

БІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ МІЛІТАРНО ПОРУШЕНИХ ЧОРНОЗЕМІВ

Литвинов В. А., аспірант

Гавва Д. В., к. с.-г. н., доцент

Резнік С. В., д. філософії, викладач

Державний біотехнологічний університет,
м. Харків, Україна

Військова агресія проти України стала одним із найпотужніших чинників трансформації природних та агроекологічних систем. Ґрунтовий покрив територій, що зазнають безпосереднього або опосередкованого впливу бойових дій, зазнає комплексного механічного, фізико-хімічного та біологічного порушення. Особливого значення ця проблема набуває для чорноземів, які є основним ресурсом сільськогосподарського виробництва України та характеризуються високим рівнем природної родючості, значним запасом органічної речовини і сформованою системою біотичних взаємозв'язків. Унаслідок військового впливу відбувається порушення ґрунтової структури, ущільнення та перемішування ґрунтової маси, формування воронок від вибухів, механічне переміщення горизонтів, локальне забруднення важкими металами та іншими полютантами [1, 2].

Для територій Лівобережного Лісостепу України проблема мілітарної трансформації ґрунтів є особливо актуальною. Регіон характеризується значним поширенням чорноземів типових, які тривалий час використовувалися в інтенсивному землеробстві та формують значну частину аграрного потенціалу східних областей України. Додаткове військове навантаження накладається на вже існуючі антропогенні зміни ґрунтів, пов'язані з обробіткою, використанням мінеральних добрив і пестицидів, ущільненням орного шару та скороченням надходження органічної речовини. Унаслідок цього реакція чорнозему на військове порушення може проявлятися не лише в погіршенні окремих агрохімічних властивостей, а й у перебудові функціонування ґрунтової біоти.

Безпосередній вплив вибухів є одним із найбільш характерних чинників мілітарної деградації ґрунтового покриву. Утворення вибухових воронок супроводжується руйнуванням агрегатної структури, переміщенням значних об'ємів ґрунтової маси та винесенням на поверхню матеріалу з нижчих горизонтів. При цьому відбувається порушення просторової організації профілю та умов існування ґрунтових організмів. Дослідження ґрунтів Харківської області засвідчують, що воєнні дії можуть спричинити комплексні зміни фізичних властивостей, хімічного складу та характеру землекористування [1, 3]. Особливо важливим є локальний характер таких змін: на відносно невеликій території можуть одночасно існувати практично непорушені ділянки, території з механічним пошкодженням та ділянки з ознаками хімічного забруднення.

Окремим чинником є використання важкої військової техніки. Її багаторазове переміщення спричиняє ущільнення ґрунту, зменшення загальної пористості, погіршення аерації та водопроникності. Ущільнений ґрунт

характеризується зміною співвідношення між капілярними та некапілярними порами, що безпосередньо впливає на водно-повітряний режим. Для мікроорганізмів це означає зміну доступності кисню, води та поживних субстратів. Отже, навіть за відсутності вираженого хімічного забруднення механічна трансформація може призводити до зміни інтенсивності біологічних процесів.

Пожежі, спричинені бойовими діями, створюють додаткове термічне навантаження. Високі температури можуть призводити до швидкої трансформації органічної речовини, загибелі частини ґрунтових організмів та зміни властивостей поверхневого шару. У поєднанні з механічним руйнуванням і забрудненням це формує складний комплекс факторів, які визначають подальшу суцесію ґрунтової біоти. Відновлення такого ґрунту залежить не тільки від швидкості відновлення його фізико-хімічних властивостей, а й від відновлення функціонально повноцінного мікробного угруповання.

Ґрунтові мікроорганізми є одним із найбільш чутливих компонентів ґрунтової екосистеми. Вони беруть участь практично в усіх ключових біогеохімічних процесах, забезпечуючи трансформацію органічної речовини, мінералізацію та іммобілізацію елементів живлення, кругообіг азоту, фосфору і сірки, розкладання рослинних решток та формування гумусових речовин. Саме тому зміни мікробної біомаси, чисельності фізіологічних груп та ферментативної активності можуть відображати функціональний стан ґрунту раніше, ніж істотно змінюються його базові агрохімічні характеристики [4, 5].

