

УДК 631.6.02:[(292:485+438.42(477))

DOI: <https://doi.org/10.31073/abg.69.09>

ПРОГНОЗ ВТРАТ ҐРУНТІВ ВІД ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ В ПОЛІССІ ТА ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Ю. А. НИКИТЮК¹, О. І. КРАВЧЕНКО²¹Поліський національний університет (Житомир, Україна)²Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця НААН (Чубинське, Україна)<https://orcid.org/0000-0001-9142-7699> – Ю. А. Никитюк<https://orcid.org/0009-0002-5468-4404> – О. І. Кравченко

kravchenko.irgt@gmail.com

Кліматичні умови та екологічні режими в окремих зонах зазнають настільки глибоких змін, що більше не відповідають традиційним уявленням про типові природні процеси. Хоча причини глобальних кліматичних змін залишаються предметом наукових дискусій, сам факт цих змін вже не викликає сумнівів. У зв'язку з цим, технологічні рішення, які були розроблені для стабільних умов, втрачають свою ефективність в умовах, що стрімко змінюються. При цьому проявляються агроекологічні ефекти, які виходять за межі окремих полів чи господарств і потребують управління на рівні регіону.

Такі ефекти характеризуються просторово-часовою інерційністю, що зумовлює потребу у довгостроковому стратегічному плануванні розвитку аграрного сектору в межах великих територіальних одиниць. Ефективне планування може базуватися лише на теоретичному розумінні системних властивостей агроекологічних систем на регіональному рівні. Створення такої теоретичної основи та визначення наявності системності у природно-антропогенних комплексах є важливим і актуальним завданням сучасної науки.

Ключові слова: ґрунт, глобальне потепління, ерозія ґрунтів, опади, деградація ґрунтів, водна ерозія

FORECAST OF SOIL LOSS DUE TO WATER EROSION IN THE POLISSIA AND FOREST-STEPPE REGIONS OF UKRAINE

Yu. A. Nykytiuk¹, O. I. Kravchenko²¹Polissia National University (Zhytomyr, Ukraine)²Institute of Animal Breeding and Genetics nd. a. M.V. Zubets of NAAS (Chubynske, Ukraine)

Climatic conditions and ecological regimes in certain zones are undergoing such profound changes that they no longer correspond to traditional notions of typical natural processes. However, the causes of global climate change remain a subject of scientific debate, the fact of these changes is no longer in doubt. As a result, technological solutions developed for stable conditions are losing their effectiveness in rapidly changing environments. At the same time, agroecological effects are emerging that extend beyond individual fields or farms and require management at the regional level.

Such effects are characterized by spatial and temporal inertia, which determines the need for long-term strategic planning of agricultural sector development within large territorial units. Effective planning can only be based on a theoretical understanding of the systemic properties of agroecological systems at the regional level. Developing such a theoretical foundation and determining the existence of systemic characteristics in natural-anthropogenic complexes is an important and timely scientific challenge.

Keywords: soil, global warming, soil erosion, precipitation, land degradation, water erosion

Вступ. Ґрунт, як невідновлюваний природний ресурс, відіграє ключову роль у підтримці життя на планеті, забезпечуючи близько 95% глобального виробництва продуктів харчування та виконуючи важливі екосистемні функції – від утворення біомаси до очищення забруднень і перенесення речовин та енергії між природними системами. Проте нераціональне використання земель і зміни клімату становлять загрозу для цього природного капіталу. Формування ґрунту – це повільний процес, який може тривати сотні або навіть тисячі років і залежить від кліматичних умов, біологічної активності, часу та характеристик материнської породи. Коли ґрунт втрачається швидше, ніж утворюється, внаслідок ерозії, це призводить до його деградації і формування сучасного рельєфу. Ерозія – це процес змивання верхнього родючого шару ґрунту водою, вітром або внаслідок діяльності людини. Якщо темпи ерозії перевищують природну швидкість ґрунтоутворення, втрачається родючий шар, що негативно позначається на рослинному покриві та можливостях землекористування (Alewell et al., 2015). У Тематичній стратегії Європейської Комісії з охорони ґрунтів ерозія визначена однією з восьми ключових загроз (Panagos et al., 2024). В Європейському Союзі ерозія ґрунтів залишається актуальною проблемою, що впливає на довкілля, клімат і добробут населення. Її подолання за допомогою політичних заходів, сталого землекористування та участі громадськості відкриває можливості для збереження ґрунтових ресурсів нинішнього і майбутнього поколінь (Panagos et al., 2016). Упродовж останніх десяти років проблема ерозії набула суттєвого значення в екологічній політиці ЄС, оскільки вона впливає на продовольчу безпеку, якість води, біорізноманіття, функціонування екосистем, явища, як-от грязьові паводки, евтрофікація, а також на вуглецеві запаси. Серед усіх типів ерозійних процесів саме водна ерозія спричиняє найбільші втрати ґрунту в Європі (Ferreira et al., 2022). На її інтенсивність впливають такі чинники, як кількість опадів, характеристики ґрунтів, рельєф місцевості, вид землекористування та методи управління земельними ресурсами.

