

УДК 631.4:551.3

© 2020

# МАГНІТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ ҐРУНТІВ ЧОРНОЗЕМНОЇ ЗОНИ ЛІВОБЕРЕЖЖЯ УКРАЇНИ ТА ЇЇ ІНФОРМАТИВНІСТЬ В АГРОХІМІЧНОМУ АСПЕКТІ

М.М. Мірошниченко<sup>1</sup>, О.В. Круглов<sup>2</sup>, Є.В. Панасенко<sup>3</sup>, П.Г. Назарок<sup>4</sup>

<sup>1</sup>доктор біологічних наук

<sup>2</sup>кандидат геологічних наук

<sup>3</sup>кандидат сільськогосподарських наук

<sup>1-4</sup>ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» НААН

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: <sup>1</sup>ecosoil@meta.ua, <sup>2</sup>alex\_kruglov@ukr.net,

<sup>3</sup>panasenko-evgeniy@rambler.ru, <sup>4</sup>pavelnazarok@gmail.com

ORCID: <sup>1</sup>0000-0003-2830-5933, <sup>2</sup>0000-0003-2663-0935,

<sup>3</sup>0000-0002-5248-0179, <sup>4</sup>0000-0002-4655-0679

Надійшла 24.06.2020

**Мета.** Вивчити розподіл значень магнітної сприйнятливості (МС) ґрунтів земель сільськогосподарського призначення чорноземної зони Лівобережжя України та оцінити їх інформативність для контролю органічного вуглецю ( $C_{org}$ ) ґрунтів на регіональному рівні. **Методи.** Використано методики відбору ґрунтових проб за ДСТУ 4287:2004 і визначено вміст гумусу за ДСТУ 4289:2004. Під час установлення статистичних показників користувалися стандартним програмним продуктом Statistica®, візуалізацію результатів дослідження проведено в середовищі MapInfo та Surfer. **Результати.** Відібрано 90 проб із верхнього горизонту ґрунтів (0–30 см) угідь різних видів (рілля, пасовища, ліс), їх співвідношення приблизно відповідає нинішній структурі сільськогосподарських угідь. Для всіх зразків визначено питому МС за допомогою капамістка KLY-2 за методикою Evans. **Висновки.** Ступінь зв'язку між вмістом  $C_{org}$  у ґрунтах досліджуваної території не дає змоги зробити однозначні рекомендації використання МС за інтерполяції чи екстраполяції значень на регіональному територіальному рівні. Це пов'язано з відмінностями педогенезу та режиму використання ґрунтів. На графіку розсіювання МС та  $C_{org}$  можна виявити зони, що відповідають різним умовам формування ґрунтів: степові, лучно-болотні, сірі лісові. Нами не знайдено закономірностей у просторовому розподілі МС ґрунту (крім росту значень із ростом гідротермічного коефіцієнта) та вмісту  $C_{org}$ .

**Ключові слова:** вуглець, гумус, досліджувана територія, статистика, чорнозем.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202008-03>

Питання збереження родючості ґрунтового покриву — основа продовольчої безпеки людства. Роль аграрної науки при цьому — його збереження, охорона та раціональне використання. Це пов'язано

з потребою проведення безперервного моніторингу стану ґрунтів. Процес моніторингу характеризується високим ступенем витрат матеріальних і трудових ресурсів — об'єктом дослідження є майже 7 млн земельних

ділянок, що внесені до Державного земельного кадастру України. Для отримання великих масивів регулярної та коректної інформації традиційні методи визначення властивостей ґрунту потребують модифікації та доповнення іншими, дешевшими та оперативнішими.

