

УДК 550.382.3

О. Круглов¹, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: alex_kruglov@ukr.net;

О. Меньшов², д-р геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: menshov.o@ukr.net;

П. Назарок¹, наук. співроб.;Л. Коляда¹, пров. інж.;В. Коляда¹, канд. сільгосп. наук;А. Ачасова¹, канд. біол. наук, доц., старш. наук. співроб.¹ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського"

вул. Чайковська, 4, Харків, Україна

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

МАГНІТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ ҐРУНТІВ У СКЛАДІ ЕРОЗІЄЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

(Представлено членом редакційної колегії д-ом фіз.-мат. наук, проф. П. О. Міненком)

Водна ерозія ґрунтового покриву є основним чинником деградації сільськогосподарських земель в Україні. Додаткового захисту потребують близько 13 млн га ріллі. Вивчення впливу цього процесу цікавить не тільки науковців, а й землекористувачів. Мета даної роботи – показати інформативність застосування магнітної сприйнятливості (МС) ґрунту в ерозієзнавчих дослідженнях порівняно з традиційними методами. Дослідження проводились на території ФГ "Фенікс" Близнюківського району Харківської області в 6 км на південний схід від м. Лозова. Ділянка досліджень є виробничою, що використовується в рослинництві. Рельєф ділянки ускладнений розвинутою балковою мережею. Ґрунтовий покрив – чорнозем звичайний важкосуглинистий. Отримано високий ступінь зв'язку між МС чорнозему звичайного та вмістом гумусу. Значення коефіцієнта кореляції Спірмена цих показників слабо залежить від частотного коефіцієнта МС. Результати дозволяють рекомендувати МС для заміни та доповнення значно вартіснішого визначення вмісту гумусу. Зв'язок МС і значення потенційних втрат ґрунту в даному дослідженні низький. Дослідження магнітної мінералогії підтвердили відсутність техногенного забруднення ґрунтів на основі значень частотної залежності магнітної сприйнятливості вище за 6. Превалювання суперпарамагнітних зерен розміром менше 20 нм підтверджується значеннями частотної залежності магнітної сприйнятливості 10–20. Такі магнетики формуються в режимі реального часу в процесі ґрунтоутворення.

Ключові слова: ґрунти, магнітна сприйнятливість, ерозія.

Вступ. Водна ерозія ґрунтового покриву є основним чинником деградації сільськогосподарських земель в Україні. Додаткового захисту потребують близько 13 млн га ріллі. Вивчення впливу цього процесу цікавить не тільки науковців, а й землекористувачів у межах становлення ринку земель сільськогосподарського призначення – фактичних і потенційних землевласників, як база оподаткування та фактор продовольчої безпеки – фіскальні та владні органи. Певний інтерес виявляють землевпорядники та екологи.

Дослідження ерозійних процесів сільськогосподарських ґрунтів на локальному рівні базуються на двох основних напрямках: порівняння потужності ґрунтового профілю та розподіл вмісту гумусу у верхньому горизонті ґрунтового покриву. Їхнє використання у складі ерозієзнавчих досліджень має суттєві вади, пов'язані з високою вартістю та трудомісткістю досліджень. Низька густина мережі опробувань, недостатня точність і достовірність отриманих результатів, похибки при інтерполяції та екстраполяції опорних розрізів – лише деякі з методичних проблем сучасного ерозієзнавства. Застосування ж численних математичних моделей ерозії дає суттєві неточності, пов'язані зі змінами функціональності агролісомеліоративної системи та появою нової польової інфраструктури, мозаїчністю землекористування.

Одним із розв'язання проблеми є застосування методів і засобів інших наук, що характеризуються нижчими витратами ресурсів, ніж традиційні. Останнім часом чільне місце в ерозійних дослідженнях посіло використання даних про різні види магнітної сприйнятливості (МС або MS в іноземних джерелах) верхнього шару ґрунтового покриву (Круглов та ін., 2018). Ці результати можуть бути, крім основного призначення, використані для потреб геологічної галузі в рамках концепції "геофізики подвійного призначення" (Меньшов та Сухорада, 2017).

Мета даної роботи – показати інформативність застосування МС ґрунту в ерозієзнавчих дослідженнях порівняно з традиційними методами.

Стан проблеми сучасних магнітних досліджень ґрунтів. Сучасні магнітні дослідження ґрунтового покриву розвиваються у декількох прикладних напрямках:

забруднення довкілля, сільське господарство та ґрунтознавство, пошуки корисних копалин (у першу чергу, вуглеводнів), археологія. Проаналізуємо деякі найновіші публікації в даній сфері, результати яких є важливими для підвищення ефективності інтерпретації отриманих нами результатів у запропонованій статті.

