin12.01.066

- зниження водопроникності;
- підвищення ризику ерозії;
- зараження токсичними речовинами, що можуть забруднювати майбутній врожай;
- наявність антропогенних відходів (снарядів, осколків);
- зміна кислотно-лужного балансу та фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Отже, економічна оцінка наслідків воєнних дій для родючості ґрунтів не дозволяє в повній мірі визначити у грошовому еквіваленті всі наслідки. Зокрема, втрачені організми чи цілі популяції окремих видів оцінити неможливо. Зазвичай оцінюються тільки ті впливи, які можна побачити та про які відомо. Однак, навіть серед побаченого можливим є оцінка не більше 35–40 % від реальних наслідків.

6. Напрями відновлення родючості ґрунтів в Україні після воєнних дій.

На сьогодні у національному законодавстві України достатньо добре врегульовані питання захисту прав людини на безпечне для життя та здоров'я довкілля під час воєнних дій. Низка центральних органів виконавчої влади наділені повноваженнями, які дозволяють здійснювати належний моніторинг за станом елементів довкілля під час воєнних дій, визначати розмір заподіяної шкоди, планувати заходи для ліквідації негативних наслідків. Також у вітчизняному правовому полі існують дієві механізми захисту територій, які зазнали негативних наслідків воєнних дій. Це, зокрема, введення надзвичайного стану, оголошення території зоною надзвичайної екологічної ситуації, консервація деградованих та малопродуктивних земель тощо.

Відповідно до Наказу Мінагрополітики та продовольства від 26 квітня 2013 року № 283 «Про затвердження Порядку консервації земель» [542], а також ст. 171–172 Земельного кодексу України [543] порядок визначає організаційні засади щодо консервації деградованих і малопродуктивних земель, господарське використання яких є екологічно небезпечним та економічно неефективним, а також техногенно забруднених земельних ділянок, на яких неможливо одержати екологічно чисту продукцію, а перебування людей на цих земельних ділянках є небезпечним для їх здоров'я.

Забруднюючі речовини, що спричинили забруднення земельної ділянки, поділені на 4 групи небезпечності, основою для визначення яких є величини гранично допустимих концентрацій (ГДК) та орієнтовно допустимих концентрацій (ОДК) хімічних речовин в ґрунті.

⁵⁴² Порядок консервації земель від 19.01.2022 р. № 35. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/35-2022-%D0%BF#Text>.

⁵⁴³ Земельний кодекс України від 25 жовт. 2001 р. № 2769-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.

7. Орієнтовні показники, що характеризують ґрунтові властивості та зумовлюють необхідність консервації земель за природно-сільськогосподарськими зонами

Властивості й ознаки ґрунтів	Одиниці виміру	Показники ґрунтових властивостей (з урахуванням зонального місцезонашування)
Еродованість (змитість і дефльованість)	Ступінь еродованості ґрунтів	Розмиті, сильно та середньо змиті, сильно та середньо дефльовані
Скелетність	Уміст уламків гірських порід розміром 3 мм, %	> 26 % від об'єму ґрунту (у 30 см шарі ґрунту)
Легкий гранулометричний склад	Вміст фізичної глини (часток діаметром менше 0,01 мм), %	а) зона Полісся – до 3; б) зона Лісостепу – до 7; в) зони Степу і Сухого степу – до 10
Важкий гранулометричний склад поверхнево оглеєних ґрунтів	Вміст фізичної глини (часток діаметром менше 0,01 мм), %	Понад 50
Гумусованість	Вміст гумусу, % від маси ґрунту	а) на Поліссі – менше 0,5; б) у Лісостепу, Степу північному і південному – менше 1,0; в) у Сухому степу – 1,0
Реакція ґрунтового розчину	pH (водний)	В усіх зонах: а) менше 4,0; б) понад 8,5
Вміст рухомого алюмінію	мг/екв. на 100 г ґрунту	Понад 3,0
Вміст увібраного натрію	% від суми увібраних основ	Понад 10
Засолення	% від маси ґрунту, у перерахунку на токсичні солі	а) содове – понад 0,1; б) сульфатно-хлоридне – понад 0,2; в) сульфатне – понад 1,0
Фізична деградація	Об'ємна маса, г/куб. см	а) понад 1,5 – для суглинкових і глинистих ґрунтів; б) понад 1,7 – для супіщаних і піщаних ґрунтів
Спрацювання органогенних ґрунтів (торфових)	Потужність органогенного шару, см	Менше 30
Вторинна підтопленість (заболоченість)	Рівень підґрунтових вод, м	Менше 1,0
Хімічне забруднення	Граничнодопустима концентрація (ГДК)	Перевищення ГДК рухомих форм (амонійно-ацетатна витяжка)
Радіаційне забруднення	Щільність забруднення місцевості цезієм-137, стронцієм-90, Кі/км ²	Cs-137 – більше 15; Sr-90 – більше 3

Джерело: дані [491].

Консервація земель здійснюється за наявності еродованих земель, перезволожених земель з підвищеною кислотністю або засоленістю та ґрунтів, забруднених хімічними речовинами й іншими видами забруднень, небезпечних для здоров'я людей; радіаційно небезпечних, радіоактивно забруднених земель або забруднених важкими металами та іншими хімічними елементами визначеними у таблиці 7.

На час проведення консервації земель забороняється зміна цільового призначення земельної ділянки та ведення будь-якої діяльності, крім передбаченої проектами консервації земель.

Зазвичай рекультивація пошкоджених снарядами ґрунтів задля повернення їх у сільськогосподарське виробництво, після виконання необхідних заходів з обстеження та розмінування, здійснюється шляхом механічного загортання скребками бульдозерів і грейдерів, що не враховує внутрішню будову ґрунту та генетичні горизонти, тобто проводиться груба рекультивація.

Тоді як відтворення природної родючості ґрунту після грубої рекультивації в місцях руйнації військовими діями прогнозовано буде відбуватися декілька десятків років в залежності від площі руйнації та вимагатиме вагомих фінансових вкладень, без яких вирощування стійких, якісних і безпечних для споживачів урожаїв сільськогосподарських культур буде проблематичним.

Враховуючи вищезазначене пропонується певний порядок дій для відновлення родючості ґрунтів з різними ступенями та причинами пошкоджень (рис. 12).

На розмінування українських територій, за прогнозами ООН, знадобиться, у кращому випадку, від 5 до 7 років за умови використання новітніх супутникових систем ідентифікації мін. За попередніми розрахунками Київської школи економіки, вартість обстеження земель із високим ризиком мінного забруднення та розмінування постраждалих територій оцінюється в 436 млн дол. США. Вартість подальшої рекультивації земель із пошкодженим родючим шаром ґрунту – у 39,6 млн дол. США. Наприклад, Польщі після Другої світової війни знадобилося близько 12 років, щоб розмінувати території країни. У середині червня 2022 року кількість розмінованих територій уже становила 2 мільйони гектарів, проте ще 30 мільйонів залишаються замінованими. Згідно даних ООН, Україна – одна з найбільш замінованих країн світу поруч з Афганістаном, Сирією та Боснією [544].

⁵⁴⁴ Реабілітація українських ґрунтів після війни коштуватиме сотні мільйонів доларів — експерти. URL: <https://superagronom.com/news/16200-reabilitatsiya-ukrayinskih-gruntiv-pislya-viyni-koshtuvatime-sotni-milyoniv-dolariv--eksperti>.



Рис. 12. План дій для ділянок на полях, пошкоджених вибухами, горінням військової техніки

Джерело: побудовано за [464].

