

ФАКТОРИ ЕРОЗІЇ ҐРУНТУ FACTORS OF SOIL EROSION

УДК 631.459

Методичні підходи до моделювання фактора К моделі втрат ґрунту від ерозії RUSLE

О. В. Круглов, В. П. Коляда, О. І. Шерстюк

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 10.04.2026 Отримано після доопрацювання 04.06.2026 Затверджено до видання 08.06.2026 Доступно онлайн 30.06.2026</p> <hr/> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>ґрунт; ерозія; модель; статистика; фактор</p>	<p>У статті розглянуто методичні підходи до моделювання фактора еродованості ґрунту К у складі моделі RUSLE з урахуванням просторової мінливості його основних субфакторів — гранулометричний і макроструктурний склад, вміст ґрунтового органічного вуглецю і водопроникність ґрунту. Метою дослідження є встановлення закономірностей просторового розподілу гранулометричного складу та вмісту органічного вуглецю ґрунту в межах схилених ландшафтів і обґрунтування підходів до їх математичного опису. Дослідження виконано на основі польових та лабораторних даних із застосуванням геоінформаційного аналізу, кореляційних і регресійних методів. Встановлено статистично значущі зв'язки між топографічним фактором LS та ключовими субфакторами фактора К, зокрема виявлено обернені залежності між інтенсивністю рельєфу та показниками, що характеризують акумуляцію ґрунтової маси. Показано, що ці зв'язки мають переважно нелінійний характер, що зумовлює обмеженість лінійних моделей та доцільність застосування степеневих функцій, які забезпечують більш високу точність апроксимації ($R^2 > 0,7$). Додаткову верифікацію результатів здійснено з використанням показника магнітної сприйнятливості ґрунту як інтегрованого індикатора його властивостей. Здобуті результати підтверджують пороговий (стрибокподібний) характер акумулятивних процесів у межах схилених земель та свідчать про можливість ефективного прогнозування просторового розподілу фактора К на основі топографічних і ґрунтових параметрів. Запропонований підхід може бути використаним для підвищення точності оцінювання ерозійної небезпеки та обґрунтування заходів ґрунтозахисного землекористування.</p>

✉ alex_kruglov@ukr.net

ORCID: ^a 0000-0003-2663-0935, ^b 0000-0003-2682-5687, ^c 0009-0002-2919-0445

Форма цитування: Круглов О. В., Коляда В. П., Шерстюк О. І. Методичні підходи до моделювання фактора К моделі втрат ґрунту від ерозії RUSLE. *Агрохімія і ґрунтознавство* / ННЦ «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського». Харків, 2026. Вип. 100. С. 38–48. <https://doi.org/10.31073/acss100-03>

Поширення статті здійснюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY–NC 4.0

1.0. Вступ

Сучасні підходи до охорони земель від ерозійних процесів, а відтак і до ведення рослинництва загалом, ґрунтуються на широкому та комплексному застосуванні математичних моделей оцінювання змиву ґрунту. Серед значної кількості існуючих моделей і їх численних модифікацій, попри наявність критичних зауважень у науковій літературі, особливе місце й досі посідають моделі, що є похідними від USLE – універсального рівняння втрат ґрунту, запропонованого американськими дослідниками ще у 60-х роках ХХ століття, як вказано у монографії [1]. Водночас, незважаючи на низку методичних переваг, пряме використання цієї методики у вітчизняних умовах залишається ускладненим через відмінності у ґрунтових класифікаціях, системах показників, методах їх визначення та деякі інші проблеми методичного характеру, описані авторами у монографії [2]. Однією з таких проблем є врахування просторового розподілу значень основних ґрунтових характеристик, що впливають на взаємодії в системі «ґрунт – опади».

Застосування математичних моделей для кількісного оцінювання змиву ґрунту, зокрема моделі RUSLE, вимагає високої точності та методичної узгодженості у визначенні всіх параметрів, що входять до складу розрахункових

рівнянь. При цьому одним із найбільш уразливих у методичному відношенні компонентів залишається оцінювання ерозійної стійкості ґрунтів, яка в межах даної моделі формалізується у вигляді К-фактора.

Фактор еродованості ґрунту К є інтегрованим показником, що формується під впливом низки взаємопов'язаних ґрунтових властивостей, які визначають стійкість ґрунту до дії крапельної ерозії та поверхневого стоку. У результаті — значенням фактора К притаманна висока варіативність.

Така мінливість фактора К у просторі та часі є відображенням як природної ландшафтно-ґрунтової неоднорідності, так і змін зовнішніх умов ґрунтоутворення та землекористування [3]. Крім того слід враховувати той факт, що кліматичні коливання, інтенсифікація сільськогосподарського використання, механічний обробіток ґрунту та інші антропогенні впливи спричиняють трансформацію ґрунтової структури, зміну запасів органічних речовин і водно-фізичних властивостей, що зумовлює динамічний характер ґрунтових характеристик, а, отже, ерозійної стійкості ґрунтів і, відповідно, варіабельність значень К-фактора [4].

