

ОГЛЯДИ

УДК 502.131.1:911.375.1

doi: 10.25128/2078-2357.25.1–2.9

Г. Б. ГУМЕНЮК, В. В. ГРУБІНКО

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: gumenjuk@chem-bio.com.ua

ЯКІСТЬ ҐРУНТУ ЯК ІНДИКАТОР СТАЛОГО РОЗВИТКУ

У статті висвітлено сучасні підходи до оцінки якості ґрунтів у контексті сталого управління земельними ресурсами. Розкрито роль ґрунтового покриву як основи екосистемних послуг і біорізноманіття. Проаналізовано переваги застосування методів машинного навчання (МН) для моделювання властивостей ґрунту, визначення впливу фізичних, хімічних і біологічних показників на його якість. Показано, що використання моделей дозволяє виявляти нові закономірності, формувати наукові теорії та оптимізувати підходи до оцінки ефективності екологічного відновлення природних територій. Запропоновано адаптивний та стратегічний підходи до управління ґрунтовими ресурсами, які можуть підвищити ефективність сталого землекористування в Україні.

Ключові слова: якість ґрунту, стале управління ґрунтами, методи машинного навчання, модель, сталий розвиток, алгоритми, множинна лінійна регресія.

Нині термін «якість ґрунту» широко використовують в усьому світі, що свідчить про зростаюче усвідомлення важливості ґрунту як ключового елементу біосфери. Поняття «якість ґрунту» та «здоров'я ґрунту» часто вживають як синоніми. Дехто надає перевагу поняттю «здоров'я ґрунту», яке підкреслює уявлення про ґрунт як про живу, динамічну систему, що функціонує як єдиний організм, а не як інертну субстанцію. Водночас інші фахівці вважають за доцільне вживати термін «якість ґрунту», який акцентує на його фізичних, хімічних та біологічних властивостях.

Якість ґрунту відіграє ключову роль у трьох основних аспектах сталого управління земельними ресурсами: забезпеченні продуктивності сільськогосподарських культур і тваринництва, збереженні якості природного середовища, а також підтримці здоров'я рослин, тварин і людей. Для ефективної оцінки якості ґрунту сучасні науковці повинні формувати нові дослідницькі підходи та філософії, орієнтовані на цілісне, системне вивчення.

Проведення таких досліджень і впровадження технологій, придатних до застосування фахівцями з землеустрою, потребує міждисциплінарної взаємодії, що охоплює виробничі аспекти, питання екології та охорони здоров'я. Окрім того, ґрунт відіграє важливу роль у збереженні та покращенні якості повітря й води на всіх рівнях – від місцевого до глобального.

Ґрунти виконують важливі екосистемні функції, забезпечуючи життєздатність екосистем і збереження біорізноманіття. Розуміння їхньої якості потребує оцінки екологічних процесів, які в них відбуваються. Однак лише незначна кількість досліджень безпосередньо аналізує ефективність екологічного відновлення через призму показників якості ґрунту. Згідно з сучасними науковими уявленнями, ґрунт розглядають як ключовий самостійний природний ресурс і невід'ємна складова біосфери. Він є обмеженим, незамінним і важковідтворюваним

ресурсом, що характеризується надзвичайною складністю, неоднорідністю та мінливістю. Ґрунтове середовище виконує широкий спектр життєво важливих функцій.

У глобальному масштабі зростає усвідомлення значення ґрунтового покриву, що знаходить відображення у прийнятті міжнародних конвенцій, стратегій і програм, спрямованих на збереження ґрунтів. Підвищена увага до проблем ґрунтів зумовлена їхнім поточним станом, динамікою деградаційних процесів, а також критичною роллю у забезпеченні продовольчої безпеки та виконанні екологічних функцій. Додатковими чинниками є зростання чисельності населення, скорочення площ сільськогосподарських угідь, кліматичні зміни та загострення глобальної продовольчої кризи.

