

ГЕОФІЗИКА



Стаття та будь-який пов'язаний з нею опублікований матеріал поширюється за ліцензією Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).
The article and any related published material are licensed under the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).

УДК 550.382.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.112.02>

Олександр МЕНЬШОВ¹, д-р геол. наук, ст. дослідник
ORCID ID: 0000-0001-7280-8453
e-mail: menshov@knu.ua

Лідія ГОРОШКОВА², д-р екон. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-7142-4308
e-mail: goroshkova69@gmail.com

Максим СМІРНИЙ³, асп.
ORCID ID: 0009-0000-1274-6596
e-mail: maksim.smirnyy@gmail.com

Тургай ДІНДАР ОГЛУ⁴, д-р наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-2165-8138
e-mail: turgay.dindaroglu@ktu.edu.tr

Станіслав ГОРОШКОВ¹, студ.
ORCID ID: 0009-0009-4310-9165
e-mail: stas20055008@gmail.com

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Національний університет "Києво-Могилянська академія", Київ, Україна

³Інститут геохімії мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна

⁴Технічний університет Караденіз, факультет лісового господарства, Трабзон, Туреччина

МАГНІТНА МІНЕРАЛОГІЯ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ ТА ҐРУНТІВ ЗАПОВІДНИКА "ХОРТИЦЯ"

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф., чл.-кор. НАН України Михайлом ОРЛЮКОМ)

Вступ. Територія заповідника острова Хортиця придатна для ретроспективного дослідження процесів накопичення магнітної речовини, важких металів та уламкового матеріалу різного походження у ґрунтах і донних відкладах. Їх аналіз дає змогу відтворити співвідношення природних і техногенних факторів, що визначали стан і трансформацію екосистем заповідника впродовж кількох століть. Метою статті є вивчення магнітної мінералогії ґрунтів і озерних відкладів задля остаточного визначення ключових природних і техногенних факторів, які як у ретроспективному вимірі, так і за сучасних умов формують стан природного середовища заповідної території.

Методи. Методика магнітних досліджень включала вимірювання та обрахунок об'ємної магнітної сприйнятливості χ , частотної залежності магнітної сприйнятливості χ_{fd} як показника відносного вмісту суперпарамагнітної (SP) та багатодоменої (MD) фракції у загальному сигналі магнітної сприйнятливості. Також вимірювалася ідеальна (безгістерезисна) залишкова намагніченість (ARM), залишкова намагніченість насичення (M_{rs}), розрахована безгістерезисна магнітна сприйнятливість (χ_{ARM}). Проведено термомагнітний аналіз.

Результати. Для всіх дослідних ділянок значення χ_{fd} становить 1–2 %, що свідчить про виразне домінування крупнозернистого мультидоменового матеріалу над суперпарамагнітними та однодоменими частинками педогенного (ґрунотвірного) генезису. Загальноприйнятим пороговим показником переважання MD-зерен вважають рівень χ_{fd} близько 3–4 %. Співвідношення χ_{ARM}/χ варіює в межах 0,70–2,13. Це свідчить про те, що у зразках, відібраних у межах згарища та лісових ділянок, ще простежується присутність однодомених зерен, хоча їх кількість є меншою порівняно з мультидоменими (MD) частинками. Водночас у донних відкладах озер (за винятком оз. Прогній) чітко встановлено домінування мультидоменої фракції, про що свідчать значення $\chi_{ARM}/\chi < 1$.

Висновки. За результатами магнітомінералогічних досліджень зразків ґрунтів і донних відкладів озер острова Хортиця встановлено, що серед основних феромагнітних мінералів переважає мультидомений магнетит літогенного походження з імовірними домішками техногенного мультидоменового магнетиту. Крім того, виявлено стабільні однодоменні зерна педогенного генезису, представлені маґемітом. Також зафіксовано присутність гематиту, який може мати як педогенне, так і техногенне походження. Наявність у донних відкладах сульфідів заліза, насамперед піротину, ймовірно пов'язана з надходженням цієї компоненти внаслідок процесів вивітрювання гірських порід.

Ключові слова: донні відклади, ґрунти, забруднення, магнітна сприйнятливість.

Вступ

Заповідна зона острова Хортиця є унікальним природним архівом, що має високу наукову цінність для ретроспективного аналізу процесів акумуляції магнітної речовини, важких металів та уламкового матеріалу різного генезису у ґрунтах та донних відкладах. Їх вивчення дає змогу реконструювати співвідношення природних і техногенних чинників, які впливали на екосистеми

заповідної території протягом кількох століть. Крім того, природні та антропогенно (техногенно) модифіковані комплекси природно-заповідного фонду острова Хортиця функціонують в умовах посиленого антропогенного, техногенного (Pihulevskyi, Tiarkin, & Anisimova, 2018; Pihulevskyi et al., 2021; Vyzhva, Prodayvoda, & Onanko, 2011) й військового навантаження. Додатковим визначальним чинником є трансформація гідрологічного режиму

© Меньшов Олександр, Горошкова Лідія, Смирний Максим, Діндароглу Тургай, Горошков Станіслав, 2026

ISSN 1728-2713 (Print), ISSN 2079-9063 (Online)

р. Дніпро, зумовлена функціонуванням Дніпрогесу та руйнуванням Каховського водосховища. Сукупність зазначених процесів спричинила істотні зміни водного режиму та ландшафтної структури території. На попередніх етапах дослідження ми провели магнітну структуризацію Хортиці, її ландшафтів та типів ґрунтів і донних відкладів озер (Меньшов та ін., 2025a). Також визначено вміст важких металів у природних об'єктах острова та їх генетичні і кореляційні зв'язки з магнітною сприйнятливістю (χ , MS) (Меньшов та ін., 2025b). Наступним кроком є аналіз магнітної мінералогії ґрунтів і озерних осадів для остаточного з'ясування основних природних і техногенних чинників, які як в історичному контексті, так і в сучасних умовах впливають на стан природного середовища заповідної зони.