Визначення достовірного значення цього показника є принципово важливим, оскільки К-фактор відображає сукупний вплив базових ґрунтових характеристик — гранулометричного і структурного складу, гумусного профілю та гідрофізичних властивостей — на інтенсивність розвитку ерозійних процесів. Будь-які похибки або невідповідності в його оцінюванні призводять до систематичних викривлень результатів моделювання, що, своєю чергою, може суттєво обмежувати надійність прогнозів та ефективність практичних рекомендацій щодо ґрунтозахисного землекористування.

За цих умов сучасна методологія оцінювання ерозійної небезпеки ґрунтів ґрунтується на поєднанні геоінформаційних технологій, даних дистанційного зондування Землі та цифрових моделей рельєфу, що дає змогу забезпечити високий рівень просторової деталізації під час відтворення розподілу значень фактора К. Такий підхід дозволяє враховувати дрібномасштабну ландшафтну неоднорідність і підвищує репрезентативність результатів аналізування ерозійного стану території [5]. Подібний проєкт було реалізовано для території ЄС [6].

Мета роботи — встановити закономірності просторового розподілу ключових субфакторів фактора К у межах окремих полів сівозміни залежно від рельєфу та обґрунтувати підходи до моделювання їх значень.

2. Методи та об'єкти досліджень

У моделі RUSLE фактор К (еродованості ґрунту) розглядається як інтегрований екологічний індикатор, що характеризує внутрішню стійкість ґрунтового покриву до водної ерозії та формується під впливом комплексу його фізичних, хімічних і біологічних властивостей. Просторова й часова мінливість значень фактора К зумовлена як ландшафтною диференціацією ґрунтів, так і динамікою кліматичних умов та антропогенного навантаження, що впливають на структурний стан ґрунту, вміст органічної речовини та гідрофізичні показники. У зв'язку з цим у сучасних підходах передбачено не лише цифрове картографування фактора К на основі даних дистанційного зондування Землі, цифрових моделей рельєфу та ґрунтово-інформаційних ресурсів, але й його прогнозування у часі з урахуванням сценаріїв змін клімату й трансформації землекористування [1]. Такий підхід дає змогу оцінювати потенційну еволюцію екологічної вразливості ерозійно небезпечних земель та науково обґрунтувати довгострокові стратегії ґрунтозахисного й адаптивного землекористування [1, 7]. Саме тому просторовий розподіл значень фактора К, вірніше закономірності його розподілу, обчислені через дослідження його окремих субфакторів, є основою такої

стратегії. Відомий метод розрахунку К за допомогою системи номограм, побудований і на прийнятій в Україні шкалі гранулометричного складу Качинського [8].

Таким чином для коректної калькуляції значень фактора К слід повести дослідження розподілу значень його субфакторів та зв'язків таких значень з тими параметрами, які відомі з загальнодоступних джерел, насамперед топографічним фактором LS.

Відповідно до методичних керівництв USLE [1] до таких субфакторів обчислення значення фактора К належать:

Гранулометричний склад ґрунту (текстура). Визначається співвідношенням фракцій глини, пилу та дрібного піску й є ключовим субфактором калькуляції значення К. Ґрунти з підвищеним умістом пилу та дрібного піску характеризуються найбільшою еродованістю, тоді як збільшення частки глини сприяє зниженню К за рахунок формування більш стійких структурних агрегатів.

Вміст органічного вуглецю. Органічна речовина виконує стабілізуювальну функцію, підвищуючи водостійкість ґрунтових агрегатів і покращуючи інфільтраційні властивості ґрунту. Зі зростанням її вмісту значення фактора К зменшується, що відображає підвищення ерозійної стійкості ґрунтового покриву.

Ґрунтова структура. Характеризує форму, розмір і міцність макроагрегатів у верхньому горизонті ґрунту. Добре виражена грудкувата структура зумовлює нижчі значення К, тоді як злита або плитчаста структура сприяє збільшенню еродованості ґрунту.

Водопроникність (інфільтраційна здатність) ґрунту. Відображає швидкість проникнення води в ґрунтовий профіль. Ґрунти з низькою водопроникністю формують більший поверхневий стік, що призводить до підвищення значень К та інтенсифікації ерозійних процесів.

Безпосередньо розрахунок значення фактора К проводять за формулою:

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - OM) + 3,25 \cdot (S - 2) + 2,5 \cdot (P - 3)] / 100, \quad (1)$$

де К — фактор еродованості ґрунту, (т·га·год)/(га·МДж·мм);

М — текстурний параметр ґрунту: $M = (\% \text{ пилу} + \% \text{ дрібного піску}) \cdot (100 - \% \text{ глини})$;

OM — вміст органічного вуглецю, %;

S — клас ґрунтової структури (1–4): 1 — дуже дрібна грудкувата; 2 — дрібна грудкувата; 3 — середня або груба грудкувата; 4 — масивна або плитчаста;

P — клас водопроникності (1–6): 1 — дуже висока; ... 6 — дуже низька.

Для дослідження зв'язку між чинниками рельєфу було проведено обстеження на дослідному полі Державного біотехнологічного університету у Харківській області (Рис. 1) з відбиранням проб ґрунту за схемою, представленою на рис. 2. Відібрано 20 проб на визначення гранулометричного складу ґрунту і 70 проб — на визначення вмісту органічного вуглецю.