Результати досліджень. Зростання середньої глобальної температури земної поверхні порівняно з доіндустріальним періодом може суттєво впливати на процеси опустелювання, деградації земель і продовольчої безпеки (Bolan et al., 2024). Опустелювання – це процес виснаження земель у посушливих, напівпосушливих та сухих вологих зонах, спричинений діяльністю людини. Він знижує біопродуктивність територій і сприяє перетворенню сільськогосподарських угідь і пасовищ на непридатні для використання пустельні землі (Karrar & Stiles, 1984). Деградація земель, що спричинена змінами клімату, проявляється через ерозію, втрату рослинного покриву, лісові пожежі та танення вічної мерзлоти (Agbeshie et al., 2022). Такий деградований стан означає втрату здатності ґрунтів виконувати свої функції, зокрема – підтримувати життя та забезпечувати людей продовольством. Через повільний процес відновлення ґрунтів вони вважаються невідновлюваними ресурсами (Kraamwinkel et al., 2021). Кліматичні зміни становлять серйозну загрозу для продовольчої безпеки, оскільки призводять до нестабільності врожаїв та ускладнюють постачання харчових продуктів. Такі ризики можуть стати причиною хронічної нестачі їжі та недоїдання серед мільйонів людей, що матиме потенціал до масштабного поширення (Mirzabaev et al., 2023). Глобальне потепління посилює гідрологічний цикл, що проявляється в збільшенні кількості опадів, більш частих і сильних зливах, а також у зростанні частоти екстремальних погодних явищ, таких як повені та посухи (Brooks, 2013). Як і надмірна кількість, так і нестача вологи негативно впливають на стан ґрунту та його функціонування, що безпосередньо позначається на сільському господарстві та врожайності. Рівень вологості ґрунту є ключовим чинником для росту сільськогосподарських культур і має визначальне значення для забезпечення глобальної продовольчої безпеки (Furtak & Wolińska, 2023).

Зміни в кількості опадів, разом із прогнозованим підвищенням температури, змінами сонячної радіації та збільшенням концентрації вуглекислого газу в атмосфері, сприятимуть посиленню процесів ерозії ґрунтів. Навіть при зниженні річного рівня опадів, ризик ерозії може зростати через зменшення біомаси, що викликає негативні зворотні зв'язки в екосистемі (Nearing et al., 2004). ГІС-модель RUSLE продемонструвала свою ефективність у дослі-

дженнях потенціалу ерозії ґрунтів на глобальному рівні. Очікується, що глобальне потепління значно посилить ерозійні процеси, особливо в регіонах, де одночасно зростатимуть кількість опадів і щільність населення, що може призвести до серйозних екологічних проблем (Yang et al., 2003). Проведення оцінки ґрунтових втрат на національному та регіональному рівнях дозволяє кількісно визначити вплив кліматичних змін, змін у рослинному покриві та системах землекористування на темпи ерозії, а також визначити пріоритетні напрямки для реалізації програм з відновлення ґрунтів (Lu et al., 2003). У Європі результати регіональних і локальних досліджень свідчать про те, що інтенсивність дощової ерозії може зрости, навіть якщо середньорічна кількість опадів зменшуватиметься, що спричинить додаткові втрати ґрунту з орних земель (Routschek et al., 2014). Хоча кліматичні зміни залишаються головним чинником, що впливає на ерозійні процеси, низка досліджень вказує, що зміна землекористування та структури сівозмін також є вагомими чинниками, які сприятимуть прискоренню ерозії у майбутньому. Перетворення природних екосистем на сільськогосподарські площі разом з інтенсифікацією агротехнічних практик тісно пов'язані зі зростанням інтенсивності ерозії (Vanwalleghem et al., 2017). Кліматичні зміни та трансформації у використанні земель визначаються як основні чинники, що впливатимуть на майбутні зміни в ерозійній динаміці. Це підкреслює актуальність подальших наукових досліджень у цій галузі.