Зупинимось на аналізі найсучаснішого стану проблеми застосування магнітних методів для ідентифікації мінералогії ґрунтів та донних відкладень озер. Забруднювачі від промислових викидів та транспорту накопичуються в ґрунтах у вигляді пилу, який містить важкі метали, що становлять екологічну та медичну небезпеку. Магнітна сприйнятливість чутлива до феромагнітних мінералів і дає змогу швидко оцінити загальний рівень забруднення. У роботі (Hou et al., 2025) розроблено модифікований двопороговий графік оцінки MS для забрудненого ґрунту з використанням індексів низькочастотної магнітної сприйнятливості (χ_{lf}) та частотної залежності магнітної сприйнятливості (χ_{fd}). Метою роботи (Ribeiro et al., 2026) було визначити масу й колір верхнього шару ґрунту та підстильних генетичних горизонтів на регіональному геохімічному рівні в басейні річки Ітакайунас, провінція Карахас, а також встановити зв'язки між цими властивостями, вмістом хімічних елементів у ґрунті та геологічними особливостями. MS та червоний колір ґрунтів позитивно корелювали із вмістом Cu, Fe, Ni та іншими елементами, що підкреслює потенціал магнітних параметрів для моніторингу ґрунту. У той же час кореляція варіювалася залежно від геологічної будови області. Використання частотно-залежної магнітної сприйнятливості є ефективним способом виявлення суперпарамагнітних (SP) компонентів у ґрунтах та осадах. У роботі (Ouallali et al., 2025) дослідженні χ_{fd} використовується як прямий індикатор педогенного процесу у ґрунтах регіону Марокканський Риф. Три ґрунтові вибірки (T1, T2 та T3) було відібрано з різних літологічних формацій у межах території, що піддається помірній та інтенсивній ерозії. Результати цього дослідження свідчать про те, що магнітна сприйнятливість у цих зразках переважно походить з педогенетичних джерел, демонструючи, що ґрунти, що розвиваються на терасах та мергелистих субстратах, більш деградовані та менш стабільні, ніж ґрунти на піщаних субстратах. У роботі (Fitriani Fauzan et al., 2024) були дослідження сільськогосподарської угіддя у кількох районах Індонезії. Висока магнітна сприйнятливість вказує на те, що ґрунт містить мінерали гематит (Fe_2O_3) та магнетит (Fe_3O_4). Ці мінерали є феромагнітними. Високий вміст заліза знижує родючість сільськогосподарських угідь. Значення χ_{fd} становили 2–10 % у сільськогосподарських ґрунтах, а отже містять суперпарамагнітні зерна (ультрадисперсні). Ґрунти зі значенням χ_{fd} , меншим за 2 %, характеризуються високою родючістю ґрунту, тоді як ґрунти зі значенням χ_{fd} 2–10 % мають пониженою родючістю. Таким чином, отримана інформація підтверджує, що визначення магнітної сприйнятливості може використовуватися для контролю родючості ґрунту в умовах агровиробництва. Визначення антропогенного впливу на природно бідні ґрунти

бразильської Амазонії проведено у роботі (Brito et al., 2024). Дослідження мало на меті охарактеризувати фізичні, хімічні та мінералогічні властивості алісолой, а також визначити інтенсивність та походження магнітного сигналу як екологічного показника для моніторингу родючості ґрунту. Усі алісоли показали низькі значення χ . Проте магнітна сприйнятливість була інформативною в межах площ вирощування культур, що було охарактеризовано як придатний показник для моніторингу родючості алісолой у регіоні Амазонки.

Далі розглянемо приклади застосування магнітного методу для вивчення донних осадів. Робота (Tang et al., 2024) має на меті проаналізувати магнітну сприйнятливість у вертикальних осадах у районі рибного ставка озера Лімбото. Цей природний об'єкт контролюється літогенними та антропогенними компонентами. Склад магнітних мінералів включає парамагнітні мінерали. За параметром χ_{fd} , яке коливається від 0,2 до 4,7 % із середнім значенням 1,17 %, переважають грубозернисті частинки ($>0,03$ мкм) у стабільному однодомному (SSD) та багатодомному (MD) стані. Параметр магнітної сприйнятливості може бути використаним для визначення характеристик озерних відкладів, на які впливають антропогенні чинники. Магнітні властивості озерних відкладень демонструють тісний зв'язок із вмістом важких металів, але мало відомо про їхній зв'язок із хімічними фракціями. Створення ефективного алгоритму для прогнозування накопичення важких металів включає алгоритм машинного навчання в поєднанні з магнітними вимірюваннями. Значення $\chi_{ARM}=220\text{--}500\times10^{-8}$ м³/кг, $\text{HIRM}=30\text{--}40\times10^{-5}$ Ам²/кг, $\chi_{ARM}/\chi=15\text{--}25$ та $\chi_{ARM}/\text{SIRM}=0,51$ вказують на потенційні екологічні ризики Cd, Hg та Sb. Результати цього дослідження відкривають нові перспективи оцінки ризику забруднення важкими металами озерних відкладів шляхом поєднання магнітних вимірювань з робочим процесом IML (Deng et al., 2024). Для визначення токсичності важких металів та магнітних властивостей осадів річки Вайгай було оцінено горизонтальний та вертикальний розподіл для Al, Fe, Mg, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb та Zn, а також магнітну сприйнятливість (Paramasivam et al., 2024). Визначення магнітної сприйнятливості як показника вмісту важких металів та рівнів їх ризику проведено на основі аналізу головних компонентів.

Методи

Дослідним полігоном став острів Хортиця (рис. 1), який розташований у межах міста Запоріжжя та є найбільшим островом у долині Дніпра. Детальний опис об'єктів дослідження, точок спостереження, загальна геологічна, ландшафтна та ґрунтознавча характеристика наведені у попередніх публікаціях (Меньшов та ін., 2025a; Меньшов та ін., 2025b). Зазначимо, що територія належить до Степової агрокліматичної зони України і характеризується теплим посушливим континентальним кліматом. Геологічну основу острова формує південна окраїна Українського кристалічного щита, представлена докембрійськими породами віком приблизно 2,5 млрд років. Переважають граніти, перекриті товщею молодших осадових відкладів. У північній частині Хортиці вздовж берега піднімаються скельні масиви заввишки до 40–50 м, які поступово знижуються у напрямку півдня (Маринич, Пашенко, & Шищенко, 1985). У рельєфі домінують долинно-балкові та заплавні форми.

Головними ґрунотвірними породами, окрім гранітів, є леси та алювіальні піски, на яких сформувалися чорноземи звичайні, а також дернові, лучні й болотні ґрунти (Дубова, 2008).

У межах острова розташовані вісім великих озер: Безі-м'яне, Кам'яне, Прогной, Домаха, Осокорове, Голоківське, Підкручне та Річище. Водночас жодне з них не має гідрологічного зв'язку з руслом річки. Окрім озер, поширені численні заболочені ділянки, які або мають форму невеликих водойм, або, особливо на заході, прилягають до більших озер чи оточують менші. Запропоновані

дослідження включали відбір та аналіз донних відкладів озер Кам'яне, Прогній, Рисове та Піщане (рис. 1). Після руйнування Каховського водосховища водойми зазнали осушення, тому проби відбиралися безпосередньо з відкритої поверхні дна. Додатково досліджено ґрунтовий покрив ділянки змішаного лісу.



