

## Магнітна сприйнятливість схилових ґрунтів при прогнозуванні агрономічних характеристик

О. Круглов<sup>1</sup>, О. Меньшов<sup>2</sup>, В. Коляда<sup>1</sup>, М. Шевченко<sup>1</sup>, А. Ачасова<sup>1</sup>,  
П. Назарок<sup>1</sup>, О. Андрєєва<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,  
Харків, Україна

<sup>2</sup>Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка, ННІ «Інститут геології», Київ, Україна  
Надійшла 8 серпня 2022 р.

Стаття присвячена дослідженню локалізації агрономічних неоднорідностей ґрунту схилових сільськогосподарських ділянок з використанням математичного моделювання ерозійних процесів та знімання питомої магнітної сприйнятливості орного горизонту ґрунтового покриву. Дослідження проведено на прикладі схилової ділянки чорнозему типового. Використано методики відбору ґрунтових проб за ДСТУ 4287:2004, визначено вміст органічного вуглецю за ДСТУ 4289:2004, статистичні показники за допомогою Statistica®. Результати дослідження візуалізовано у програмному середовищі QGIS. Магнітну сприйнятливість вимірювали за допомогою капамістка KLY-2. Ерозійні процеси змодельовано із залученням універсального рівняння втрат ґрунту USLE. Як топографічну основу було взято топографічну карту масштабу 1:10 000. Територія дослідження — поля Національного біотехнологічного університету (ХНАУ ім. В.В. Докучаєва) на південних околицях м. Харків. Було відібрано 70 проб ґрунту з орного шару. На ділянці внаслідок перебігу процесів водної ерозії відбувався тривалий змив ґрунту, поширений складний просторовий комплекс змито-намитих ґрунтів, що є типовим для еродованих схилових земель Лісостепу. На нееродованих вододілах (у північно-західному напрямку) поширені чорноземи типові важкосуглинкові середньогумусні. Проби відбирали за нерегулярною мережею, густина відбору — близько 5 проб на 1 га. Результати показали, що математичне моделювання процесів ерозії може бути використане для прогнозування розташування неоднорідностей, агрономічних властивостей ґрунтового покриву схилових земель. З огляду на недоліки основних моделей потенційних втрат ґрунту, пов'язаних із чергуванням зон розмиву—відкладення, виникає необхідність уточнення його результатів. Для цього пропонується застосовувати деякі статистичні характеристики просторового розподілу значень магнітної сприйнятливості ґрунту, а саме середні значення та коефіцієнт варіації.

**Ключові слова:** магнітна сприйнятливість, ґрунт, ерозія, моделювання.

**Постановка проблеми.** Точні відомості про значення агрономічних показників ґрунту є основою сучасної концепції «точного (або розумного) землеробства» [Rooina et al., 2018]. Високою диференціацією та дисперсією характеризуються схилі землі, на яких проявляються ерозійні процеси. За цих умов результати стандартного агрохімічного обстеження часто мають обмежене значення [Castrignano et

al., 2020], не відображуючи реальну ситуацію робочої ділянки. Основою сучасних технологій є достатньо точна локалізація неоднорідностей ґрунтового покриву, що потребують диференціації агротехнічних підходів для більш повного використання реалізації потенційної родючості ґрунтового покриву [Медведев, 2007].

На схилових землях основним фактором диференціації властивостей ґрунту

вважається водна ерозія, тобто процеси змиву і перевідкладення ґрунту та підстилаючих порід під впливом тимчасових водних потоків. Тому логічним є припущення про існування зв'язку між результатами таких процесів і значеннями агрономічних властивостей ґрунтів. При цьому слід зазначити, що проведення необхідної кількості досліджень традиційними стандартизованими агрохімічними та агрофізичними методами є трудомісткою процедурою з огляду на значні витрати часу та вартість відповідних аналізів.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Одним з шляхів вирішення окресленої проблеми є розвиток технологій, які на базі результатів математичного моделювання ерозійних процесів дають змогу прогнозувати зміни властивостей ґрунтів [Powrie, 2011]. Існує велика кількість підходів до застосування таких моделей: у нас в країні найбільш вживаними є ДСТУ 7904 [Якість..., 2016] та Універсальне рівняння втрат ґрунту USLE [Wischmeier, Smit, 1978]. Проте, маючи певні переваги в прогнозуванні втрат ґрунту [Куценко, Круглов, 2010] для вирішення вищевказаних завдань, вони потребують додаткових досліджень та верифікації.