Рівень водної ерозії ґрунтів визначається інтенсивністю і розподілом опадів упродовж року, стійкістю ґрунту до ерозійного впливу та захисною дією рослинного покриву. Аналіз змін параметрів моделі RUSLE у часовому вимірі виявив лінійну тенденцію в період з 1960 до 2060 року. Нахил прямої у лінійній моделі відображає напрямок і силу змін певного параметра на рівні адміністративного району в зазначений період (див. рис. 1). У 52,9% випадків спостерігалось зниження значень R-фактора, що свідчить про послаблення ерозійної дії опадів з часом. Територіально ця тенденція зосереджена переважно в південній, центральній і частково східній частинах регіону, де прогнозується зменшення ерозійного навантаження опадів протягом 1960–2060 років. Водночас у північних і південно-західних районах змін інтенсивності ерозії не очікується. У північно-східних та західних регіонах передбачається поступове зростання ерозійної дії опадів упродовж аналізованого періоду.

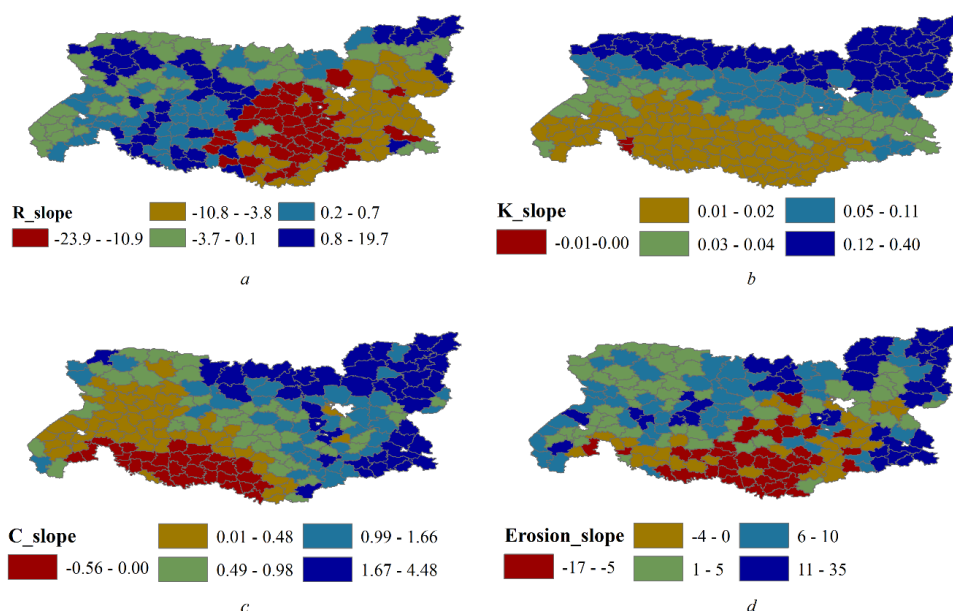


Рис. 1. Тенденції зміни факторів водної ерозії ґрунту протягом 1960–2060 рр. Представлений коефіцієнт лінійної регресії факторів водної ерозії від часу.

Значення К-фактора залишатиметься стабільним лише в 1% випадків, тоді як у переважній більшості випадків спостерігається його зростання, що свідчить про поступове зниження стійкості ґрунту до ерозійного впливу опадів. Найменші негативні зміни прогнозуються

для південно-східної частини регіону, тоді як у північних, особливо північно-східних районах, буде спостерігатися найбільше зниження ерозійної стійкості ґрунтового покриття. Показник С-фактора, що характеризує ефективність рослинного покриття в запобіганні водній ерозії, у 14,6% випадків знижуватиметься з часом, що свідчить про покращення захисної функції рослинності. Зміцнення захисної ролі рослинного покриття очікується переважно в південно-західній частині регіону.