Під час мілітарного впливу порушення мікробного комплексу може бути пов'язане як із прямою дією екстремальних факторів, так і з опосередкованими змінами середовища. Вибухи, нагрівання та механічне перемішування безпосередньо впливають на мікроорганізми, тоді як ущільнення, зміна вологості, аерації, рН і доступності органічних субстратів формують довготривалі умови для подальшої перебудови мікробного угруповання. Додатковим стресовим фактором може бути надходження важких металів та інших хімічних компонентів, пов'язаних із боєприпасами та військовою технікою [2, 3].

З огляду на це одним із перспективних напрямів оцінювання стану мілітарно порушених чорноземів є використання показників біогенності. Біогенність характеризує інтенсивність та потенціал біологічних процесів у ґрунті й значною мірою залежить від чисельності та активності мікробного угруповання. Порівняння біогенності порушених ділянок із відповідними непорушеними аналогами дає змогу оцінити ступінь функціональної трансформації ґрунтової системи. Дослідження чорноземів, що зазнали військового впливу, демонструють можливість використання біогенності як інтегрального показника порушення ґрунтового середовища [8].

Важливим елементом біодіагностики є визначення чисельності окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Такий підхід дозволяє не тільки встановити загальне зниження або підвищення мікробної активності, але й визначити напрям функціональної перебудови мікробocenozу. Зокрема,

амоніфікуючі мікроорганізми беруть участь у розкладанні органічних азотовмісних сполук, тоді як мікроорганізми, що засвоюють мінеральні форми азоту, характеризують інтенсивність використання доступного мінерального азоту мікробною спільнотою. Фосфатмобілізувальні та целюлозоруйнівні мікроорганізми відображають відповідно потенціал мобілізації фосфору та трансформації складних органічних субстратів.

Зміна співвідношення цих груп може свідчити про зміну спрямованості біологічних процесів. Для деградованих чорноземів встановлено взаємозв'язок між чисельністю окремих фізіологічних груп мікроорганізмів та показниками родючості [4]. Тому застосування такого підходу до мілітарно порушених ґрунтів дозволяє перейти від простої констатації факту деградації до функціональної характеристики її проявів.

Особливу увагу доцільно приділяти співвідношенню мікроорганізмів, пов'язаних із трансформацією органічних і мінеральних форм азоту. Порушення кругообігу азоту може бути одним із наслідків зміни мікробного метаболізму. За несприятливих умов частина мікробних груп втрачає конкурентоспроможність, тоді як більш стійкі до стресових факторів мікроорганізми можуть зберігати або навіть збільшувати свою відносну частку. Таким чином, аналіз співвідношення функціональних груп дозволяє виявляти зміни не тільки кількісного, а й якісного характеру.

Інформативним показником може бути коефіцієнт мінералізації, який характеризує співвідношення між мікроорганізмами, що використовують мінеральні форми азоту, та амоніфікаторами. Його зміни можуть свідчити про спрямованість процесів трансформації органічної речовини та азоту. Для мілітарно порушених чорноземів особливе значення має порівняння таких показників із фоновими значеннями відповідного непорушеного ґрунту, оскільки абсолютні значення мікробіологічних показників можуть істотно залежати від типу ґрунту, вологості, температури, сезону та системи землекористування.

Дослідження ґрунтів, які зазнали військового впливу, показують, що одним із проявів порушення є зменшення чисельності окремих агрономічно корисних груп мікроорганізмів, зокрема амоніфікаторів, фосфатмобілізаторів та целюлозоруйнивої мікрофлори. Одночасно може зростати частка оліготрофних і педотрофних мікроорганізмів, що свідчить про перебудову мікробного метаболізму та зміну доступності органічних субстратів [6, 7]. Такі зміни можуть розглядатися як один із проявів переходу ґрунту до менш продуктивного функціонального стану.

Згідно результатів дослідження чорнозему типового дослідного поля ДБТУ можна сформулювати такі висновки:

Целюлозоруйнівні бактерії (АГК): У зоні горіння (Переріг горілий) чисельність коливається від 142 до 736 тис. к.у.з., що свідчить про активізацію деструкції рослинних залишків після пожеж.