Дослідження з метою пошуку нових більш ефективних технологій для швидкісного та низьковартісного вивчення силових ґрунтів підтверджує перспективність застосування даних про магнітну сприйнятливості ґрунту. Низка наших публікацій верифікує існування тісного генетичного зв'язку та кореляційних залежностей між магнітними показниками та вмістом гумусу, а також гранулометричним складом ґрунтів [Меньшов та ін., 2016; Меньшов, 2016, 2018; Круглов та ін., 2018; Menshov et al., 2021]. Зауважимо, що застосування магнітних методів узгоджується із завданнями програми Європейського Союзу «Горизонт Європа» (Horizon Europe) у контексті Блоку 2 «Глобальні виклики та європейська промислова конкурентоспроможність», який містить Кластер «Продовольство, біоекономіка, природні ресурси, сільське господарство та навколишнє се-

редовище». При цьому одним з найважливіших завдань є застосування сучасних геофізичних технологій математичного моделювання природного навколишнього середовища [Онанко та ін., 2011; Вижва та ін., 2018].

**Аналіз публікацій за темою досліджень.** Ерозійні процеси чинять перерозподіляючу дію на гранулометричні частинки ґрунту, утворюючи своєрідні закономірності їх вмісту [Круглов, 2012]. У свою чергу це впливає як на воднофізичні властивості ґрунту і його протиерозійну стійкість (коефіцієнт  $K$  у більшості моделей ерозії), так і на магнітні властивості ґрунту. Аналіз зв'язку між магнітними характеристиками ґрунтів і фактором  $K$  рівняння USLE за версією Денарді [Denardin, 1990] і факторами  $K_i$  та  $K_r$  моделі WEPP за версією Фленагана та Лівінгстона демонструють кореляцію Пірсона для трьох показників відповідно 0,63, 0,74 та 0,56 ( $p < 0,05$ ) [Flanagan, Livingston, 1995]. Ще вищий ступінь зв'язку знайдено між значеннями фактора  $K$ , розрахованими на основі значень питомої магнітної сприйнятливості ( $M_C$ ,  $M_S$ ,  $\chi$ ) і фактично вимірними:  $R^2=0,92$  [Barbosa et al., 2019].

На прикладі ґрунтів Міннесоти було показано зв'язок властивостей ґрунтів і групи факторів, серед яких були магнітні та топографічні характеристики. Визначено, що найвищі значення  $M_C$  притаманні гумусовим горизонтам ґрунтів прерії, дещо нижчі — схиловим землям (з високою дисперсією значень) і ще нижчі — лісовим ґрунтам. У шарі нижче 50 см різниця між значеннями нівелюється. Така диференціація пояснюється змінами концентрації суперпарамагнітного магнетиту, утвореного в результаті педогенезу [Maxbauer et al., 2017].

$M_C$  ґрунту досить давно застосовується як індикатор значень ґрунтових характеристик. Бразильські дослідники у ґрунтах сухих субтропіків виявили підвищений ступінь кореляції між  $M_C$  і вмістом фізичної глини  $R^2=0,83$ , загального вуглецю  $R^2=0,85$  і загального азоту  $R^2=0,77$  [de Souza Bahia et al., 2017]. Цією ж науковою групою було виявлено тісний зв'язок вмісту

оксидів заліза та вмісту глинистої фракції і адсорбованих сполук фосфору [Samargo et al., 2015]. Зауважимо, що такий зв'язок має і певні обмеження, що зумовлені ландшафтними відмінностями. Свого часу румунські дослідники на прикладі ґрунтів центральної частини країни дійшли висновку про тісний зв'язок МС та агрохімічних показників ґрунту (передусім органічного вуглецю) у вертикальному напрямку. Зв'язку на регіональному чи локальному рівні не виявлено, зважаючи на значну диференціацію ґрунтових типів місцевості [Garbacea, Ioane, 2010].

