

2. Yang F., Tang C., Antonietti M. Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews*. 2021. Vol. 50, No. 10. P. 6221–6239. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0CS01363C>.
3. Dong L., Córdova-Kreylos A. L., Yang J., Yuan H., Scow K. M. Humic acids buffer the effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009. Vol. 41, No. 8. P. 1612–1621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.04.023>.
4. Dey S., Kasai T., Katayama A. Promotion of nitrogen fixation of diverse heterotrophs by solid-phase humin. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. e. 853411. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.853411>.
5. Hoefle D., Sperber S., Marzban N. et al. Artificial humic acid diminishes the effect of drought on the soil microbiome. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*. 2024. Vol. 3, No. 4. e. 70034. DOI: <https://doi.org/10.1002/sae2.70034>.
6. Jiang Y. et al. Humic substances suppress *Fusarium oxysporum* by regulating soil microbial community in the rhizosphere of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Applied Soil Ecology*. 2022. Vol. 174. e. 104389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104389>.
7. Kagan K., Goraj W., Kuźniar A. et al. Exploring the synergy between humic acid substances, dehydrogenase activity and soil fertility. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 5. e. 1031. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14051031>.
8. Tiwari J., Al Ramanathan A., Bauddh K., Korstad J. Humic substances: Structure, function and benefits for agroecosystems – a review. *Pedosphere*. 2023. Vol. 33, No. 2. P. 237-249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.008>.
9. Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Klimkowicz-Pawlas A. et al. Assessing the potential of biochar aged by humic substances to enhance plant growth and soil biological activity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00242-7>.
10. Ben Farhat M., Boukhris I., Chouayekh H. Mineral phosphate solubilization by *Streptomyces* sp. CTM396 involves the excretion of gluconic acid and is stimulated by humic acids. *FEMS Microbiology Letters*. 2015. Vol. 362, No. 5. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsle/fnv008>.

ЗАГАЛЬНА ШПАРУВАТИСТЬ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ У ЗОНАХ АГРОГЕННОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ

Шемякін В. В., аспірант каф. ґрунтознавства
Дегтярьов Ю. В., к. с.-г. н., доцент
 Державний біотехнологічний університет,
 м. Харків, Україна

Пористість ґрунту є одним із головних показників його фізичного стану, що визначає водно-повітряний режим, інфільтраційну здатність та біологічну активність агроєкосистем. Саме вона відображає співвідношення між твердою

фазою та поровим простором, забезпечуючи умови для циркуляції вологи, газообміну та розвитку корневих систем. Зменшення загальної шпаруватості призводить до порушення рівноваги між макро- та мікропорами, що негативно позначається на продуктивності рослин і стійкості ґрунтових екосистем. У сучасних дослідженнях пористість розглядається як чутливий індикатор деградаційних процесів, оскільки вона швидко реагує на антропогенне та техногенне навантаження, включно з агровиробництвом і військовим впливом [1].

Фізична деградація ґрунтів найчастіше проявляється через ущільнення, яке безпосередньо впливає на зменшення загальної шпаруватості. Зниження пористості означає скорочення об'єму макропор, що обмежує інфільтрацію води та газообмін, а також призводить до накопичення надлишкової вологи й дефіциту кисню у кореневій зоні. Такі зміни порушують біогеохімічні цикли, зокрема вуглецю та азоту, і знижують біологічну активність ґрунту [1]. У результаті формується несприятливий водно-повітряний режим, який обмежує ріст і продуктивність рослин, а також знижує стійкість агроекосистем до кліматичних та антропогенних навантажень.

Агрогенне використання ґрунтів також істотно впливає на показники загальної шпаруватості. Регулярний обробіток сприяє розпушенню верхнього шару та тимчасовому підвищенню пористості, однак водночас формує плужну підшову, яка знижує шпаруватість у середніх горизонтах і обмежує доступність вологи для корневих систем. Така диференціація профілю є типовою для довготривалого землекористування, коли верхній шар зберігає відносно високі показники, а нижні горизонти поступово ущільнюються. Це підтверджує, що навіть у відсутності техногенного навантаження агрогенний чинник здатний змінювати структуру порового простору та створювати стійкі обмеження для водно-повітряного режиму [2].