Гетеротрофи (МПА) та оліготрофи (ГА): Забруднення паливно-мастильними матеріалами (ПММ) та наявність залишків боєприпасів (Гільзи)

зумовлюють перебудову мікробних ценозів, де оліготрофні організми на голодному агарі демонструють адаптацію до стресових умов.

Біогенність ґрунту: У варіанті Переріг горілий загальна біогенність сягає від 25,36% до 98,17% залежно від глибини та повторності вимірювань.

Коефіцієнт мінералізації: Військове та пірогенне навантаження змінює співвідношення мінералізаційних і іммобілізаційних процесів, коливаючись у межах 0,62-1,37 на контрольних та порушених ділянках.

Дослідження мікробіологічного профілю чорноземів у зонах військових дій виявило глибоку трансформацію еколого-трофічних груп мікроорганізмів залежно від типу антропогенного впливу. Пірогенне навантаження (Переріг горілий) викликає різкий спалах активності целюлозоруйнівних бактерій на АГК, чисельність яких у шарі 20–30 см локально сягає 736 тис. к.у.з. як адаптаційна реакція на надходження мертвої органіки. Водночас техногенний прес і залишки боєприпасів (Гільзи) призводять до суттєвих коливань чисельності гетеротрофів на МПА (зростаючи до 221,57 млн к.у.з.) та оліготрофів на ГА (до 188 млн к.у.з. у зоні «Дорога»). Забруднення горючо-мастильними матеріалами (ПММ) супроводжується зростанням коефіцієнта мінералізації до 6,67, що свідчить про напружений екологічний стан ґрунту та перебудову його мікробних ценозів.

Важливе значення має також оцінювання динаміки біологічних показників у часі. Безпосередньо після мілітарного впливу можуть домінувати процеси гострого стресу, що проявляються різким зниженням мікробної активності. На наступних етапах, за умови відсутності повторного порушення, можливе поступове відновлення чисельності та активності мікроорганізмів. Однак відновлення кількісних показників не обов'язково означає повне відновлення функціональної структури мікробценозу. Саме тому для оцінювання процесів відновлення необхідно аналізувати одночасно кількісні та функціональні характеристики.

Відновлення мілітарно порушених чорноземів має розглядатися як довготривалий процес, у якому біологічна складова відіграє ключову роль. Мікроорганізми беруть участь у відновленні кругообігу елементів, трансформації органічної речовини та формуванні ґрунтової структури. Відповідно, відновлення мікробного угруповання є не лише наслідком покращення ґрунтових умов, а й одним із механізмів подальшої регенерації ґрунту.

Таким чином, біодіагностика мілітарно порушених чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України є перспективним напрямом комплексного оцінювання екологічного стану ґрунтів. На відміну від традиційної агрохімічної діагностики, яка переважно характеризує запас і доступність окремих елементів живлення, біологічні показники дають змогу оцінити функціональний стан ґрунтової системи та її здатність до самовідновлення. Найбільш інформативним є поєднання показників біогенності, чисельності еколого-трофічних груп мікроорганізмів, мікробної біомаси, ґрунтового дихання та ферментативної активності [8, 9].

Застосування комплексу біологічних індикаторів дозволить диференціювати характер мілітарних порушень, визначати ступінь функціональної деградації та здійснювати моніторинг відновлення чорноземів. Водночас інтерпретація результатів повинна враховувати природну варіабельність чорноземів, сезонну динаміку мікробіологічних процесів, попередню історію землекористування та характер конкретного військового впливу. Для умов Лівобережного Лісостепу України особливо важливим завданням є встановлення регіональних фонових значень біологічних показників та визначення діагностичних критеріїв різного ступеня мілітарного порушення. Такий підхід створить наукове підґрунтя для екологічного моніторингу, оцінювання потенціалу відновлення та розроблення заходів щодо подальшої ремедіації деградованих чорноземів.