Комплексні дослідження були проведені в околицях озера Кінхай в Тибеті. Порівнювались агрономічні та магнітні характеристики оброблюваних земель і пасовищ. Згідно з цими дослідженнями МС орних земель значно вище, ніж цілинних (на 20 %). Паралельно зафіксовано суттєві зміни в гранулометричному складі ґрунту та їх колірності: показники колірності вищі на нерозораних землях, вміст піщаної фракції рідше майже вдвічі вище переважно за рахунок фракції пилу. Згадані відмінності найяскравіше проявлені в орному горизонті (0—30 см), з глибиною вона нівелюється. Частотна залежність МС вища на землях пасовищ [Jie et al., 2017]. Поєднання або комплексування магнітних показників ґрунту з похідними його ландшафтного положення (результатами математичного моделювання) рекомендовано як один з інструментів визначення неоднорідностей просторового розподілу властивостей ґрунтового покриву. Результати магнітометрії ґрунту розглядаються як більш пріоритетні, порівнюючи з ландшафтними характеристиками [Круглов та ін., 2021].

**Мета дослідження** — провести оцінку можливості локалізації агрономічних неоднорідностей ґрунту схилової сільськогосподарської ділянки із застосуванням математичного моделювання ерозійних процесів та зйомки магнітної сприйнятливості орного горизонту ґрунтового покриву.

**Методика проведення досліджень.** Використовувались методики відбору ґрунтових проб за ДСТУ 4287:2004 та визначен-

ня вмісту органічного вуглецю за ДСТУ 4289:2004. Для визначення статистичних показників користувались стандартним програмним продуктом Statistica®. Візуалізація результатів дослідження проводилась у програмному середовищі QGIS. Для всіх зразків ґрунту було визначено питому МС за допомогою капамістка KLY-2 за методикою Evans [Evans, Heller, 2003]. Моделювання ерозійних процесів відбувалося з урахуванням методичних підходів універсального рівняння втрат ґрунту USLE. У даному випадку використовувалась лише та частина, що стосується топографічного фактора LS з огляду на константність інших складових моделі [Ерозия..., 1984]. За топографічну основу було прийнято топографічну карту М 1:10 000.

**Об'єкти дослідження.** Дослідження проводились на території дослідного поля Національного біотехнологічного університету (ХНАУ ім. В.В. Докучаєва) на південних околицях м. Харків.

Всього на території ділянки було відібрано 70 проб ґрунту з орного шару. Схема відбору проб представлена на рис. 1. На ділянці внаслідок перебігу процесів водної ерозії відбувався тривалий змив ґрунту та поширений складний просторовий комплекс змитого-намитих ґрунтів, що є типовим випадком для еродованих схилових земель лісостепу. На нееродованих вододілах (у північно-західному напрямку) розвинуті чорноземи типові важкосуглинкові середньогумусні.

Враховуючи особливості рельєфу, відбір проб проводився за нерегулярною мережею. Густина відбору біля 5 шт/га. Загальна кількість відібраних проб 70.

**Результати та їх обговорення.** Встановлено, що значення топографічного фактора моделі USLE становлять для території ділянки 0,07—2,09 (рис. 2), тобто змінюються від плакорного елювіального ландшафту в західній частині ділянки до сильно змитих ґрунтів північно-східної її частини. Але просте виділення за ступенем потенційного змиву у цьому разі не відображає повною мірою агрономічну архітектуру ділянки.



Рис. 1. Розташування дослідної ділянки «Рогань» і схема відбору зразків ґрунту.  
Fig. 1. Study site «Rohan» and soil sampling grid.