У своїй роботі (Barbosa et al., 2019) автори здійснили просторову оцінку ерозії ґрунту як необхідну складову сільськогосподарського моніторингу втрат ґрунту. Було оцінено ефективність магнітної сприйнятливості для прогнозу ерозії ґрунту (моделі USLE та WEPP) з використанням аналізу оксидів з різним вмістом заліза в північно-східній частині Сан-Паулу, Бразилія. Результати (Radaković et al., 2019) надали нові докази взаємозв'язку між опадами, температурою, опустеленням і магнітними властивостями сучасних ґрунтів. Отримані та проаналізовані дані можуть допомогти в майбутньому у створенні джевої моделі кліматичних змін на основі експресних магнітних аналізів. Публікація (Ayoubi et al., 2019) демонструє результати оцінки використання магнітної сприйнятливості з метою ідентифікації концентрацій металів у ґрунтах, що сформувалися на різній материнській основі на північному заході Ірану. Результати показали, що найвищі кореляційні залежності фіксуються між магнітною сприйнятливістю та вмістом металів для основних і ультраосновних ґрунтів. Еолові процеси (ерозія, транспортування та перевідкладення) відіграють важливу геоморфологічну та екологічну роль у засушливих районах. Результати (Ravi et al., 2019) свідчать про просторово однорідний розподіл магнітних параметрів у ландшафті після пожежогоасіння. МС зменшувалася під впливом вітрової ерозії в місцях спалених чагарників, що свідчить про те, що ці ділянки функціонували як джерела накопичення матеріалів після лісових пожеж. Водночас відомо, що пожежі сприяють поглинанню осадків у непорушній екосистемі. Крім того, важливими є дослідження накопичення техногенних мінералів (Petlovanyi et al., 2019; Tabachenko et al., 2016). Метою досліджень (Santoso et al., 2019) стало визначення кореляції між рН і магнітною сприйнятливістю для подальшого аналізу родючості продуктивних земель навколо Інституту Суматера (Індонезія).

Автори дійшли висновку, що, як правило, магнітна сприйнятливість зростає при збільшенні значення рН. У контексті визначення антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив важливими є результати (Govedarica et al., 2019). Запропонований авторами статистичний підхід значно спрощує аналіз лесового профілю як індикатора забруднення, а також може служити для оцінки надзвичайно високих значень магнітної сприйнятливості під впливом великого збільшення вмісту важких металів, органічного вуглецю та розподілу гранулометричного складу.

Методи досліджень включають визначення питомої МС ґрунту за допомогою капамістка KLY-2 та капаметра MS-2 за методикою (Evans and Heller, 2003). Маса зразка визначалася за допомогою електронних ваг Ohaus 402. Проводилось визначення вмісту органічного вуглецю (з подальшим перерахунком у гумус) за ДСТУ ISO 14235:2005. Візуалізація результатів дослідження проводилась у середовищі ArcGis. Проведено статистичний

аналіз результатів за допомогою стандартного програмного пакета. Відбір проб ґрунту проводився з верхнього шару ґрунту (за винятком розрізів) із двох профілів. Для складання попереднього плану проведення дослідів було визначено показники яскравостей у червоному В4 та ближньому інфрачервоному В8 каналах спектра та спектрального індексу NDVI. Також було визначено потенційні втрати ґрунту від водної ерозії за ДСТУ 7904:2015.

Об'єкт досліджень. Дослідження проводились на території ФГ "Фенікс" Близнюківського району Харківської області в 6 км на південний схід від м. Лозова. Ділянка досліджень являє собою виробничу ділянку, що використовується у рослинництві. Рельєф ділянки ускладнений розвинутою балковою мережею. Ґрунтовий покрив – чорнозем звичайний важкосуглинистий. Загальний вид і схема розміщення дослідної ділянки подано на рис. 1.

