УДК 550.382.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.05>О. Меньшов, д-р геол. наук, старш. наук. співроб.,
E-mail: menshov.o@ukr.net,Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

МАГНІТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ "ГЛИНКА"

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Розглядаються результати магнітних досліджень ґрунтів і підстилаючих порід дослідної території поблизу озера Глинка. Роботи проводилися як складова вивчення зсувної небезпеки урбанізованого середовища міської агломерації міста Києва з метою моніторингу природних і техногенних процесів, які впливають на об'єкти критичної інфраструктури. У польових умовах вимірювалася об'ємна магнітна сприйнятливість ґрунтів k (10^{-3} од. СІ) і проводився відбір зразків. У лабораторних умовах було виміряно та розраховано питому магнітну сприйнятливість χ (10^{-8} м³/кг), а також її частотну залежність χ_{FD} (%). Ґрунтовий покрив дослідної ділянки – сирій лісовий з ознаками урбанозему. Магнітні дослідження було проведено в межах двох умовних мікрополігонів на високому зсувонебезпечному березі озера Глинка, а також на протилежному низькому. У межах низького берега було закладено мікрокатену та вертикальний ґрунтовий розріз з метою вивчення генетичних горизонтів ґрунтів. Побудовані полігонні області за магнітними параметрами на основі космознімку завантаженого в систему ArcGIS. Класифікація полігонних областей проведена за параметрами магнітної сприйнятливості та її частотної залежності. Виділено полігон з найвищими значеннями магнітної сприйнятливості ($\chi=54 \times 10^{-8}$ м³/кг) та найнижчим значенням частотної залежності ($\chi_{FD} = 3,6$ %). Це техногенно змінена частина ґрунтів. Ідентифіковано два полігони із подібними значеннями магнітних параметрів: $\chi = 25\text{--}35 \times 10^{-8}$ м³/кг, $\chi_{FD} = 8\text{--}10$ %, які віднесено до умовно чистих ґрунтів. Зафіксовано три полігони (два на низькому березі і один на високому зсувонебезпечному) із середніми значеннями магнітних параметрів: $\chi = 35\text{--}40 \times 10^{-8}$ м³/кг, $\chi_{FD} = 6\text{--}7$ %. У межах вертикального розрізу спостережено перерозподіл генетичних горизонтів, що відбивається у розподілі магнітних параметрів і свідчить про ерозійні процеси. Магнітні властивості ґрунтів рекомендовано враховувати при комплексній інтерпретації з електричною томографією, георадарними вимірюваннями та ГС аналізом даних національної бази зсувів України. Результатом стане розробка оптимального алгоритму моніторингу територій розташування об'єктів критичної інфраструктури.

Ключові слова: критична інфраструктура, природні та техногенні процеси, ґрунти, магнетизм наколишнього середовища, магнітна сприйнятливість, ГС.

Вступ. Серед низки природних і техногенних процесів, що є небезпечними для сталого функціонування об'єктів критичної інфраструктури, слід урахувати зсуви та генетично пов'язані з ними процеси водної ерозії ґрунтового покриву. Останні часто характерні для урбанізованих територій міських агломерацій, у межах яких розташована велика кількість об'єктів критичної інфраструктури. Зрозуміло, що не є винятком столиця України місто Київ (див. постанову КМУ від 23 серпня 2016 р.).

Розглянемо детальніше стан проблеми вивчення небезпечних техногенних і природних процесів, які мають вплив на критичну інфраструктуру урбанізованого середовища. Відзначається (Galbraith and Iuliani, 2019), що оцінка надійності критичної інфраструктури важлива для прийняття правильних управлінських рішень і підвищення рівня надійності. Система критичної інфраструктури є основою сучасної економіки, а її стійкість має важливе значення для добробуту суспільства та сталого розвитку. Оцінка ризиків, що пов'язані із впливом на навколишнє середовище критичної інфраструктури в Європі, також є складним процесом (Karagiannis et al., 2019). Kattel and Aros-Vera (2019) розробили основу для ідентифікації та ранжування об'єктів критичної інфраструктури, щоб максимально повно використовувати систему підтримки об'єктів, від яких залежить нормальне функціонування. За останнє десятиліття захист міської інфраструктури став центром уваги в німецькій політиці безпеки (Monstadt and Schmidt, 2019). Існують численні зовнішні інфраструктурні загрози, наприклад природні катастрофи, терористичні та кібер-атаки. Водночас, важливим є врахування ендегенних ризиків, що виникають унаслідок взаємозалежності інфраструктури. У зв'язку із взаємозалежністю між енергетичною та водонебезпечною інфраструктурою, такі ситуації повинні бути проаналізовані з урахуванням потенційних проблем, спричинених зміною клімату та іншими ризиками (Thompson et al., 2019).