Техногенний та військовий вплив на ґрунтовий покрив спричиняє найбільш глибокі трансформації показника загальної шпаруватості. Механічний тиск важкої гусеничної й колісної техніки, вибухові навантаження та пірогенні процеси призводять до руйнування агрегатної структури й формування надмірно ущільнених шарів, що зберігаються протягом тривалого часу [3, 4]. У результаті поровий простір різко скорочується, а загальна шпаруватість у верхніх горизонтах знижується до критичних значень, що обмежує інфільтрацію води та газообмін. Такі зміни мають довготривалий характер і створюють локальні осередки деградації, які суттєво знижують продуктивність агроландшафтів та ускладнюють процеси рекультивації.

Узагальнюючи, показник загальної шпаруватості виступає універсальним діагностичним критерієм стану чорноземів у зонах інтенсивного антропогенного та військового навантаження. Він дозволяє кількісно оцінити ступінь деградації ґрунтового профілю, виявити локальні осередки ущільнення та простежити вертикальну диференціацію порового простору. Саме пористість найбільш чутливо реагує на поєднання агрогенних і техногенних чинників, відображаючи як короточасні зміни після обробітку, так і довготривалі наслідки механічного

тиску та пірогенного впливу. Тому її використання у комплексі ґрунтово-екологічних досліджень є необхідним для обґрунтування заходів збереження та відновлення продуктивності чорноземів у сучасних умовах.

Дослідження проводилися на чорноземах типових Харківської області за шістьма варіантами землекористування: переліг із пірогенним впливом, природний переліг, ущільнена дорога, розорана дорога, рілля та ділянка стоянки військової техніки. Відбір зразків здійснювався буром у чотирьох глибинах (0–10, 10–20, 20–30, 30–40 см) із трьома повторностями для кожного варіанта. Щільність складення визначали згідно з ДСТУ ISO 11272:2001, щільність твердої фази – пікнометричним методом (ДСТУ 4745:2007). На основі цих показників розраховували загальну пористість за загальноприйнятими формулами. Такий підхід дозволив оцінити вертикальну диференціацію порового простору та встановити характер його трансформації під впливом агрогенних і техногенних чинників.

У природному перелозі загальна шпаруватість у верхньому шарі (0–10 см) становила 53,39%, що відображало добре збережену структуру ґрунту та оптимальний водно-повітряний режим. У горизонтах 10–20 та 20–30 см показники залишалися стабільно високими – понад 51%, а на глибині 30–40 см шпаруватість становила 51,62% (рис. 1). Така рівномірність профільного розподілу свідчить про стійкість порового простору та відсутність ознак деградації. Природний переліг характеризується еталонним станом чорнозему типового, демонструючи максимальну стабільність показника загальної шпаруватості.

У варіанті перелогу, що зазнав пірогенного навантаження, загальна шпаруватість у верхньому шарі (0–10 см) становила 50,94%, що було нижчим порівняно з природним контролем. Це вказувало на локальне зменшення порового простору внаслідок термічного руйнування органічних речовин та зниження біологічної активності. У горизонтах 10–20 та 20–30 см шпаруватість зростала до 51,87%, що підтверджувало відсутність глибокого пірогенного впливу. На глибині 30–40 см показник знову знижувався до 50,47%, що є типовим для природного ущільнення нижніх горизонтів чорноземів. Таким чином, пірогенна деградація проявлялася переважно у верхньому шарі, не спричиняючи суттєвих змін у глибших горизонтах профілю.