Всі аналізи виконано в лабораторії інструментальних методів досліджень ґрунтів, стандартизації і метрології ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського». Гранулометричний склад ґрунту визначено за методом Качинського — ДСТУ 4730:2007¹, вміст органічного вуглецю — за ДСТУ 4289².

¹ ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського. Держспоживстандарт України. Київ, 2008. 18 с.

² ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 15 с.

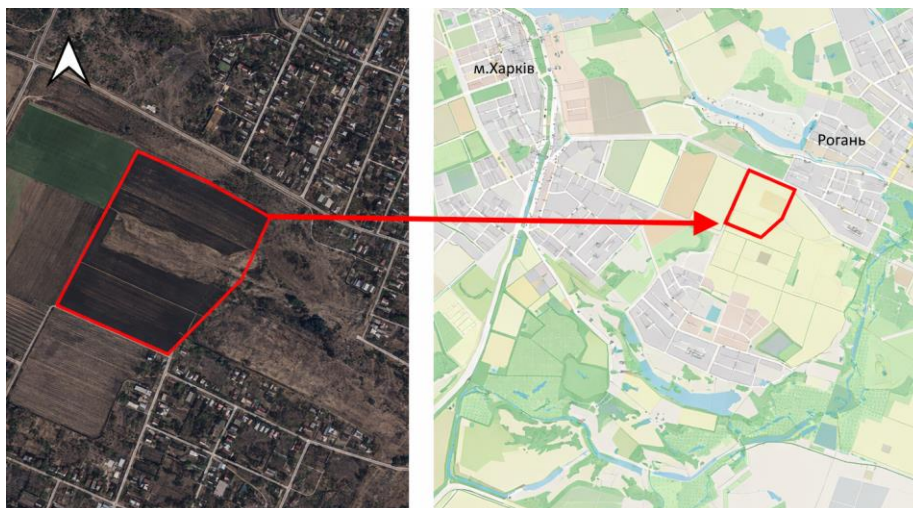


Рис. 1. Схема розташування дослідного поля ДБТУ



Рис. 2. Схема відбору проб ґрунту: А – на визначення вмісту органічного вуглецю, Б – на визначення гранулометричного складу

Візуалізацію результатів проведено в середовищі QGIS; математично-статистичні дослідження — в середовищі JASP. Для оцінювання зв'язку між досліджуваними змінними було застосовано методи кореляційного та регресійного аналізу. Як інтегрований показник рельєфу використовували фактор LS, обчислений згідно з рекомендаціями RUSLE [1]. Дані про ухил та довжину схилів взято з моделі, побудованої на основі цифрової топографічної карти М 1:10 000.

Для додаткової верифікації моделі було використано результати визначення питомої магнітної сприйнятливості ґрунту ($n = 70$) з використанням капамістка KLY-2 за методикою О. Ф. Вадюніної [9].

3. Результати досліджень та їх обговорення

Як показано у формулі 1, найбільш вагомий вплив на сумарне значення фактора К чинить зміна субфактора М, що характеризує гранулометричний склад ґрунту, тоді як вплив інших субфакторів у рівнянні має лінійний характер. Значення субфакторів S (структура ґрунту) та P (водопроникність) задаються у вигляді дискретних класів і значною мірою залежать від експертної, частково суб'єктивної, оцінки їхнього стану.

Водночас субфактори М (грансклад) та OM (вміст органічної речовини) є відносно стабільними в часовому аспекті та відображають переважно природні властивості ґрунтового покриву, яких вони набули в процесі педогенезу. На відміну від них, значення субфакторів S та P демонструють виражену сезонну мінливість і чутливі до впливу агротехнічних заходів, зокрема типу й глибини основного обробітку ґрунту. Якщо система досліджуваних картограм не містить відомості про

агротехнічну складову то, згідно з Інструкцією [1], було б доцільно використовувати середні значення цих субфакторів.

Таким чином видається оптимальним на першому етапі провести дослідження просторового розподілу саме значень субфакторів М та ОМ, прийнявши значення S та P за константу (посередині діапазону) та виділивши закономірностям їх розподілу окреме дослідження.

Зв'язок умісту фізичної глини (сума гранулометричних фракцій <0,01 мм) з топографічним фактором проілюстровано на рис 3.

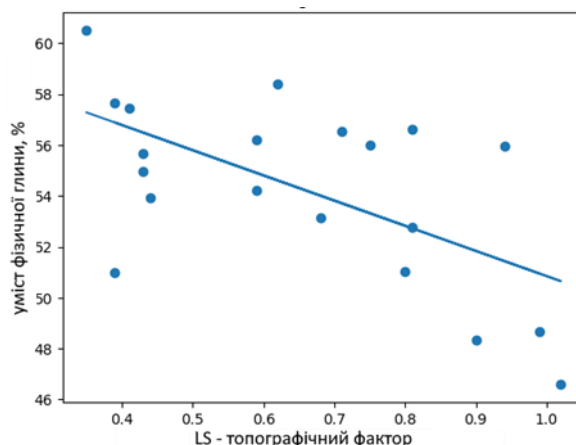


Рис. 3. Зв'язок між умістом фізичної глини (<0,01 мм) та топографічним фактором

Для оцінки зв'язку між досліджуваними змінними було застосовано методи кореляційного та регресійного аналізу. Результати показали наявність статистично значущого оберненого зв'язку між показниками. Лінійний регресійний аналіз виявив помірну залежність, що описується рівнянням:

$$Y = 60,75 - 9,90X, \quad (2)$$

При цьому коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,36$, що свідчить про пояснення близько 36 % варіації залежної змінної. Отриманий результат вказує на наявність загальної тенденції до зниження значень Y зі зростанням X, однак значний розкид емпіричних даних обмежує точність лінійної моделі 2.