Рис. 1. Об'єкти дослідження донних відкладів у межах заповідника "Хортиця" (Меньшов та ін., 2025а). Червоним кольором зображено окуповану територію, а синім – звільнену

Методика магнітних досліджень включала вимірювання та обрахунок об'ємної магнітної сприйнятливості χ за допомогою капта-містка KLY-2. Питому магнітну сприйнятливості розраховували, використовуючи суху масу зразка.

Для розрахунку частотної залежності магнітної сприйнятливості застосовано дослідження низькочастотної (976 Гц, χ_{lf}) та високочастотної (15616 Гц, χ_{hf})

магнітної сприйнятливості при напруженості магнітного поля 200 А/м з точністю вимірювання 4×10^{-6} та 12×10^{-6} SI (Hrouda & Pokorný, 2011). Частотна залежність магнітної сприйнятливості визначається як

$$\chi_{fd} = ((\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf}) \times 100 \% \quad (1)$$

χ_{fd} використовується як показник відносного вмісту суперпарамагнітної фракції (SP) та багатодоменої (MD)

фракції у загальному сигналі магнітної сприйнятливості (Dearing et al., 1996).

Частина магнітомінералогічних аналізів проводилася в магнітометричній лабораторії в Інституті геофізики Польської академії наук (Варшава). Досліди виконано в умовах екранування магнітного поля (shielded room). Для вимірювання ідеальної (безгістерезисної) залишкової намагніченості (ARM), залишкової намагніченості насичення (Mrs) та розрахунку безгістерезисної магнітної сприйнятливості (χ_{ARM}) використовували кубічні моноліти об'ємом 8 см³. Моноліти формували, засипаючи вологий ґрунт у кубічний пластиковий контейнер та даючи йому висохнути. ARM отримано за допомогою підмагнічування постійним полем 100 мТл та розмагнічування змінним полем 100 мТл за допомогою установки LDA-5, а вимірювання намагніченостей проводилося за допомогою спінер-магнітометра JR-6A (AGICO) з чутливістю 2×10^{-6} А/м. Безгістерезисну магнітну сприйнятливість розраховано як нормалізовану за масою ARM на одиницю поля зміщення.

Високотемпературні аналізи магнітної мінералогії на основі ідентифікації температур Кюрі (Tc) та фазових перетворень проведено за допомогою каппа-містка KLY-5 з пічкою при нагріванні до 700 °С. Нагрівання проводилося в аргоні з високою швидкістю (140 об/хв), що рекомендованою (Jordanova, & Jordanova, 2016) для ґрунтів.

Результати

Аналіз та інтерпретація даних прецизійних магнітомінералогічних досліджень слід розпочинати з розуміння загальної магнітності досліджуваних зразків та їх статистичних розподілів. Гістограму розподілу магнітної сприйнятливості ґрунтів та донних відкладів території острова Хортиця наведено на рис. 2. Загалом магнітна сприйнятливість є високою як для ґрунтів України – 100×10^{-8} м³/кг і вище. Характерні значення наводяться в публікаціях (Jeleńska et al., 2008; Menshov & Sukhorada, 2012; Górka-Kostrubiec, Teisseyre-Jeleńska, & Dytlow, 2016). Значення в інтервалі $\chi = 50\text{--}100 \times 10^{-8}$ м³/кг зафіксовано у більшості пунктів відбору проб. Разом з тим частина зразків характеризується підвищеними величинами $\chi = 100\text{--}300 \times 10^{-8}$ м³/кг. Подібні значення можуть бути індикаторами техногенного забруднення, або літогенного походження детритових магнітних мінералів, що надходять в осадовий матеріал із відслонень кристалічного фундаменту, поширених в околицях острова. Підвищену магнітну сприйнятливість також встановлено для піщаних ґрунтів у межах ділянок змішаного лісу. За результатами наших досліджень визначено, що високі значення більшою мірою пов'язані із привнесенням високомагнітної фракції, насамперед магнетиту, з порід кристалічного фундаменту, які розташовані поблизу та зазнають інтенсивного фізичного й хімічного вивітрювання (Меньшов та ін., 2025a; Меньшов та ін., 2025b).

Дані магнітомінералогічних аналізів наведено в табл. 1. Найвищі значення магнітної сприйнятливості відносяться до Лісової зони. Ґрунтовий покрив піщаний та дерново-підзолистий. Тобто перевищення характерних значень є у 20 разів. Серед додаткових впливів відзначимо пожежі, які здані суттєво підвищувати магнітні параметри. Отже, такі високі значення найімовірніше з'являються за рахунок підвищеного вмісту сильно магнітних мінералів, наприклад магнетиту. Цікавою особливістю є те, що зона власне згарища характеризується нижчими значеннями магнітної сприйнятливості (близько 300×10^{-8} м³/кг). Серед донних відкладів озер найвищі

значення зафіксовано для озера Рисове (300×10^{-8} м³/кг), утричі нижчі величини – для озер Прогній, Піщане та Кам'яне (близько 100×10^{-8} м³/кг). Підвищує ефективність інтерпретації та генезису власне магнітної мінералогії параметр частотної залежності магнітної сприйнятливості. У нашому випадку для всіх дослідних зон $\chi_{fd}=1\text{--}2$ %. Це говорить про тотальне превалювання мультидеменного крупного матеріалу над суперпарамагнітними та однокластковими частинками педогенного (грунтоутвірною) походження. Прийнято вважати порогом домінування MD зерен 3–4 % (Dearing et al., 1996). Дослідження сучасних ґрунтів та лесових палеоземів зазвичай використовують χ_{fd} як індикатор наявності SP феримагнетиків. Хоча метод сам по собі не дає змоги розрізнити склад магнітних мінералів у зразку, наприклад магнетит чи магеміту (Maxbauer, Feinberg, & Fox, 2016).