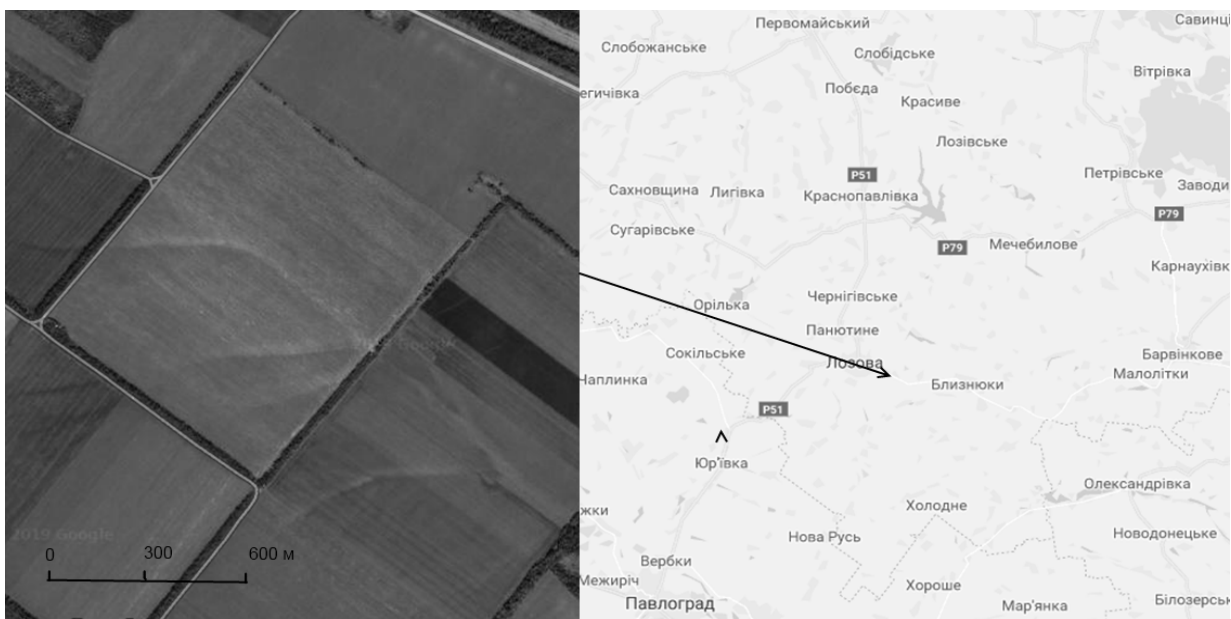


Рис. 1. Загальний вигляд території дослідження

Результати та їхнє обговорення. Розглянемо теоретичні передумови досліджень, які використовувалися нами для реалізації експериментальних робіт. Заміна вартісних і працездатних агрохімічних і педоморфологічних визначень, загущення сітки ґрунтових опробувань в ерозієзнавчих дослідженнях проводиться цілою низкою методів, серед яких виділяються геопросторове магнітне обстеження (Byndych, 2017; Truskavetsky et al., 2015) та магнітні методи (Ventura, 2001). Їхнє застосування пов'язано з високою кореляцією між яскравістю ґрунту і різними видами магнітної сприйнятливості та вмістом гумусу. Особливо слід відзначити використання саме даних про магнітну сприйнятливість ґрунтів, що поволи стає загальнопоширеним методом. Високий зв'язок між цим показником і вуглецем ґрунту на рівні $R^2 = 0,83$ отримано для тропічних ґрунтів (de Souza Bahia et al., 2017) і $R^2 = 0,89$ для ґрунтів Чехії (Kapicka et al., 2013; Jakšik et al., 2016), показано можливість кількісної оцінки втрат ґрунтів у північному Китаї (Yue et al., 2019) та Англії (Royall, 2001). Використання значень МС та їхньої частотної залежності дозволили отримати можливість ідентифікації зон ерозії – акумуляції (Liu et al., 2018). Більшість таких досліджень проводиться за умов неускладненого рельєфу. Високі значення зв'язку між вмістом гумусу в ґрунтах, питомої МС і результатів математичного

моделювання ерозійних процесів було показано нами для простих схилів (Menshov et al., 2018).

Більш складним є визначення проявів ерозійних процесів на ускладненому рельєфі. Математичні моделі ерозії у зв'язку зі загущеним чергуванням зон змиву та акумуляції часто дають неоднозначні результати. Головним інструментом у цих випадках залишається наземна зйомка та ґрунтове обстеження.

При виконанні даного дослідження нами було задіяно всі основні методи, що застосовуються ерозієзнавцями в Україні. Першим кроком стало складання карти-версії для визначення схеми дослідів. Було використано два підходи: аналіз даних космічного зондування та математичне моделювання втрат ґрунту за методикою Ц. Е. Мірчулави. Результати відображено на рис. 2.

За результатами попередніх досліджень було прийнято рішення про порівняння методів ерозієзнавчих досліджень за системою двох профілів, що проходять через усі виявлені категорії втрат ґрунту та спектрального індексу. Розташування точок відбору подано на рис. 2, а. У точках 16 та 33 було виконано два ґрунтові розрізи глибиною 120 см. Результати їхніх обстежень свідчать про відсутність аномалій, зумовлених ґрунотворчою породою або перебігом педогенезу.

Відібрані проби ґрунту було транспортовано до лабораторії, де й проводились визначення їхніх хімічних і магнітних характеристик. Першим було проаналізовано зв'язок спектральних індексів і головного агрохімічного показника – вмісту гумусу. При $N = 33$ та $p < 0,05$ коефіцієнт кореляції між спектральним індексом NDVI, показниками яскравості в червоному B4 та ближньому інфрачервоному B8 каналах спектра становили відповідно 0,36, -0,63 та -0,08. Найбільш перспективним за результатами досліджує застосування даних каналу B4, хоча це й потребує додаткових уточнень. Не

відзначено також надійного зв'язку між показником потенційної втрати ґрунту, визначеної за ДСТУ 7904 та даними дистанційного зондування. Показники кореляції становлять відповідно -0,29, 0,28 та 0,08, що є навіть слабкішим за їхній зв'язок із вмістом гумусу.

Свого часу нами було продемонстровано високий ступінь зв'язку вмісту гумусу та МС чорноземних ґрунтів, визначеного за допомогою капамістка KLY-2 (Menshov et al., 2018; Кружлов, 2012; Назарок та ін., 2015). У даному дослідженні із застосуванням капаметра MS-2 було розширено перелік робочих частот (див. табл. 1).