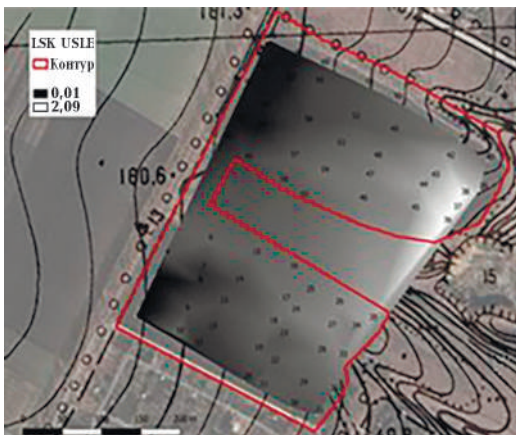


Рис.2. Картограма просторового розподілу значень топографічного фактора моделі USLE дослідної ділянки.  
Fig. 2. Map of the spatial distribution of the values of the topographic factor of the USLE model of the study site.

Рельєф дослідної ділянки досить складний з високою дисперсією значень топографічного фактора. Сама ділянка розташована в прибортовій частині балки, з північного заходу та північного сходу ділянки розташовані лісосмуги, що створюють певний захисний ефект, нівелюючи ерозійну дію водних потоків на суміжні частини ділянки. При розрахунках було прийнято, що швидкість водних потоків на цих рубежах падає до 0 м/с.

Складний рельєф зумовлює конфігурацію розподілу значень досліджуваних показників. Уявлення про його особливості дає матеріал, поданий на рис. 3. Як бачимо, основна частина значень досліджуваних

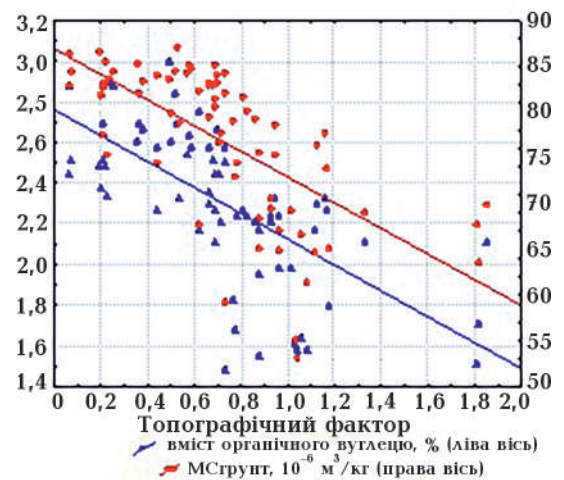


Рис. 3. Графік розподілу значень магнітної сприйнятливості ґрунту та вмісту органічного вуглецю залежно від значень топографічного фактора моделі USLE.

Fig. 3. Soil magnetic susceptibility and organic carbon content distributions in the soil depending of the values of the topographic factor of the USLE model.

показників відповідає діапазону значень топографічного фактора 0,2—1,2. Більш повно це виражено при проведенні групового аналізу (таблиця). Було виділено сім груп з рівномірним кроком 0,3 абсолютного значення топографічного фактора моделі USLE. Нахил прямих регресії в обох випадках практично однаковий та відповідає рівню  $\rho=0,73$  (непараметрична кореляція Спірмена,  $p \leq 0,05$ ).

Як свідчать дані таблиці, магнітна сприйнятливості ґрунту має значно ниж-

### Групування даних за показником топографічного фактора моделі USLE

Група	Число випадків	Вміст органічного вуглецю, %			МС ґрунту, 10 <sup>-8</sup> м <sup>3</sup> /кг		
		Середнє арифметичне	СКВ	Коефіцієнт варіації, %	Середнє арифметичне	СКВ	Коефіцієнт варіації, %
1	11	2,605	0,212	8,15	82,656	3,522	4,26
2	10	2,623	0,218	8,30	82,235	3,648	4,43
3	23	2,333	0,325	13,93	79,670	6,247	7,84
4	17	2,016	0,313	15,51	69,573	8,598	12,35
5	5	2,164	0,218	10,05	71,405	6,247	8,74
6	1	2,100	—	—	68,829	—	—
7	3	1,770	0,301	17,01	66,991	3,148	4,70
Всього	70	2,301	0,373	16,19	76,765	8,261	10,76

чу варіативність, порівняно з вмістом органічного вуглецю, тобто ця характеристика ґрунту є більш консервативною. Значення варіативності підвищуються з ростом топографічного фактора моделі USLE. Середні арифметичні значення досліджуваних показників також збільшуються зі збільшенням потенційного змиву, за винятком ситуації групи № 5, для якої ці значення суттєво вищі. Імовірно, це пов'язано з процесами перевідкладення, які модель USLE в первісному вигляді не враховує.