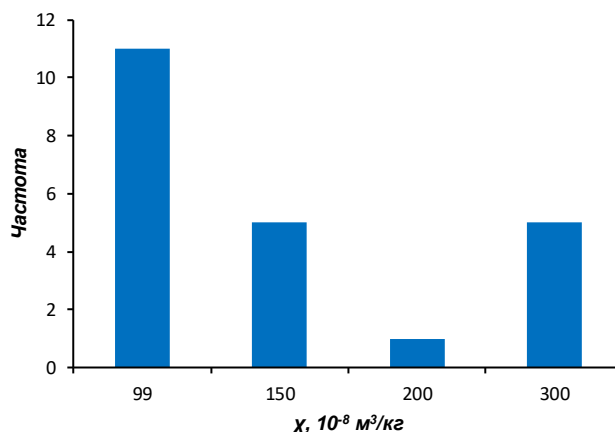


Рис. 2. Гістограма розподілу значень магнітної сприйнятливості зразків донних відкладів озер та ґрунтів заповідника "Хортиця"

Абсолютні значення χ_{ARM} лежать у діапазоні $73\text{--}562 \times 10^{-8}$ м³/кг. Для більш зрозумілої інтерпретації звернемося до відношення χ_{ARM}/χ . У роботі (Górka-Kostrubiec, Teisseyre-Jeleńska, & Dytlow, 2016) відзначається, що для природних чорноземів це відношення може бути 5–7. Тобто характерне превалювання природного ґрунтового магнетизму з домінуванням суперпарамагнітної фракції та стабільних однодомених зерен SD, які власне і формують в основному значення χ_{ARM} . У нашому випадку $\chi_{ARM}/\chi = 0,70\text{--}2,13$. Тобто у зразках, відібраних у межах згарища та лісу, ще фіксуються однодоменні зерна (хоч і в меншій кількості порівняно із MD). У межах озер (окрім Прогній) чітко зафіксовано превалювання мультидоменої фракції: $\chi_{ARM}/\chi < 1$. Таким чином, ще один магнітний параметр підтверджує превалювання великих мультидомених зерен техногенного або літогенного (привнесеного від кристалічного материнського фундаменту) походження.

Залишкова намагніченість насичення Mrs (SIRM) лежить у діапазоні $610\text{--}2120 \times 10^{-5}$ Ам²/кг. Відомо, що параметр Mrs залежить від концентрації магнітних мінералів та розміру зерен. Відзначається високий вміст магнітних мінералів.

На рис. 3 наведено результати термомагнітного аналізу. Для озера Кам'яне (рис. 3a) ідентифікується лише магнетитова фаза. Крива нагріву загалом плавна. Малопомітні переходи складні для інтерпретації. За температури близько 580 °С фіксується точка Кюрі магнетиту.

Таблиця 1

Результати магнітомінералогічних аналізів зразків донних відкладів озер та ґрунтів заповідника "Хортиця"

Об'єкт	Магнітний параметр				
	Питома магнітна сприйнятливість χ , 10^{-8} м ³ /кг	Частотна залежність магнітної сприйнятливості χ_{fd} , %	Ідеальна (безгістерезисна) магнітна сприйнятливість χ_{ARM} , 10^{-8} м ³ /кг	Відношення χ_{ARM}/χ	Залишкова ізотермічна намагніченість насичення SIRM, 10^{-4} Ам ² /кг
Згарище	264	1,6	562	2,13	212
Озеро Рисове	303	0,9	218	0,72	204
Ліс	521	1,1	977	1,88	364
Озеро Прогній	102	1,0	189	1,85	93
Озеро Піщане	105	1,0	73	0,70	59
Озеро Кам'яне	110	0,9	93	0,84	61

Більш складну картину зафіксовано для озера Прогній (рис. 3б). Перший пік і пониження значень магнітної сприйнятливості зареєстровано близько 320 °С. Наступний максимум візуалізується поруч із відміткою у 500 °С. Це відповідає точці Кюрі піротину. Можна припустити, що пік 500 °С може свідчити про неоформування магнетиту з домішок сульфідів заліза. На їх наявність вказує максимум і злам у кривій нагрівання близько 300 °С. У той же час існування переходів за температури 300 °С може інтерпретуватися не лише як наявність піротинової фази, але й вмістом невеликої кількості однодомених зерен (Yang et al., 2012). Також це горбоподібне збільшення може виникати внаслідок утворення незначних феримагнітних фаз під час нагрівання, наприклад магеміту (Dunlop, & Özdemir, 1997; Oches, & Banerjee, 1996). Цей факт дає змогу стверджувати, що у зразках донних відкладів присутній магнітний матеріал первинного педогенного походження. Різка спадання магнітного сигналу після 580 °С підтверджує превалювання магнетиту як основного магнітного мінералу дослідного препарату, що характерно для лівової частини зразків ґрунтів і донних відкладів. У той же час слід з'ясувати, чи магнетит був у первинному зразку, чи сформувався у процесі термомагнітних перетворень. Можемо припустити про первинний генезис магнетиту, що підтверджується аналізом χ_{ARM} та SIRM. Ще одним фактором, що ускладнює процес інтерпретації цього зразка, є залишковий магнітний сигнал (хвіст кривої) після точки Кюрі магнетиту. Це може свідчити про наявність слабо феромагнітного гематиту, який переходить у парамагнітний стан (точка Кюрі) близько 675 °С. Оскільки цей сигнал доволі слабкий, а аналіз проводився до температури 700 °С, не слід виключати і вміст чистого заліза з точкою Кюрі 770 °С. Крива охолодження вказує на заміщення всіх оксидів заліза магнетитовою фазою, а також можливе вторинне формування сульфідів заліза.

Зразок ґрунту з лісової зони (рис. 3в) демонструє поведінку кривої магнітної сприйнятливості при нагріві, характерну для ґрунтового покриву. За температур нагрівання <280 °С магнітна сприйнятливість повільно зростає з вираженим горбом між 280–300 °С. Це горбоподібне збільшення магнітної сприйнятливості може виникати внаслідок відновлення гематиту до магнетиту при нагріванні органічної речовини у зразках або внаслідок утворення незначних феримагнітних фаз під час нагрівання, наприклад магеміту (Dunlop, & Özdemir, 1997; Oches, & Banerjee, 1996). Як альтернатива (van Velzen, & Dekkers, 1999) припускається, що ця особливість може бути результатом звільнення внутрішньої напруги в низькотемпературних окисненнях зернах магнетиту.

Дискусія і висновки

Наведені у статті результати стали продовженням досліджень ґрунтів і донних відкладів острова Хортиця,