Однією з найбільш досліджуваних нині властивостей ґрунтового покриву є його магнітна сприйнятливість (МС). Від решти характеристик цей показник відрізняється саме оперативністю визначення та низькою вартістю проведення вимірювань. Саме тому його дедалі ширше застосовують під час вирішення питань генезису ґрунтів, у ерозієзнавчих дослідженнях, меліорації земель, для визначення забруднення важкими металами [1]. На черзі — його використання для контролю органічного вуглецю у ґрунтах, тим більше, що було отримано досить обнадійливі попередні результати [2]. Дослідження А.Х. Шеуджена зі співавторами свідчать, що МС автоморфних ґрунтів є найвищою у горизонті акумуляції гумусу [3]. L. Quijano et al. також виявлено тісний взаємозв'язок між ґрунтовым органічним вуглецем, тонкодисперсним матеріалом і феромагнітними мінералами в орних ґрунтах [4].

Загалом, педогенез на лесових породах супроводжується перетворенням ультратонких феромагнітних мінералів, що позначається у «пам'яті» ґрунту та може бути використано для кількісної індикації просторового розташування певних типів сучасних ґрунтів і палеоґрунтів [5]. Застосування сучасних технологій цифрового ґрунтового картографування, наприклад, Split Moving Window, дає змогу ідентифікувати просторову структуру ґрунтового покриву на основі даних МС [6]. Більше того, порівняння деградованих і недеградованих чорноземів свідчить про перспективу застосування МС для діагностування та моніторингу деградаційних явищ, пов'язаних з мінералізацією органічної речовини, спалюванням рослинності або застосуванням добрив, що містять золу або інші промислові полютанти [7]. Завдяки високому вмісту органічного вуглецю у верхньому гумусоакумулятивному горизонті чорноземам притаманні найвищі значення МС порівняно з камбісолями та перезволоженими ґрунтами [8].

Водночас з огляду на МС із накопиченням органічного вуглецю у ґрунтах, що сформувалися на лесових відкладах, залишаються дискусійні питання. Р. Yang et al. повідомляють, що на лесових та алювіальних ґрунтах Північного Китаю просторова варіабельність органічного вуглецю є значною навіть за відсутності варіабельності МС [9]. Нез'ясованими також залишаються механізми спричиненого агрогенезисом зниження МС, виявлене на староорних ґрунтах степової зони України [10].

**Мета досліджень** — вивчити розподіл значень МС ґрунтів земель сільськогосподарського призначення чорноземної зони Лівобережжя України та оцінити їх інформативність для контролю органічного вуглецю ґрунтів на регіональному територіальному рівні.

**Матеріали та методи досліджень.** Використано методики відбору ґрунтових проб за ДСТУ 4287:2004 та визначено вміст гумусу за ДСТУ 4289:2004. Під час визначення статистичних показників користувалися стандартним програмним продуктом Statistica®, візуалізацію результатів дослідження проведено в середовищі MapInfo та Surfer. Було відібрано 90 проб з верхнього горизонту ґрунтів (0–30 см) різних видів угідь (рілля, пасовища, ліс), їхнє співвідношення приблизно відповідає нинішній структурі сільськогосподарських угідь. Для всіх зразків визначено питому МС за допомогою капамістка KLY-2 за методикою Evans [11].

Дослідження проводили на чорноземних ґрунтах Лівобережжя України (Харківська, Дніпропетровська та Запорізька обл.). Ареал відбору проб — близько 45 000 км<sup>2</sup>, тобто 1 відбір на 500 км<sup>2</sup>. Для території досліджень притаманні чорноземи типові, опідзолені (північна частина Харківської обл.), чорноземи звичайні (південна частина Харківської та Дніпропетровська обл.) і чорноземи південні (Запорізька обл.). Відбирали також алювіальні та лучно-болотні ґрунти річкових долин.

Зв'язок магнітних властивостей ґрунту з вмістом органічної речовини є одним з найчастіше досліджуваних. Якщо в перших роботах із педомагнетизму досліджували відмінності між МС ґрунтоутворчих порід і гумусованих горизонтів ґрунтів, то логічним

наступним кроком стала їх диференціація за вмістом органічної речовини [12, 13].