Варіантами відновлення ділянок, які пошкоджені вибухами, та мають глибокі воронки/вирви передбачають наступні заходи:

1. Засипати ґрунтовою масою з урахуванням, що порядок шарів ґрунту має бути близьким до природного, а верхній шар (20–30 см) – найбільш родючим. Засипання в хаотичному порядку призведе до того, що така ділянка буде низькопродуктивною для сільськогосподарських культур, а її відновлення потребуватиме додаткових заходів (внесення органічних добрив, меліорантів, фітомеліорації тощо). Отже, цей варіант може бути економічно невиправданим.

2. Залишити для відновлення природним шляхом або заліснення, оскільки відсутність рослинного покриву на цих ділянках підвищує їх ерозійну небезпеку. Закони природи у стані спокою забезпечать віновлення рослинного покриву та родючості.

У випадку використання території під пасовища, то після гуманітарного розмінування вирви, які утворилися після вибухів,

зарівнюються, та декілька років поспіль висівається суміш бобово-злакових трав. У перший рік землю доцільно переорати та засіяти, а наступні роки – без оранки підсівати, «врізаючи» рядки. За можливості, ґрунт варто удобрювати відходами тваринництва, перегноєм, мінеральними добривами. Також доцільно вносити під оранку перед першим посівом біопрепарат на основі комплексу мікроорганізмів. Їхнє використання сприятиме відродженню корисної мікрофлори в ґрунті та поліпшить стан рослин, розвиток їхніх кореневих систем, що особливо важливо для формування структури ґрунту.

Якщо територію планують використовувати під посіви сільськогосподарських культур, то потрібно зарівняти вирви й переорати. В ідеалі – зробити найпростіший аналіз ґрунту пошарово – через кожні 20 сантиметрів до глибини в один метр, щоб зрозуміти, чи забезпечена земля рухомими формами азоту, фосфору, калію, і яка реакція середовища (рН). Якщо ґрунт кислий, необхідно провести вапнування; якщо лужний – гіпсування, це не дасть важким металам проникати через кореневу систему в рослини та плоди. Також відповідно до результатів аналізу ґрунту, потрібно внести мінеральні добрива, а в ідеалі – й органічні. Також варто обов'язково збагатити мікробіоту ґрунту біопрепаратами й повторювати це щороку. Висівати 1–3 роки поспіль суміш ячменю й еспарцету як вирівнювальний посів. Можливо здійснити рекультивацію та висадити культури, не схильні до накопичення важких металів, технічні культури (бавовну, льон). Якщо на рослинах будуть помітні ознаки хвороб, то варто звернутися до фахівців-біологів [545].

Якщо територія з вирвами додатково забруднена залишками нафтопродуктів, шлаків тощо, то після вирівнювання потрібно обов'язково відібрати проби ґрунту. Важливо в такому випадку визначити вміст токсичних сполук у верхньому шарі землі та можливість використання цієї території для вирощування сільськогосподарських культур. Але, щоб не втрачати час, під оранку внести біопрепарат і посіяти суміш бобово-злакових трав. Подальші рішення про відтворення родючості ґрунту та використання ділянки слід ухвалювати, залежно від результатів аналізу [545].

Наукові дослідження свідчать, що найбільш екологічно привабливим, економічно рентабельним і тому перспективним методом хімічної меліорації є внесення органічних матеріалів у комплексі з кремнієвмісними мінералами природного походження. Як органічний матеріал доцільно застосовувати сапропель – поновлювані природні донні органомінеральні відкладення прісноводних озер, які утворюються внаслідок анаеробного розкладання органіки рослинного і тваринного

⁵⁴⁵ Самосват І. «Шанс на порятунок існує». Як війна на сході впливає на ґрунти та що з цим робити. URL: <https://shotam.info/terytoriia-donbasu-mozhe-peretvorytisia-na-pusteliu-yak-viyna-na-skhodi-vplyvaie-na-grunty-ta-shcho-z-tsym-robyty>.

походження. Завдяки лужній реакції ($\text{pH} = 9,8\text{--}10,2$) сапропель ефективно знижує кислотність ґрунту. Крім того, сапропель відзначається високим вмістом органічного азоту та фосфатів Ca, K та Mg. Збільшення вмісту органічної речовини значно підвищує ефективність мінеральних добрив, знижує їхню побічну негативну дію, сприяє закріпленню їхніх надлишків і нейтралізує шкідливі домішки [541].

Наявність у складі сумішей кремнієвмісних природних мінералів, з одного боку, підвищує адаптивний потенціал рослин до абіотичних та біотичних стресових факторів, з іншого – суттєво покращує агрофізичний, агрохімічний та біоекологічний стан ґрунту [546].

Застосування кремнієвмісних сумішей сприяє зменшенню ґрунтової й усунення токсичності ґрунтів, підвищенню адаптивного потенціалу рослин до негативних абіотичних і біотичних чинників, у тому числі фітопатогенів. Має місце індукція відповідних антиоксидантних систем захисту у варіантах з кремнієвмісними сумішами. Очевидно, позитивна фізіологічна дія досліджених сумішей пов'язана з активізацією біосинтезу захисних біомолекул і стимулюванням активності захисних ферментативних антиоксидантних систем [541].

Як відомо, важливим чинником агроєкосистем, що обумовлює родючість ґрунтів, ріст і розвиток рослин, є мікробіота. Мікроорганізми – найбільш чисельний і різноманітний за видовим складом компонент ризосфери. Ґрунтові мікроорганізми виконують різноманітні екологічні функції, основними з яких є забезпечення певних етапів кругообігу біогенних елементів та підтримка гомеостазу біогеоценозу [547]. Вони теж зазнають шкоди під час військових дій, наприклад, під час вибуху, який спричиняє теплову та вогневу дію на ґрунт, або через пожежі на полях. Також залишки сірчаного порошку (від пострілу стрілецької зброї до вибуху авіабомби) з часом в контакт з опадами утворюють сірчану кислоту, яка знищує мільйони організмів, які формують покривний шар ґрунту [548].

Визначено, що внесення кремнієвмісних сумішей призводить спочатку до «розбалансування» у мікробному ценозі, а з часом стабілізує та активізує діяльність мікроорганізмів. Перебудова функціональної структури мікробного ценозу ґрунту обумовлена присутністю кремнієвмісних сумішей, що підтверджується не лише зміною чисельності певних еколого-трофічних груп ґрунтових мікроорганізмів, але й спрямованістю мікробних процесів у ґрунті [541].

⁵⁴⁶ Klotzbücher T., Leuther F., Marxen A., Vetterlein D., Horgan F.G., Jahn R. Forms and fluxes of potential plant-available silicon in irrigated low land rice production (Laguna, the Philippines). *Plant and Soil*. 2015. Vol. 393. Issue 1–2. P. 187–191.

⁵⁴⁷ Dragišić Maksimović J., Zang J., Zeng F. H., Živanović B. D., Shabala L., Zhou M., Shabala S. Linking oxidative and salinity stress tolerance in barley: can root antioxidant enzyme activity be used as a measure of stress tolerance. *Plant and Soil*. 2013. Vol. 365, Issue 1–2. P. 141–155.

⁵⁴⁸ Руденко І., Тронь О. Поля у вогні. Експерти розповіли, як впливає війна на родючість українських земель. URL: <https://suspilne.media/307620-pola-u-vogni-eksperti-rozpoznavili-ak-vplyvae-vijna-na-rodushchist-ukrainskih-zemel>.