У північних та східних частинах регіону прогнозується поступове зростання значень С-фактора, що свідчить про ослаблення захисної функції рослинного покриття. Рівень водної ерозії є результатом взаємодії кількох чинників, які враховуються мультиплікативно. За результатами моделювання, на досліджуваній території прогнозуються як зростання, так і зниження інтенсивності водної ерозії ґрунтів. У 35% випадків очікується зменшення ерозії, причому ці зміни будуть зосереджені в центральній і південній частинах регіону. Натомість у 65% випадків прогнозується зростання ерозійних процесів, особливо інтенсивно – на сході та південному сході, тоді як у північно-західних районах спостерігається лише помірне збільшення інтенсивності ерозії. Згідно з результатами регресійного аналізу, зміни у факторах R, K і C спільно пояснюють 65,1% варіації тренду водної ерозії ($F = 124,3$, $P < 0,001$). Найвагоміший вплив на формування цього тренду має фактор K, який пояснює 26,3% його змін. Фактор R відповідає за 19,9% варіації, а С-фактор – за 18,9%.

У період з 1960 по 1980 рік втрати ґрунту через водну ерозію становили $2,3 \pm 2,7$ т/га⁻¹ рік⁻¹ та у 95% випадків знаходились у діапазоні від 0,2 до 10,1 т/га⁻¹ рік⁻¹ (рис. 2).

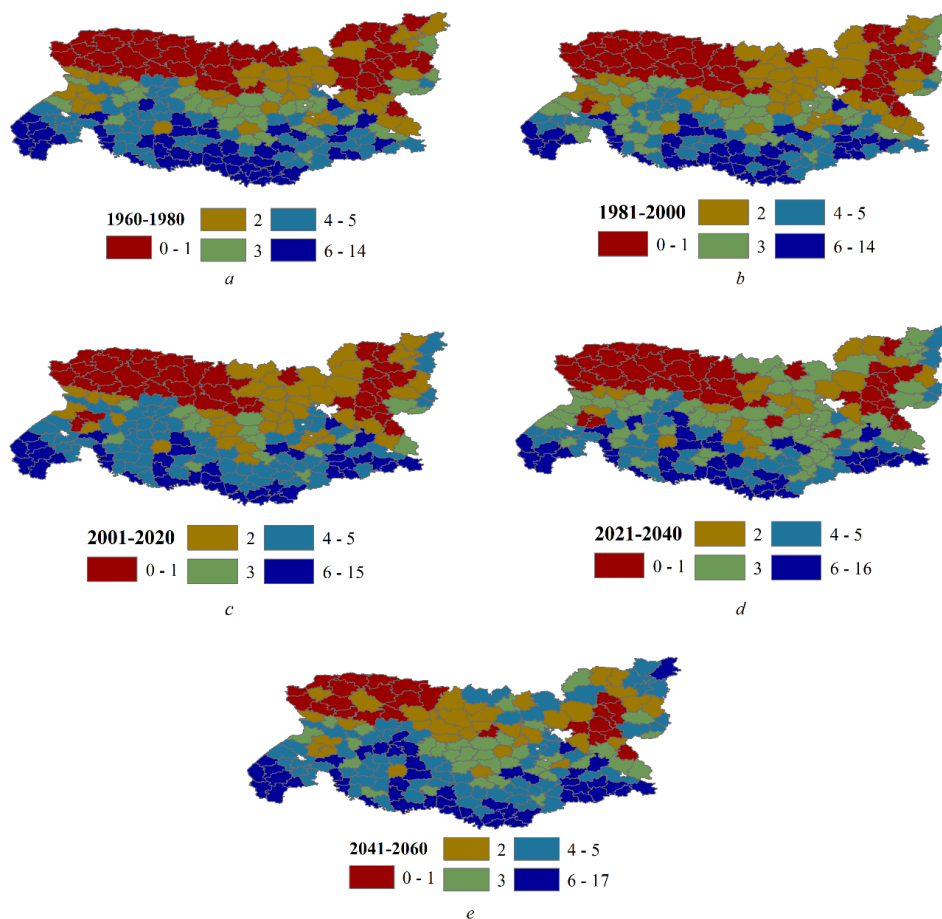


Рис. 2. Просторова мінливість інтенсивності водної ерозії ґрунту (т/га⁻¹ рік⁻¹)