На ділянці дороги, що зазнала багаторазового проходження важкої військової техніки, загальна шпаруватість у верхньому шарі (0–10 см) становила лише 40,75%, що є критично низьким показником для чорноземів. У горизонті 10–20 см шпаруватість залишалася на рівні 41,32%, підтверджуючи глибоке техногенне ущільнення. На глибині 20–30 см показник дещо зростав до 47,79%, проте залишався нижчим за контрольні значення. У шарі 30–40 см шпаруватість становила 46,62%, що означало проникнення механічного впливу на значну глибину профілю. Таким чином, дорога є прикладом найбільш інтенсивної деградації порового простору, що призводить до різкого погіршення водно-повітряного режиму та високого ризику розвитку ерозійних процесів.

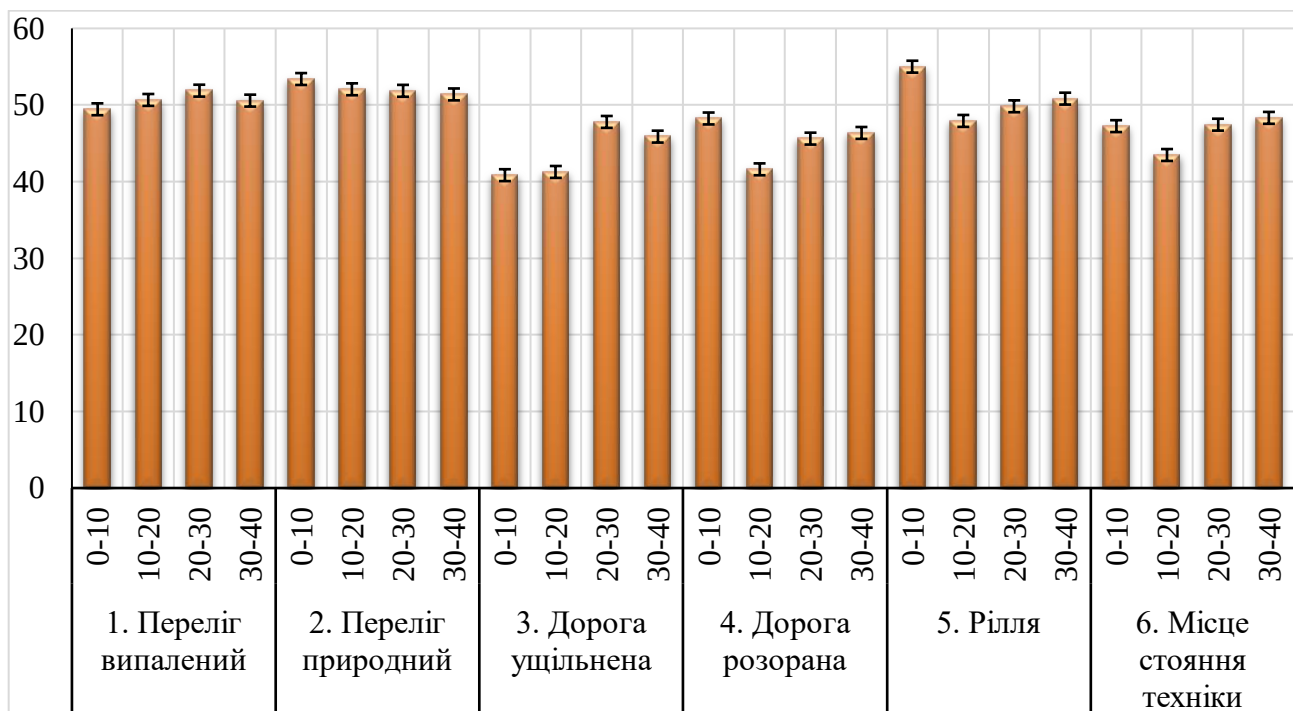


Рис. 1. Загальна шпаруватість чорноземів типових за різних умов використання, %

У варіанті дороги після поверхневого обробітку загальна шпаруватість у верхньому шарі (0–10 см) становила 48,24%, що свідчило про часткове відновлення порового простору порівняно з ущільненою дорогою. Проте вже у горизонті 10–20 см показник різко знижувався до 41,13%, що підтверджувало збереження ущільненого шару під орним горизонтом. У глибших шарах (20–30 та 30–40 см) шпаруватість залишалася на рівні 45–46%, що вказувало на стійке техногенне ущільнення профілю. Таким чином, поверхневий обробіток лише частково підвищує пористість у верхньому шарі, але не усуває глибші порушення, формуючи вторинний ущільнений горизонт.

