ВЛАСТИВОСТІ Й РЕЖИМИ ҐРУНТІВ
SOIL PROPERTIES and MODES

УДК 631.4:537.621.4(477.5)

Магнетизм ґрунтів як екологічний феномен та його діагностичне значення

О. В. Круглов

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

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 18.09.2025
Отримано після доопрацювання 19.12.2025
Затверджено до видання 26.12.2025
Доступно онлайн 30.12.2025

Ключові слова:

ґрунт;
екологія;
ерозія;
магнітна сприйнятливість;
схил

АНОТАЦІЯ

Моніторинг магнітних властивостей ґрунтів показав себе як чутливий та доступний засіб діагностики, що дозволяє не лише оцінити загальний рівень антропогенного навантаження на агроландшафт, але й простежити просторову неоднорідність ґрунтового покриву, зокрема зумовлену деградаційними процесами, пов'язаними з перебігом водної ерозії. У дослідженні розкрито деякі результати аналізу магнітних властивостей як індикатора екологічного стану ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України з урахуванням географічних, генетичних та антропогенних передумов формування ґрунтового магнетизму. Основним дослідженим параметром є питома магнітна сприйнятливість (χ), яку визначали у пробах ґрунтів у повітряно-сухому стані за допомогою капамістка KLY-2, що забезпечує високу точність визначення навіть низьких рівнів магнітної сприйнятливості, характерних для ґрунтів природних екосистем. Виявлено, що просторові закономірності розподілу χ відображають як геохімічні особливості ландшафтів, так і специфіку сучасного землекористування. На основі експериментальних даних наведено діапазони варіацій значень питомої магнітної сприйнятливості для найбільш поширених типів ґрунтів Лівобережної частини зон Полісся, Лісостепу і Степу України. Показано, що зв'язок питомої магнітної сприйнятливості зі схиловими процесами, зумовлений закономірними змінами вмісту органічного вуглецю, залишається стабільним у часі. Окрім того, продемонстровано можливість застосування статистичних характеристик просторового розподілу значень магнітної сприйнятливості як індикатора складності і різнорідності (комплексності) структури ґрунтового покриву. Описано особливості прояву чутливості магнітних характеристик до впливу деяких природних і антропогенних факторів.

✉ alex_kruglov@ukr.net

ORCID: 0000-0003-2663-0935

Форма цитування: Круглов О. В. Магнетизм ґрунтів як екологічний феномен та його діагностичне значення *Агрохімія і ґрунтознавство :* міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ “ІҐА ім. О. Н. Соколовського”. Харків: 2025. Вип. 99. С. 4–12.
doi: 10.31073/acss99-01

1. Вступ

У сучасних умовах глобальної тенденції до деградації ґрунтового покриву особливої актуальності набувають методи оцінювання стану ґрунтів, які є швидкими, надійними та інформативними. Одним із таких методів є аналіз магнітних властивостей ґрунту, що все ширше використовують в екологічному моніторингу та прикладному ґрунтознавстві. Магнетизм ґрунтів відображає як природні особливості ґрунтоутворення, так і ступінь антропогенного впливу — зокрема, техногенного забруднення важкими металами, ерозійних процесів або змін у структурі ґрунту внаслідок агрономічного навантаження.

Сільськогосподарські угіддя займають близько 70 % території України (на Лівобережжі ця цифра значно вище), зокрема найбільш використовувані родючі чорноземні ґрунти, які є основою продовольчої безпеки держави. Проте інтенсивне землеробство, широке застосування мінеральних добрив, пестицидів, глибокого обробітку та екстенсивні агротехнічні заходи призводять до поступового виснаження, забруднення та фізичної деградації ґрунтів. У таких умовах

необхідність в ефективному індикаторі змін, що відбуваються в ґрунтовому середовищі, є вкрай важливою.

Магнітна сприйнятливість (χ) ґрунтів зарекомендувала себе як чутливий та доступний інструмент діагностики, що дозволяє не лише оцінити загальний рівень антропогенного навантаження, а й простежити просторову неоднорідність ґрунтового покриву [1, 2]. В Україні цей підхід мало представлений у складі агроекологічних досліджень, попри високий потенціал його застосування для моніторингу стану орних земель, зокрема в зонах інтенсивного землеробства.