Ситуація з вимірними значеннями вмісту органічного вуглецю показана на рис. 4. Для понад 60 % території ділянки притаманні середні та підвищені значення вмісту органічного вуглецю. Східна її частина характеризується зниженими значеннями показника. Межею, що вказує на наявність намитих ґрунтів, на нашу думку, є зона, що відповідає значенням топографічного фактора 1,2—1,5. При цьому відзначається деяке підвищення значень (на 5 % порівняно з попередніми, див. таблицю) вмісту органічного вуглецю та МС ґрунту.

Найстійкішими видаються елювіальні ділянки, що відповідають значенням топографічного фактора в межах 0—0,6. Варіативність досліджуваних ознак тут вдвічі менша від середніх показників, а отже, можна стверджувати про високий ступінь однорідності агрономічних властивостей ґрунтового покриву. Високі значення цієї характеристики в групах 4 та 7 вказують

на необхідність розгляду їх додаткової диференціації.

Щодо ділянок з високими значеннями топографічного фактора — тут спостерігається найвищий рівень варіативності вмісту органічного вуглецю. Водночас цей показник для МС є низьким. На нашу думку, це зона ерозійних відкладів з високою диференціацією вмісту гумусу, проте з досить рівномірним розподілом окисно-відновних умов, за яких відбувається синтез педогенних сполук заліза. Це пояснює і низький ступінь зв'язку між значенням топографічного фактора та досліджуваними показниками.

**Висновки.** Математичне моделювання процесів ерозії (на прикладі параметри-

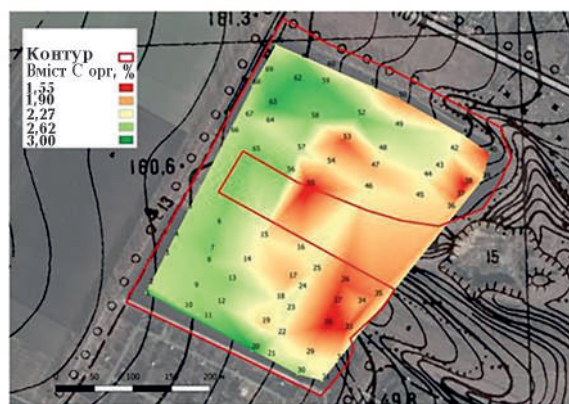


Рис. 4. Картограма просторового розподілу вмісту органічного вуглецю в ґрунтах дослідної ділянки.  
Fig. 4. Map of the spatial distribution of organic carbon content in the soils of the study site.

зації схилових процесів) може бути використане для прогнозування розташування неоднорідностей агрономічних властивостей ґрунтового покриву схилових земель. Проте з огляду на недоліки основних моделей потенційних втрат ґрунту, пов'язаних з чергуванням зон розмиву — відкладення, виникає необхідність уточнення результатів такого моделювання. Для цього пропонується застосовувати інформацію про магнітну сприйнятливості верхнього горизонту ґрунту. Зонування агрономічних неоднорідностей ґрунтового покриву коригується як без-

посередньо з застосуванням картограм просторового розподілу значень питомої магнітної сприйнятливості ґрунту, так і з деякими його статистичними характеристиками, зокрема показниками варіативності.

**Підтвердження.** Робота виконана у рамках НДР №№ 0116U000587 ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 21БПО49-02 Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 110/4 пр-2020 Національного університету біоресурсів і природокористування України.