Наявність таких викидів та відсутність відповідності нульовій гіпотезі зумовлюють звернення до непараметричної статистики [10, 11]. Для перевірки стійкості зв'язку було використано рангову кореляцію Спірмена. Значення коефіцієнта становило $\rho = -0,51$ ($p = 0,021$), що свідчить про статистично значущий монотонний обернений зв'язок середньої сили [12]. Цим підтверджено, що незалежно від нелінійності або наявності викидів загальна тенденція зберігається (Рис. 4).

Додатковий аналіз показав, що залежність має ознаки нелінійності, що проявляється у варіабельності значень умісту фізичної глини за близьких значень топографічного фактора LS. Це може бути зумовлено впливом додаткових факторів, зокрема просторовою неоднорідністю природних умов середовища.

Здобуті результати узгоджуються з сучасними уявленнями про закономірності перерозподілу речовини в межах схлизових ландшафтів. Зокрема, зі зростанням інтенсивності топографічного фактора (крутість схилу та ерозійна активність) спостерігається зниження значень показників, що характеризують акумуляцію ґрунтової маси та органічної речовини. Це зумовлено посиленням процесів змиву і транзиту матеріалу на схилах, тоді як у більш вирівняних або понижених елементах рельєфу формуються сприятливі умови для його накопичення.

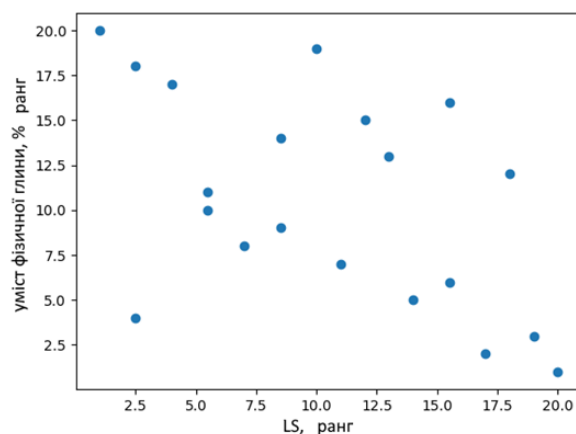


Рис. 4. Рангова кореляція між значеннями умісту фізичної глини (<0,01 мм) та топографічного фактора

Більш складним на території об'єкта дослідження є просторовий розподіл органічного вуглецю. Для пари «топографічний фактор – уміст органічного вуглецю» встановлено наявність вираженого оберненого нелінійного зв'язку між змінними. Виявлена залежність характеризується зростанням значень показника органічного вуглецю зі зменшенням значень топографічного фактора, причому інтенсивність цих змін істотно підвищується в області його малих значень. Лінійна модель виявилася недостатньо адекватною для опису досліджуваної залежності, тоді як застосування рангових і нелінійних підходів дозволяє більш повно відтворити її структуру. Здобуті результати узгоджуються з сучасними уявленнями про нелінійний характер акумуляції органічної речовини в понижених елементах рельєфу, де створюються сприятливі умови для її накопичення (Рис. 5).

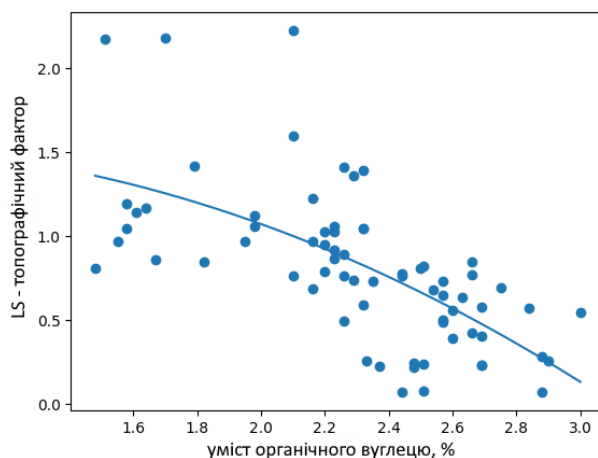


Рис. 5. Зв'язок між значеннями топографічного фактора та умістом органічного вуглецю в ґрунті

Було тестовано кілька типів моделей: лінійну, логарифмічну, степеневу, поліноміальну (2-го порядку). Лінійна модель показала найнижчу точність апроксимації через виражену нелінійність залежності. У той же час нелінійні моделі продемонстрували значно кращу відповідність емпіричним даним. Низька точність лінійної моделі свідчить про те, що зміни залежної змінної відбуваються нерівномірно по всьому діапазону значень незалежної змінної і не можуть бути адекватно описані прямолінійною залежністю.