Вивчення магнітних властивостей ґрунтів бере початок у другій половині XX століття й пов'язане передусім з розвитком магнітометрії у геофізичних дослідженнях [3]. Спочатку цей підхід застосовували для виявлення магнітних аномалій у геологічному середовищі, рідше — для пояснення генезису ґрунтів [4, 5]. Однак, починаючи з 1970-х років увага науковців поступово змістилася до дослідження поверхневих ґрунтових горизонтів, що реагують на зовнішні чинники, зокрема антропогенного характеру [6]. Піонерними вважаються спроби використання магнітної сприйнятливості як екологічного індикатора в Центральній Європі (Угорщина, Польща, Німеччина), які показали, що вміст феромагнітних мінералів у ґрунтах може відображати рівень техногенного забруднення важкими металами [7, 8]. Ці результати зумовили активний розвиток нового наукового напряму — екологічного магнетизму. Пізніше це поширилось на інші аспекти прикладного ґрунтознавства — оцінювання впливу антропогенного навантаження та ерозії [9, 10].

В Україні перші дослідження в цьому напрямі з'явилися в кінці 1990-х — на початку 2000-х років. Було доведено, що магнітна сприйнятливість є чутливим показником змін у верхньому горизонті ґрунту, зумовлених вітровою та водною ерозією та накопиченням промислового пилу та агрохімікатів [11].

У подальші роки магнітні методи стали інтегруватися у ґрунтово-екологічний моніторинг, особливо земель сільськогосподарського використання. Сучасні дослідження в Україні (зокрема, в ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» та в ННІ «Інститут геології» КНУ імені Т. Г. Шевченка) демонструють, що карти магнітної сприйнятливості можуть бути засобом виявлення деградованих ділянок, слідів ерозії, переущільнення ґрунту та зон техногенного впливу [12].

Метою цієї статті є висвітлення результатів аналізування магнітних властивостей ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України як індикатора екологічного стану, з урахуванням географічних, генетичних та антропогенних чинників, що впливають на магнетизм ґрунтового покриву.

2. Методика досліджень

Дослідження проводили з метою оцінки магнітної сприйнятливості сільськогосподарських ґрунтів у різних регіонах Лівобережжя України як індикатора їх екологічного стану та впливу антропогенних чинників. Основну увагу приділяли ґрунтам, що зазнають інтенсивного навантаження за сільськогосподарського використання та дії ерозійних процесів. Магнітну сприйнятливість вимірювали у пробах ґрунту, відібраних із орного шару (0–30 см) у межах агроландшафтів, типових для основних природно-кліматичних зон України: Полісся, Лісостеп і Степ. У кожній зоні вибирали локації, де знаходились ділянки з різною інтенсивністю сільськогосподарського використання: орні землі, пасовища й толоки.

Питому магнітну сприйнятливість (χ) визначали у зразках повітряно-сухого ґрунту за допомогою капамістка KLY-2 за класичною методикою [13]. В окремих

випадках використовували двочастотний магнітометр Bartington MS2 з сенсором MS2B (паралельно проводили вимірювання на низькій (0,47 кГц) та високій (4,7 кГц) частотах, що дозволяло оцінити співвідношення χLF/χHF і характер магнітних мінералів) [14].

3. Результати досліджень та їх обговорення

Найбільш поширеною характеристикою магнітних властивостей ґрунту є питома магнітна сприйнятливість. Її величина відображає як мінералогічний склад, так і концентрацію магнітних мінералів у ґрунті. Порівняно з іншими різновидами магнітної сприйнятливості цей показник вирізняється незалежністю від щільності будови ґрунту та високою точністю визначення, хоча й поступається їм за трудомісткістю вимірювань. Широкий діапазон варіації значень питомої магнітної сприйнятливості забезпечує можливість надійної диференціації досліджуваних зразків.

На рисунку 1 представлено діапазони значень магнітної сприйнятливості найбільш поширених типів ґрунтів Лівобережжя. Графік сформовано на підставі аналізу понад 6000 ґрунтових проб. Він не враховує впливу на ґрунти індустріального або воєнного забруднення, такі зразки були видалені.