природні та штучні комплекси якого перебувають у зоні постійних обстрілів ракетами, дронами, керованими авіабомбами тощо. Додатковий вплив має урбанізоване середовище та важка промисловість Запоріжжя. Крім того, зникнення Каховського водосховища спричинило незворотні зміни у біорізноманітті, водному режимі та ландшафтних умовах прилеглих територій. Було визначено (Меньшов та ін., 2025а), що значення магнітної сприйнятливості як для донних відкладів, так і для ґрунтів є високими ($\chi=100\text{--}300\times 10^{-8}$ м³/кг). Вони перевищують відомі показники для чорноземів типових і звичайних, які є автоморфними регіональними ґрунтами для Запорізької області, у 1–5 разів. У той же час піщані ґрунти острова Хортиця порівняно з такими же ґрунтами борових терас України є більш магнітними у 10–20 разів (Menshov & Sukhorada, 2012; Menshov, Kruglov, & Sukhorada, 2012). Основним висновком першої частини досліджень стало припущення, що підвищення магнітного сигналу у ґрунтах лише частково пов'язане з техногенним впливом. Найімовірніше, має місце накопичення в донних осадах озер, а також у піщаному ґрунтового покриві лісових ділянок заповідника "Хортиця" привнесених частинок від вивітрювання гірських порід кристалічного фундаменту, який оточує острів (Єнтін та ін., 2023). При цьому Середньопридніпровський тектонічний блок Українського щита в межах Дніпропетровської і Запорізької областей, який складений ґраніто-гнейсами, метабазами, сланцями та залізистими породами характеризується підвищеним вмістом двооксиду титану (TiO₂), заліза (Fe₂O₃) та зниженим вмістом кремнезему (SiO₂), магнітна сприйнятливості яких може досягати 5000×10^{-5} од. СІ (Орлюк, & Пашкевич, 2012). Водночас ґраніто-гнейси, метабази, сланці та залізисті породи, що складають Середньопридніпровський тектонічний блок Українського щита в межах Дніпропетровської і Запорізької областей, можуть характеризуватися підвищеним вмістом двооксиду титану (TiO₂), заліза (Fe₂O₃) та зниженим вмістом кремнезему (SiO₂), магнітна сприйнятливості яких може досягати 5000×10^{-5} од. СІ (Орлюк, & Пашкевич, 2012). Отже, магнітні частинки у дослідних зразках вочевидь є саме літогенного походження, з домінуванням магнетиту. Наступним кроком (Меньшов та ін., 2025б) стало дослідження трансформації природних і антропогенних ландшафтів заповідника "Хортиця" через вимірювання магнітних характеристик та вмісту токсичних хімічних речовин (зокрема, важких металів) у донних відкладах осушених озер, що сформувалися після руйнування Каховської греблі, а також у ґрунтах. Такими елементами визначено Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, Pb, Cr. Коефіцієнт кореляції є значущим для досліджуваної вибірки і становить для χ : Fe=0,52, Co=0,61, Ni=0,58, Cu=0,52, Zn=0,79, Hg=0,50, Pb=0,40, Cr=0,38.

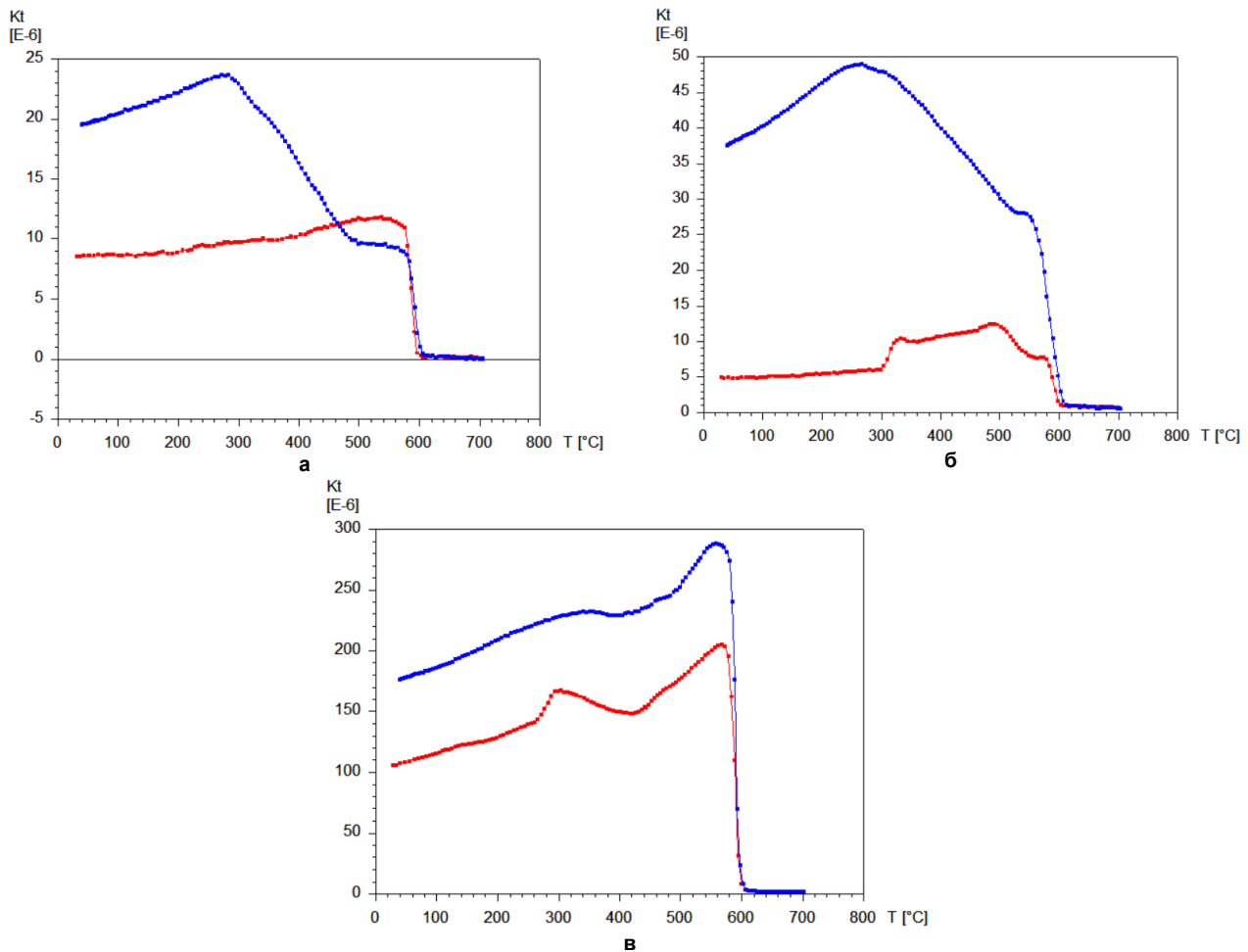


Рис. 3. Результати термомагнітного аналізу зразків донних відкладів озер та ґрунтів заповідника "Хортиця": а – озеро Кам'яне, б – озеро Прогній, в – ліс

Таким чином, у рамках третього етапу досліджень, що викладено в результатах цієї статті, стала власне ідентифікація магнітних мінералів, їх розмірів, доменного стану у ґрунтах та донних відкладах озер. За результатами дослідження частотної залежності магнітної сприйнятливості, що склала $\chi_{fd}=1-2\%$, визначено превалювання мультидоменних магнітних частинок (Petrovský et al., 2000). MD зерна найчастіше можуть бути техногенного походження або привнесеними з літогенної основи, що в нашому випадку є імовірним фактом. Відношення $\chi_{ARM}/\chi = 0,70-2,13$ підтвердило превалювання мультидоменних зерен, але все ж вказує і на наявність невеликої частини стабільних однодоменних зерен (SD), найвірогідніше, педогенного походження. Таке твердження загалом підтверджується і результатами дослідження SIRM, оскільки високі значення як для ґрунтів інтерпретуються як здатність набувати та зберігати залишкову намагніченість крупними мультидоменними зернами (Tan et al., 2018).