Література

1. Bonchkovskyi O., Ostapenko P., Bonchkovskyi A., Shvaiko V. War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 964. e178594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>.
2. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N., Sementsova K., Mariychuk R. Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 13, No. 10. e1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101614>.
3. Krainiuk O. V., Buts Y. V., Ponomarenko R. V., Asotskyi V. V., Darmofal E. A., Kalynovskyi A. Y., Maniuk V. V. Environmental consequences of military operations in Ukraine on the example of soil research in the Kharkiv region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.15421/112526>.
4. Demydenko O. V. Correlation links of physiological groups of microorganisms with fertility indicators of degraded chernozem for different fertilizer systems. *Bulletin of Agricultural Science*. 2021. No. 4. P. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202104-03>.
5. Rieznik, S., Havva, D., Butenko, A., Novosad, K. 2021. Biological activity of chernozems typical of different farming practices. *Agraarteadus*, 32(2) P. 307–313. DOI: <https://doi.org/10.15159/jas.21.34>.
6. Illienko V., Salnikova A., Bondar V., Lazarev M., Klepko A. Soil microbiome state in militarily impacted soils of Ukraine. *EGU General Assembly 2026*. Vienna, Austria, 3–8 May 2026. EGU26-9411. DOI: 10.5194/egusphere-egu26-9411.
7. Schlöter M., Nannipieri P., Sørensen S. J., van Elsas J. D. Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils*. 2018. Vol. 54. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1248-3>.
8. Melnychuk T., Vishovan Yu., Samkova O., Bogdanovich R. Impact of military activities on the biogenicity of southern chernozem. *Plant and Soil Science*. 2026. Vol. 17, No. 1. P. 59–69. DOI: <https://doi.org/10.31548/plant1.2026.59>.

9. Yashchenko L., Androshchuk O., Vasylenko L., Chornoivan Y. Environmental risks of heavy metal pollution in war-affected soils in Ukraine *European Journal of Environmental Sciences*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.14712/23361964.2025.3>.

10. Shulga S., Tigunova O., Andriiash H., Yemets A. Harnessing plant microbiomes to enhance crop resilience and restore war-affected soils in Ukraine. *Frontiers in Plant Science*. 2026. Vol. 17. e1868751. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1868751>.

ВПЛИВ ГУМАТУ КАЛІЮ НА МІКРОБОЦЕНОЗИ АГРОЧОРНОЗЕМІВ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ

Середа А. Є., аспірант

Гавва Д. В., к. с.-г. н., доцент

Резнік С. В., д. філософії, викладач

Державний біотехнологічний університет,
м. Харків, Україна

Сучасні агроєкосистеми Лівобережного Лісостепу України зазнають потужного антропогенного навантаження, що призводить до деградації ґрунтового покриву, порушення біогеохімічних циклів елементів та редукції біологічного різноманіття. Агрозорноземі (переважно чорноземі типові та реградівані), які історично формували потенціал вітчизняного землеробства, в умовах інтенсивної хімізації, дефіциту органічних добрив та частого використання монокультур утрачають природну стійкість. Одним із головних проявів цієї деструкції є суцесійне зміщення в мікробіоценозах: зниження чисельності корисних агрономічних груп мікроорганізмів та накопичення опортуністичної фітопатогенної мікрофлори [1, 3].

Застосування фізіологічно активних речовин гумусової природи, зокрема гумату калію, розглядається як один із найбільш перспективних прийомів біологізації землеробства. Гумати діють не лише як органо-мінеральні стимулятори росту рослин, а й як потужні екзогенні регулятори функціонального стану ґрунтового мікробіому. Дослідження реакції мікробіоценозу на внесення гумату калію є необхідним підґрунтям для розробки ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій відтворення родючості агрозорноземів [2, 5].

З огляду на агроєкологічні особливості Лівобережного Лісостепу та їхній вплив на мікробіом відмітимо, що ґрунтовий покрив Лівобережного Лісостепу України характеризується переважанням чорноземів типових та глибоких мало- і середньогумусних, що сформувалися на лесових породах. Кліматичні умови регіону (помірно-континентальний клімат із проявами періодичних повітряно-ґрунтових посух) накладають специфічний відбиток на функціонування ґрунтового біотичного комплексу [4]. В умовах дефіциту вологи у літній період