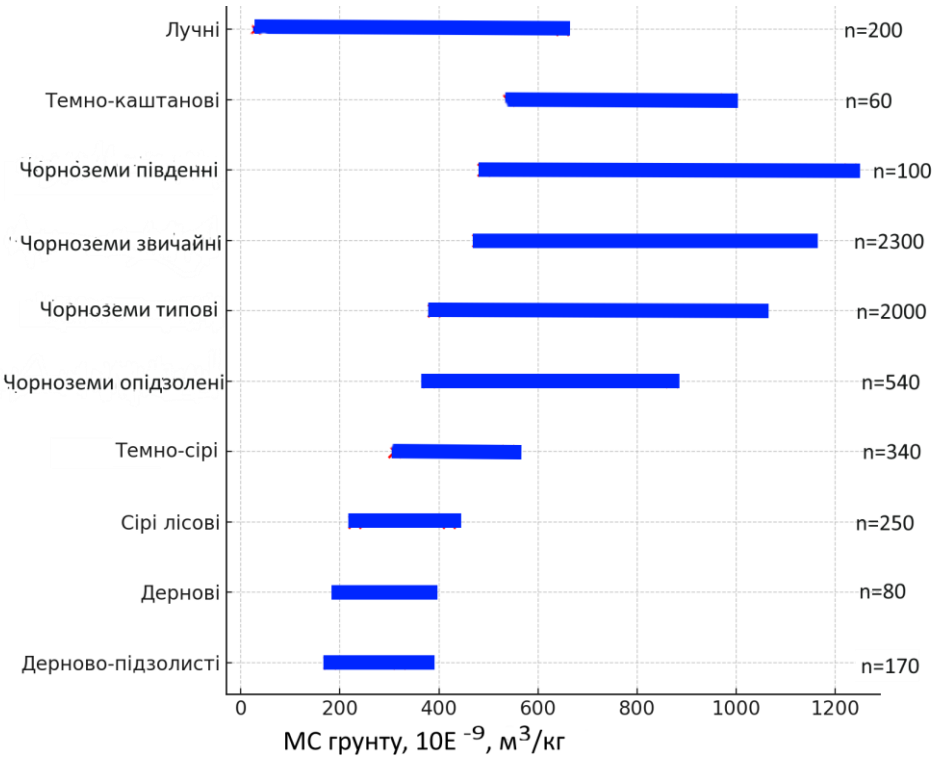


***Рис.1**. Діапазони значень магнітної сприйнятливості (МС) ґрунтів, найбільш поширених на Лівобережжі України*

Діапазони значень питомої магнітної сприйнятливості, наведені на графіку, загалом узгоджуються з результатами, поданими у роботі Н. Йорданової, де вони були ранжовані за групами ґрунтів відповідно до класифікації WRB [15]. Загальна тенденція, що простежується на графіку, полягає у зростанні значень питомої магнітної сприйнятливості у ґрунтах з більш південним субширотним розміщенням ареалу формування. Виняток становлять азональні ґрунти, утворені під впливом гідроморфних або галоморфних умов, зокрема лучні ґрунти. До аналізу не були включені болотні, торфові ґрунти та солонці, оскільки їх значення питомої

магнітної сприйнятливості перебувають у діапазоні від одиниць до 200×10^{-9} м^3/кг і значною мірою визначаються ступенем гідроморфності. Ситуацію з ґрунтами, що розвинуті на корах вивітрювання сильномагнітних кристалічних порід, було описано нами раніше [16]. Площа таких ґрунтів відносно незначна, тому в загальному огляді ними можна знехтувати.

У межах діапазону, характерного для кожного з описаних ґрунтових типів, величина питомої магнітної сприйнятливості залежить від співвідношення впливу окремих факторів ґрунтоутворення. Для сільськогосподарських ґрунтів провідним чинником виступає тип землекористування. Узагальнено можна зауважити, що значення питомої магнітної сприйнятливості ґрунту зростають у ряду: ліс → пасовище → рілля. Водночас ця закономірність справедлива насамперед для порівнянь у межах одного ґрунтового типу. У сучасних ландшафтах, як правило, спостерігається консолідація кількох ґрунтових типів, тому порівняння значень питомої магнітної сприйнятливості в межах одного ландшафту потребує врахування їх ґрунтового різноманіття.

Одним із головних чинників формування таких неоднорідностей виступає водна ерозія, яка призводить до чергування зон змиву та перевідкладення ґрунтової речовини. У результаті цього у межах одного поля формується мозаїчна просторово-структурна організація ґрунту, яка визначає різницю в агрономічних характеристиках окремих ділянок. Така «матриця» властивостей схилових ландшафтів віддзеркалює родючість, поживний режим, здатність до утримання вологи та стійкість ґрунтів до деградаційних процесів, і магнітна сприйнятливість, при цьому, може бути ефективним індикатором змін цих характеристик [17,18]. Можливість застосування педомагнітного методу для індикації агрономічної якості ґрунтового покриву базується, зокрема, на спостережуваному зниженні значень магнітної сприйнятливості за умов тривалого зниження окисно-відновного потенціалу (ОВП) і вмісту органічного вуглецю. Обидва ці фактори розглядаються як ключові ознаки деградаційних процесів у ґрунтах, що безпосередньо впливають на їхню агрономічну цінність.