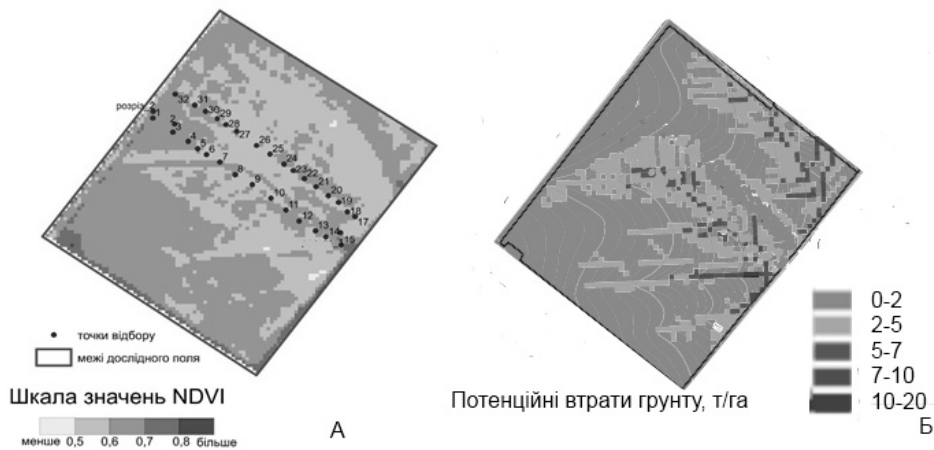


Рис. 2. А – картограма розподілу значень спектрального індексу NDVI; Б – картограма потенційних втрат ґрунту

Таблиця 1

Показники кореляції Спірмена між МС ґрунту, визначеної на різних частотах, та вмістом гумусу

Показник	Од. вимірювання	МС KLY-2	Уміст гумусу	МС MS-2 LF	МС MS-2 HF
МС KLY-2	$10^{-9} \text{м}^3/\text{кг}$	–	0,803696	0,936640	0,947368
Уміст гумусу	%	0,803696	–	0,746768	0,780052
МС MS-2 LF	$10^{-8} \text{м}^3/\text{кг}$	0,936640	0,746768	–	0,900000
МС MS-2 HF	$10^{-8} \text{м}^3/\text{кг}$	0,947368	0,780052	0,900000	–

Кореляційна залежність між низькочастотною магнітною сприйнятливістю та вмістом гумусу наведено на рис. 3. Як видно з табл. 1, коефіцієнт кореляції досягає значення 0,8.

Таким чином, найбільш значимим є зв'язок між вмістом гумусу та МС, визначеною за допомогою капамістка KLY-2. Зв'язок між даними, отриманими з MS-2, дещо менш достовірний. Високі коефіцієнти кореляції кожного з показників дозволяють рекомендувати МС, отриману для різних частот, для заміни вартісних визначень вмісту гумусу в ерозіознавчих дослідженнях.

На рис. 4 наводиться кореляційна залежність між коефіцієнтом потенційних втрат ґрунту та низькочастотною магнітною сприйнятливістю. Зв'язок МС і значення потенційних втрат ґрунту в даному дослідженні виражений слабкіше. Значення коефіцієнта кореляції між цими показниками лежить у межах 0,52–0,57. Ще нижчим виявився ступінь зв'язку МС і результатів спектрального сканування поверхні. Для NDVI та діапазону яскравості B4 коефіцієнт кореляції становить 0,22–0,33, лише для діапазону B8 він дещо вищий – 0,24–0,48.

Також оцінили коефіцієнт варіації кожного з варіантів МС. Вони є практично однаковими та становлять відповідно 14,1 %, 14,1 % та 13,9 %. Для вмісту гумусу цей показник становив 14,9 %. Показник потенційних втрат ґрунту в умовах ускладненого рельєфу характеризується значно вищими показниками варіабельності – коефіцієнт варіації 90 %.

При дослідженні можливостей використання магнітних методів в ерозіознавчих дослідженнях важливим є

з'ясування генезису, розмірів, форми, доменного стану магнітних мінералів, які власне продукують магнітний сигнал у ґрунті, а також привносяться або формуються у процесі ґрунтоутворення. Для виключення можливого внеску техногенних магнітних частинок інформативним є використання параметра частотної залежності магнітної сприйнятливості χ_{fd} . На рис. 5 наводиться гістограма розподілу значень цього параметра для ґрунтів ФГ "Фенікс" Близнюківського району Харківської області.

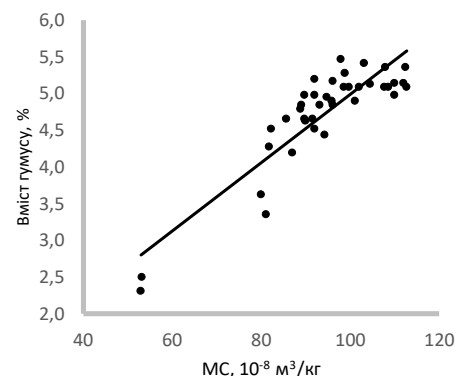


Рис. 3. Зв'язок між вмістом гумусу та низькочастотною магнітною сприйнятливістю ґрунтів ФГ "Фенікс"

Значення χ_{fd} менші за 3–4 ідентифікують превалювання мультидоменних магнітних зерен, найчастіше техногенного походження розміром у мікрметри (Lu et al.,