Внесення кремнієвмісних сумішей в ґрунт додатково сприяє зменшенню його фітотоксичності, підвищенню концентрацій кальцію в ґрунті з відповідним підвищенням його вмісту у рослинах. Протилежна залежність спостерігалася у випадку розподілу магнію в ґрунті: при цьому в умовах закислення простежується зростання вмісту магнію в рослинах, а в умовах засолення, навпаки, зменшення його концентрації. Доведено позитивний вплив сполук кремнію на надходження до рослинних організмів катіонів калію, що позитивно позначається на термодинамічному поглинанні коренями катіонів мікроелементів. У варіантах з кремнієвмісними сумішами за умов закислення спостерігається зростання вмісту цинку в рослинах, а за умов вторинного засолення – марганцю. Вперше виявлено інгібуючу дію кремнієвмісних сумішей щодо надходження важких металів до рослин [541].

Перспективним добривом для поліпшення родючості ґрунтів з урахуванням негативних наслідків війни є внесення біовугілля або біочару – приготоване особливим чином деревне вугілля, яке додають в ґрунт для поліпшення родючості. Його внесення покращує фізико-хімічні властивості ґрунту, сприяє підвищенню рН з 3,9 до 5,1. Біочар стимулює високу адсорбцію, що сприяє усуненню зі складу ґрунту надлишкових речовин, які уповільнюють розвиток кореневої системи рослин. Додавання біочару в середньому призводить до підвищення надземної продуктивності, урожайності культури, мікробної біомаси ґрунту, бульбоутворення ризобій, фосфору ґрунту (Р), калію (К), загального азоту у ґрунті (N) та загального рівню вуглецю у ґрунті (С) порівняно з умовами контролю [540].

Наразі вітчизняними вченими у співпраці з виробниками проводяться дослідження та розробки технологій, які дозволять відновити родючість ґрунтів після військових дій. Так, було досліджено, який вплив мають мікроорганізми на ґрунт у разі значного забруднення пестицидами та важкими металами. З'ясувалося, що в перші 5 днів відбувається не пригнічення, а навпаки сплеск активності мікробної діяльності за показниками дихання та нітрифікаційної активності. При тому цей сплеск призводить до того, що аналіз ґрунту через місяць демонструє підвищення в ньому вмісту основних поживних елементів – рухомих форм азоту, фосфору, калію. Тобто мікробний ценоз ґрунту самостійно намагається впоратися з забрудненням, залишками пестицидів. Виявилося, що ні дихання ґрунту, ні нітрифікаційна здатність не знижуються навіть при 100-разовому підвищенні природного фону свинцю та кадмію в ґрунті. Однак, при цьому зменшується целюлозоруйнівна активність ґрунту приблизно на 5–15 %.

Також виявлено, що мікробіота не може зв'язувати важкі метали, які є біогенними елементами, оскільки це токсичні для неї речовини. Так само порушити якимось чином важкі метали мікробіота також не може. Отже, залишається спосіб щодо зменшення надходження цих токсичних елементів

до рослини, що зберегає їй життя й дозволяє отримати продукцію, яка буде безпечною згідно з існуючими нормативами. В Інституті прикладної біотехнології БТУ-Центр проводили експерименти з обробкою насіння біологічним препаратом Органік Баланс та з внесенням препарату Граундфікс (мобілізатора фосфору і калію). Ці препарати прекрасно працювали, зменшуючи надходження свинцю до рослинного організму на 20–30 %, а кадмію – на 50 %. Однак, ці препарати ефективні, якщо ґрунт попередньо провапнований і багатий фосфором та калієм. Зокрема, це ґрунти Півдня, які мають високий вміст згаданих елементів, тобто вони є нейтральними та навіть лужними. Для ґрунтів Полісся необхідно провести меліоративне заходи [549].

Доцільно також розглянути спосіб очищення ґрунтів від важких металів з внесенням у забруднений ґрунт сорбуючого матеріалу, що дозволить значно покращити агрофізичні властивості ґрунтів і екологічний стан навколишнього середовища [550]. Відомо, що природні алюмосилікати – вулканічні туфи мають іонообмінні властивості та здатні сорбувати різні за природою речовини. Це дозволяє використовувати їх як ентеросорбенти та основу для імобілізації ферментів, токсинів тощо. За впливом природних сорбентів на поліпшення властивостей ґрунтів встановлено, що базальтові туфи є перспективними меліорантами, внесення яких може знижувати рівень забрудненості ґрунтів радіонуклідами, оскільки вони здатні поглинати q утримувати катіони важких металів, радіонуклідів.

Базальтовий туф, як потужний природний сорбент, має високу селективність поглинання і здатність розділяти за розмірами іони та молекули різних речовин, досить високу механічну і хімічну стійкість. Вони в процесі своєї експлуатації мало змінюють свої фізико-хімічні властивості, зберігають високу іонообмінну селективність до цілого ряду хімічних елементів.

Дослідженнями [550] підтверджено, що 1 кг базальтового туфу може адсорбувати до 100 г аміаку та 400 г різних хімічних сполук. Вміст у туфі невеликих домішок оксидів заліза, гематиту, кальциту, слюди, кварцу, плагіоклазів і хлоритів виявляє його цінні сорбційні та катіонообмінні властивості. Зокрема, вибіркова адсорбція радіоактивного цезію Cs^{137} у туфах складає 99,5 %, а стронцію Sr^{90} – 97 %. Ця властивість є позитивною для базальтових туфів, оскільки дає можливість поглинати радіоактивні

⁵⁴⁹ Гусарова А. Мікробні продукти можуть знизити вплив важких металів на рослини у разі забруднення ґрунтів. URL: <https://superagronom.com/news/16438-mikrobnii-produkti-mojut-zniziti-vpliv-vajkih-metaliv-na-roslini-u-razi-zabrudnennya-gruntiv>.

⁵⁵⁰ Пат. на корисну модель 112025 UA. Спосіб очищення ґрунтів від радіонуклідів, важких металів і пестицидів / Р. Б. Гевко, В. І. Долженчук, І. С. Брошак, Ю. В. Дзядикевич, Б. Р. Гевко ; опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22.

ізотопи. Базальтовий туф містить підвищені концентрації цінних мікроелементів: марганець, мідь, кобальт, фосфор та інші [551, 552].

При розробці корисної моделі взяті до уваги властивості природного мінералу базальтового туфу до високої ємності поглинання радіонуклідів, важких металів, а також пестицидів, що дозволить підвищити родючість ґрунтів, покращити якість сільськогосподарської продукції й екологію навколишнього середовища [550].

Поставлена задача вирішується тим, що на забрудненому ґрунті (сільськогосподарських землях) рівномірно розподіляють базальтовий туф фракцією 0,2–0,5 мм кількістю 6–10 тонн на 1 га площі залежно від ступеня забруднення. Після сорбент загортають у ґрунт на глибину 10–12 см.

Базальтовий туф, який внесений в ґрунт, крім дезактивації ґрунту, покращує агрофізичні властивості ґрунту та вологоємність. Він широко застосовується в різних галузях, є порівняно дешевим матеріалом, запаси сировини якого є достатньо великими. Так, великі родовища туфів знаходяться на території Рівненської області. Прогнозовані ресурси туфової сировини на Рівненщині становлять сотні мільйонів тонн, тобто є практично невичерпними. Запаси туфової сировини, тільки в контурах базальтових кар'єрів Рівненщини загальною площею 86 га при заглибленні на 10 м, за попередньою оцінкою можуть скласти більше 20 млн тонн. Приповерхневі умови залягання туфів дозволяють добувати їх відкритим способом [552].

Дослідження, проведені Рівненським державним технічним університетом показали, щодо внесення на дерново-підзолистих ґрунтах туфів сприяє зменшенню надходження радіонуклідів в основну та побічну продукцію в 2 і більше разів, покращує фізико-хімічні властивості ґрунту, забезпечує потребу сільськогосподарських культур в мікроелементах.