Однак така залежність магнітної сприйнятливості одночасно від кількох складових педогенезу (гідроморфності, гумусованості, текстури тощо) створює складнощі у формуванні прямої системи індикації агрономічно значущих неоднорідностей лише на основі магнітних параметрів. Інтерпретація результатів педомагнітної зйомки вимагає обов’язкового урахування просторових (елементи рельєфу, типи ландшафтів) та часових (сезонність, багаторічні тренди) чинників.

Зокрема, встановлено, що коефіцієнт кореляції між магнітною сприйнятливістю ґрунтів та вмістом органічного вуглецю зменшується зі збільшенням масштабу дослідження. Найвищі значення цього показника були зафіксовані на прикладі однорідної частини простого схилу однієї експозиції в умовах Лівобережної України. Водночас поширення опробувань на інші елементи мікрорельєфу призводить до розмиття зв’язку: в акумулятивних частинах зростає вплив гідроморфності, при цьому суттєво змінюється рівень окисно-відновного потенціалу, тобто, змінюються умови утворення сильно магнітних педогенних мінералів заліза — гематиту, магнетиту та маггеміту, і це суттєво знижує визначальну роль гумусованості.

Узагальнюючи, можна запропонувати шкалу спадання сили зв’язку між магнітною сприйнятливістю та вмістом гумусу у ґрунті для різних елементів агроландшафту: елементарний схил → поле сівозміни → група полів (масив) → ландшафтний район, причому кількісно це спад від 0,95 до 0,05. Таким чином, застосування педомагнітної зйомки для оцінки агрономічного стану ґрунтів потребує детального аналізу ландшафтного контексту досліджуваної території.

У зв’язку з широким поширенням та значною шкодочинністю ерозійних процесів в Україні доцільно детальніше розглянути можливості їх ідентифікації за допомогою методів магнітної зйомки. За умов «чистої», неускладненої іншими геоморфологічними або антропогенними факторами ерозії, значення питомої магнітної сприйнятливості ґрунтів на неородованих ділянках закономірно змінюються в межах градієнта від показників, характерних для вихідних, незмитих ґрунтових відмін на плакорних елементах рельєфу, до величин, властивих місцевим ґрунтотвірним породам у зонах максимального змиву. Така просторово зумовлена варіація магнітної сприйнятливості відображає інтенсивність та напрямок переміщення дрібнодисперсних фракцій, багатих на феромагнітні мінерали, і може бути використана як непрямий показник ступеня еродованості ґрунтового покриву.

Проте наведена вище закономірність спостерігається у практиці досить рідко. Значно частіше фіксується поєднання кількох чинників, що одночасно визначають величини педомагнітних показників ґрунту. Це ще більше ускладнює побудову універсальних моделей прямої індикації агрономічних властивостей на основі лише магнітної сприйнятливості та підкреслює необхідність більш комплексного підходу до інтерпретації результатів. Так одночасне врахування (комплексування) педомагнітних показників з іншими характеристиками ґрунту дозволяє більш повно розкрити сутність ерозійних процесів. Нижче (Рис. 2) наведено приклад такого застосування на схилових землях з відмінами чорнозему опідзоленого різного ступеня змитості, на базі результатів, описаних нами в одній з попередніх робіт [14]. В основі інтерпретації використано ерозійний індекс за М. В. Куценком [19].