Для визначення власне магнітних мінералів було проведено термомагнітний аналіз, який підтвердив наявність магнетиту в усіх зразках. У той же час для донних відкладів озера Прогній зафіксовано піротинову фазу та гематит (можливо магеміт). Можна стверджувати, що магеміт є саме педогенного походження, оскільки він фіксується і у зразках ґрунтів з лісової ділянки.

Отже, підсумовуючи результати магнітомінералогічних досліджень зразків ґрунтів та донних відкладів озер острова Хортиця відзначимо, що основними магнетиками

є мультидоменний магнетит літогенного походження з можливими домішками мультидоменного магнетиту техногенного походження, а також стабільними однодоменними зернами педогенного походження, які представлені магемітом. Зафіксовано також гематит, походження якого може бути як педогенне, так і техногенне. Наявність у донних відкладах сульфідів заліза, насамперед піротину, також може свідчити про привнесення цієї компоненти як процесу вивітрювання гірських порід.

Внесок авторів: Олександр Меньшов – концептуалізація, ідея, аналіз та інтерпретація даних, написання статті; Лідія Горошкова – ідея, аналіз та інтерпретація даних, написання статті; Максим Смирний – вимірювання та обробка даних; Тургай Діндароглу – валідація та аналіз даних; Станіслав Горошков – вимірювання та обробка даних.

Джерела фінансування. Дослідження виконувалися за проектом 0124U004208 "Еколого-економічна оптимізація логістичної інфраструктури в умовах війни та повоєнного відновлення України", що реалізується у рамках програми наукових робіт, науково-технічних та інфраструктурних проектів, які фінансуються за кошти спеціального фонду, отриманих за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій "Горизонт 2020".

Список використаних джерел

Дубова, О.В. (2008). Еколого-агрохімічна оцінка та фізичні властивості ґрунтів заплавної зони острова Хортиця. Вісник ЗНУ. Біологія, 2, 53–59.
Ентін, В. А., Гінтов, О. Б., Орлюк, М. І., & Марченко, А. В. (2023). Локальні магнітні аномалії Українського щита як індикатори прояву

різновікових етапів осередково-каналного магматизму. *Геофизический журнал*, 45, 2, 44–62.

Маринич, А. М., Пашченко, В. М., Шищенко, П. Г. (1985). *Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование*. Наук. думка.

Меньшов, О., Горошкова, Л., Голуб, О., & Горошков, С. (2025a). Магнітні дослідження донних відкладів та ґрунтів як інструмент виявлення небезпечних геодинамічних екзогенних процесів на прикладі заповідника Хортиця. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(108), 15–21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.108.02>

Меньшов, О., Горошкова, Л., Горошков, С. & Діндароглу, Т. (2025b). Комплексна модель вмісту важких металів та магнітних властивостей ґрунтів та донних відкладів озер заповідника "Хортиця". *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(109), 51–58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.109.07>

Орлюк, М.І., Пашкевич, І.К. (2012). Глубинные источники региональных магнитных аномалий: тектонотипы и связь с трансформными разломами. *Геофизический журнал*, 34, 4, 224–234.

Brito, W. B. M., Campos, M. C. C., de Souza, F. G., Silva, L. S., Lima, H. N., de Lima, A. F. L., & da Cunha, J. M. (2024). Magnetic susceptibility and properties of Alisols under forest and crops in south Amazonas. *Journal of South American Earth Sciences*, 144, 105023.

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.

Deng, L., Fan, Y., Liu, K., Zhang, Y., Qian, X., Li, M., ... & Li, H. (2024). Exploring the primary magnetic parameters affecting chemical fractions of heavy metal (loid) s in lake sediment through an interpretable workflow. *Journal of Hazardous Materials*, 468, 133859.

Dunlop, D. J., & Özdemir, Ö. (1997). *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511612794>

Fitriani, Fauzan, M. F. A., Rahmad, Sulistiawaty, Rampe, M. J., Rampe, H. L., & Tiwow, V. A. (2024, April). A review of the potential of magnetic susceptibility methods for monitoring the feasibility of soil fertility for horticultural crops cultivation in Indonesia. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2799, No. 1, p. 020142). AIP Publishing LLC.

Górka-Kostrubiec, B., Teisseyre-Jeleńska, M., & Dytlow, S. K. (2016). Magnetic properties as indicators of Chernozem soil development. *Catena*, 138, 91–102.

Hou, R., Liu, L., Dong, Z., Ma, F., Liu, X., Wang, Y., & Lai, J. (2025). Construction and verification of soil heavy metal establishment identification method based on dual-threshold of magnetic susceptibility. *Journal of Hazardous Materials*, 139741.

Hrouda, F., & Pokorný, J. (2011). Extremely high demands for measurement accuracy in precise determination of frequency-dependent magnetic susceptibility of rocks and soils. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 55(4), 667–681.

Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokl, M., Sukhorada, A., Bondar, K., & Matviishina, Z. H. (2008). Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicators of pedogenic processes. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 52(2), 255–270.

Jordanova, N., & Jordanova, D. (2016). Rock-magnetic and geochemical characteristics of relict Vertisols—signs of past climate and recent pedogenic development. *Geophysical Journal International*, 205(3), 1437–1454.

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, A. I., & Sukhorada, A. V. (2012). Soil magnetism in Ukraine. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 15–22.

Menshov, A. I., Kruglov, A. V., & Sukhorada, A. V. (2012). Informational content of the soil magnetism indicators for solving agrogeophysics and soil science tasks. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 7–12.

Oches, E. A., & Banerjee, S. K. (1996). Rock-magnetic proxies of climate change from loess-paleosol sediments of the Czech Republic. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 40(3), 287–300. <https://doi.org/10.1007/BF02300744>

Ouallali, A., Bouhsane, N., Bouhlassa, S., Spalevic, V., Kader, S., Michael, R., & Sestras, P. (2025). Exploring soil pedogenesis through frequency-dependent magnetic susceptibility in varied lithological environments. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 10(2), 887–900.

Paramasivam, K., Ramasamy, V., Suresh, G., & Vimalathithan, R. M. (2024). Magnetic susceptibility as proxy for metal concentrations and their risk levels in Vaigai river sediment, Tamilnadu, India: Horizontal and vertical approach. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 33(5), 594–611.