Так, наприклад, для чорноземних ґрунтів характерне перевищення значень МС верхніх горизонтів над МС лесів у 3–4,5 рази [14]. Таку залежність виявлено на всій території, де ґрунти розвиваються на лесах, лесовидних суглинках та алювіальних відкладах [15]. Відомі перевищення цього співвідношення можна пояснити феромагнітним пиловим забрудненням території в зоні впливу металургічних підприємств (за високих значень МС верхнього горизонту) або підтопленням (у разі знижених значень МС ґрунотворчої породи) [16].

У цьому дослідженні зв'язок магнітних параметрів та умісту  $C_{org}$  досліджували на регіональному та локальному місцевих рівнях.

На регіональному рівні дослідження проводили на чорноземних ґрунтах Лівобережжя України (Харківська, Дніпропетровська та Запорізька області (рис. 1 і 2). Ареал відбору проб ( $n=90$ ) — близько 45 000 км<sup>2</sup>, тобто 1 відбір на 500 км<sup>2</sup>. Для території досліджень притаманні чорноземи типові, чорноземи опідзолені (північна частина Харківської обл.), чорноземи звичайні (південна частина Харківської та Дніпропетровська обл.) та чорноземи південні (Запорізька обл.). Відбирали також алювіальні та лучно-болотні ґрунти річкових долин.

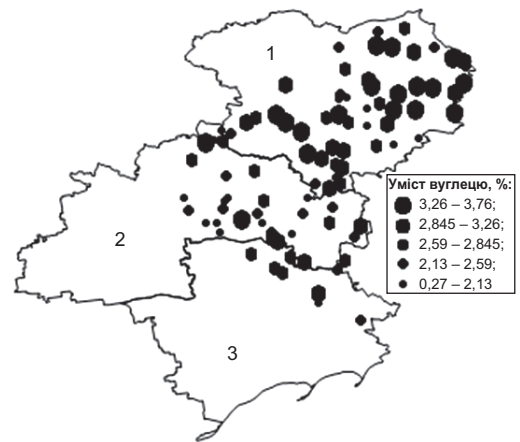
Закономірності у просторовому розподілі  $C_{org}$  не простежуються (див. рис. 1). Значення у нижньому діапазоні притаманні, в основному, ґрунтам, розвинутим на алювіальних відкладах великих річкових долин регіону (Дніпро, Сіверський Донець).

На відміну від просторового розподілу  $C_{org}$  у розподілі значень МС є певна залежність: зростання у південно-східному напрямку, що приблизно відповідає росту гідротермічного коефіцієнта (ГТК). Нами не підтверджено відомої залежності між МС ґрунту та сумою річних опадів [17, 18]. Визначено основні статистичні характеристики розподілу значень МС та умісту  $C_{org}$  (таблиця).

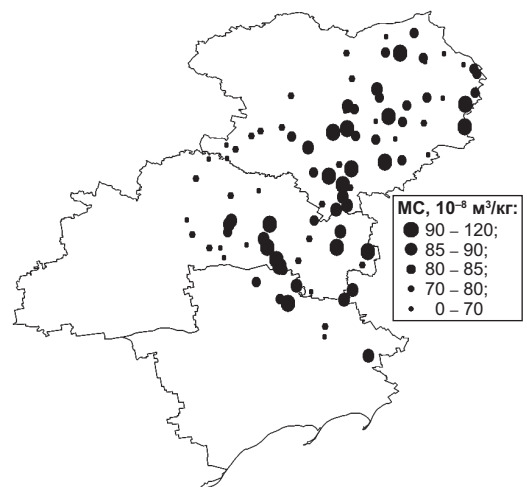
Описова статистика вибірок не дає змоги прийняти гіпотезу про нормальний розподіл значень досліджуваних показників. Медіана зміщена вправо від середнього арифметичного на 4,3 і 7,7% відповідно. Показники асиметрії та ексцесу також відрізняються

від значень, характерних для розподілу Гауса. Коефіцієнти варіативності практично однакові, досить значні, проте не виходять за середні межі [19].