На сьогодні також запатентований фіторе mediaційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів, який включає висів і вирощування не менше 30 діб злакових рослин на ґрунтах, забруднених важкими металами; скошування фітомаси та її утилізацію [553]. Запропонований спосіб є найбільш прийнятним для очищення ґрунтів від важких металів із найменшими витратами для степової зони, яка характеризується нестачею вологи.

Фіторе mediaційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів передбачає наступні заходи:

- 1) визначення рівня забруднення ґрунтів важкими металами;

⁵⁵¹ Аримов Е. А. Природные минеральные сорбенты, их активирование и модифицирование. Ташкент : Фин., 1970. 254 с.

⁵⁵² Туфи Рівненщини та їх використання в сільськогосподарському виробництві області. *Інформаційний листок*. Рівне : Рівненський державний центр науково-технічної та економічної інформації. 2002. № 07. 5 с.

⁵⁵³ Пат. на корисну модель 76416 UA. Фіторе mediaційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів / О. П. Корж, І. Г. Савченко, Н. О. Гура ; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

2) розробка схеми застосування рослин-фіторемедіантів, в якій передбачено: вибір злакових монокультур та чергу їх використання; строки та норми висіву, термін вирощування.

Схема включає використання злакових монокультур пшениці або кукурудзи відповідної щільності висіву (залежно від рівня забруднення), у тому числі й із чергуванням зазначених рослин як упродовж поточного сезону, так і кількох сезонів; у випадку перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) до 1,5 разів, вирощування забезпечують до стадії кущіння, при більшому перевищенні важкими металами тривалість вирощування обмежують часом значного ступеня розвитку некрозів у рослин; ґрунт обробляють за технологією посіву відповідних зернових культур, висівання також здійснюють відповідно до технології, але, за необхідності, ущільнюють норми висіву вдвічі. Для висівання кукурудзи при ущільненому висіві відстань між рядками зменшують до 20–25 см. Після початку інтенсивного пожовтіння нижніх листків рослин (не менше ніж через 30 діб після появи сходів) та певного гальмування ростових процесів зелену масу краще скошити й утилізувати. У разі сприятливих умов росту пшениці, скошування можна здійснити таким чином, щоб рослини могли продовжувати вегетацію з повторним скошуванням фітомаси в подальшому. Але більш ефективним є повторне засівання ділянки та вирощування рослин із подальшою утилізацією фітомаси.

Для апробування способу було проведено дослідження в лабораторних умовах. Визначали вміст важких металів у контрольному та дослідному зразках; результати досліджень наведено в таблиці 8.

8. Вміст важких металів у досліджених ґрунтах

Лабораторний номер зразка ґрунту	Вміст важких металів, мг/кг				
	Zn	Cu	Cd	Pb	Hg
1	36,32	5,30	13,86	48,3	0,08
2	3,22	2,89	0,62	18,56	0,05
Контроль	1,01	0,41	0,30	6,24	0,08
Допустимі рівні (ГДК)	23,0	3,0	0,7	20,0	0,25

Джерело: дані [553].

Визначення важких металів у ґрунті та рослинах проводили методом атомноабсорбційної спектрометрії з полум'яною та безполуменевою атомізацією. У дослідному ґрунті № 1 виявлено перевищення ГДК за цинком, міддю, кадмієм та свинцем. У дослідному ґрунті № 2 концентрації міді, кадмію та свинцю були наближеними до ГДК. У контрольному ґрунті перевищень вмісту важких металів не спостерігалось.

Було сформовано шість експериментальних груп ґрунтів (по дві кожного з дослідних зразків та дві контрольних) з вагою по 1 кг кожна, засипаних у ємності розмірами 0,5 × 0,1 м. У кожному досліді висівали по 30 зернин кукурудзи або пшениці, які вирощували в умовах фітотрону до 50-тої доби вегетації (подальше вирощування припиняли через значний

ступінь розвитку некрозів на дослідних ґрунтах). Вирощування кукурудзи та пшениці на ґрунтах, забруднених важкими металами, в лабораторних умовах показало неоднакову здатність цих культур до вибіркового накопичення важких металів при різному рівні забруднення. Дані щодо накопичення пшеницею важких металів наведено в таблиці 9.

9. Вміст важких металів у пшениці, вирощеній на експериментальних ґрунтах

Лабораторний номер зразка	Вміст важких металів, мг/кг				
	Zn	Cu	Cd	Pb	Hg
1	117,70	46,02	8,22	10,71	< 0,01
2	94,18	21,51	3,15	7,15	< 0,01
Допустимі рівні (ГДК)	50,0	30,0	0,3	5,0	0,1

Джерело: дані [553].

Установлено, що пшениця вибірково накопичує в значних кількостях цинк, мідь та кадмій як на ґрунтах із високим вмістом важких металів, так і на ґрунтах, забруднених у концентраціях до рівня ГДК.

Дані щодо вибіркового накопичення кукурудзою важких металів наведено в таблиці 10. У кукурудзи спостерігалось підвищене накопичення цинку, кадмію й свинцю на обох дослідних ґрунтах.

10. Вміст важких металів у кукурудзі на експериментальних ґрунтах

Лабораторний номер зразка	Вміст важких металів, мг/кг				
	Zn	Cu	Cd	Pb	Hg
1	83,5	27,82	18,24	34,67	< 0,01
2	100,12	13,17	1,07	36,53	< 0,01
Допустимі рівні (ГДК)	50,0	30,0	0,3	5,0	0,1

Джерело: дані [553].

Таким чином, обидві культури добре накопичують у своїх тканинах важкі метали. Виходячи з отриманих даних, доцільно рекомендувати використання пшениці для очищення ґрунтів у першу чергу від цинку та міді, тоді як кукурудзи – від кадмію та свинцю.

Отже, розглянутий фіторе mediaційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів дозволяє достатньо ефективно в умовах недостатньої зволоженості степової зони здійснювати очищення ґрунтів від важких металів. При цьому ефективність накопичення важких металів кукурудзою та пшеницею при комплексному забрудненні ґрунтів є неоднаковою. Це дозволяє планувати індивідуальні схеми очищення ґрунтів залежно від особливостей їхнього забруднення.

Також сьогодні велику увагу привертають біологічні способи очищення ґрунту від важких металів, які характеризуються високою ефективністю та нетоксичністю, – методи біоре mediaції, засновані на здатності різних груп живих організмів у процесі життєдіяльності розкладати або акумулювати у своїй біомасі забруднювачі (важкі метали,

радіонукліди, азотні, фосфорні та органічні сполуки тощо) [554]. За умови відновлення життєздатності й видової розмаїтості природного мікробіоценозу ґрунту біологічні методи є ефективними, проте сам процес очищення забрудненого ґрунту досить повільний і тривалий [555].

Відповідно до концептуальної моделі [555] біоремедіації забруднених важкими металами ґрунтів передбачається використання класу біологічних методів ремедіації техногенно забруднених ґрунтів з градацією їх на групи:

- методи біодеградації забруднювачів за використання мікроорганізмів;

- методи біонакопичення рослинами та/або перерозподілу забруднювачів у ґрунті за одночасного впливу на біологічну та косну (мінеральні речовини, що є продуктами деструкції гірських порід і утворюються без участі живих організмів, компоненти біологічного колообігу) складові ґрунту, що призводить до оптимізації його екологічного стану за рахунок збільшення вмісту органічної речовини та її зв'язування глинистими мінералами та поліпшення структурного стану ґрунту, трофічного і газового режимів, властивостей ґрунтової системи в цілому; до біодетоксикації та біодеконтамінації важких металів через розширення популяцій ґрунтових мікроорганізмів, використання рослин фітомеліорантів.