2008). У нашому випадку такі зерна не визначені, що підтверджує відсутність техногенного забруднення вивчаемого ґрунтового покриву. Крім того, ефективним показником наявності або відсутності техногенного забруднення є залежність між частотним коефіцієнтом і низькочастотною магнітною сприйнятливістю. За прямої залежності між низькочастотною магнітною сприйнятливістю на коефіцієнтом частотної залежності техногенний вплив відсутній, за зворотної залежності – наявне забруднення ґрунту. Результати такої побудови наводяться на рис. 6. Як видно – залежність пряма. Для усіх зразків $\chi_{lf} \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ становить: $40 \leq \chi_{lf} \leq 115$, χ_{fd} : $6 \leq \chi_{fd} \leq 20$. Згідно з роботою (Wang et al., 2000) за прямої залежності χ_{lf} від χ_{fd} відсутнє техногенне забруднення, а магнетизм ґрунтів формується за рахунок суперпарамагнітних наддрібних частинок педогенного походження (SP) та однодоменних стабільних зерен (SD).

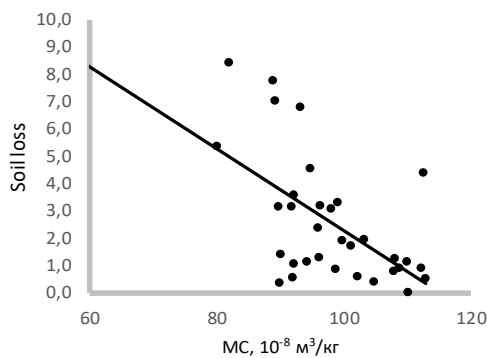


Рис. 4. Зв'язок між потенційними втратами ґрунту та низькочастотною магнітною сприйнятливістю ґрунтів ФГ "Фенікс"

На гістограмі (рис. 5) всі значення вищі за 6. Це вказує на значний вміст саме суперпарамагнітного матеріалу, який формується у процесі сучасного педогенезу (Maxbauer et al., 2016). Слід зазначити, що розподіл на гістограмі характерний для логнормального, де найбільш імовірні значення перебувають у правій асиметрії розподілу. Згідно з (Dearing et al., 1996) значення близько 15–20 підтверджують тотальне превалювання суперпарамагнітного матеріалу розміром менше 20 нм, що й зафіксовано нами. На жаль, дослідження частотної залежності магнітної сприйнятливості не дозволяє визначити, який саме магнітний мінерал педогенного походження перебуває в суперпарамагнітному стані (напр., магнетит або магеміт). Для відповіді на це питання необхідні подальші магнітомінералогічні вимірювання безгістерезисної намагніченості (ARM), ізотермічної залишкової намагніченості (IRM), параметрів петлі гістерезису, а також термомагнітний аналіз.

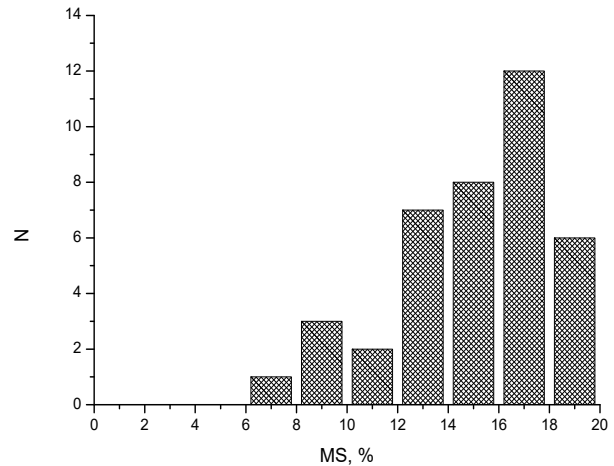


Рис. 5. Гістограма розподілу значень частотної залежності магнітної сприйнятливості χ_{fd} ґрунтів ФГ "Фенікс"

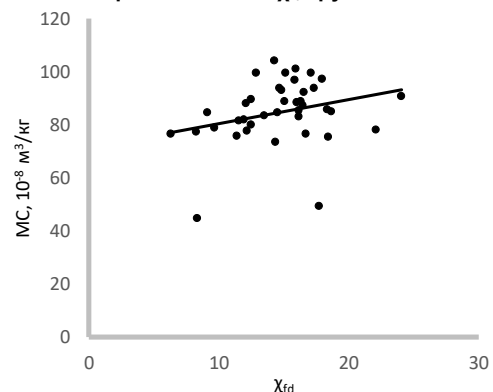


Рис. 6. Графік залежності низькочастотної магнітної сприйнятливості χ_{lf} від коефіцієнта частотної магнітної сприйнятливості χ_{fd} ґрунтів ФГ "Фенікс"

Висновки. Отримано високий ступінь зв'язку між МС чорнозему звичайного та вмістом гумусу, причому значення коефіцієнта кореляції Спірмена цих показників слабо залежить від частоти визначення МС. Також ці показники мають практично однакові показники варіативності. Це дозволяє рекомендувати МС для застосування у складі ерозієзнавчих досліджень для заміни та доповнення значно вартісніших методів визначення вмісту гумусу.

Зв'язок МС і значення потенційних втрат ґрунту в даному дослідженні менш виражений. Результати математичного моделювання в умовах ускладненого рельєфу характеризуються високою варіабельністю, що створює передумови для зниження ступеня їхньої інформативності.