Фахівці Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) окреслюють ключові функції ґрунтів, які умовно поділяють на три основні групи:

- а) продуктивні – пов'язані з формуванням біомаси та забезпеченням сільськогосподарського виробництва;
- б) екологічні (біоекологічні) – включають підтримку біорізноманіття, біоенергетичні функції як резервуари вуглецю, біогеохімічні цикли, гідрологічні процеси, а також газообмінні функції, що забезпечують надання критично важливих екосистемних послуг;
- в) соціально-культурні – відображають зв'язок між суспільством і ґрунтовими ресурсами, впливають на якість життя, безпеку харчування та реалізацію прав людини.

Формула «здорові ґрунти – здорова нація» підкреслює стратегічне значення ґрунтового ресурсу для сталого розвитку. Це визначає високу актуальність питання ефективного управління ґрунтами з урахуванням їхньої просторової неоднорідності. Стан ґрунтового покриву в агроландшафтах є визначальним фактором сталого функціонування біосфери. Надмірна розораність, недотримання агротехнічних норм, безконтрольне застосування мінеральних добрив і пестицидів руйнують природну рівновагу ґрунтових екосистем, що призводить до зниження родючості та подальшої деградації ґрунтів [2, 7, 35]. Це безпосередньо впливає на урожайність і здатність ґрунтів забезпечувати вирощування сільськогосподарських культур [16]. Визначення пріоритетних напрямів дослідження ґрунтів, а також отримання достовірних якісних і кількісних показників у ґрунтознавстві, зокрема щодо прогнозування їхнього стану та оцінки антропогенного впливу, є надзвичайно важливим. Ідентифікація екологічних загроз і ризиків створює передумови для моделювання заходів протидії деструктивним екологічним чинникам та формування ефективного механізму їх реалізації, що сприятиме покращенню стану сільськогосподарських угідь.

Для досягнення цієї мети необхідно дослідити вплив окремих елементів родючості на загальну якість ґрунтів, а також розробити відповідні моделі їх оцінювання.

Визначення пріоритетних напрямів дослідження ґрунтів, а також отримання достовірних якісних і кількісних показників у ґрунтознавстві, зокрема щодо прогнозування їхнього стану та оцінки антропогенного впливу, є надзвичайно важливим. Ідентифікація екологічних загроз і ризиків створює передумови для моделювання заходів протидії деструктивним екологічним чинникам та формування ефективного механізму їхньої реалізації, що сприятиме покращенню стану сільськогосподарських угідь [9].

Для досягнення цієї мети необхідно дослідити вплив окремих елементів родючості на загальну якість ґрунтів, а також розробити відповідні моделі їх оцінювання. Індекс якості ґрунту було розроблено з урахуванням управлінських цілей, орієнтованих не лише на підвищення продуктивності, що в окремих випадках може спричинити деградацію ґрунтів [9], а й на вирішення екологічних питань. У зв'язку з цим, концепція якості ґрунту включає три ключові аспекти: екологічну якість, агрономічну стійкість і соціально-економічну ефективність [5]. Попри складність оцінювання індексу якості ґрунту [11], упродовж останніх років спостерігається суттєвий прогрес у його застосуванні до різноманітних типів ґрунтів [3, 4, 5, 10, 11, 23]. Слід зазначити, що уявлення про якість ґрунту зазнали істотної еволюції, що зумовлено поглибленням знань про ґрунтові процеси та особливості його використання. Показники якості ґрунту повинні достовірно відображати перебіг ґрунтових процесів, інтегрувати різноманітні властивості ґрунту та бути чутливими до змін у навколишньому середовищі [9]. Хоча поняття якості ґрунту на перший погляд є доволі очевидним, його

об'єктивне вимірювання все ще становить певну наукову складність. Під якістю ґрунту зазвичай розуміють його здатність ефективно функціонувати в межах природних або антропогенно трансформованих екосистем, забезпечуючи ріст рослинної продукції при мінімізації процесів деградації [9]. Дослідники [23] вважають, що обмежений набір ретельно відібраних індикаторів може надати вичерпну інформацію для оцінки якості ґрунту.