Сьогодні існує достатня кількість запатентованих способів біоремедіації забруднених ґрунтів в Україні з використанням:

- 1) технічних олійних культур – ріпаку (*Brassica napus* L.) або суріпиці (*Barbarea vulgaris* R. Br.), або тифону (*Brassica rapa*) як рослин-аккумуляторів важких металів [556], висів і вирощування рослин родини *Gramineae* (насадження кукурудзи (*Zea mays* L.) або пшениці (*Triticum* L.)), скошування їх фітомаси та її утилізацію [553];

- 2) амброзії (*Ambrosia artemisiifolia* L., *Ambrosia trifida* L.), яку збирають до набуття повної фази цвітіння [557], однак її використання має обмеження через алергічну дію на людей;

- 3) газонної трави за попередньої обробки насіння розчином гумінового стимулятора-адаптогена [558];

- 4) стрес-толерантних трансгенних рослин *Triticum* L. до дії важких металів [559].

⁵⁵⁴ Білик Т. І., Штика О. С., Авдєєва А. О., Падалка А. О. Біодоступність забруднюючих речовин у водному та ґрунтовому середовищах. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2008. № 2 (35). С. 78–80.

⁵⁵⁵ Самохвалова В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. № 8 (1). С. 217–236. doi: 10.30970/sbi.0801.337

⁵⁵⁶ Пат. на корисну модель 50789 UA. Спосіб очищення ґрунтів породного відвалу вугільних шахт від важких металів / М. Я. Гавриляк, В. І. Баранов ; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.

⁵⁵⁷ Пат. на корисну модель 4726 UA. Спосіб очищення техногенно забруднених ґрунтів від важких металів / М. М. Дронь, Ф. О. Чмиленко, Н. М. Смітюк ; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2.

⁵⁵⁸ Пат. на корисну модель 45299 UA. Спосіб рекультивації териконів / О. В. Бутюгін, М. Б. Узденніков, М. В. Гнеденко ; опубл. 0. 11.2009, Бюл. № 21.

⁵⁵⁹ Пат. на винахід 90279 UA. Стрес-толерантна трансгенна рослина пшениці / С. Макнейл, АУ, Д. Чемберлейн, АУ, Р. Боувер, NZ ; опубл. 26.04.2010, Бюл. № 8.

За фіторекультивациї техногенно забруднених і збіднених ґрунтів розроблено біопрепарат комплексної дії, який одержано з культуральної рідини *Pseudomonas* sp. PS-17, вирощеної на оптимізованому поживному середовищі, з подальшою стерилізацією отриманої культуральної рідини та видаленням осаду клітин [560].

Розроблено спосіб вирощування сільськогосподарських культур на ґрунтах, забруднених радіонуклідами і/або важкими металами [561], що передбачає передпосівну обробку ґрунту та насіння шляхом його дражування біогумусом черв'яка. В іншому способі [562] використовують біогумус червоного каліфорнійського черв'яка або біогумус дощового черв'яка разом із природним сапропелем у складі агроекологічного препарату «біокольчуга». У способі [563] для рекультивациї техногенно забруднених ґрунтів також використовують натуральний біогумус і глауконіт за співвідношення компонентів 50–90 та 50–10 вагових (у %). Відомий також спосіб [564], що передбачає використання промислового препарату «Гумівіт» як складової суміші, котра підвищує вміст ґрунтових мікроорганізмів.

Розроблено кондуктометричний біосенсор, який включає селективну до важких металів ферментну систему інвертаза – мутаротаза – глюкозооксидаза [565] та мультибіосенсор [566], що складається з ферментів, відповідно, ацетилхолінестерази, бутерилхолінестерази, уреази, глюкозооксидази, мутаротази – інвертази – глюкозооксидази, селективних до токсичних речовин – важких металів, пестицидів і гербіцидів, з метою точного, селективного, експресного визначення їх вмісту у водних розчинах різних об'єктів довкілля.

Наступне технічне рішення [567] передбачає проведення моніторингу вмісту важких металів у ґрунтах, що використовуються для вирощування кормових культур, призначених для виготовлення комбікормів, їх збагачення органічними сполуками селену в концентрації

⁵⁶⁰ Пат. на корисну модель 77228 UA. Препарат комплексної дії для використання у сільському господарстві та рекультивациї техногенно змінених ґрунтів / О. В. Карпенко, Н. С. Щеглова, Р. І. Вільданова-Марцишин, В. І. Баранов, О. М. Шульга ; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.

⁵⁶¹ Пат. на корисну модель 25274 UA. Спосіб вирощування сільськогосподарських культур на ґрунтах, забруднених радіонуклідами і/або важкими металами / С. М. Абрамов, В. І. Сопельник ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.

⁵⁶² Пат. на корисну модель 25456 UA. Кондуктометричний біосенсор для визначення концентрації іонів важких металів у водних розчинах / О. О. Солдаткін, С. В. Дзядевич, О. П. Солдаткін, Г. В. Єльська ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.

⁵⁶³ Пат. на корисну модель 34132 UA. Органомінеральне пастоподібне добриво / С. М. Абрамов, В. І. Сопельник, К. В. Сопельник ; опубл. 25.07.2008, Бюл. № 14.

⁵⁶⁴ Пат. на корисну модель 38149 UA. Спосіб рекультивациї териконів / О. В. Бутюгін, М. Б. Узденніков, Ю. М. Зубкова, М. В. Гнеденко ; опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24.

⁵⁶⁵ Пат. на корисну модель 25456 UA. Кондуктометричний біосенсор для визначення концентрації іонів важких металів у водних розчинах / О. О. Солдаткін, С. В. Дзядевич, О. П. Солдаткін, Г. В. Єльська ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.

⁵⁶⁶ Пат. на корисну модель 26085 UA. Агроекологічний препарат «біокольчуга» / С. М. Абрамов, В. І. Сопельник ; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.

⁵⁶⁷ Пат. на корисну модель 56958 UA. Спосіб управління міграцією біоелементів у системі «ґрунт – корми – організм курей-несучок – людина» / Л. Г. Засипка, Л. О. Тарасенко, І. В. Макаріхіна, П. С. Ніков, М. П. Любчак, Л. В. Степанова, В. В. Бабієнко ; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.

25–30 мг/кг та пектиновмісними речовинами (10–15 % пектину на суху масу виноградних вичавок), і подальшим моніторингом вмісту селену та важких металів у продукції птахівництва (яйця, м'ясо, субпродукти), що призводить до зниження ризику розвитку серцево-судинних та онкологічних захворювань у людини.

Таким чином, відновлення техногенно забруднених важкими металами ґрунтів за використання біологічних методів є перспективним напрямом, що динамічно розвивається. Переваги використання біологічних методів ремедіації ґрунтів є такі: екологічна чистота й безпека використання біологічних методів ремедіації, мінімальне порушення фізичного й хімічного складу ґрунтів; їх застосування не потребує значних витрат матеріальних ресурсів; висока ефективність за низьких концентрацій забруднювача. Перспективи подальшого розвитку методів біоремедіації ґрунтів за впливу фактора забруднення важкими металами пов'язані з розробкою нових способів екологічно безпечного використання хімічно деградованих ґрунтів за використання біологічних методів і за вирішення таких задач [555]:

- 1) аналіз сучасних методів і технологій біоремедіації ґрунтів;
- 2) моніторингу ґрунтів за дослідження змін властивостей і функцій ґрунтової системи та проведення біоремедіації техногенно забруднених важкими металами ґрунтів;
- 3) наукове обґрунтування спектра рослин, сівозмін культурфітоценозів, що є придатними для використання як фітомеліоранти за різних рівнів і характеру забруднення ґрунтів різного генезису;
- 4) розробка мікробних і ферментних препаратів, дослідження їх впливу на властивості ґрунту, на здатність до біодеградації важких металів і за їх використання для розроблення нових способів і технологій ремедіації забруднених ґрунтів;
- 5) проведення еколого-економічного оцінювання ефективності використання біологічних методів ремедіації ґрунтів для ефективного менеджменту ґрунтовими ресурсами.