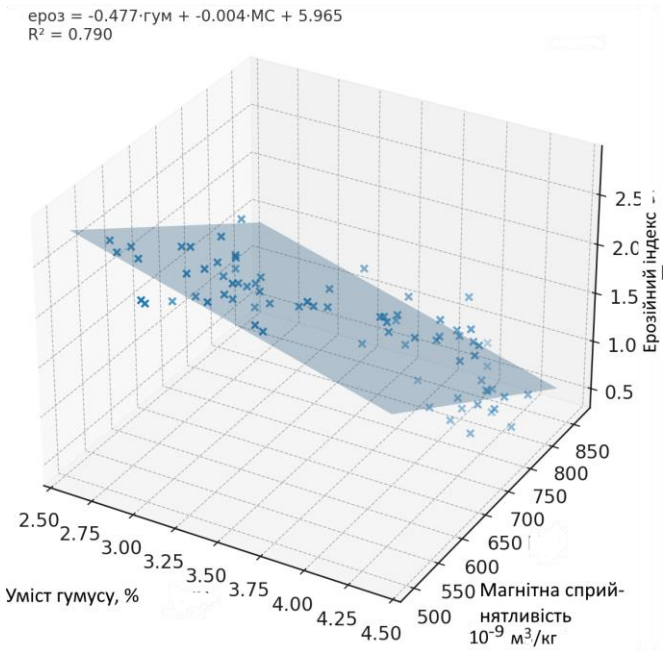


***Рис. 2**. Взаємозвязок між умістом гумусу, магнітною сприйнятливістю та ерозійним індексом у чорноземі опідзоленому*

Отриманий 3D-графік наочно відображає взаємозв’язок між рівнем ерозії ґрунтів (вісь Z), вмістом гумусу (X) та питомою магнітною сприйнятливістю (Y). Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0{,}790$ вказує, що близько 79 % варіації ерозійних показників пояснюється комбінацією вмісту гумусу та магнітної сприйнятливості.

Це доволі високий рівень пояснювальної здатності моделі, що підтверджує значущість обох параметрів для оцінювання стану ґрунтового покриву.

На поверхні точок спостерігається чітка від'ємна залежність значень ерозійних втрат ґрунту від вмісту гумусу — зі зростанням частки органічної речовини інтенсивність ерозії зменшується. Водночас вплив питомої магнітної сприйнятливості менш виражений, але проявляється у зміщенні поверхні в просторі, що може свідчити про роль МС як індикатора походження та структурного стану ґрунту. Візуально площина добре узгоджується з більшістю точок, хоча у крайових ділянках простору спостерігаються певні відхилення, що може бути пов'язане з локальними особливостями геоландшафтних умов або дією додаткових факторів, не врахованих у моделі.

Якщо описувати безпосередній зв'язок у парі ерозійний індекс – магнітна сприйнятливість то залежність має поліноміальний характер (спад – зростання). Це підтверджує складність використання магнітної сприйнятливості як прямого індикатора змитості — її значення необхідно інтерпретувати у контексті геоландшафтних умов чи після попереднього калібрування. Її слід застосовувати як доповнювальний параметр, особливо цінний для швидких польових обстежень. Комбінування з умістом гумусу є фактором підвищення точності просторової діагностики ерозії та прогнозування її розвитку.

Педогенні мінерали заліза (гідрооксиди та оксигідроксиди Fe) у процесі ґрунтоутворення переважно акумулюються у дрібнодисперсних фракціях гранулометричного складу ґрунту — глинистій та пилуватій. Це зумовлено їхньою високою питомою поверхнею та сорбційною здатністю, що сприяє фіксації і кристалізації вторинних мінералів заліза. Саме ці фракції формують найбільш стабільний мінерально-колоїдний комплекс, у межах якого відбувається накопичення магнітно-активних фаз (магнетиту, маггеміту, гематиту чи гідрогетиту). Завдяки цьому дрібні частки ґрунту виступають головними носіями педомагнітних властивостей, тоді як у грубіших піщаних фракціях вміст феромагнітних мінералів є незначним. Таким чином, магнітна сприйнятливість ґрунту може розглядатися як чутливий індикатор неоднорідностей ґрунтового профілю, зумовлених перерозподілом окремих фракцій його механічного складу під впливом екзогенних процесів.

Так, результати наших попередніх досліджень підтвердили наявність достовірного зв'язку між вмістом фізичної глини (гранулометричної фракції <0,01 мм) та величинами питомої магнітної сприйнятливості (R = 0,72) [20].

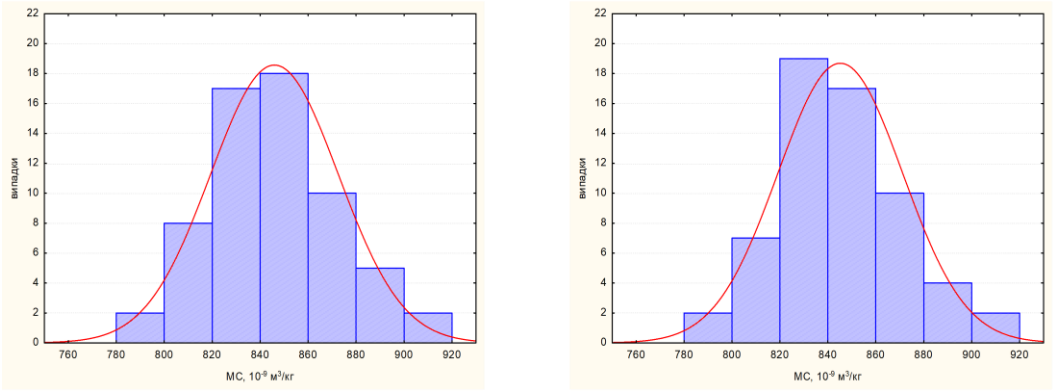
Це свідчить про тісну асоціацію педогенних мінералів заліза з дрібнодисперсними фракціями, що формують основу ґрунтово-колоїдного комплексу та визначають магнітні властивості ґрунту. Виявлений зв'язок має як діагностичне значення для характеристики гранулометричної неоднорідності, так і практичне — для індикації процесів ерозії та інших чинників міграції ґрунтових часточок (коефіцієнт кореляції (R) між індексом ерозійної небезпеки та питомою магнітною сприйнятливістю тут становив -0,94).