Натомість краща апроксимація нелінійними моделями вказує на наявність складніших механізмів взаємодії, зокрема змінної інтенсивності процесів у різних інтервалах значень фактора. Це проявляється у прискоренні або уповільненні змін

залежної змінної, що є характерним для природних систем. Так проявляється значно вищий ступінь розсіювання у діапазоні середніх значень вмісту гумусу.

Для додаткової верифікації результатів моделювання було здійснено порівняння досліджуваних вибірок із значеннями питомої магнітної сприйнятливості ґрунту. Даний показник розглядається як інтегрована характеристика, що відображає сукупний вплив ключових складових фактора К, зокрема вмісту гумусу та гранулометричного складу ґрунту (Рис. 6). Застосування такого підходу дозволяє опосередковано оцінити адекватність моделі шляхом зіставлення розрахункових параметрів із незалежним фізично обґрунтованим індикатором. Подібний методичний підхід було реалізовано нами раніше на прикладі схилів ділянок чорноземів опідзолених [13].

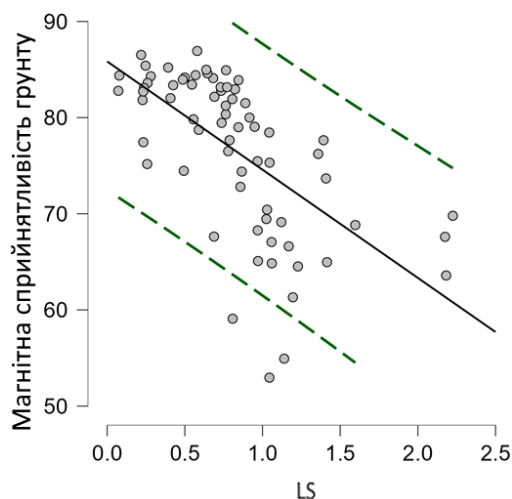


Рис. 6. Зв'язок між значеннями топографічного фактора та магнітної сприйнятливості ґрунту

Встановлено статистично значущий обернений зв'язок між магнітною сприйнятливістю та LS ($r = -0,67$; $\rho = -0,79$). Більш високе значення коефіцієнта Спірмена, порівняно з коефіцієнтом Пірсона, свідчить про нелінійний, але стійкий монотонний характер залежності [14]. Коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,45$) при цьому вказує на середню пояснювальну здатність лінійної моделі, що ще раз підтверджує доцільність застосування нелінійних підходів. Виявлена залежність характеризується зростанням значень показника при зменшенні значень топографічного фактора, що узгоджується з гіпотезою про посилення акумулятивних процесів у понижених елементах рельєфу. Подібну тенденцію було зафіксовано нами на дослідній ділянці «Коротич» дослідної мережі ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» [15].

Найбільш адекватною у цьому випадку для опису досліджуваного зв'язку є степенева модель, яка відображає нелінійний характер зміни показника та забезпечує достатню точність апроксимації ($R^2 > 0,7$). Це свідчить про непропорційний вплив топографічного фактора, за якого інтенсивність змін різко зростає в області малих значень, що узгоджується з сучасними уявленнями про пороговий характер акумулятивних процесів у межах схилів ландшафтів [16, 17].

У наведеному випадку зафіксовано високий ступінь зв'язку між вмістом органічного вуглецю та досліджуваним показником. Значення коефіцієнтів кореляції за Пірсоном і Спірменом є практично ідентичними та становлять 0,84, що відповідає коефіцієнту детермінації $R^2 = 0,71$ (Рис. 7). Це свідчить про стабільний, переважно монотонний характер залежності між змінними та низьку чутливість результату до припущень щодо типу розподілу даних. На рисунку також наведено

гістограми розподілу значень досліджуваних показників, які дозволяють візуально оцінити характер їх варіації та ступінь наближення до нормального розподілу.

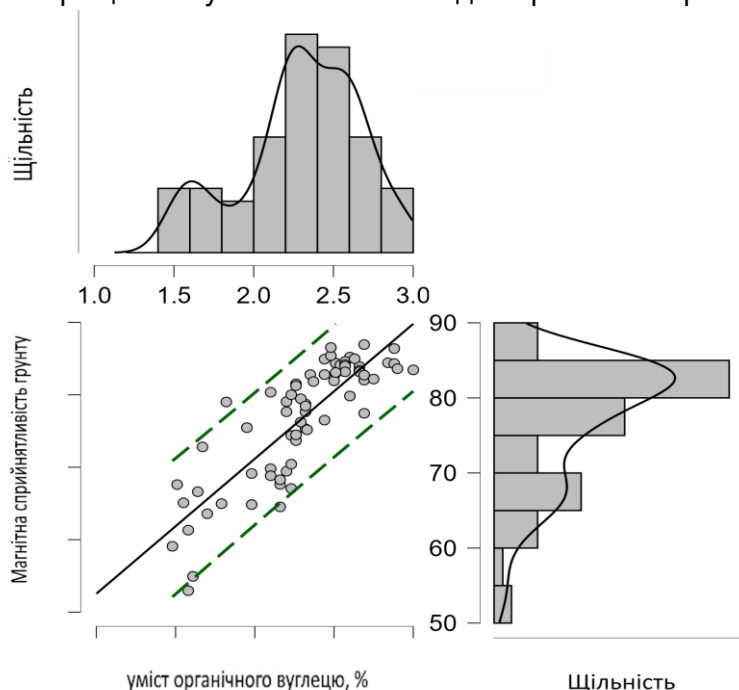


Рис. 7. Зв'язок значень магнітної сприйнятливості та вмісту органічного вуглецю у ґрунтах дослідної ділянки