Petrovský, E., Kapička, A., Jordanova, N., Knab, M., & Hoffmann, V. (2000). Low-field magnetic susceptibility: a proxy method of estimating increased pollution of different environmental systems. *Environmental Geology*, 39(3), 312–318.

Pihulevskyi, P., Tiapkin, O., Anisimova, L. (2018). Prediction of the azimuths of dangerous emissions of radioactive wastes stores. 12th International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (Kyiv, Ukraine). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201803183>

Pihulevskyi, P., Tiapkin, O., Anisimova, L., Kalinichenko, O., Panteleeva, N. (2021). Geophysical and tectonic modernization of geoeological monitoring system of territories near nuclear fuel cycle objects of Ukrainian

Southeast. Monitoring 2021 Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (Kyiv, Ukraine). Paper Mon-21-028. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2028>

Ribeiro, P. G., Salomão, G. N., Silva, S. H. G., Martins, G. C., Guilherme, L. R. G., da Silva, M. S., ... & Dall'Agnol, R. (2026). Regional patterns of soil magnetic susceptibility and color in the Itacaiunas River Watershed: Geological influences and practical applications. *Geoderma*, 467, 117722.

Tang, B., Yunginger, R., Yunus, M., Patuti, I. M., Gafur, N. A., Jahja, M., ... & Supu, I. (2024). Analysis of Magnetic Susceptibility in Vertical Sediments in the Fish Pond Area of Limboto Lake. *Jurnal Pijar Mipa*, 19(6), 1003–1009.

Tan, Z., Lu, S., Zhao, H., Kai, X., Jiaxian, P., Win, M. S., ... & Wang, Q. (2018). Magnetic, geochemical characterization and health risk assessment of road dust in Xuanwei and Fuyuan, China. *Environmental geochemistry and health*, 40(4), 1541–1555.

van Velzen, A. J., & Dekkers, M. J. (1999). Low-Temperature Oxidation of Magnetite in Loess-Paleosol Sequences: a Correction of Rock Magnetic Parameters. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 43(4), 357–375. <https://doi.org/10.1023/A:1023278901491>

Vyzhva, S. A., Prodayvoda, G. T., & Onanko, Y. A. (2011). Automated system of anisotropy parameters measurements data analysis of rocks elastic waves ultrasonic velocities. In *Geoinformatics 2011-10th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects* (pp. P090-P090).

Yang, T., Liu, Q., Zeng, Q., & Chan, L. (2012). Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping. *Environmental Earth Sciences*, 66(2), 409–420.

References

Brito, W. B. M., Campos, M. C. C., de Souza, F. G., Silva, L. S., Lima, H. N., de Lima, A. F. L., & da Cunha, J. M. (2024). Magnetic susceptibility and properties of Alisols under forest and crops in south Amazonas. *Journal of South American Earth Sciences*, 144, 105023.

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.

Deng, L., Fan, Y., Liu, K., Zhang, Y., Qian, X., Li, M., ... & Li, H. (2024). Exploring the primary magnetic parameters affecting chemical fractions of heavy metal (loid) s in lake sediment through an interpretable workflow. *Journal of Hazardous Materials*, 468, 133859.

Dubova, O. V. (2008). Ecological-agrochemical assessment and physical properties of soils in the floodplain zone of Khortysia Island. *Bulletin of ZNU. Biology*, 2, 53–59.

Dunlop, D. J., & Özdemir, Ö. (1997). *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511612794>

Fitriani, Fauzan, M. F. A., Rahmad, Sulistiawaty, Rampe, M. J., Rampe, H. L., & Tiwow, V. A. (2024, April). A review of the potential of magnetic susceptibility methods for monitoring the feasibility of soil fertility for horticultural crops cultivation in Indonesia. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2799, No. 1, p. 020142). AIP Publishing LLC.

Górka-Kostrubiec, B., Teisseyre-Jeleńska, M., & Dytlow, S. K. (2016). Magnetic properties as indicators of Chernozem soil development. *Catena*, 138, 91–102.

Hou, R., Liu, L., Dong, Z., Ma, F., Liu, X., Wang, Y., & Lai, J. (2025). Construction and verification of soil heavy metal establishment identification method based on dual-threshold of magnetic susceptibility. *Journal of Hazardous Materials*, 139741.

Hrouda, F., & Pokorný, J. (2011). Extremely high demands for measurement accuracy in precise determination of frequency-dependent magnetic susceptibility of rocks and soils. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 55(4), 667–681.

Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokl, M., Sukhorada, A., Bondar, K., & Matviishina, Z. H. (2008). Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicators of pedogenic processes. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 52(2), 255–270.

Jordanova, N., & Jordanova, D. (2016). Rock-magnetic and geochemical characteristics of relict Vertisols—signs of past climate and recent pedogenic development. *Geophysical Journal International*, 205(3), 1437–1454.

Marynych, A. M., Pashchenko, V. M., & Shyshchenko, P. G. (1985). *Nature of the Ukrainian SSR. Landscapes and physical-geographical zoning*. Naukova Dumka.

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., Horoshkova, L., Golub, A., & Horoshkov, S. (2025a). Magnetic studies of sediments and soils as a tool for detection of dangerous geodynamic exogenic processes on the example of the Khortysia reserve. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(108), 15–21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.108.02>

Menshov, O., Horoshkova, L., Horoshkov, S., & Dindaroglu, T. (2025b). Comprehensive model of heavy metals content and magnetic properties of soil and sediments of lakes of Khortysia reserve. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(109), 51–58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.109.07>

Menshov, A. I., & Sukhorada, A. V. (2012). Soil magnetism in Ukraine. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 15–22.

Menshov, A. I., Kruglov, A. V., & Sukhorada, A. V. (2012). Informational content of the soil magnetism indicators for solving agrogeophysics and soil science tasks. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 7–12.