Серед методів, що застосовуються для визначення цього показника, найчастіше використовують прості лінійні регресії, побудову індексів якості ґрунтів, а також різноманітні багатовимірні статистичні підходи. Із розширенням доступу до відкритих ґрунтових баз даних та результатів експериментальних досліджень, дедалі частіше вдаються до використання методів машинного навчання (МН) для глибокого аналізу ґрунтових характеристик [24].

Множинна лінійна регресія є одним із поширених статистичних методів, що активно застосовують дослідники для оцінки якості ґрунтів у контексті різноманітних систем землекористування [19]. Учені [22, 28] зазначають, що МН відкривають нові можливості у спостереженні, моделюванні та побудові як умовних моделей ґрунтових процесів. Використання МН дозволяє не лише глибше зрозуміти природу змін у ґрунтових характеристиках, але й оцінити вплив ґрунтових показників на загальну якість ґрунту. Крім того, виявлені за допомогою МН нові кореляції та закономірності можуть слугувати основою для формування нових гіпотез і визначення перспективних напрямів подальших досліджень [21].

У дослідженні [33] було застосовано низку методів машинного навчання, зокрема штучні нейронні мережі, метод опорних векторів, а також множинну лінійну регресію для прогнозування одного із ключових показників – органічного карбону. Аналогічно, у роботі [13] розроблено модель оцінки якості ґрунтів на основі множинної лінійної регресії з урахуванням комплексу ґрунтових параметрів.

Результати аналізу сучасних досліджень і публікацій свідчать про зростаючий інтерес наукової спільноти до проблем сталого управління ґрунтами. Особливу активність у цьому напрямку демонструють зарубіжні вчені. Зокрема, дослідники з Німеччини відзначають, що ґрунти є основою сільськогосподарського виробництва, функціонування екосистем і загального добробуту суспільства. Проте, як парадоксально, у багатьох національних і навіть європейських політиках сталому управлінню ґрунтовими ресурсами надається лише обмежена увага [3]. Після проголошення Міжнародного року ґрунтів у 2015 році та ухвалення Всесвітньої хартії ґрунтів, Глобальне ґрунтове партнерство (GSP) при ФАО розробило Добровільні керівні принципи сталого управління ґрунтами (VGSSM), які підтримали країни-члени організації. Однак, попри існуючі рекомендації та ініціативи, їх впровадження залишається недостатнім через відсутність ефективних політичних стимулів, інвестицій, а також обмежену доступність наукових знань для практиків. Як наслідок, проблема деградації ґрунтів залишається актуальною та поширеною у всьому світі [34].

Стале управління ґрунтом (Sustainable Soil Management) у виробничих умовах передбачає таку систему заходів, за якої його функції сприяють забезпеченню екосистемних послуг і збереженню біорізноманіття, природні та економічні ресурси використовуються ефективно, аграрне виробництво залишається економічно прибутковим, а умови праці та виробництва відповідають етичним нормам і стандартам охорони здоров'я [6]. Дослідження у сфері сталого управління ґрунтами потребують міждисциплінарного підходу та мають охоплювати три взаємопов'язані завдання:

- 1) глибоке розуміння впливу методів управління на ґрунтові процеси та функції;
- 2) оцінку сталості практик управління з урахуванням просторової варіабельності геофізичних та соціально-економічних умов;
- 3) формування системного бачення рушійних сил й обмежень, що впливають на прийняття рішень фермерами, а також ролі інструментів управління у формуванні практик сталого використання ґрунтів.