Як видно з рис. 7, криві розподілу значень досліджуваних показників децю відрізняються між собою. Мода розподілу вмісту органічного вуглецю припадає на інтервал середніх значень, тоді як для магнітної сприйнятливості вона зміщена в зону підвищених значень. Це свідчить про певну асиметрію розподілів і відмінності у структурі варіації показників, що може відображати специфіку їх формування та просторового перерозподілу в межах досліджуваної ділянки. Подібне припущення було зроблено нами і в іншій роботі [18].

Побудова прогностичної моделі фактора еродованості ґрунту К, яка описує взаємозв'язок між показниками з урахуванням виявлених статистичних закономірностей, здійснювали у декілька послідовних етапів, що включали підготовку вхідних даних, статистичний аналіз, калібрування моделі та її валідацію. На першому етапі було сформовано вибірку, яка поєднує значення топографічного фактора LS, текстурного параметра ґрунту M та вмісту органічної речовини (OM), отримані на основі польових і лабораторних досліджень. Всі змінні були приведені до узгодженого масштабу та перевірені на наявність пропусків і аномальних значень.

На другому етапі проведено кореляційний аналіз із використанням як параметричного, так і непараметричного підходів (зокрема коефіцієнт Пірсона та коефіцієнт Спірмена), що дозволило оцінити характер і стійкість взаємозв'язків між змінними. Виявленням невідповідності між оцінками кореляції підтверджено наявність нелінійних залежностей та обґрунтовано доцільність застосування ступеневі моделі.

На третьому етапі здійснювали калібрування параметрів моделі шляхом логарифмічного перетворення вихідного рівняння та застосування методу найменших квадратів до лініаризованої форми. Це дозволило отримати оцінки коефіцієнтів моделі та визначити статистичну значущість кожного предиктора. Якість апроксимації оцінювали за допомогою коефіцієнта детермінації (R^2), а також аналізу залишків, зокрема на предмет гетероскедастичності та систематичних відхилень. Порівняльний аналіз різних функціональних форм (лінійних,

логарифмічних, поліноміальних та степеневих моделей) показав, що лінійні моделі забезпечують лише узагальнене наближення спостережуваних тенденцій і не враховують складності взаємодії ґрунту та ландшафту. Натомість, нелінійні моделі, зокрема степеневі функції, показали значно вищу прогностичну ефективність ($R^2 > 0,7$), що вказує на їхню придатність для моделювання нелінійної динаміки процесів перерозподілу маси ґрунту під впливом водної ерозії. Це, зокрема, може свідчити про те, що реакція властивостей ґрунту на топографічний вплив залежить від масштабу та демонструє порогову поведінку.

5. Висновки

Результати, отримані в цьому дослідженні, забезпечують основу для розробки прогнозних моделей просторового розподілу коефіцієнта еродованості ґрунту K . У цьому контексті топографічний фактор (LS), параметр, пов'язаний з текстурою ґрунту (M), та вміст органічної речовини (OM) розглядалися як ключові предиктори. Їхні статистично значущі зв'язки вказують на те, що просторову мінливість K можна ефективно моделювати за допомогою змінних, що походять від рельєфу та пов'язані з ґрунтом.

Особливу увагу було приділено порівнянню параметричних та непараметричних статистичних показників, зокрема коефіцієнта Пірсона та коефіцієнта Спірмена, як інструменту для оцінювання стійкості виявлених взаємозв'язків. Спостережувані розбіжності між цими коефіцієнтами вказують на те, що основні взаємозв'язки не є суворо лінійними та можуть залежати від викидів та неоднорідності даних. Тому були протестовані нелінійні регресійні моделі як більш доцільна альтернатива.

Крім того, спільне застосування коефіцієнта Пірсона та коефіцієнта Спірмена дозволило оцінити стійкість моделі. Згода в напрямі та силі кореляцій підтримує стабільність виявлених зв'язків, тоді як вища чутливість коефіцієнта Спірмена підкреслює важливість урахування нелінійності та ненормальних розподілів даних.

Крім того, запропонований підхід дозволяє моделювати на основі сценаріїв, включаючи оцінку потенційних змін властивостей ґрунту за різних кліматичних умов та систем землекористування.

Інтеграція таких підходів з фізично обґрунтованими моделями ерозії є перспективним напрямом для підвищення надійності та масштабованості оцінок ерозії ґрунту.

Джерела фінансування: стаття містить результати досліджень, проведених за науковим проектом «Визначення підходів до цифрового моделювання властивостей ґрунтів для оцінювання протиерозійної стійкості агроландшафтів» (0125U003696) на виконання угоди з Міністерством науки і освіти України (№ БФ/Ф01-2025).