Значущими є закономірності просторового розподілу параметрів магнітних характеристик ґрунтів у ландшафті. Як правило, значення питомої магнітної сприйнятливості орного шару ґрунтів України лежать у межах 1…4 × ГП, де ГП – значення для ґрунтотворної породи. Вихід значень за межі цього інтервалу може бути інтерпретований як прояв специфічних природних або антропогенних факторів [21]. Зниження нижче цього діапазону вказують на наявність відновних умов (надлишок вологи (гідроморфні умови) може знижувати МС, бо утворюються редукційні умови, де Fe переходить у розчинні форми), перевищення цього діапазону характерне для ділянок з антропогенним (техногенним) забрудненням ґрунтового покриву. Воно зумовлене надходженням у ґрунтовий покрив

додаткових джерел феромагнітних частинок (продукти згоряння палива, промислові викиди, металургійний пил тощо). Форма просторового розподілу МС при цьому відзначається поєднанням градієнтної складової (поступові зміни у природних умовах) та мозаїчності (плямистих локальних аномалій, зумовлених ерозійними та техногенними процесами).

Просторовий розподіл питомої магнітної сприйнятливості ґрунтів, як правило, характеризується підвищеним коефіцієнтом варіації (20–60 %), що відображає мозаїчність та неоднорідність ґрунтового покриву. На локальних еродованих ділянках, зокрема в межах балкових водозборів, цей показник може перевищувати 75 %. Типова форма кривої розподілу значень магнітної сприйнятливості в агроландшафтах є правосторонньо асиметричною, із вираженою варіабельністю та наявністю локальних аномалій. Це свідчить про складність і різнорідність структури ґрунтового покриву та чутливість магнітних характеристик до впливу природних і антропогенних чинників.

У той же час просторово-часова стабільність розподілу з річним лагом підтверджує інформативність показника для довгострокового моніторингу деструктивних процесів (Рис. 3). Дослід поставлено на схиловій ділянці з чорноземом звичайним та його відмінами різного ступеня змитості (n = 63).



А Б

Рис. 3. *Форма розподілу значень магнітної сприйнятливості чорнозему звичайного (А – 2003 рік; Б – 2004 рік)*

Як показано на рисунку 3, форма розподілу значень магнітної сприйнятливості чорнозему звичайного практично незмінна, деякі розбіжності зумовлені флуктуацією значень біля середнього арифметичного. Така стабільність може слугувати основою індикації розвитку небажаних процесів у ґрунтовому покриві.

4. Висновки

Магнітні властивості ґрунту можуть розглядатись як універсальний індикатор процесів педогенезу. Вони зумовлені одними й тими ж факторами: клімат, ґрунтотворна порода, антропогенний вплив, час, рельєф. Насамперед інформативними такі дані є для діагностики ерозійних процесів, антропогенного забруднення та надмірного зволоження. Показано, що зміни питомої магнітної сприйнятливості тісно корелюють із параметрами вмісту органічного вуглецю та гранулометричного складу ґрунтів, що зумовлює стійкий зв’язок між магнітними характеристиками та інтенсивністю схилових процесів. Зазначена залежність має квазівідтворюваний характер і зберігається у часі, що підтверджує стабільність магнітного сигналу як природного індикатора ерозійних перетворень.

Подяка. Автор висловлює велику вдячність своєму науковому наставнику, світлої пам'яті Анатолію Васильовичу Сухораді (1944–2025), який заснував напрям досліджень педомагнітних властивостей ґрунтів в Україні.

Джерела посилання

1. Maher B. A., Alekseev A., Alekseeva T. Magnetic mineralogy of soils across the Russian steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003. № 201. P. 321–341. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00618-7

2. Jordanova D., Jordanova N., Petrov P. Pattern of cumulative soil erosion and redistribution pinpointed through magnetic signature of Chernozem soils. *Catena*. 2014. № 120. P. 46–56. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.03.020

3. Borgne E. Susceptibilite Magnetique anormal du sol susperficiel. *Annales de Geophysique*. 1955. № 11(4). P. 399–419.

4. Cook J. C., Carts S. L. Magnetic effects and properties of typical topsoils. *Journal of Geophysical Research.* 1962. № 67(2). P. 815–828.