Досягнення цілей сталого управління ґрунтами потребує тісної співпраці між ученими-природознавцями, які досліджують функції ґрунту, та фахівцями із соціальних й економічних наук, що вивчають механізми трансформації цих функцій у соціально-економічно цінні

екосистемні послуги [6]. Актуальні наукові дослідження охоплюють широкий спектр проблем: від аналізу деградації ґрунтів і пошуку шляхів сталої інтенсифікації аграрного виробництва до реалізації цілей сталого розвитку на різних рівнях – глобальному, національному, регіональному й локальному [32].

Зарубіжні вчені активно вивчають такі проблеми:

- екосистемні послуги ґрунтів та їх енергетичний й економічний аналіз [32];
- оцінку якості ґрунтів у контексті сталого землекористування [1];
- рівень обізнаності фермерів щодо якості ґрунтів і методів управління родючістю [14, 15];
- роль аграрних консультацій у підтримці сталого ґрунтового менеджменту [17].

Українські дослідники також роблять вагомий внесок у розвиток цього напрямку, зосереджуючи увагу на таких аспектах, як:

- роль ґрунтів у розвитку суспільства [26, 27];
- сучасний екологічний стан ґрунтів України [12];
- географія, генеза та сучасний стан чорноземів [27];
- оцінка економічних збитків від деградації ґрунтів [18];
- формування сталих систем землекористування й охорони ґрунтів [31];
- управління доступом до оцінки ріллі [20].

Установлено, що чинна система управління ґрунтовими ресурсами в Україні є недостатньо збалансованою і не гарантує збереження їх родючості. Посилення процесів деградації ґрунтів зумовлено конфліктом між державними пріоритетами охорони ґрунтів та приватними інтересами, спрямованими на отримання швидкого прибутку. Отже, розв'язання проблеми деградації ґрунтів вимагає впровадження нових методичних підходів та комплексного вирішення в організаційній, інформаційній, технологічній і фінансовій площинах [8, 12].

Висновки

У сучасних умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, глобальних і регіональних кліматичних змін, недосконалої аграрної практики та неефективного управління земельними ресурсами спостерігається посилення процесів деградації земель сільськогосподарського призначення. Рациональне використання та охорона ґрунтів є одним із ключових чинників забезпечення сталого розвитку аграрної сфери. Вирішення цієї проблеми можливе лише за умови впровадження системних заходів, заснованих на комплексному аналізі стану ґрунтового покриву. Перспективним напрямом досліджень є застосування моделей оцінки якості ґрунтів на основі методів машинного навчання, що забезпечує урахування комплексу фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунту для об'єктивної та точної діагностики його стану. У ході дослідження отримано науково обґрунтовані положення щодо вдосконалення сталого управління ґрунтовими ресурсами України, які передбачають адаптивний і інтегрований підходи до оцінювання та збереження родючості ґрунтів. Реалізація таких підходів на національному рівні сприятиме підвищенню ефективності землекористування, відновленню деградованих земель і забезпеченню продовольчої безпеки держави.

1. Adeyolanu O., Ogunkunle A. Soil quality assessment for sustainable land use and management. *International journal of plant & soil science*. 2016. Vol. 13, No. 6. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2016/22136>.
2. Amangaliev B. M. Dynamics of fertility indicators of light-chestnut soil and oil flax productivity under bogarian conditions of southeast kazakhstan. *SABRAO journal of breeding and genetics*. 2023. Vol. 55, No. 6. P. 2195–2206. DOI: <https://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.6.30>.
3. Andrews S. S., Carroll C. R. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological applications*. 2001. Vol. 11, No. 6. P. 1573–1585. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1573:dasqat\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1573:dasqat]2.0.co;2).
4. Andrews S. S., Karlen D. L., Cambardella C. A. The soil management assessment framework. *Soil science society of america journal*. 2004. Vol. 68, No. 6. P. 1945–1962. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1945>.