Отримано низький ступінь зв'язку результатів спектрального сканування поверхні та МС ґрунту.

Магнітомінералогічні дослідження підтвердили відсутність техногенного забруднення ґрунтів, превалювання суперпарамагнітних зерен розміром менше 20 нм, що імовірно формуються в режимі реального часу в процесі ґрунтоутворення.

Список використаних джерел

- Круглов, О., Меньшов, О., Улько, Э., Кучер, А., Назарок, П. (2018). Індикація ерозійних процесів у ґрунтового покриві Харківської області за магнітними даними. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 82(3), 36-44.
- Круглов, О. В. (2012). Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського нац. аграрного ун-ту*, 4, 66-69.
- Меньшов, О., Сухорада, А. (2017). Основи теорії та методології геофізики ґрунтового покриву: перші результати практичного застосування. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 79(4), 35-39.
- Назарок, П. Г., Круглов, О. В., Куценко, М. В., Меньшов, О. І., Сухорада, А. В. (2015). До проблеми картографування ерозійних процесів. *Вісник аграрної науки*, 9, 63-68.

- Ayoubi, S., Adman, V., Youseffard, M. (2019). Use of magnetic susceptibility to assess metals concentration in soils developed on a range of parent materials. *Ecotoxicology and environmental safety*, 168, 138-145.
- Barbosa, R. S., Júnior, J. M., Barrón, V., Martins Filho, M. V., Siqueira, D. S., Peluco, R. G., ... & Silva, L. S. (2019). Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in northeastern São Paulo state, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 78(1), 12.
- Byndych, T. (2017). Using Multispectral Satellite Imagery for Parameterisation of Eroded Chernozem. Soil Science Working for a Living: Applications of soil science to present-day problems. Part II, 57-65.
- Dearing, J. A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., O'grady, K. (1996). Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophysical Journal International*, 124(1), 228-240.
- De Souza Bahia, A. S. R., Marques, J., La Scala, N., Cerri, P., Eduardo, C., 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.
- Evans, M., Heller, F. (2003). Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics. Elsevier. Vol. 86.
- Govedarica, D. D., Gavrilov, M. B., Zeremski, T. M., Govedarica, O. M., Hambach, U., Tomić, N. A., ... Marković, S. B. (2019). Relationships between heavy metal content and magnetic susceptibility in road side loess profiles: A possible way to detect pollution. *Quaternary International*, 502, 148-159.
- Jakšić, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fer, M., Nikodem, A. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*, 11(2), 105-113.
- Kapicka, A., Dlouha, S., Grison, H., Jaksik, O., Kodesova, R., Petrovsky, E. (2013, April). Magnetism of soils applied for estimation of erosion at an agricultural land. *In EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vol. 15.
- Kruglov, O., Menshov, O., Ulko, E., Kucher, A., Nazarov, P. (2018). Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 82(3), 36-44. [in Ukrainian]
- Kruglov, O.V. (2012). Osoblyvosti rozpodilu magnitnoi spryynatlivosti chornozemu typovogo na shyah. *Visnyk Harkivskogo nacionalnogo universitetu*, 4, 66-69. [in Ukrainian]
- Liu, L., Zhang, Z., Zhang, K., Liu, H., Fu, S. (2018). Magnetic susceptibility characteristics of surface soils in the Xilinge grassland and their implication for soil redistribution in wind-dominated landscapes: A preliminary study. *Catena*, 163, 33-41.
- Lu, S.G., Bai, S. Q., Fr, L. X. (2008). Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*, 18(4), 479-485.
- Maxbauer, D. P., Feinberg, J. M., Fox, D. L. (2016). Magnetic mineral assemblages in soils and paleosols as the basis for paleoprecipitation proxies: a review of magnetic methods and challenges. *Earth-Science Reviews*, 155, 28-48.
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62(4), 681-696.
- Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
- Radaković, M. G., Gavrilov, M. B., Hambach, U., Schaeztl, R. J., Tošić, I., Ninkov, J., ... Marković, S. B. (2019). Quantitative relationships between climate and magnetic susceptibility of soils on the Bačka Loess Plateau (Vojvodina, Serbia). *Quaternary International*, 502, 85-94.
- Ravi, S., Gonzales, H. B., Buynевич, I. V., Li, J., Sankey, J. B., Dukes, D., Wang, G. (2019). On the development of a magnetic susceptibility-based tracer for aeolian sediment transport research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(2), 672-678.
- Royall, D. (2001). Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. *Catena*, 46(1), 15-34.
- Santoso, N. A., Iqbal, M., Ekawati, G., Firdaus, R. (2019, April). Study of pH and Magnetic Susceptibility to Fertility Rate of Agricultural Soil around Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258, 1, 012001. IOP Publishing.
- Tabachenko, M., Saik, P., Lozynskyi, V., Falshtynskyi, V., Dychkovskiy R. (2016). Features of setting up a complex, combined and zero-waste gasifier plant. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 37-45. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.03.037>
- Truskavetsky, S., Byndych, T., Sherstyuk, A., Viatkin K. (2015). Studying the condition of soil protection agro- landscape in Ukraine using remote sensing methods. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 5, 4, 235-240.