### Список літератури

- Вижва С., Онищук В., Онищук І., Рева М., Шабатура О. Фільтраційно-ємнісні особливості порід верхнього карбону (на прикладі Руновщинської площі ДДЗ). *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2018. Вип. 4(83). С. 30—37. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.83.04>.
- Круглов О.В. Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва. Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2012. № 4. С. 66—69.
- Круглов О., Меньшов О., Коляда В., Ачасова А., Андреева О. До питання комплексування геофізичних та агрохімічних методів досліджень схилових земель. *Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 2021. Вип. 3(94). С. 53—58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06>.
- Круглов О., Меньшов О., Улько Є., Кучер А., Назарок П. Індикація ерозійних процесів у ґрунтовому покриві Харківської області за магнітними даними. *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2018. Вип. 3(82). С. 36—44. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.82.05>.
- Куценко М.В., Круглов О.В. Про створення автоматизованої системи геоінформаційного забезпечення універсального рівняння витрат ґрунту (USLE). *Геоінформатика*. 2010. № 4. С. 85—89.
- Медведев В.В. *Неоднородность почв и точное земледелие. Часть 1. Введение в проблему*. Харьков: Изд. 13 типография, 2007. 296 с.
- Меньшов О.І. Застосування магнітних методів для контролю змін продуктивних земель. *Геофиз. журн*. 2016. Т. 38. № 4. С. 130—137. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i4.2016.107810>.
- Меньшов О. Роль магнетотактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України. *Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 2018. Вип. 1(80). С. 40—45. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.80.05>.
- Меньшов О., Кудеравець Р., Попов С., Хоменко Р., Сухорада А., Чоботок І. Термомагнітний аналіз ґрунтів територій покладів вугледнів. *Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 2016. Вип. 2(73). С. 33—37. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.73.05>.
- Онанко Ю.А., Продайвода Г.Т., Вижва С.А., Онанко А.П., Куліш М.П. Автоматизована система обробки вимірювань поздовжніх та поперечних швидкостей ультразвуку. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2011. Т. 33. С. 529—533.
- Эрозия почвы*. Под ред. М. Киркби, К. Моргана. Москва: Колос, 1984. 415 с.
- Якість ґрунту. Визначення потенційної загрози ерозії під впливом дощів: ДСТУ 7904:2015*. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2016. 12 с.
- Barbosa, R.S., Marques Júnior, J., Barrón, V., Mar-

- tinsFilho, M.V., Siqueira, D.S., Peluco, R.G., Camargo, L.A., & Silva, L.S. (2019). Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in north eastern São Paulo state, Brazil. *Environmental earth sciences*, 78(1), 1—12. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8015-0>.
- Camargo, L.A., Júnior, J.M., Barrón, V., Alleoni, L.R.F., Barbosa, R.S., & Pereira, G.T. (2015). Mapping of clay, iron oxide and adsorbed phosphate in Oxisols using diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 251, 124—132. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.027>.
- Castrignanò, A., Buttafuoco, G., Khosla, R., Mouazen, A., Moshou, D., & Naud, O. (Eds.). (2020). *Agricultural internet of things and decision support for precision smart farming*. Academic Press.
- Denardin, J.E. (1990). *Erodibilidade di solo estimado por meioparametros fisicos qumisos*. Thesis. Escola Superior de Agricultura Luis de Quieros. Universidade de Sao Paulo.
- de Souza Bahia, A.S.R., Marques, J., La Scala, N., Pellegrino Cerri, C.E., & Camargo, L.A. (2017). Prediction and mapping of soil attributes using diffuse reflectance spectroscopy and magnetic susceptibility. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1450—1462. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0206>.
- Evans, M.E., & Heller, F. (2003). *Environmental magnetism: principles and applications of environmental magnetism*. Elsevier.
- Flanagan, D.C., & Livingston, S.J. (1995). *Water erosion prediction project: WEPP user summary*. National Soil Research Laboratory & USDA, Washington, D.C, West Lafayette.
- Garbacea, G.F., & Ioane, D. (2010). Geophysical mapping of soils. New data on Romanian soils based on magnetic susceptibility. *Romanian Geophysical Journal*, 54, 83—95.
- Jie, Y., Guangchao, C., Chongyi, E., Gang, J., Youjing, Y., & Cheng, X. (2017). Comparative research on soil magnetic susceptibility and Chroma and grain of grassland soil and farmland soil in alpine region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 59(1), 012071. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/59/1/012071>.
- Maxbauer, D.P., Feinberg, J.M., Fox, D.L., & Natter, E.A. (2017). Response of pedogenic magnetite to changing vegetation in soils developed under uniform climate, topography, and parent material. *Scientific reports*, 7(1), 1—10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17722-2>.
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Horoshkova, L., Pereira, P., Pastushenko, T., & Dindaroglu, T. (2021). Landscape Position Effects on Magnetic Properties of Soils in the Agricultural L and Pechenigy, Ukraine. *Earth Systems and Environment*, 5(3), 739—750. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00240-7>.
- Poonia, R.C., Gao, X.Z., Raja, L., Sharma, S., & Vyas, S. (Eds.). (2018). *Smart Farming Technologies for Sustainable Agricultural Development*. IGI Global.
- Powrie, J. (2011). *A Guide to Smart Farming*. Land WISE.
- Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