Найвищий рівень водної ерозії ґрунтів був зафіксований у південній частині регіону. У період 1981–2000 років середні щорічні втрати ґрунту становили $2,4 \pm 2,5$ т/га, причому у 95% випадків значення коливались у межах від 0,3 до 9,3 т/га. Порівняно з попереднім пері-

одом, ці відмінності були статистично значущими згідно з критерієм Вілкоксона ($Z = 3,2$; $P = 0,002$). У 2001–2020 роках втрати зросли до $2,6 \pm 2,3$ т/га на рік, а межі 95% довірчого інтервалу сягали від 0,4 до 9,5 т/га. Відмінності також були статистично достовірними ($Z = 4,5$; $P < 0,001$). У період 2021–2040 роки середні втрати ґрунту складатимуть $2,7 \pm 2,3$ т/га на рік (95%: 0,5–10,0 т/га), що знову показало значущу різницю з попереднім періодом ($Z = 3,4$; $P < 0,001$). У 2041–2060 роках втрати становитимуть $2,8 \pm 2,1$ т/га щороку, а у 95% випадків – від 0,6 до 9,4 т/га, також із статистично значущими змінами ($Z = 3,6$; $P < 0,001$). Аналіз динаміки інтенсивності ерозії в різні часові періоди свідчить, що головним чинником зростання загальних втрат ґрунту є зменшення частоти випадків із низькою ерозією (0–2 т/га) при збільшенні випадків помірної ерозії (2–4 т/га) (див. рис. 3).

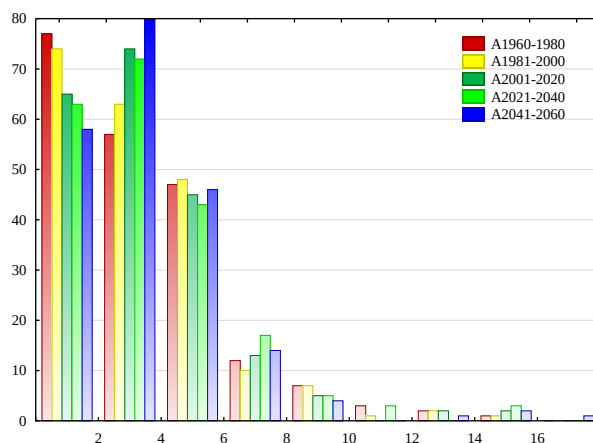


Рис. 3. Гістограма розподілу інтенсивності водної ерозії ґрунту (т/га¹ рік¹)

У регіонах Полісся та Лісостепу України рівень водної ерозії ґрунтів коливався в межах 2,4–2,6 т/га на рік, що узгоджується з аналогічними оцінками для країн Європейського Союзу. Зокрема, середньорічні втрати ґрунту внаслідок водної ерозії в ЄС у 2010 році становили 2,46 т/га на рік (Panagos, Borrelli, Poesen et al., 2015). Кліматичні моделі прогнозують посилення гідрологічного циклу, що, в свою чергу, може спричинити зростання масштабів водної ерозії на глобальному рівні — від 30% до 66% (Borrelli et al., 2020). В Україні, зокрема в Поліссі та Лісостепу, вже спостерігається тенденція до зростання інтенсивності водної ерозії з другої половини XX століття, що триває і на початку XXI століття. Прогнозовані оцінки, які враховують зміну клімату, вказують на подальше посилення ерозійних процесів у найближчі десятиліття. Для Європи очікується зростання середніх темпів ерозії на 13–22,5% (Panagos et al., 2021), тоді як передбачуване збільшення для українських регіонів є більш стриманим — на рівні 3–6,5% від поточного показника.