Більш інформативною є діаграма розсіювання досліджуваних показників (рис. 3). Виділено 3 групи ґрунтів, пов'язані з відмінностями педогенезу, а саме: переважання степових (поля, перелоги), лісових (ліс, узлісся) чи лучно-болотних (ґрунти долин) умов.



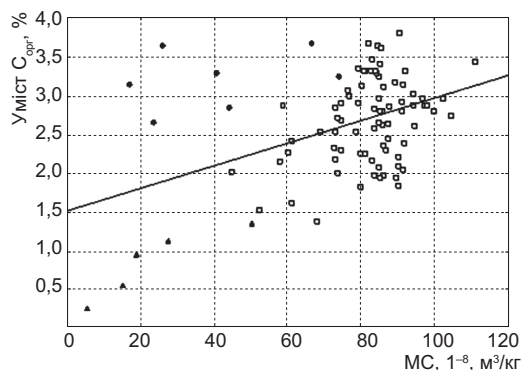
**Рис. 1. Схема точок відбору ґрунтів (у формі значень умісту  $C_{org}$ ): 1 — Харківська обл.; 2 — Дніпропетровська обл.; 3 — Запорізька обл.**



**Рис. 2. Значення МС ґрунту досліджуваної території**

**Основні статистичні характеристики розподілу значень  $MC$  та умісту  $C_{орг}$  ґрунтів території досліджень**

Показник	Середня арифметична	Медіана	Діапазон значень	Середньо-квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіативності, %	Екцес	Асиметрія	Дисперсія
Уміст $C_{орг}$ , %	2,62	2,74	0,27–3,76	0,664	25,3	–0,93	1,44	0,441
$MC$ , $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	76,37	82,75	5,72–110,44	19,963	26,1	–1,68	2,89	398,5

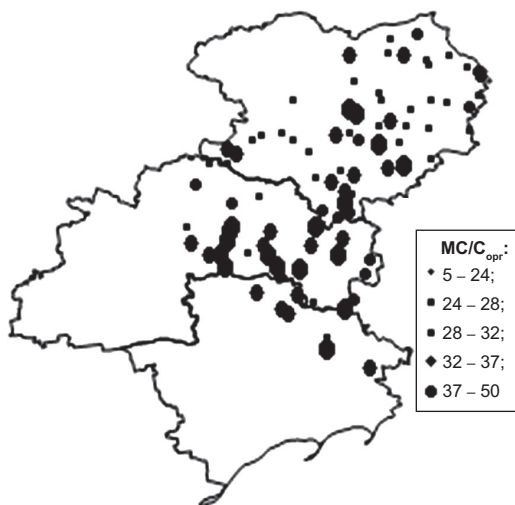


**Рис. 3.** Діаграма розсіювання значень  $MC$  та умісту  $C_{орг}$ : • — лучні ґрунти; □ — ґрунти Степу; ▲ — лісові ґрунти

ґрунти з лучно-болотними умовами формування мають високий уміст  $C_{орг}$  і низьку  $MC$ , ґрунти лісового генезису характеризуються низькими значеннями  $MC$  та  $C_{орг}$ , ґрунти Степу — високими значеннями  $MC$  та органічного вуглецю. Характер розсіювання не повною мірою задовольняє вимогам гетероскедастичності.

Відсутність підтвердженого нормального розподілу (критерій Колмогорова–Смірнова) не дає змоги застосовувати для вивчення зв'язку між досліджуваними показниками кореляцію Пірсона. Тому доцільно користуватися непараметричними методами, насамперед визначенням коефіцієнта  $\rho$  Спірмена.