5. Andrews S. S., Karlen D. L., Mitchell J. P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2002. Vol. 90, No. 1. P. 25–45. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(01\)00174-8](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(01)00174-8).
6. Assessment and governance of sustainable soil management / K. Helming et al. *Sustainability*. 2018. Vol. 10, No. 12. P. 4432. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10124432>.
7. Assessment of the potential for a biofuels industry in Ukraine / C. Zulauf et al. *Problems and perspectives in management*. 2018. Vol. 16, No. 4. P. 83–90. DOI: [https://doi.org/10.21511/ppm.16\(4\).2018.08](https://doi.org/10.21511/ppm.16(4).2018.08).
8. Baliuk S., Miroshnychenko M., Medvediev V. Scientific bases of stable management of soil resources of Ukraine. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2018. Vol. 96, No. 11. P. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-01>.
9. Defining soil quality for a sustainable environment / ed. by J. W. Doran et al. Madison, WI, USA : Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1994. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35>.
10. Determination of the quality index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems / J. C. Fernandes et al. *Soil and tillage research*. 2011. Vol. 112, No. 2. P. 167–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.01.001>.
11. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity / A. K. Bhardwaj et al. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2011. Vol. 140, No. 3–4. P. 419–429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.005>.
12. Environmental state of soils in Ukraine / S. A. Baliuk et al. *Ukrainian geographical journal*. 2012. Vol. 2. P. 38–42.
13. Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and biochemical properties / R. Zornoza et al. *Science of the total environment*. 2007. Vol. 378, No. 1–2. P. 233–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.052>.
14. Exploring farmers' indigenous knowledge of soil quality and fertility management practices in selected farming communities of the guinea savannah agro-ecological zone of ghana / R. Ansong Omari et al. *Sustainability*. 2018. Vol. 10, No. 4. P. 1034. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10041034>.
15. Farmers' knowledge of soil quality indicators along a land degradation gradient in Rwanda / A. W. Kuria et al. *Geoderma regional*. 2019. Vol. 16. P. e00199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00199>.
16. How does national SOC monitoring on agricultural soils align with the EU strategies? An example using five case studies / K. H. E. Meurer et al. *European journal of soil science*. 2024. Vol. 75, No. 2.
17. Ingram J., Mills J. Are advisory services “fit for purpose” to support sustainable soil management? An assessment of advice in Europe. *Soil use and management*. 2019. Vol. 35, No. 1. P. 21–31. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12452>.
18. Kucher A. V., Kucher L. Y. Expert assessment of economic losses caused by soil degradation at agricultural enterprises. *Actual problems of economics*. 2015. Vol. 8. P. 165–169.
19. Lentzsch P., Wieland R., Wirth S. Application of multiple regression and neural network approaches for landscape-scale assessment of soil microbial biomass. *Soil biology and biochemistry*. 2005. Vol. 37, No. 9. P. 1577–1580. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.01.017>.
20. Management of soil fertility based on improvement methodological approach to evaluation of arable land: case of ukraine / Y. Ulko et al. *Journal of environmental management and tourism*. 2019. Vol. 9, No. 7. P. 1559. URL: [https://doi.org/10.14505/jemt.9.7\(31\).18](https://doi.org/10.14505/jemt.9.7(31).18).
21. Ma Y., Minasny B., Wu C. Mapping key soil properties to support agricultural production in Eastern China. *Geoderma regional*. 2017. Vol. 10. P. 144–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.06.002>.
22. Mjolsness E. Machine learning for science: state of the art and future prospects. *Science*. 2001. Vol. 293, No. 5537. P. 2051–2055. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.293.5537.2051>.
23. On-Farm assessment of soil quality in california's central valley / S. S. Andrews et al. *Agronomy journal*. 2002. Vol. 94, No. 1. P. 12–23. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1200>.
24. Padarian J., Minasny B., McBratney A. B. Machine learning and soil sciences: a review aided by machine learning tools. *Soil*. 2020. Vol. 6, No. 1. P. 35–52. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-6-35-2020>.
25. Pozniak S. Chernozems of Ukraine: past, present and future perspectives. *Soil science annual*. 2019. Vol. 70, No. 3. P. 193–197. DOI: <https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0017>.
26. Pozniak S. P., Havrysh N. S. The role of soils in social development of society. *Ukrainian geographical journal*. 2019. Vol. 2019, No. 1. P. 57–61. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.02.057>.
27. Pozniak S. P. Chernozems of ukraine: geography, genesis and current conditions. *Ukrainian geographical journal*. 2016. Vol. 2016, No. 1. P. 09–13. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.01.009>.
28. Rossiter D. G. Past, present & future of information technology in pedometrics. *Geoderma*. 2018. Vol. 324. P. 131–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.009>.