- Oches, E. A., & Banerjee, S. K. (1996). Rock-magnetic proxies of climate change from loess-paleosol sediments of the Czech Republic. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 40(3), 287–300. <https://doi.org/10.1007/BF02300744>
- Orlyuk, M. I., Pashkevich, I. K. (2012). Deep sources of regional magnetic anomalies: tectonotypes and relationship with transcrustal faults. *Geophysical Journal*, 34, 4, 224–234.
- Ouallali, A., Bouhsane, N., Bouhlassa, S., Spalevic, V., Kader, S., Michael, R., & Sestras, P. (2025). Exploring soil pedogenesis through frequency-dependent magnetic susceptibility in varied lithological environments. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 10(2), 887–900.
- Paramasivam, K., Ramasamy, V., Suresh, G., & Vimalathithan, R. M. (2024). Magnetic susceptibility as proxy for metal concentrations and their risk levels in Vaigai river sediment, Tamilnadu, India: Horizontal and vertical approach. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 33(5), 594–611.
- Petrovsky, E., Kapička, A., Jordanova, N., Knab, M., & Hoffmann, V. (2000). Low-field magnetic susceptibility: a proxy method of estimating increased pollution of different environmental systems. *Environmental Geology*, 39(3), 312–318.
- Pihulevskyi, P., Tiapkin, O., Anisimova, L. (2018). Prediction of the azimuths of dangerous emissions of radioactive wastes stores. 12th International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (Kyiv, Ukraine). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201803183>
- Pihulevskyi, P., Tiapkin, O., Anisimova, L., Kalinichenko, O., Panteleeva, N. (2021). Geophysical and tectonic modernization of geoeological monitoring system of territories near nuclear fuel cycle objects of Ukrainian Southeast. Monitoring 2021 Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (Kyiv, Ukraine). Paper Mon-21-028. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2028>
- Ribeiro, P. G., Salomão, G. N., Silva, S. H. G., Martins, G. C., Guilherme, L. R. G., da Silva, M. S., ... & Dall'Agnol, R. (2026). Regional patterns of soil magnetic susceptibility and color in the Itacaiúnas River Watershed: Geological influences and practical applications. *Geoderma*, 467, 117722.
- Tang, B., Yunginger, R., Yunus, M., Patuti, I. M., Gafur, N. A., Jahja, M., ... & Supu, I. (2024). Analysis of Magnetic Susceptibility in Vertical Sediments in the Fish Pond Area of Limboto Lake. *Jurnal Pijar Mipa*, 19(6), 1003–1009.
- Tan, Z., Lu, S., Zhao, H., Kai, X., Jiaxian, P., Win, M. S., ... & Wang, Q. (2018). Magnetic, geochemical characterization and health risk assessment of road dust in Xuanwei and Fuyuan, China. *Environmental geochemistry and health*, 40(4), 1541–1555.
- van Velzen, A. J., & Dekkers, M. J. (1999). Low-Temperature Oxidation of Magnetite in Loess-Paleosol Sequences: a Correction of Rock Magnetic Parameters. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 43(4), 357–375. <https://doi.org/10.1023/A:1023278901491>
- Vyzhva, S. A., Prodayvoda, G. T., & Onanko, Y. A. (2011). Automated system of anisotropy parameters measurements data analysis of rocks elastic waves ultrasonic velocities. In *Geoinformatics 2011-10th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects* (pp. P090-P090).
- Yang, T., Liu, Q., Zeng, Q., & Chan, L. (2012). Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping. *Environmental Earth Sciences*, 66(2), 409–420.
- Yentyn, V. A., Gintov, O. B., Orlyuk, M. I., & Marchenko, A. V. (2023). Local magnetic anomalies of the Ukrainian Shield as indicators of the manifestation of different-age stages of focal-channel magmatism. *Geophysical Journal*, 45, 2, 44–62.

Отримано редакцією журналу / Received: 17.10.25
 Прорецензовано / Revised: 25.12.25
 Схвалено до друку / Accepted: 18.02.26
 Опубліковано / Published: 27.02.26

Oleksandr MENSCHOV¹, DSc (Geol.), Senior Researcher
 ORCID ID: 0000-0001-7280-8453
 e-mail: menshov@knu.ua

Lidiia HOROSHKOVA², DSc (Econom.), Prof.
 ORCID ID: 0000-0002-7142-4308
 e-mail: goroshkova69@gmail.com

Maksym SMYRNYI³, PhD Student
 ORCID ID: 0009-0000-1274-6596
 e-mail: maksim.smirnyy@gmail.com

Turgay DINDAROGLU⁴, DSc, Prof.
 ORCID ID: 0000-0003-2165-8138
 e-mail: turgay.dindaroglu@ktu.edu.tr

Stanislav HOROSHKOV¹, Student
 ORCID ID: 0009-0009-4310-9165
 e-mail: stas20055008@gmail.com

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²National University of Kyiv Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine

³M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

⁴Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Trabzon, Türkiye

MAGNETIC MINERALOGY OF SEDIMENTS AND SOIL OF KHORTYSYA RESERVE

Background. The territory of the Khortytia Nature Reserve is suitable for retrospective investigations of the accumulation of magnetic material, heavy metals, and clastic particles of various origins in soils and bottom sediments. Their analysis makes it possible to reconstruct the relative contributions of natural and anthropogenic factors that have shaped the condition and transformation of the reserve's ecosystems over several centuries. The aim of this paper is to study the magnetic mineralogy of soils and lake sediments in order to identify the key natural and technogenic factors that, both in a retrospective context and under present-day conditions, determine the state of the protected natural environment.

Methods. The magnetic research methodology included the measurement and calculation of mass-specific magnetic susceptibility (χ), frequency-dependent magnetic susceptibility (χ_{fd}) as an indicator of the relative content of superparamagnetic (SP) and multidomain (MD) fractions in the total magnetic susceptibility signal. Anhysteretic remanent magnetization (ARM) and saturation remanent magnetization (M_{rs}) were also measured, and anhysteretic magnetic susceptibility (χ_{ARM}) was calculated. Thermomagnetic analysis was performed.

Results. For all study sites, χ_{fd} values range between 1–2 %, indicating a pronounced dominance of coarse-grained multidomain material over superparamagnetic and single-domain particles of pedogenic origin. The generally accepted threshold for MD grain predominance is χ_{fd} values of approximately 3–4 %. The χ_{ARM}/χ ratio varies between 0.70 and 2.13. This indicates that samples collected from burned areas and forest sites still contain single-domain grains, although in smaller quantities compared to multidomain (MD) particles. In contrast, lake bottom sediments (with the exception of Lake Prohny) show a clear dominance of the multidomain fraction, as evidenced by χ_{ARM}/χ values < 1 .

Conclusions. The results of magnetic mineralogical investigations of soil and lake sediment samples from Khortytia demonstrate that the principal ferrimagnetic mineral is multidomain magnetite of lithogenic origin, with possible admixtures of technogenic multidomain magnetite. In addition, stable single-domain grains of pedogenic genesis represented by maghemite were identified. Hematite was also detected and may have either pedogenic or technogenic origin. The presence of iron sulfides in bottom sediments, primarily pyrrhotite, is likely associated with the input of this component through weathering processes of bedrock.

Keywords: sediments, soil, pollution, magnetic susceptibility.

Олександр Меньшов є членом редколегії видання, тому не брав участі у рецензуванні та прийнятті рішення щодо публікації цієї статті.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

Oleksandr Menshov is the a member of the journal editorial board, therefore did not take part in the peer-review process or in the decision to publish of this article.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.