Із застосуванням цього підходу зафіксовано середній рівень зв'язку між  $MC$  та умістом  $C_{орг}$ :  $\rho=0,45$  за  $P \leq 0,05$ , що не дало змоги зробити однозначні рекомендації використання  $MC$  під час прогнозування



**Рис. 4.** Просторовий розподіл показника  $MC/C_{орг}$

$C_{орг}$  на регіональному територіальному рівні.

Виявлена тенденція до виділення в окремі сектори (рис. 3) ґрунтів з різними напрямками педогенезу допомогла проаналізувати співвідношення двох досліджуваних показників  $MC/C_{орг}$ , тобто визначити вклад одиниці органічного вуглецю ґрунту в магнітних властивостях. Визначено просторовий розподіл отриманого результату (рис. 4). Розмірність  $10^{-7}$  для зручності не враховано.

Існує чітка тенденція до підвищення коефіцієнта  $MC/C_{орг}$  на досліджуваній території у південно-західному напрямку (див. рис. 4), що пов'язано з аналогічним зростанням умісту  $Fe_2O_3$  як основного джерела для утворення висококристалізованих сполук заліза.

## Висновки

Ступінь зв'язку між умістом МС і  $C_{org}$  у ґрунтах досліджуваної території не дає змоги зробити однозначні рекомендації використання МС за інтерполяції чи екстраполяції значень на регіональному територіальному рівні. Вважаємо, що це пов'язано з відмінностями педогенезу та використання ґрунтів. На діаграмі розсіювання МС та  $C_{org}$  (рис. 3) можна відзначити зони, що відповідають різним

умовам формування ґрунтів: степові, лучно-болотні, лісові. Нами не знайдено закономірностей у просторовому розподілі МС ґрунту (крім росту значень з ростом ГТК) та умісту  $C_{org}$ . Натомість виявлено тенденцію підвищення значень коефіцієнта МС/ $C_{org}$  на досліджуваній території у південно-західному напрямку, що ми пов'язуємо зі зростанням умісту  $Fe_2O_3$  у ґрунті.

Miroshnichenko M.<sup>1</sup>, Kruglov O.<sup>2</sup>, Panasenکو Ye.<sup>3</sup>, Nazarok P.<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup>NSC «Institute of Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky» of NAAS; 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>ecosoil@meta.ua, <sup>2</sup>alex\_kruglov@ukr.net, <sup>3</sup>panasenko-evgeniy@rambler.ru, <sup>4</sup>pavelnazarok@gmail.com; ORCID: <sup>1</sup>0000-0003-2830-5933, <sup>2</sup>0000-0003-2663-0935, <sup>3</sup>0000-0002-5248-0179, <sup>4</sup>0000-0002-5248-0179

### Magnetic susceptibility of soils of the chernozem zone of the left bank of Ukraine and its informativity in the agrochemical aspect

**Goal.** To study the distribution of values of magnetic susceptibility (MS) of soils of agricultural lands of the chernozem zone of the Left Bank of Ukraine and to evaluate their informativeness for control of organic carbon ( $C_{org}$ ) of soils at the regional level. **Methods.** Methods of soil sampling according to DSTU 4287:2004 were used and the humus content was determined according to DSTU 4289:2004. The standard software product Statistica® was used to establish the statistical

indicators, and the results of the research were visualized in the environment of MapInfo and Surfer. **Results.** 90 samples were taken from the upper soil horizon (0–30 cm) of lands of different types (arable land, pastures, forest), their ratio roughly corresponded to the current structure of agricultural lands. For all samples, the specific MS was determined using a kappa-containing KLY2 according to the Evans method. **Conclusions.** The degree of relationship between the content of sorghum in the soils of the study area did not allow making unambiguous recommendations for the use of MS by interpolation or extrapolation of values at the regional level. This is due to differences in pedogenesis and soil use. The scattering graph of MS and  $C_{org}$  can identify areas that meet different conditions of soil formation: steppe, meadow, gray forest. They did not find regularities in the spatial distribution of soil MS (except for the growth of values with increasing hydrothermal coefficient) and  $C_{org}$  content.