7. Міжнародний досвід відновлення родючості забруднених ґрунтів внаслідок військових дій.

Дослідження свідчать, що наслідки воєнних дій дуже негативні та руйнівні за тривалістю свого впливу. Тому кожна ділянка, що постраждала, має бути вивчена і під кожен ділянку має бути запроваджена своя програма заходів із відновлення. Однак, доцільний і найпростіший шлях – це вилучення їх із сільськогосподарського обігу або іншого господарського використання, передача територій до природно-заповідного фонду. Окрім вже зазначених шляхів відновлення ґрунтового покриття (видалення з нього важких металів), перспективним підходом для цієї мети є заходи фітоекстракції з використанням рослин, які мають мікроелементи-

накопичувачі забруднювачів у своїх тканинах. Найбільш розповсюдженими серед заходів детоксикації ґрунтів, забруднених речовинами воєнно-техногенного походження, – внесення органічних добрив, використання природних і штучних сорбентів, застосування мінеральних добрив тощо. Кожен з цих методів має переваги та свої впливи на ґрунт.

Доцільно скористатися іноземним досвідом післявоєнного використання та відновлення ландшафтів, у тому числі ґрунтів. Наприклад, у В'єтнамі експлуатували кратери, залишені американськими бомбардувальниками, використовуючи їх як розплідники для риби. Також створювали своєрідні зони, де дозволена природна сукцесія: покинута територія між Північною та Південною Кореєю, відома всім як демілітаризована зона, зараз є важливим резерватом біорізноманіття, в якій мешкають тисячі видів. Іншими прикладами є мілітаризовані зони, які включені до мережі Natura 2000. Так, Данія – 45 %, Нідерланди – 50 %, Бельгія – 70 % своїх територій, які в минулому постраждали від війни, включили до мережі Natura 2000 [568]. Аналогічний напрям був використаний Південною Кореєю після війни 1950–1953 років.

Також для найбільш постраждалих ділянок спеціалісти з Української Природоохоронної Групи (UNCG) пропонують створення так званих «червоних зон» (за прикладом Франції), де після Першої світової були створені «червоні зони», а люди звідти переселені. Площа понад 1200 км родючої землі в районі Верденської битви (1916 рік) була визнана французькою владою як «повністю розгромлена»: було введено сувору заборону доступу та ведення сільськогосподарських робіт там. Згодом шляхом очищення площу критично ураженої зони вдалося знизити до 100 км. Протягом довгих років без антропогенного впливу територія відновлюється, а воронки від вибухів стають частиною ландшафту [569].

Така практика одночасно стане виконанням вимог чинного законодавства України щодо консервації земель і запобігання опустелюванню. Крім того, Європейська стратегія захисту біорізноманіття до 2030 року передбачає виведення з обробітку 30 % всіх сільськогосподарських земель ЄС [491], що надає можливість долучити українські землі до цієї важливої ініціативи. Окрім того, саме Україна має поки найбільший в Європі досвід виведення з обробітку забруднених земель – Зона відчуження Чорнобильської АЕС, яка ще 30 років тому використовувалася для активного сільськогосподарського виробництва зараз стала не просто найбільшою зеленою плямою в центрі Європи, а й отримала статус біосферного заповідника [437].

⁵⁶⁸ Шаміна Т. Про еколого-геохімічний стан українських ґрунтів зон впливів воєнної діяльності та перспективи їхнього відновлення. URL: <https://uncg.org.ua/dotsilnyj-ta-najprostishyj-shliakh-dlia-vidnovlennia-zabrudnennykh-bojovomy-diiamy-terytorij-peredacha-ikh-do-prirodno-zapovidnoho-fondu-fakhivchynia-v-haluzi-heokhimii-landshaftiv-anastasiia-splodytel>.

⁵⁶⁹ В Україні планують запровадити «червоні зони» для відродження ґрунтів, постраждалих внаслідок війни. URL: <https://superagronom.com/news/16385--v-ukrayini-planuyut-zaprovaditi-chervoni-zoni-dlya-vidrodjennya-gruntiv-postrajdalih-vnaslidok-viyni>.

Заслуговує уваги досвід, коли пошкоджений рельєф поля можна перетворити у новий ландшафт з включенням природних оазисів, корисний для сільського господарства – більш сталий та продуктивний у найближчому майбутньому. Для цього у Німеччині спеціально створюють посеред полів невеликі лісові насадження, живі огорожі та болітця, аби стабілізувати мікроклімат окремих полів, адаптуватися до зміни клімату та розвинути естетичну привабливість територій (рис. 13).



Рис. 13. Приклади природних оазисів

Джерело: дані [473].

Відповідний досвід може бути використаних в умовах України шляхом створення природних осередків у вирвах від ворожої зброї, що символічно відображує загоєння ран війни, забезпечує посилення стійкого сучасного агровиробництва. Пропонується перетворити вирви на «острови» лісів і ставки-копанки (рис. 14). Невеликі штучно створені лісові колки, чагарники та «копанки», особливо у поєднанні з лісосмугами, через декілька років будуть джерелом численних екосистемних послуг для агровиробників [473]:

1. Запобігання ерозії ґрунту шляхом зменшення швидкості вітру (разом з лісосмугами щонайменше на 25 %) [570].

2. Стабілізація мікрокліматичних показників поля за підвищення вологості повітря на 5–20 %, ґрунту – на 15–30 %, скорочення випаровування – на 20–25 %.

3. Зменшення кількості шкідників поля відбувається через надання місця гніздівлі сотням комахоїдних птахів, як протидія шкідникам. Також, на урізноманітнених природними ділянками полях збільшується на 25–60 % видове різноманіття безхребетних, зокрема диких бджіл та інших видів-запилювачів, хижих жуків-турунів, павуків, мурах, які також допомагають боротися зі шкідниками поля.

4. Сприяння родючості здійснюється через збільшення вмісту гумусу на 20–40 % та пористості ґрунту – до 9 %, оскільки введення деревних та

⁵⁷⁰ Петрович О. З. Полезахисні лісосмуги в контексті впровадження концепції екосистемних послуг. *Екосистеми, їх оптимізація та охорона*. 2014. Вип. 11. С. 42–49.

інших природних елементів в аграрні ландшафти активізує обмінні процеси. Хімічні елементи, закріплені у листі дерев і частково у надґрунтовому покриві, активно повертаються у ґрунт на полі поруч. Таке повернення хімічних елементів у насадженнях Лісостепу та Степу може складати 340–580 кг/га.

5. Депонування вуглецю виникає у деревних рослинах і накопичується органічний вуглець у ґрунті. Змішані деревостани з розвинутим підліском в агроландшафтах депонують у середньому 0,6–1,1 т/га вуглецю та продукують приблизно удвічі більше кисню.

6. Зменшення рівня хімічного забруднення виникає у зв'язку з тим, що деревні насадження абсорбують і зв'язують хімічні елементи у різних шарах ґрунту та сприяють очищенню ґрунтових вод.