29. Stocking M. A. Tropical soils and food security: the next 50 years. *Science*. 2003. Vol. 302, No. 5649. P. 1356–1359. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1088579>.
30. Sustainable soil management – Farmers' perspectives on subsoil compaction and the opportunities and barriers for intervention / M. H. Thorsøe et al. *Land use policy*. 2019. Vol. 86. P. 427–437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.017>.
31. Tarariko O. H. Sustainable land use management and soil conservation: urgency and challenges in modern conditions. *Ukrainian geographical journal*. 2016. Vol. 2016, No. 3. P. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.056>.
32. Tools for sustainable soil management: soil ecosystem services, EROI and economic analysis / J. Ö. G. Jónsson et al. *Ecological economics*. 2019. Vol. 157. P. 109–119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.010>.
33. Using machine learning algorithms to estimate soil organic carbon variability with environmental variables and soil nutrient indicators in an alluvial soil / K. John et al. *Land*. 2020. Vol. 9, No. 12. P. 487. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9120487>.
34. Voluntary guidelines for sustainable soil management: global action for healthy soils / R. Baritz et al. *International yearbook of soil law and policy 2017*. Cham, 2017. P. 17–36. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-68885-5_3.
35. Zubar I., Pryshliak N., Berezyuk S. Ecological and economic problems of fertilizers application in crop production. *Bulgarian journal of agricultural science*. 2021. Vol. 27. P. 29–37.

H. B. Humeniuk, V. V. Hrubinko

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

SOIL QUALITY AS AN INDICATOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

This article examines modern approaches to assessing soil quality within the framework of sustainable land management. It emphasizes the importance of an interdisciplinary approach that integrates agronomic, ecological, and socio-economic considerations. Particular attention is given to the ecosystem functions of soil, including its vital role in preserving biodiversity, maintaining air and water quality, and contributing to biomass formation. The article highlights the necessity of developing effective soil quality evaluation models that account for spatial heterogeneity, relevant indicator parameters, and potential anthropogenic impacts. It analyzes the concept of a soil quality index, which integrates productivity, ecological stability, and social relevance. The critical role of high-quality monitoring is underscored as a means to counteract degradation processes and develop scientifically sound strategies for soil resource conservation. The article reveals the central role of soil cover as the foundation for ecosystem services and biodiversity. It analyzes the advantages of using machine learning (ML) methods for modeling soil properties and determining the influence of physical, chemical, and biological indicators on soil quality. The use of ML models is shown to enable the identification of new patterns, the formation of scientific theories, and the optimization of approaches to assessing the effectiveness of ecological restoration in natural areas. The article proposes adaptive and strategic approaches to soil resource management that can enhance the effectiveness of sustainable land use in Ukraine.

Three main tasks of sustainable soil management are defined:

1. Analyzing the impact of management practices on soil processes.
2. Assessing the sustainability of these practices, considering spatial variability.
3. Understanding the social and economic factors that influence decision-making.

The article outlines current trends in international and domestic research on sustainable soil use. It concludes that Ukraine's existing soil management system is insufficiently effective, contributing to the intensification of soil degradation processes. Therefore, the necessity of introducing new approaches to the organization, financing, and monitoring of soil resources is substantiated to ensure their preservation and restoration.

Key words: soil quality, sustainable soil management, machine learning methods, model, sustainable development, algorithms, multiple linear regression.

Надійшла 16.05.2025.