**Key words:** carbon, humus, study area, statistics, chernozem.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202008-03>

## Бібліографія

1. Jordanova N. Soil magnetism. Academic press. 2016. 466 p.
2. Menshov O., Kruglov O., Vyzhva S. et al. Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Stud. Geophys. Geod.* 2018. № 62. P. 681–696, doi: 10.1007/s11200-018-0803-1
3. Шеуджен А.Х., Гуторова О.А., Хурум Х.Д. и др. Физические, водно-физические и физико-химические показатели чернозема выщелоченного. *Международный научно-исследовательский журнал.* 2017. № 4(58). С. 166–171. doi: 10.23670/IRJ.2017.58.136
4. Quijano L., Gaspar L., Lizaga I., Navas A. Linking soil organic carbon and field measurements of magnetic susceptibility as a proxy of soil quality in arable soils. EGU General Assembly. *Geophysycal Research Abstracts.* 2018. № 20. 2703 p.
5. Ďurža O., Dlapa P. Magnetic susceptibility record of loess/paleosol sequence: Case study from south-west Slovakia. *Contributions to Geophysics and Geodesy.* 2009. № 39. P. 83–94.
6. Ramos P.V., Dalmolin R.S.D., Junior J.M. et al. Magnetic Susceptibility of Soil to Differentiate Soil Environments in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo.* 2017. № 41. P. e0160189. doi: 10.1590/18069657rbcs20160189
7. Hasso-Agopsowicz A., Jelenska M., Wicik B. Magnetic susceptibility of Chernozems. *Miscellanea*



*Geographica*. 2004. № 11. P. 57–61. doi: 10.2478/mrsrd-2004-0007

8. Hanesch M., Scholger R. The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. *Geophys. J. Int.* 2005. № 161. P. 50–56. doi: 10.1111/j.1365-246X.2005.02577.x

9. Yang P., Byrne J.M., Yang M. Spatial variability of soil magnetic susceptibility, organic carbon and total nitrogen from farmland in northern China. *Catena*. 2016. № 145. P. 92–98. doi: 10.1016/j.catena.2016.05.025

10. Лисецкий Ф.Н. Агрогенная трансформация почв сухостепной зоны под влиянием современного и античного землепользования. *Почвоведение*. 2008. № 8. С. 1–16.

11. Evans M., Heller F. Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetism. *Academic press*, 2003. 86 p.

12. Borgne E. Susceptibilité Magnetique anormal du sol susperficiel. *Annales de Geophysique*. 1955. V. II. № 4. P. 399–419.

13. Cornell R., Schwertmann U. The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses. NewYork: Weinheim, 2003. 573 p.

14. Górka-Kostrubiec B., Teisseyre-Jeleńska M., Dytłow S.K. Magnetic properties as indicators

of Chernozem soil development. *Catena*. 2016. V. 138. P. 91–102.

15. Jakšík O., Kodešová R., Kapička A. et al. Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil & Water Res.* 2016. V. 11. P. 105–113.

16. Jeleńska M., Hasso-Agopsowicz A., Kopcewicz B. et al. Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophys. J. Int.* 2004. V. 159. P. 104–116.

17. Pourmasoumi M., Khormali F., Ayoubi S. et al. Development and magnetic properties of loess-derived forest soils along a precipitation gradient in northern Iran. *Journal of Mountain Science*. 2019. V. 16. P. 1848–1868. doi: 10.1007/s11629-018-5288-4

18. Radaković M. G., Gavrilov M. B., Hambach U. et al. Quantitative relationships between climate and magnetic susceptibility of soils on the Bačka Loess Plateau (Vojvodina, Serbia). *Quaternary International*. 2019. V. 502. P. 85–94.

19. Kruglov O., Menshov O. To the soil magnetic susceptibility application in modern soil science / 16th EAGE International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects. Kiev. 2017. P. 1–6.