Використані джерела

1. Wischmeier W. H., Smith D. D. Predicting rainfall-erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. № 537. URL: https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf
2. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні / С. А. Балюк, Д. О. Тімченко, М. М. Гічка, М. В. Куценко та ін. : монографія / ННЦ «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського». Харків, 2010. 538 с. URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/212f1ac0-9e77-4186-a9e5-3584ab947aba/content>
3. Morgan R. P. C., Kirkby M. J. British Geomorphological Research Group. Soil erosion / Eds. M. J. Kirkby, R. P. C. Morgan. Chichester, [England]; New York : Wiley, 1980. 312 p. URL: <https://www.library.gov.au/services/onsite-access/collection-delivery-service#offsite>
4. Minasny B., McBratney A. B. Digital soil mapping: a brief history and some lessons. *Geoderma*. 2016. Vol. 264. P. 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.017>
5. SoilGrids1km — global soil information based on automated mapping / T. Hengl et al. *PLOS ONE*. 2014. Vol. 9. № 8. Article105992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105992>

6. Panagos P., Meusburger K., Ballabio C., Borrelli P., Alewell C. Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the Total Environment*. 2014. Vol. 479–480. P. 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>
7. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*. 2015. Vol. 48. P. 8–50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
8. Світличний О. О., Чорний С. Г. Основи ерозієзнавства. Суми: ВТД «Універ. книга». 2007. 266 с. URL: https://geoknigi.com/book_view.php?id=1471&
9. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы определения физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с. URL: <http://libarch.nmu.org.ua/handle/GenofondUA/64795>
10. Hauke J., Kossowski T. Comparison of values of Pearson's and Spearman's correlation coefficients on the same sets of data. *Quaestiones Geographicae*. 2011. Vol. 30. № 2. P. 87–93. <https://doi.org/10.2478/v10117-011-0021-1>
11. Shaqiri M. S., Iljazi T., Kamberi L., Ramani-Halili R. Differences between the correlation coefficients Pearson, Kendall and Spearman. *5th International Conference of Natural Science and Mathematics*. Tetovo, 2023. P. 392–397. URL: https://www.researchgate.net/publication/375800096_DIFFERENCES_BETWEEN_THE_CORRELATION_COEFFICIENTS_PEARSON_KENDALL_AND_SPEARMAN/citations#fullTextFileContent
12. Лакін Г. Ф. Биометрия: учебное пособие. 3-е изд. Москва: Высшая школа, 1980. 293 с. URL: <http://booksshare.net/index.php?id1=4&category=biol&author=lakin-gf&book=1990>
13. Круглов О. В. До питання коригування результатів моделювання ерозійних процесів. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2020. № 1. С. 55–61. URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/handle/123456789/78346>
14. de Winter J. C. F., Gosling S. D., Potter J. Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes. *Psychological Methods*. 2016. Vol. 21. № 3. P. 273–290. <https://doi.org/10.1037/met0000079>
15. Miroshnychenko M., Kruglov O., Nazarok P., Kovalenko S. Identification of the structure of soil cover by magnetic susceptibility. In: Y. Dmytruk, D. Dent (Eds.) *Soils Under Stress*. Springer, Cham. 2021. P. 57–68. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68394-8_6
16. Roering J. J., Kirchner J. W., Dietrich W. E. Hillslope evolution by nonlinear, slope-dependent transport: steady state morphology and equilibrium adjustment timescales. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2001. Vol. 106, № B8. P. 16499–16513. <https://doi.org/10.1029/2001JB000323>
17. Roering J. J., Hunter B. D., Ferrier K. L., Chadwick O. A., Yoo K., Wackett A. A. Quantifying erosion rates and weathering pathways that maximize soil organic carbon storage. *Biogeochemistry*. 2023. Vol. 164. № 2. P. 319–333. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01054-7>
18. Kruglov O., Menshov O., Horoshkova L., Kruhlov B. Magnetic susceptibility of inclined soils and its relationship with some agronomic indicators. *Plant and Soil Science*. 2023. Vol. 14. № 1. P. 39–50. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.39>

UDC 631.459

Methodological approaches to modeling the K factor of the RUSLE soil losses model from erosion

O. V. Kruglov ^{a,✉}, V. P. Kolyada ^b, O. I. Sherstyuk ^c

National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky”,
Kharkiv, Ukraine

✉ alex_kruglov@ukr.net

ORCID: ^a 0000-0003-2663-0935; ^b 0000-0003-2682-5687; ^c 0009-0002-2919-0445

Received 10.04.2026; Revised 04.06.2026; Accepted 08.06.2026; Available online 30.06.2026

Abstract

The article discusses methodological approaches to modeling the soil erosion factor K, which is part of the RUSLE model, taking into account the spatial variability of its main subfactors – particle size distribution and macrostructural composition, soil organic carbon content and soil permeability. The aim of this study is to establish spatial patterns of particle size distribution and organic carbon content within slope landscapes and to substantiate approaches to their mathematical description. The study was conducted using field and laboratory data, geoinformation analysis, correlation, and regression methods. Statistically significant relationships were established between the topographic factor LS and key subfactors of the K factor. In particular, inverse relationships were identified between relief intensity and indicators characterizing soil mass accumulation. These relationships were shown to be predominantly nonlinear, leading to the limitations of linear models and the advisability of using power functions, which provide higher approximation accuracy ($R^2 > 0.7$). Further verification of the results was performed using the soil magnetic susceptibility index as an integrated indicator of its properties. The results confirm the threshold (intermittent) nature of accumulation processes within sloping lands and demonstrate the feasibility of effectively predicting the spatial distribution of the K factor based on topographic and soil parameters. The proposed approach can be used to improve the accuracy of erosion risk assessments and to justify soil conservation land management measures.