Європейські прогнози вказують, що зміни у структурі землекористування сприятимуть зменшенню ерозійних процесів, тоді як основним чинником їх посилення стане зростання кількості опадів. У нашому ж дослідженні головним фактором підвищення інтенсивності водної ерозії ґрунтів виявилось зниження їхньої стійкості до ерозії, що зумовлено зменшенням вмісту органічної речовини. Водночас зміна режиму випадіння опадів має неоднозначний характер: у деяких районах вона сприятиме активізації ерозії, а в інших — призведе до її зменшення через зниження кількості атмосферних опадів. Слабшання захисної функції рослинного покриву також матиме негативні наслідки, зумовлені кліматичними змінами, які спричиняють зменшення його щільності. Водночас зміна типів землекористування може бути ефективним засобом стримування ерозійних процесів. Основним напрямом такої стратегії має стати скорочення площ орних земель на користь луків та лісів.

Рівень ерозії на досліджуваній території розподіляється нерівномірно. У південних районах прогнозується зменшення інтенсивності ерозії, що пов'язано зі зниженням кількості опадів та їх ерозійної сили. Проте така тенденція не є позитивною. По-перше, вже сьогодні південні та центральні регіони зазнають інтенсивного сільськогосподарського навантаження, що спричиняє високі абсолютні втрати ґрунтів. Ці території вже потребують активного впро-

вадження протиерозійних заходів. По-друге, зменшення кількості опадів може свідчити про підвищений ризик процесів опустелювання та посилення вітрової ерозії. Також варто врахувати, що кліматичні моделі часто не відображають належним чином екстремальні погодні явища, які можуть істотно впливати на розвиток ерозії. Отже, існує ймовірність, що очікуване зниження рівня водної ерозії є занадто оптимістичним прогнозом.

Оцінювання інтенсивності водної ерозії ґрунтів на національному та регіональному рівнях є важливим інструментом для раціонального планування інвестицій, спрямованих на захист ґрунтів, а також для визначення пріоритетних територій для відновлювальних заходів. Картографування втрат ґрунту за різними критеріями – типом ґрунтів і землекористування, адміністративними межами, кліматичними зонами та класами ерозійних втрат – дозволяє ефективно ідентифікувати «гарячі точки», де необхідно зосередити заходи для попередження подальшої деградації ґрунтів (Panagos et al., 2015). Аналіз співвідношення витрат і вигоди показує, що реалізація протиерозійних практик (таких як терасування, зведення кам'яних загороджень, створення трав'яного покриву, контурне землеробство, мінімальний обробіток ґрунту, висів покривних культур і залишок рослинних решток) на землях з високим рівнем ерозії ($A > 10 \text{ т/га}^{-1} \text{ рік}^{-1}$) може принести ЄС економічну вигоду, яка оцінюється у 1,35 млрд євро (Kuhlman et al., 2010). У межах Європи близько 76% сільськогосподарських угідь мають ерозійні втрати нижчі за $2 \text{ т/га}^{-1} \text{ рік}^{-1}$ – рівень, який вважається прийнятним з точки зору природного ґрунтоутворення (Verheijen et al., 2009). Водночас у досліджуваному регіоні такий стабільний рівень ерозії спостерігається лише на 35,5% площі, що свідчить про серйозну проблему втрат ґрунтів. Прогноз на 2021–2040 роки передбачає зменшення площ із прийнятними рівнями ерозії до 30,5%, а до 2041–2060 років – до 28,2%. У ЄС на 24% територій, де ерозія перевищує $2 \text{ т/га}^{-1} \text{ рік}^{-1}$, припадає майже 87% загальних втрат ґрунтів. Найінтенсивніші втрати відбуваються на 5,2% територій, де темпи ерозії перевищують $10 \text{ т/га}^{-1} \text{ рік}^{-1}$, що становить 52% усіх втрат у Європі. На таких ділянках рекомендовано впровадження заходів з відновлення, зокрема заліснення або покращення рослинного покриву (Panagos, Borrelli, Poesen, et al., 2015). Ситуація на півночі України є дещо кращою – частка земель із втратами понад $10 \text{ т/га}^{-1} \text{ рік}^{-1}$ не перевищує 2%.

Висновки. Отже, зважаючи на наше дослідження рекомендовано створити постійну, узгоджену систему моніторингу ґрунтів на державному та регіональному рівнях. Це забезпечить наявність зіставних даних про просторові та часові зміни деградації ґрунтів і дасть змогу враховувати економічні наслідки таких змін (Ferreira et al., 2022). Прогнозоване зростання інтенсивності водної ерозії ґрунтів підкреслює потребу у посиленні глобальних зусиль ООН щодо її запобігання. Надзвичайно важливим є також інформування органів влади, відповідальних за формування національних стратегій та регіональних планів охорони ґрунтів (Borrelli et al., 2020).