## Magnetic susceptibility of the slope soils for predicting of agronomic characteristics

**O. Kruglov<sup>1</sup>, O. Menshov<sup>2</sup>, V.Koliada<sup>1</sup>, M. Shevchenko<sup>1</sup>, A. Achasova<sup>1</sup>, P. Nazarok<sup>1</sup>, O. Andreeva<sup>2</sup>, 2023**

<sup>1</sup>National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine

The article is related to the study of the localization of agronomic heterogeneities of the soil distributed on slopes. To study this important agricultural areas, we used the math-

ematical modeling of erosion processes and the survey of the magnetic susceptibility of the arable horizon of the soils. The experiment design includes the typical chernozem of the slope. The soil sampling was performed according to DSTU 4287:2004, determination of organic carbon content according to DSTU 4289:2004, and determination of statistical indicators using Statistica®. The visualization of the study results was carried out in the QGIS software. Magnetic susceptibility (MS) was measured using a KLY-2 magnetometer. Modeling of soil erosion processes involved USLE universal soil loss equation. A 1:10,000 topographic map was adopted as the topographic basis. The research territory is the fields of the National Biotechnological University (V.V. Dokuchaev KhNAU) on the southern outskirts of the city of Kharkiv. The 70 soil samples were collected from the arable layer (horizon A). Due to the course of water erosion processes, a long-term soil washout and a widespread complex spatial complex of washed-out soils took place on the site, which is a typical case for eroded sloping lands of the Forest Steppe. In non-eroded watersheds (in the north-western direction), typical heavy loamy medium-humus chernozems are developed. Sampling was carried out using an irregular grid, the sampling density was about 5 samples per hectare. We detected that mathematical modeling of erosion processes can be used to predict the location of inhomogeneities in the agronomic properties of the ground cover of sloping lands. However, given the shortcomings of the main models of potential soil losses associated with the alternation of zones of erosion and deposition require to clarify and verify the obtained results. Hence, we propose to apply the statistical characteristics of the spatial distribution of values of the magnetic susceptibility of the soil. The most important parameters are the average values and coefficient of variation of MS.

**Key words:** magnetic susceptibility, soil, erosion, modeling.

## References

- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., & Shabatura, O. (2018). Reservoir features of the upper carbon sediments (Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin). *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, (4), 30—37. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.83.04> (in Ukrainian).
- Kruglov, O.V. (2012). Peculiarities of distribution of magnetic susceptibility of typical chernozem on slopes. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University named after V. V. Dokuchaev. Series: Soil science, agrochemistry, agriculture, forestry, soil ecology*, (4), 66—69 (in Ukrainian).
- Kruglov, O., Menshov, O., Kolada, V., Achasova, A., & Andreeva, O. (2021). Integrating of geophysical and agrochemical methods for slope lands studying. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, (3), 53—58. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06> (in Ukrainian).
- Kruglov, O., Menshov, O., Ulko, E., Kucher, A., & Nazarok, P. (2018). Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, (3), 36—44. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.82.05> (in Ukrainian).
- Kutsenko, M.V., & Kruglov, O.V. (2010). About the creation of an automated system of geoinformation support for the universal soil flow equation (USLE). *Geoinformatika*, (4), 85—89 (in Ukrainian).
- Medvedyev, V.V. (2007). *Soil heterogeneity and precision agriculture. Part 1. Introduction to the problem*. Kharkov: Yzd. 13 typhrafiya, 296 p. (in Russian).
- Menshov, O.I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(4), 130—137. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i4.2016.107810> (in Ukrainian).
- Menshov, O. (2018). The role of magnetotactic bacteria in formation of natural magnetism of Ukraine soils. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, (1), 40—45. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.80.05> (in Ukrainian).
- Menshov, O., Kuderavets, R., Popov, S., Homenko, R., Sukhorada, A., Chobotok, I. (2016). Thermomagnetic analyzes of soils from the hydrocarbon fields. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, (2), 33—37. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.73.05> (in Ukrainian).