5. Tucher P. M. High magnetic effect of lateritic soils in Cuba. *Geophysic.* 1952. № 17(4). P. 753–755.

6. Singer M. J., Fine P. Pedogenic Factors Affecting Magnetic Susceptibility of Northern California Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1989. 53(4). P. 1119–1127. https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300040023x

7. Boyko T., Scholger R., Stanjek H., MAGPROX Team. Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring: repeatability of in situ measurements. *Journal of Applied Geophysics*. 2004. № 55(3-4). P. 249–259. http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2004.01.002

8. Jeleńska M., Hasso-Agopsowicz A., Kopcewicz B., Sukhorada A., Tyamina K., Kadzialko-Hofmokl M., Matviishina, Z. Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophysical Journal International.* 2004. № 159. P.104–116. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02370.x

9. Sokolowska Z., Hajnos M., Alekseev A., Alekseeva T. Magnetic susceptibility of the arable layer of soil with organic farming and mineral fertilization. *Acta Geophysica.* 2000. № 38. P. 175–183.

10. Hanesch M., Scholger R. The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. *Geophysical Journal International.* 2005. № 161(1). P 50–56. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02577.x

11. Gorka-Kostrubiec B., Teisseyre-Jeleńska M., Dytłow S. K. Magnetic properties as indicators of Chernozem soil development. *Catena.* 2016. № 138. P. 91–102. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.014

12. Menshov O., Kruglov O., Vyzhva S., Nazarok P., Pereira P., Pastushenko T.. Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkiv Region, Ukraine. *Stud. Geophys. Geod.* 2018. № 62. P. 681-696. https://doi.org/10.1007/s11200-018-0803-1

13. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. Учебное пособие/ 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

14. Dearing J. A. Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Bartington MS2 System. (2nd ed.). *Chi Publishing*. 1999.

15. Jordanova N. Soil Magnetism. *Academic Press. Cambrige*, 2016

16. Круглов О. В., Попов С. А. Магнетизм корінних порід та магнітна сприйнятливість ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. міжвідом. темат. наук. зб. Харків: ННЦ "ІҐА ім. О.Н. Соколовського". 2021. Вип. 91. С. 4–11. https://doi.org/10.31073/acss91-01

17. Jakšík O., Kodešová R., Kapička A., Klement A., Fér M., Nikodem A. Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil & Water Res*. 2016. № 11(2). P. 105–113. https://doi.org/10.17221/233/2015-SWR

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. № 14(1). P. 39–50. https://doi.org/10.31548/plant1.2023.39

19. Куценко М. В., Тімченко Д. О. Теоретичні основи організації системи охорони ґрунтів від ерозії в Україні. Харків: КП "Міська друкарня", 2016. 240 с.

20. Круглов О. Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. *Сер. Ґрунтознавство*. 2012. № 4. С. 66–69.

21. Круглов О., Меньшов О., Коляда В., Ачасова А., Андреєва О. До питання комплексування геофізичних та агрохімічних методів досліджень схилових земель. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2021. Т. 3. № 94. С. 53–58. https://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06

UDC 631.4:537.621.4(477.5)

Soil magnetism as an ecological phenomenon and its diagnostic significance

O. V. Kruglov

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
✉ alex_kruglov@ukr.net
ORCID 0000-0003-2663-0935

Received 18.09.2025; Revised 19.12.2025; Accepted 26.12.2025; Available online 30.12.2025

Abstract. Monitoring of magnetic properties of soils has shown itself to be a sensitive and accessible diagnostic tool that allows not only to assess the general level of anthropogenic load on the agricultural landscape, but also to trace the spatial heterogeneity of the soil cover, in particular, caused by degradation processes associated with water erosion. The studies revealed some results of the analysis of magnetic properties as an indicator of the ecological state of soils on agricultural lands of Ukraine, taking into account the geographical, genetic and anthropogenic prerequisites for the formation of soil magnetism. The main indicator studied is the specific magnetic susceptibility (χ), which was determined

in soil samples in an air-dry state using the KLY-2 magnetic meter, which provides high accuracy in determining even low levels of magnetic susceptibility of soils of natural ecosystems. It was found that the spatial patterns of the distribution of χ reflect both the geochemical features of landscapes and the specifics of modern land use. The ranges of variations of specific magnetic susceptibility values for the most common types of soils of the Left-Bank part of the Polissya, Forest-Steppe and Steppe zones of Ukraine are given based on experimental data obtained in these studies. It is shown that the relationship of specific magnetic susceptibility with slope processes, caused by regular changes in the content of soil organic carbon, remains stable in time. In addition, the possibility of using statistical characteristics of the spatial distribution of magnetic susceptibility values as an indicator of the complexity and heterogeneity (complexity) of the soil cover structure is demonstrated. The features of the manifestation of the sensitivity of magnetic characteristics to the influence of some natural and anthropogenic factors are described.