Keywords: soil, erosion, model, statistics, factor

Cite: Kruglov, O. V., Kolyada, V. P., & Sherstyuk, O. I. (2026). Methodological approaches to modeling the K factor of the RUSLE soil losses model from erosion. *AgroChemistry and Soil Science*, 100, 38–48. <https://doi.org/10.31073/acss100-03> [in Ukrainian].

This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

References

1. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning (Agriculture Handbook No. 537). Washington, DC: United States Department of Agriculture. Retrieved from https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf
2. Baliuk, S. A., Timchenko, D. O., Hichka, M. M., Kutsenko, M. V., Burakov, V. I., Gukov, ... Zubov, O. R. (2010). *Scientific and applied foundations of soil protection against erosion in Ukraine*: monograf. Kharkiv: NSC ISSAR named after O. N. Sokolovsky. Retrieved from <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/212f1ac0-9e77-4186-a9e5-3584ab947aba/content> [in Ukrainian].
3. Morgan, R. P. C. & Kirkby, M. J. & British Geomorphological Research Group. (1980). *Soil erosion*. Eds. M. J. Kirkby, R. P. C. Morgan. Chichester, [England]; New York: Wiley. Available from <https://www.library.gov.au/services/onsite-access/collection-delivery-service#offsite>
4. Minasny, B., & McBratney, A. B. (2016). Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.017>
5. Hengl, T., de Jesus, J. M., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Ribeiro, E. ... Gonzalez, M. R. (2014). SoilGrids1km: Global soil information based on automated mapping. *PLOS ONE*, 9(8), e105992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105992>
6. Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., & Alewell, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the Total Environment*, 479–480, 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>
7. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48, 8–50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
8. Svitlychnyi, O. O., & Chornyi, S. H. (2007). *Osnovy eroziivnavstva* [Fundamentals of erosion science]. Sumy, Ukraine: VTD «Universytetska knyha». Retrieved from https://geoknigi.com/book_view.php?id=1471& [in Ukrainian].
9. Vadyunina, A. F., & Korchagina, Z. A. (1986). Methods for determination of soil physical properties. Moscow: Agropromizdat. Retrieved from <http://libarch.nmu.org.ua/handle/GenofondUA/64795> [in Russian].
10. Hauke, J., & Kossowski, T. (2011). Comparison of values of Pearson's and Spearman's correlation coefficients on the same sets of data. *Quaestiones Geographicae*, 30(2), 87–93. <https://doi.org/10.2478/v10117-011-0021-1>
11. Shaqiri, M. S., Iljazi, T., Kamberi, L., & Ramani-Halili, R. (2023). Differences between the correlation coefficients Pearson, Kendall and Spearman. In *Proceedings of the 5th International Conference of Natural Science and Mathematics* (pp. 392–397). Tetovo. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/375800096_DIFFERENCES_BETWEEN_THE_CORRELATION_COEFFICIENTS_PEARSON_KENDALL_AND_SPEARMAN/citations#fullTextFileContent
12. Lakin, G. F. (1980). *Biometrics*: Textbook (3rd ed.). Moscow: Vysshaya shkola. Retrieved from <http://bookshare.net/index.php?id1=4&category=biol&author=lakin-gf&book=1990> [in Russian].
13. Kruglov, O. V. (2020). On the issue of correction of soil erosion modeling results. *Visnyk KhNAU im. V. V. Dokuchaieva. Seriya: Gruntoznavstvo, ahrokhimii, zemlerobstvo, lisove hospodarstvo, ekolohiia gruntiv*, 1, 65–71. Retrieved from <https://repo.btu.kharkiv.ua/handle/123456789/78346> [in Ukrainian].
14. de Winter, J. C. F., Gosling, S. D., & Potter, J. (2016). Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes. *Psychological Methods*, 21(3), 273–290. <https://doi.org/10.1037/met0000079>
15. Miroshnychenko, M., Nazarov, P., & Kovalenko, S. (2021). Identification of the structure of soil cover by magnetic susceptibility. In Y. Dmytruk & D. Dent (Eds.), *Soils under stress* (pp. 57–68). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68394-8_6
16. Roering, J. J., Kirchner, J. W., & Dietrich, W. E. (2001). Hillslope evolution by nonlinear, slope-dependent transport: Steady state morphology and equilibrium adjustment timescales. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B8), 16499–16513. <https://doi.org/10.1029/2001JB000323>
17. Roering, J. J., Hunter, B. D., Ferrier, K. L., Chadwick, O. A., Yoo, K., & Wackett, A. A. (2023). Quantifying erosion rates and weathering pathways that maximize soil organic carbon storage. *Biogeochemistry*, 164(2), 319–333. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01054-7>
18. Kruglov, O., Menshov, O., Horoshkova, L., & Kruhlov, B. (2023). Magnetic susceptibility of inclined soils and its relationship with some agronomic indicators. *Plant and Soil Science*, 14(1), 39–50. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.39>