- Ventura, Jr, E., Nearing, M. A., Norton, L. D. (2001). Developing a magnetic tracer to study soil erosion. *Catena*, 43(4), 277-291.
- Wang, L., Liu, D., Lu, H. (2000). Magnetic susceptibility properties of polluted soils. *Chinese Science Bulletin*, 45, 1723-1726.
- Yue, Y., Keli, Z., Liang, L., Qianhong, M., Jianyong, L. (2019). Estimating long-term erosion and sedimentation rate on farmland using magnetic susceptibility in northeast China. *Soil and Tillage Research*, 187, 41-49.
- (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in northeastern São Paulo state, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 78(1), 12.
- Byndych, T. (2017). Using Multispectral Satellite Imagery for Parameterisation of Eroded Chernozem. Soil Science Working for a Living: Applications of soil science to present-day problems. Part II, 57-65.
- Dearing, J. A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., O'grady, K. (1996). Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophysical Journal International*, 124(1), 228-240.
- de Souza Bahia, A. S. R., Marques, J., La Scala, N., Cerri, P., Eduardo, C., 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.
- Evans, M., Heller, F. (2003). Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics. Elsevier. Vol. 86.
- Govedarica, D. D., Gavrilov, M. B., Zeremski, T. M., Govedarica, O. M., Hambach, U., Tomić, N. A., ... Marković, S. B. (2019). Relationships between heavy metal content and magnetic susceptibility in road side loess profiles: A possible way to detect pollution. *Quaternary International*, 502, 148-159.
- Jakšić, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fer, M., Nikodem, A. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*, 11(2), 105-113.
- Kapicka, A., Dlouha, S., Grison, H., Jaksik, O., Kodesova, R., Petrovsky, E. (2013, April). Magnetism of soils applied for estimation of erosion at an agricultural land. *In EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vol. 15.
- Kruglov, O., Menshov, O., Ulko, E., Kucher, A., Nazarov, P. (2018). Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 82(3), 36-44. [in Ukrainian]
- Kruglov, O.V. (2012). Osoblyvosti rozpodilu magnitnoi spryynatlivosti chornozemu typovogo na shyah. *Visnyk Harkivskogo nacionalnogo universitetu*, 4, 66-69. [in Ukrainian]
- Liu, L., Zhang, Z., Zhang, K., Liu, H., Fu, S. (2018). Magnetic susceptibility characteristics of surface soils in the Xilinge grassland and their implication for soil redistribution in wind-dominated landscapes: A preliminary study. *Catena*, 163, 33-41.
- Lu, S.G., Bai, S. Q., Fr, L. X. (2008). Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*, 18(4), 479-485.
- Maxbauer, D. P., Feinberg, J. M., Fox, D. L. (2016). Magnetic mineral assemblages in soils and paleosols as the basis for paleoprecipitation proxies: a review of magnetic methods and challenges. *Earth-Science Reviews*, 155, 28-48.
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62(4), 681-696.
- Menshov, O., Sukhorada, A. (2017). Basic theory and methodology of soil geophysics: the first results of application. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 79(4), 35-39. [in Ukrainian]
- Nazarov, P.G., Kruglov, O.V., Kutsenko, M.V., Menshov, O.I., Sukhorada, A.V. (2015). Do problem kartografuvannya erosyinyh procesiv. *Visnyk agrarnoi nauky*, 9, 63-68. [in Ukrainian]
- Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
- Radaković, M. G., Gavrilov, M. B., Hambach, U., Schaeztl, R. J., Tošić, I., Ninkov, J., ... Marković, S. B. (2019). Quantitative relationships between climate and magnetic susceptibility of soils on the Bačka Loess Plateau (Vojvodina, Serbia). *Quaternary International*, 502, 85-94.
- Ravi, S., Gonzales, H. B., Buynевич, I. V., Li, J., Sankey, J. B., Dukes, D., Wang, G. (2019). On the development of a magnetic susceptibility-based tracer for aeolian sediment transport research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(2), 672-678.
- Royall, D. (2001). Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. *Catena*, 46(1), 15-34.
- Santoso, N. A., Iqbal, M., Ekawati, G., Firdaus, R. (2019, April). Study of pH and Magnetic Susceptibility to Fertility Rate of Agricultural Soil around Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258, 1, 012001. IOP Publishing.
- Tabachenko, M., Saik, P., Lozynskyi, V., Falshtynskyi, V., Dychkovskiy R. (2016). Features of setting up a complex, combined and zero-waste gasifier plant. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 37-45. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.03.037>
- Truskavetsky, S., Byndych, T., Sherstyuk, A., Viatkin K. (2015). Studying the condition of soil protection agro- landscape in Ukraine using remote sensing methods. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 5, 4, 235-240.
- Ventura, Jr, E., Nearing, M. A., Norton, L. D. (2001). Developing a magnetic tracer to study soil erosion. *Catena*, 43(4), 277-291.
- Wang, L., Liu, D., Lu, H. (2000). Magnetic susceptibility properties of polluted soils. *Chinese Science Bulletin*, 45, 1723-1726.
- Yue, Y., Keli, Z., Liang, L., Qianhong, M., Jianyong, L. (2019). Estimating long-term erosion and sedimentation rate on farmland using magnetic susceptibility in northeast China. *Soil and Tillage Research*, 187, 41-49.