У варіанті ріллі загальна шпаруватість у верхньому шарі (0–10 см) становила 55,00%, що було найвищим показником серед агрогенних варіантів і доводило ефективність регулярного обробітку у підтриманні порового простору. Проте вже у горизонті 10–20 см шпаруватість різко знижувалася до 44,92%, що відображало формування плужної підшви та обмеження водно-повітряного режиму. У глибших шарах (20–30 та 30–40 см) показники залишалися на рівні 47–48%, що свідчило про часткове відновлення пористості, але без досягнення контрольних значень. Таким чином, агрогенне використання спричиняє диференціацію профілю та формування ущільненого горизонту, який обмежує доступність вологи й газообмін у середній частині ґрунтового профілю.

На ділянці тимчасового розміщення військової техніки загальна шпаруватість у верхньому шарі (0–10 см) становила 49,81%, що було близьким до показників перелігу з пірогенним впливом. Проте у горизонті 10–20 см вона різко знижувалася до 43,47%, що вказувало на формування ущільненого шару під поверхнею внаслідок тривалого тиску маси техніки. У глибших шарах (20–

30 та 30–40 см) шпаруватість підвищувалася до 47–48%, проте залишалася нижчою за контрольні значення природного перелогу. Таким чином, поєднання механічного навантаження та можливого хімічного забруднення призвело до стійкого зниження пористості середніх горизонтів чорнозему, що обмежує його водно-повітряний режим та біологічну активність.

Аналіз показників загальної шпаруватості чорноземів типових засвідчив чіткі відмінності між природними, агрогенними та техногенними варіантами. Природний переліг демонстрував найвищу та стабільну шпаруватість у всьому профілі (понад 51%), що відображало еталонний стан порового простору. Пірогенний вплив спричиняв локальне зниження шпаруватості у верхньому горизонті, але не мав глибоких наслідків. Найбільш критичні зміни спостерігалися на дорозі, де шпаруватість у верхніх шарах знижувалася до 40–41%, що свідчило про глибоке техногенне ущільнення. Поверхневий обробіток дороги частково відновлював пористість у верхньому шарі, проте не усував ущільнення на глибині 10–20 см. У варіанті ріллі відзначалося підвищення шпаруватості у верхньому горизонті (55%), але формування плужної підшви знижувало її до 44–45% у середніх шарах. Стоянка військової техніки характеризувалася зменшенням шпаруватості до 43–44% у шарі 10–20 см, що підтверджувало стійке порушення профілю.

Отже, показник загальної шпаруватості є чутливим індикатором деградації чорноземів типових: він чітко відображає як локальні пірогенні зміни, так і глибоке техногенне ущільнення, а також диференціацію профілю під впливом агрогенного використання.

Література

1. Nawaz M. F., Bourrié G., Trolard F. Soil compaction and modelling: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2013. Vol. 33. P. 291–309. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-011-007>
2. Keller T., Håkansson I. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*. 2010. Vol. 154, No. 3–4. P. 398–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.013>
3. Olson K., Speidel D. Review and analysis: successful use of soil tunnels in medieval and modern warfare and smuggling. *Open Journal of Soil Science*. 2020. Vol. 10, No. 5. P. 194–215. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojss.2020.105010>
4. Golubtsov O., Sorokina L., Sploitel A., Chumachenko S. The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis results. Kyiv: NGO "Center for Environmental Initiatives Ekodia", 2023. 32 p.