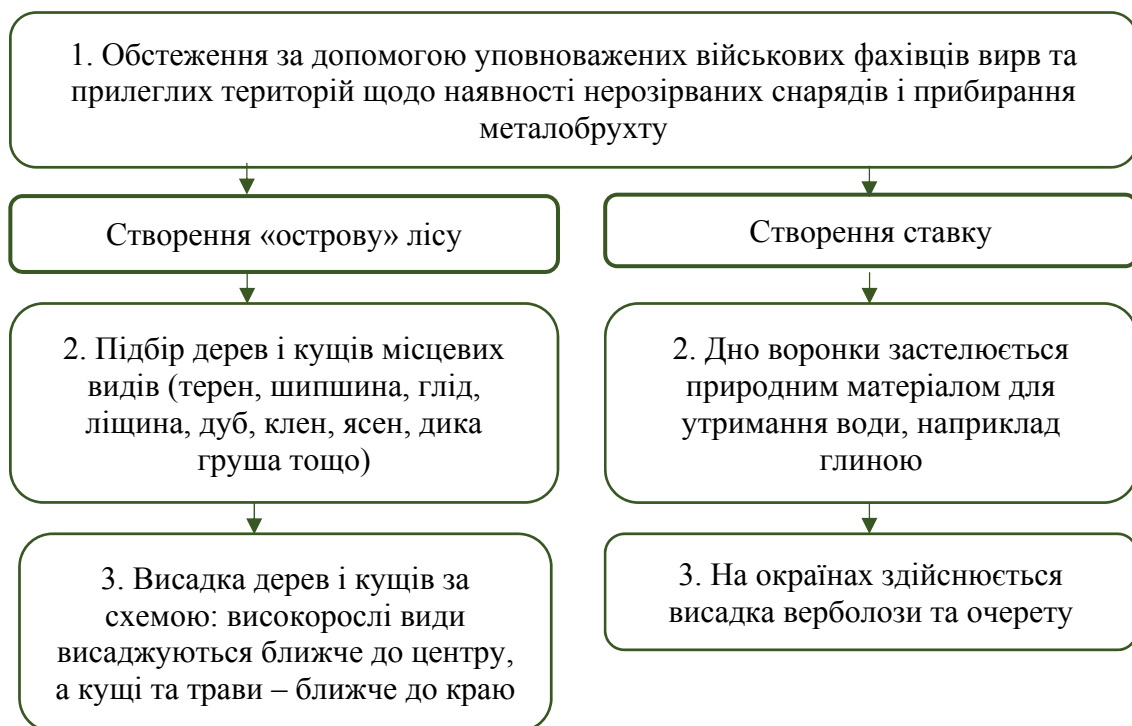


Рис. 14. Етапи створення природних оазисів на місці вивр від військових дій

Джерело: побудовано за [473].

Такі природні оазиси позитивно впливають на стан загального «здоров'я» поля, інтенсифікуючи процеси кругообігу поживних речовин, що разом з механічною вітроломною дією та захистом ґрунтів, сприяє збільшенню врожаю, яку можна порівняти з дією полезахисних лісосмуг, тобто 20–30 %.

Також бомбовий кратер може з часом використовуватися як пташиний двір або ставок для риби, а оголений пагорб може відносно швидко замаскуватися зеленим шаром, можливо навіть достатнім для того, щоб на ньому випасати худобу чи вирощувати сільськогосподарську продукцію. Однак, ця природна рослинність вже не відповідає справжній

продуктивності ґрунту як раніше, а була втрачена через знищення ґрунтового профілю під час вибуху бомби або завдяки потенційному забрудненню ґрунту через розсіювання шкідливих залишків бомби. В результаті, навколишнє середовище та майбутні покоління позбавлені законної спадщини, коли реальність заподіяної шкоди полягає в знищенні родючості ґрунтів, формування яких тривало тисячоліттями, і для відновлення яких знадобиться стільки ж часу.

Існує досвід відновлення земель на базі повітряних сил Біл (Beale Air Force Base) у штаті Каліфорнія (США) шляхом вилучення 17 тис. тонн забрудненого верхнього ґрунту з метою видалення свинцю та поліциклічних ароматичних вуглеводнів, що забруднюють ґрунт, уникнувши таким шляхом майбутніх штрафів і екологічних витрат для бази. В рамках відповідної Військової програми було здійснено відповідні заходи [571]:

- приблизно 16 тис. тонн ґрунту було утилізовано на полігоні як безпечні відходи, а приблизно 1,5 тис. тонн ґрунту – як небезпечні відходи;
- очищені ділянки були засипані приблизно 10,5 тис. ярд³ удобреного ґрунту, що приблизно дорівнює 8028 м³;
- встановлено 27 тис. погонних футів (8229,6 м) рулонів волокна, щоб захистити якість води від ерозії ґрунту та стоку осаду;
- нанесено на свіжий ґрунт 16 акрів (приблизно 6,5 га) гідропосівної мульчі задля відростання рослинності;
- встановлено електричні огорожі, щоб не допускати худобу під час процесу відновлення.

Доцільно відзначити, що для всіх заходів з відновлення родючості ґрунтів має бути використаний постійний моніторинг за їх ефективністю, який включатиме: аналіз адміністративних методів, плани коригувальних дій, витратність і очікувана рентабельність, довгострокові наслідки для екосистем (вдосконалено [572]).

Також існує потреба у деталізації правове врегулювання дієвої співпраці між Збройними Силами України та Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів щодо екологічного моніторингу. Доцільно передбачити у компетенції військових екологів ЗСУ здійснення екологічного моніторингу не лише у мирний час, але і під час воєнних дій (збройних конфліктів). Зокрема, забір проб води, ґрунту, повітря для якісного аналізу існуючого фону території під час воєнних дій. Отримана інформація необхідна для складення дієвого плану для захисту людей від негативного впливу шкідливих речовин, вжиття заходів з попередження настання негативних наслідків. Інформація про стан довкілля у зоні

⁵⁷¹ Beale completes soil restoration project. URL: <https://www.beale.af.mil/News/Article-Display/Article/667254/beale-completes-soil-restoration-project>.

⁵⁷² Restoration Efforts on US Military Sites. URL: <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/58961/3.2.Petersen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

проведення воєнних дій повинна раз у як мінімум щотижня оновлюватися у єдиній сучасній системі екологічного моніторингу України (яку, до речі ще потрібно створити), оскільки забруднення, які відбуваються під час воєнних дій, поширюються на значно більші території, ніж території конфлікту [491].

Підсумовуючи дослідження зазначимо, що наслідки воєнних дій для навколишнього середовища часто недооцінюються, оскільки втрати людей та інфраструктури, звичайно, переважають усе інше в короткостроковій перспективі. Війна також перешкоджає спробам покращити існуючу складну екологічну ситуацію. Так, порушуються діяльність та інвестиції, спрямовані на відновлення середовищ існування, збереження видів, покращення управління природоохоронними територіями, а також пом'якшення наслідків зміни клімату й адаптацію до них.

Воєнні дії (особливо довгострокові) призводять до деградації ґрунтової екосистеми, найбільше через непомірне накопичення важких металів. Вони здатні мігрувати з ґрунту в підземні води, що спричиняє забрудненню природного середовища за межами воєнної зони. У зонах інтенсивних боїв ґрунти втрачають родючість через зміну фізико-хімічних властивостей (зниження вмісту макроелементів та органічної речовини, зростання лужності). Війни та збройні конфлікти впливають на ґрунти безпосередньо шляхом фізичних пошкоджень або опосередковано через зміну повсякденних звичаїв людей і використання ними природних ресурсів. Тоді як для відновлення ґрунтів – це складний процес, який ґрунтується на розумінні та використанні складних біофізичних і соціально-економічних взаємодій, які впливають на них. Отже, погіршення важливих властивостей ґрунту може бути достатньо тривалим і настільки значним, що може суттєво знизити продуктивність та інші важливі функції ґрунту, а для їх відновлення знадобиться багато сотень років.