REFERENCES

- Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., & Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, 33 (5), 1419–1441. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>.
- Alewell, C., Egli, M., & Meusburger, K. (2015). An attempt to estimate tolerable soil erosion rates by matching soil formation with denudation in Alpine grasslands. *Journal of Soils and Sediments*, 15 (6), 1383–1399. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0920-6>.
- Bolan, S., Padhye, L. P., Jasemizad, T., Govarthan, M., Karmegam, N., Wijesekara, H., Amarasiri, D., Hou, D., Zhou, P., Biswal, B. K., Balasubramanian, R., Wang, H., Siddique, K. H. M., Rinklebe, J., Kirkham, M. B., & Bolan, N. (2024). Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Science of the Total Environment*, 909, 168388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168388>.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (36), 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.

- Brooks, H. E. (2013). Severe thunderstorms and climate change. *Atmospheric Research*, 123, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.04.002>.
- Ferreira, C. S. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., & Kalantari, Z. (2022). Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment*, 805, 150106. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>.
- Furtak, K., & Wolińska, A. (2023). The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review. *Catena*, 231, 107378. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378>.
- Karrar, G., & Stiles, D. (1984). The global status and trend of desertification. *Journal of Arid Environments*, 7 (4), 309–312. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)31347-8](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31347-8).
- Kuhlman, T., Reinhard, S., & Gaaff, A. (2010). Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy*, 27 (1), 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.08.002>.
- Lu, H., Prosser, I. P., Moran, C. J., Gallant, J. C., Priestley, G., & Stevenson, J. G. (2003). Predicting sheetwash and rill erosion over the Australian continent. *Soil Research*, 41 (6), 1037.
- Mirzabaev, A., Bezner Kerr, R., Hasegawa, T., Pradhan, P., Wreford, A., von der Pahlen, M. C. T., & Gurney-Smith, H. (2023). Severe climate change risks to food security and nutrition. *Climate Risk Management*, 39, 100473. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100473>.
- Nearing, M., Pruski, F., & O’Neal, M. R. (2004). Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59 (1), 43–50. https://www.researchgate.net/publication/43258785_Expected_Climate_Change_Impacts_on_Soil_Erosion_Rates_A_Review.
- Panagos, P., Ballabio, C., Himics, M., Scarpa, S., Matthews, F., Bogonos, M., Poesen, J., & Borrelli, P. (2021). Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science and Policy*, 124, 380–392. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.07.012>.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science and Policy*, 54, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>.
- Panagos, P., Imeson, A., Meusburger, K., Borrelli, P., Poesen, J., & Alewell, C. (2016). Soil conservation in Europe: Wish or reality? *Land Degradation and Development*, 27 (6), 1547–1551. <https://doi.org/10.1002/ldr.2538>.
- Panagos, P., Vieira, D., Eekhout, J. P. C., Biddoccu, M., Cerdà, A., Evans, D. L., Tavoularis, N., Bezak, N., Negrel, P., Katsoyiannis, A., & Borrelli, P. (2024). How the EU Soil Observatory contributes to a stronger soil erosion community. *Environmental Research*, 248, 118319. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118319>.
- Routschek, A., Schmidt, J., & Kreienkamp, F. (2014). Impact of climate change on soil erosion – A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany. *Catena*, 121, 99–109. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09300-0_26.
- Vanwalleghe, T., Gómez, J. A., Infante Amate, J., González de Molina, M., Vanderlinden, K., Guzmán, G., Laguna, A., & Giráldez, J. V. (2017). Impact of historical land use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene. *Anthropocene*, 17, 13–29. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.01.002>.
- Verheijen, F. G. A., Jones, R. J. A., Rickson, R. J., & Smith, C. J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94 (1–4), 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.02.003>.
- Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., & Musiake, K. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological Processes*, 17 (14), 2913–2928. <https://doi.org/10.1002/hyp.1441>.

Одержано редколегією 16.04.2025 р.

Прийнято до друку 14.05.2025 р.