- Onanko, Yu.A., Prodayvoda, G.T., Vyzhva, S.A., Onanho, A.P., & Kulish, M.P. (2011). The Computerized System of Processing of Measurements of Longitudinal and Transverse Velocities of Ultrasound. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 33, 529—533 (in Ukrainian).
- Kirkbi, M., & Morgan, K. (Eds.). (1984). *Soil erosion*. Moscow: Kolos, 415 p. (in Russian).
- Soil quality. Determination of the potential threat of erosion under the influence of rains: DSTU 7904:2015*. (2016). Kyiv: State enterprise «Ukrainian research and training center for problems of standardization, certification and quality», 12 p. (in Ukrainian).
- Barbosa, R.S., Marques Júnior, J., Barrón, V., Martins Filho, M.V., Siqueira, D.S., Peluco, R.G., Camargo, L.A., & Silva, L.S. (2019). Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in north eastern São Paulo state, Brazil. *Environmental earth sciences*, 78(1), 1—12. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8015-0>.
- Camargo, L.A., Júnior, J.M., Barrón, V., Alleoni, L.R.F., Barbosa, R.S., & Pereira, G.T. (2015). Mapping of clay, iron oxide and adsorbed phosphate in Oxisols using diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 251, 124—132. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.027>.
- Castrignanò, A., Buttafuoco, G., Khosla, R., Mouazen, A., Moshou, D., & Naud, O. (Eds.). (2020). *Agricultural internet of things and decision support for precision smart farming*. Academic Press.
- Denardin, J.E. (1990). *Erodibilidade di solo estimado por meioparametros fisicos qumisos*. Thesis. Escola Superior de Agricultura Luis de Quieros. Universidade de Sao Paulo.
- de Souza Bahia, A.S.R., Marques, J., La Scala, N., Pellegrino Cerri, C.E., & Camargo, L.A. (2017). Prediction and mapping of soil attributes using diffuse reflectance spectroscopy and magnetic susceptibility. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1450—1462. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0206>.
- Evans, M.E., & Heller, F. (2003). *Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics*. Elsevier.
- Flanagan, D.C., & Livingston, S.J. (1995). *Water erosion prediction project: WEEP user summary*. National Soil Research Laboratory & USDA, Washington, D.C, West Lafayette.
- Garbacea, G.F., & Ioane, D. (2010). Geophysical mapping of soils. New data on Romanian soils based on magnetic susceptibility. *Romanian Geophysical Journal*, 54, 83—95.
- Jie, Y., Guangchao, C., Chongyi, E., Gang, J., Youjing, Y., & Cheng, X. (2017). Comparative research on soil magnetic susceptibility and Chroma and grain of grassland soil and farmland soil in alpine region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 59(1), 012071. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/59/1/012071>.
- Maxbauer, D.P., Feinberg, J.M., Fox, D.L., & Natter, E.A. (2017). Response of pedogenic magnetite to changing vegetation in soils developed under uniform climate, topography, and parent material. *Scientific reports*, 7(1), 1—10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17722-2>.
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Horoshkova, L., Pereira, P., Pastushenko, T., & Dindaroglu, T. (2021). Landscape Position Effects on Magnetic Properties of Soils in the Agricultural L and Pechenigy, Ukraine. *Earth Systems and Environment*, 5(3), 739—750. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00240-7>.
- Poonia, R.C., Gao, X.Z., Raja, L., Sharma, S., & Vyas, S. (Eds.). (2018). *Smart Farming Technologies for Sustainable Agricultural Development*. IGI Global.
- Powrie, J. (2011). *A Guide to Smart Farming*. Land WISE.
- Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.