4.3. Агробіологічні аспекти боротьби з смітними рослинами в посівах кукурузи

Сахно Т. В.

Полтавський державний аграрний університет

1. Значення кукурудзи в сільськогосподарському виробництві.

Кукурудза-найважливіша зернова культура, основні площі обробітку якої в Україні зосереджені майже у всіх регіонах незалежно від кліматичних умов та розмірів господарств. У країнах світу для продовольчих потреб використовується приблизно 20 % зерна кукурудзи, для технічних 15–20 %, на корм худобі 60–65 %. У європейських країнах частка кукурудзи на зерно значно вище і становить в Німеччині 24 %, у



ЗАХИСТ І ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ РІВНОВАГИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САМОВІДНОВЛЕННЯ ЕКОСИСТЕМ

колективна монографія

**Полтавське відділення академії наук
технологічної кібернетики України**

**ЗАХИСТ І ВІДНОВЛЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ РІВНОВАГИ
ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
САМОВІДНОВЛЕННЯ ЕКОСИСТЕМ**

Колективна монографія

Полтава – 2022

Рецензенти:

В. І. Троценко, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри рослинництва Сумського національного аграрного університету
М. Я. Шевніков, доктор сільськогосподарських наук, професор, директор Відокремленого структурного підрозділу «Аграрно-економічний фаховий коледж Полтавського державного аграрного університету»

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Полтавським відділенням академії наук технологічної кібернетики України (протокол № 11 від 25.01.2023 р.)

3-12 Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем : колективна монографія ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2022. 308 с.

У колективній монографії викладено результати досліджень щодо захисту і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем. Розглянуто питання щодо відновлення деградованих і забруднених земель та ґрунтів з використанням інноваційних технологій. Розкрито питання розвитку та впровадження альтернативних джерел енергії. Наведено напрями екологізації сільськогосподарського виробництва та переробки продукції. Досліджено стан і напрями подолання екологічного забруднення екосистем через воєнні дії в Україні.

Розраховано на науковців, викладачів, керівників і спеціалістів органів державного управління, фахівців агроформувань, аспірантів, студентів і всіх, хто цікавиться питаннями щодо відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем.

ISBN 978-617-7915-85-9

Автори вміщених матеріалів висловлюють власну думку, яка не завжди збігається з позицією редакції. За зміст матеріалів відповідальність несуть автори.

© Колектив авторів, 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
РОЗДІЛ 1. ВІДНОВЛЕННЯ ДЕГРАДОВАНИХ І ЗАБРУДНЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ТА ҐРУНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	8
1.1. Прототип портативного інфрачервоного спектрометра для проксимального зондування ґрунту (<i>Адамчук-Чала Н. І., Бойченко С. В., Єфимець Н. М.</i>)	8
1.2. Будівельні матеріали та технології зниження забруднення навколишнього середовища в контексті змін клімату (<i>Жукова О. Г., Кордуба І. Б., Негода Н. В.</i>)	16
1.3. Перспективні напрями вдосконалення ґрунтозахисних технологій з метою підвищення родючості чорноземів звичайних в Полтавській області (<i>Дереза В. В.</i>)	24
1.4. Необхідність розробки та впровадження системи заходів з обробітку, удобрення та захисту ґрунтів від деградації у зоні Західного Полісся України (<i>Пузняк О. М., Соколова А. О., Дуць І. З., Ісаков В. В., Луцюк О. П., Кицун Г. В., Ігнатійчук Т. С., Шимко Ю. А.</i>)	35
1.5. Потенційна загроза золотарника канадського (<i>Solidago canadensis</i> L.) для біорізноманіття західного Лісостепу України (<i>Шувар І. А., Корніма Г. М., Дудар І. Ф., Lipińska H., Lipiński W.</i>)	43
РОЗДІЛ 2. РОЗВИТОК І ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	51
2.1. Перспективи біоенергетичного використання цукрового буряку в Полтавській області за умов змін клімату (<i>Вольвач О. В., Колосовська В. В., Мельник М. В.</i>)	51
2.2. Використання рослинної сировини сої (<i>Діянова А. О., Білявська Л. Г., Білявський Ю. В.</i>)	61
2.3. Управлінські аспекти формування економіко- енергетичної безпеки України на засадах сталого розвитку (<i>Климчук О. В., Корнійчук О. В., Яременко О. І.</i>)	71
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ	86
3.1. Шляхи формування екологічно орієнтованого господарювання та системи економічного стимулювання аграрних підприємств (<i>Багорка М. О.</i>)	86
3.2. Агрокліматичні умови вирощування тимофіївки лучної в Україні (<i>Божко Л. Ю., Барсукова О. А., Гончар К. В.</i>)	117

3.3. Характеристика ґрунтового покриву на території Арцизької міської ради Одеської області для проектування виноградних насаджень (<i>Бузовська М. Б., Кузьменко А. С., Попова Г. К., Ляшенко Г. В.</i>)	122
3.4. Екологізація переробки плодів та овочів із застосуванням безвідходної біодеградабельної упаковки (<i>Василишина О. В.</i>)	129
3.5. Перспективи використання нетрадиційної білкової рослинної сировини у м'ясопродуктах спеціального призначення (<i>Галенко О. О., Шаповалов В. Ю.</i>)	135
3.6. Ресурсоощадне готування льонотрести і елементи технології росяного мочіння соломи льону-довгунця (<i>Лімонт А. С., Лімонт З. А.</i>)	141
3.7. Еко-інноваційна концепція сфери гостинності (<i>Марусей Т. В.</i>)	155
3.8. Інноваційна управлінська діяльність у забезпеченні екологізації сільського господарства України в умовах сталого розвитку (<i>Новоселець А. І.</i>)	165
3.9. Визначення сучасних високопродуктивних сортів гречки для вирощування в умовах Лісостепової та північної частини Степової зони України (<i>Тригуб О. В., Ляшенко В. В.</i>)	172
3.10. Органічне сільське господарство як шлях його екологізації в контексті циркулярної економіки (<i>Черевко Г. В., Черевко І. В.</i>)	203
3.11. Єдині концептуально-методологічні підвалини управління аграрним сталим розвитком: дисциплінарна гармонійність (<i>Юшин С. О.</i>)	210
РОЗДІЛ 4. СТАН І НАПРЯМИ ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЕКОСИСТЕМ ЧЕРЕЗ ВОЄННІ ДІЇ В УКРАЇНІ	222
4.1. Possibilities of bioindication and biotesting of the state of the natural environment in the conditions of hostilities in Ukraine (<i>Atarshchukova A. M., Senchuk T. Yu.</i>)	222
4.2. Відновлення родючості ґрунту в Україні після воєнних дій (<i>Чайка Т. О., Короткова І. В.</i>)	232
4.3. Агробіологічні аспекти боротьби з смітними рослинами в посівах кукурузи (<i>Сахно Т. В.</i>)	281
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	303

Наукове видання

ЗАХИСТ І ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ РІВНОВАГИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САМОВІДНОВЛЕННЯ ЕКОСИСТЕМ

Колективна монографія

За заг. редакцією Т. О. Чайки

Комп'ютерна верстка – Т. О. Чайка

Рекомендовано до друку Вченою радою
Полтавського відділення академії наук
технологічної кібернетики України

Підписано до друку 27.01.2023 р.
Формат 60x84/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 35,81. Авт. арк. 19,73.
Наклад 100 шт. Замовлення 130.

Видавництво ПП «Астроя»
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694
E-mail: astraya.pl.ua@gmail.com, веб-сайт: astraya.pl.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5599 від 19.09.2017 р.

Друк ПП «Астроя»
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694
Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР
14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089