References

- Ayoubi, S., Adman, V., Youseffard, M. (2019). Use of magnetic susceptibility to assess metals concentration in soils developed on a range of parent materials. *Ecotoxicology and environmental safety*, 168, 138-145.
- Barbosa, R. S., Júnior, J. M., Barrón, V., Martins Filho, M. V., Siqueira, D. S., Peluco, R. G., ... Silva, L. S. (2019). Prediction and mapping of erodibility factors

O. Kruglov¹, PhD (Geol.), Senior Researcher, E-mail: alex_kruglov@ukr.net;
O. Menshov², Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher, E-mail: menshov.o@ukr.net;
P. Nazarov¹, Researcher;
L. Kolada¹, Lead Engineer;
V. Kolada¹, PhD (Agri.), Head of Laboratory;
A. Achasova¹, PhD (Biol.), Senior Researcher
¹NSC "Institute for Soil Science and Argochemistry Research n. a. O. N. Sokolovskiy"
4 Chaikovska Str., Kharkiv, Ukraine
²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SOIL AND ITS SIGNIFICANCE IN EROSION STUDIES

Water erosion of the soil is a major factor in the degradation of agricultural land in Ukraine. About 13 million hectares of arable land need additional protection. The study of the influence of the mentioned hazard processes is important both for the scientists and land endusers. The purpose of the paper is to demonstrate the possibilities of soil magnetic susceptibility mapping in erosion studies. The comparison with traditional methods is implemented. The studies were carried out at the territory of Farm Enterprise "Phoenix" of the Bliznyukovsky district of the Kharkiv region at the distance of 6 km to the south-east of the Lozova. The study site is used for crop production. The relief of the site is complicated by the developed ravine network. The soil is ordinary chernozems (Haplic Chernozems in WRB classification). We have registered high correlation between magnetic susceptibility (MS) of the studied chernozems and humus content (organic matter). The Spearman correlation coefficient slightly depends on the frequency magnetic susceptibility coefficient. The results give the opportunity to recommend soil MS studies as the additional tool in soil erosion mapping. The magnetic measurements are expensive and fast for the humus (organic matter) identification of eroded soil. The relation of the values of soil MS and the value of potential soil loss at the studied area was low. The study of the magnetic mineralogy confirmed the absence of the anthropogenic soil pollution. We confirmed this by the values of the frequency dependence of magnetic susceptibility which were above 6. The domination of the superparamagnetic (SP) grains with the size less than 20 nm was confirmed by the values of the frequency dependence of magnetic too. The majority of the MS values are 10-20. The magnetic minerals of the studied soil have been formed in real time under the pedogenic (natural soil formation) process.

Keywords: soil, magnetic susceptibility, erosion.

A. Круглов¹, канд. геол. наук, ст. науч. сотр., E-mail: alex_kruglov@ukr.net;
А. Меньшов², д-р геол. наук, ст. науч. сотр., E-mail: menshov.o@ukr.net;
П. Назарок¹, науч. сотр.;
Л. Коляда¹, вед. инж.;
В. Коляда¹, канд. с.-х. наук, зав. лаб.;
А. Ачасова¹, канд. биол. наук, доц., ст. науч. сотр.
¹ННЦ "Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского"
ул. Чайковская, 4, Харьков, Украина
²Київський національний університет імені Тараса Шевченка
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ПОЧВ В СОСТАВЕ ЭРОЗИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Водная эрозия почвенного покрова является основным фактором деградации сельскохозяйственных земель в Украине. В дополнительной защите нуждаются около 13 млн га пахотных земель. Изучение влияния данных процессов интересует не только ученых, но и земледельцев. Целью данной работы является демонстрация информативности использования магнитной восприимчивости (МВ) почвы в эрозионных исследованиях, а также ее сравнение с традиционными методами. Работы проводились на территории ФГ "Феникс" Близнюковского района Харьковской области в 6 км к юго-востоку от г. Лозовая. Участок исследований используется в производстве, а именно в растениеводстве. Рельеф участка затруднен развитой балочной сетью. Почвенный покров – чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый. Нами зарегистрирована высокая степень связи между МВ чернозема обыкновенного и содержанием в нем гумуса. Значение коэффициента корреляции Спирмена этих показателей слабо зависит от частотного коэффициента МВ. Результаты позволяют рекомендовать МВ для замены и дополнения значительно более дорогостоящих анализов по определению содержания гумуса. Связь МВ и значений потенциальных потерь почвы в данном исследовании были низкими. Исследование магнитной минералогии подтвердило отсутствие техногенного загрязнения почвы на основе значений частотной зависимости магнитной восприимчивости выше 6. Превалирование суперпарамагнитных зерен размером менее 20 нм подтверждается значениями частотной зависимости магнитной восприимчивости 10–20. Такие магнетики формируются в режиме реального времени в процессе почвообразования.

Ключевые слова: почва, магнитная восприимчивость, эрозия.