Keywords: ecology; erosion; magnetic susceptibility; slope soil.

Citing**:** Kruglov O. B. (2025). Soil magnetism as an ecological phenomenon and its diagnostic significance. *AgroChemistry and Soil Science,* 99, 4-12. doi:10.31073/acss99-01 [in Ukrainian].

References

1. Maher, B. A., Alekseev, A., & Alekseeva, T. (2003). Magnetic mineralogy of soils across the russian Steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 201, 321–341. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00618-7

2. Jordanova, D., Jordanova, N., & Petrov, P. (2014). Pattern of cumulative soil erosion and redistribution pinpointed through magnetic signature of Chernozem soils. *Catena*, 120, 46-56. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.03.020

3. Borgne, E. (1955). Susceptibilite Magnetique anormal du sol susperficiel. *Annales de Geophysique*, 11(4), 399-419.

4. Cook, J. C., & Carts, S. L. (1962). Magnetic effects and properties of typical topsoils. *Journal of Geophysical Research*, 67(2), 815–828.

5. Tucher, P. M. (1952). High magnetic effect of lateritic soils in Cuba. *Geophysic,* 17(4), 753-755.

6. Singer, M. J., & Fine, P. (1989). Pedogenic Factors Affecting Magnetic Susceptibility of Northern California Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 53(4), 1119-1127. https://doi.org/10.2136/sssaj1989.0361599500

7. Boyko, T., Scholger, R., Stanjek, H., & MAGPROX Team. (2004). Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring: repeatability of in situ measurements. *Journal of Applied Geophysics*, 55, 249–259. http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2004.01.002

8. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Tyamina, K., Kadzialko-Hofmokl, M., & Matviishina, Z. (2004). Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophysical Journal International*, 159, 104–116. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02370.x

9. Sokolowska, Z., Hajnos, M., Alekseev, A., & Alekseeva, T. (2000). Magnetic susceptibility of the arable layer of soil with organic farming and mineral fertilization. *Acta Geophysica*, 38, 175–183.

10. Hanesch, M., & Scholger, R. (2005). The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. *Geophysical Journal International*, 161, 50–56. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02577.x

11. Gyrka-Kostrubiec, B., Teisseyre-Jeleńska, M., & Dytłow, S.K. (2016). Magnetic properties as indicators of Chernozem soil development. *Catena*, 138, 91–102. https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.014

12. Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarok, P., Pereira, P., & Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*. 62, 681-696. https://doi.org/10.1007/s11200-018-0803-1

13. Vadyunina, A. F., & Korchagina, Z. A. (1986). Methods for studying the physical properties of soils (3rd ed., revised and enlarged). Moscow: Agropromizdat [in Russian].

14. Dearing, J. A. (1999). Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Bartington MS2 System. (2nd ed.). *Chi Publishing*.

15. Jordanova, N. (2016). Soil Magnetism. *Academic Press*.

16. Kruglov, O., & Popov, S. (2021). Rock magnetism and soil magnetic susceptibility. *AgroChemistry and Soil Science*, 91, 4-11. https://doi.org/10.31073/acss91-01 [in Ukrainian].

17. Jakšík, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fér, M., & Nikodem, A. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil & Water Res*., 11, 105–113. https://doi.org/10.17221/233/2015-SWR

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

19. Kutsenko, M. V., & Timchenko, D. O. (2016).*Theoretical foundations of organizing the soil protection system against erosion in Ukraine*. Kharkiv [in Ukrainian].

20. Kruglov, O. (2012). Characteristics of the distribution of the magnetic susceptibility of typical chernozems on the slopes. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, 4, 66-69 [in Ukrainian].

21. Kruglov O., Menshov O., Kolada V., Achasova A., & Andreeva O. (2021). Integrating of geophysical and agrochemical methods for slope lands studying. *Visnyk of Taras Shevchenko* National University of Kyiv. *Geology*, 94, 3, 53-58. http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06 [in Ukrainian].