Останнім часом пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки як в Україні, так і у світі є пошук ефективних енергозберігаючих, низьковартісних технологій контролю довкілля (Falshtynskyi et al., 2018; Petlovanyi et al.,

2019). Відповідні завдання постають і у сфері ерозієзнавчих досліджень і вишукувань, пов'язаних з контролем зсувонебезпечних територій. Однією із перших, навіть візуально помітних, ознак формування зсувної небезпеки є присутність ерозійних процесів у першому від поверхні геологічному об'єкті – ґрунтовому покриві. Особливо це помітно в межах територій із високими кутами ухилу, а отже суттєвим впливом водної ерозії. При цьому доцільним є застосування магнітних параметрів ґрунтового покриву для розв'язання згаданих завдань. Розглядаючи ерозійні процеси ґрунтового покриву в контексті зсувної небезпеки територій впливу об'єктів критичної інфраструктури, розглянемо сучасний стан магнітних досліджень у цій сфері. Відзначається (Ding et al., 2020), що багато районів зазнають впливу як вітрової, так і водної ерозії, що призводить до серйозної деградації земель. Магнітна сприйнятливість є ефективним інструментом для кількісного визначення перерозподілу ґрунтів як ознаки зсувної небезпеки. Існуючі методи вимірювання ерозії, як правило, включають закладання ґрунтових розрізів, 3D-лазерне сканування, моніторингові ерозієзнавчі спостереження та заходи. На практиці такі процедури мають деякі обмеження. У роботі (Liu et al., 2019) представлена нова методика *in situ* спостережень, що називається методом виявлення магнітного шару (MLD). Результати дослідних робіт (Barbosa et al., 2019) мали на меті оцінку ефективності вимірювання магнітної сприйнятливості як індикатора факторів еродованості ґрунтів (для моделей USLE та WEPP) на прикладі окисолів з різним вмістом заліза на північному сході штату Сан-Паулу, Бразилія. Ерозія, перерозподіл ґрунтів і накопичення відіграють важливу геоморфологічну та екологічну роль. Ravi et al. (2019) перевірили придатність нової методології, що базується на фіксації металевих частинок, використовуючи просторово-часові вимірювання низькочастотної магнітної сприйнятливості.

Низка сучасних досліджень безпосередньо і нерозривно розглядає потенціал магнітних методів для одночасного виявлення ерозійних і зсувних процесів. Eso et al.

(2019) вивчали, як змінюються магнітні властивості та хімічний елементний склад у ґрунтовому профілі на ділянці зсуву. У межах територій з інтенсивними кліматичними змінами (Ferrer et al., 2019) для розробки превентивних заходів необхідна інформація про ерозію ґрунтів під час потужних опадів.

Дослідження потенціалу магнітних досліджень було розпочато нами на прикладі тестових полігонів ділянок "Ржищев" та "Гребені" як об'єктів зсувонебезпечної критичної інфраструктури (Меньшов, 2019). Частина результатів викладена у звіті (Вишва та ін., 2019). Ці дослідження більшою мірою були спрямовані на ідентифікацію зсувонебезпечних та ерозійних процесів ґрунтового покриву в межах впливу природних процесів на об'єкти критичної інфраструктури.

Метою статті є тестування магнітних методів на об'єктах критичної інфраструктури в межах техногенного впливу. А саме, в умовах урбанізованого середовища центральної частини столичної агломерації міста Києва.

Об'єкти і методи. Як дослідну територію для тестування магнітних методів на об'єктах критичної інфраструктури було обрано ділянку "Глинка". Це озеро в центральній частині міста Києва, навколо нього функціонують різні об'єкти міської інфраструктури, у тому числі розташована міська забудова, а також проводиться будівництво нових об'єктів безпосередньо на відстані декількох метрів від озера. Територія навкруги озера характеризується значущою зсувною небезпекою. На рис. 1, а, б наводиться загальна схема дослідної території та фотознімок під час досліджень.

а

б

Рис. 1. Загальна панорама дослідної ділянки озера Глинка:

а – схематичний план; б – фотознімок під час досліджень

Озеро Глинка розташоване в центрі сучасного Києва, на межі Печерського та Голосіївського районів. Глибина озера близько 10 м. Незважаючи на те, що недалеко від цього місця тече річка Либідь, озеро живиться лише підземними джерелами. Тому вода в озері прозора і прохолодна навіть у літню спеку. Озеро з'явилося на карті Києва на початку XIX ст. під час "будівельної лихоманки". Сама назва озера Глинка вказує на те, що в цьому місці проводився видобуток глини для потреб будівництва.

Дослідження велось на двох протилежних берегах озера. Ділянка зсувної небезпеки розташована на високому березі, у напрямку до метро Дружби Народів. Інший берег навпроти є низьким, розташований в бік до метро Либідська, його висота 1–2 м над рівнем води. Ґрунтовий покрив близький до сірого-лісового і переходить до оглееного на рівні води.

Крім того, у ряді випадків ґрунтовий покрив навкруги озера, особливо в межах високого зсувонебезпечного берега, набуває ознак міського ґрунту – урбанозему (Добровольський, 1997; WRB, 2014). У містах антропогенний вплив стає переважним над природними факторами ґрунтоутворення, формуючи в нових екологічних умовах специфічні типи ґрунтів. При цьому міські ґрунти виконують різні екологічні функції, головні з яких: їхня придатність для вирощування зелених насаджень, здатність адсорбувати у товщі забруднювальні речовини, а також утримувати їх від проникнення у ґрунтові води і від надходження у вигляді пилу в міське повітря. Основною відмінністю міських ґрунтів від зональних є наявність діагностичного горизонту "урбік".

Комплекс магнітних досліджень, який було застосовано нами в межах дослідної ділянки "Глинка", включав

польовий і лабораторний етапи вимірювання та аналізів. У польових умовах було проведено рекогносцирувальні роботи, на основі візуального обстеження визначено найбільш ефективні ділянки для проведення вимірювань і відбору зразків ґрунтів. При цьому бралися до уваги наявні зсувні процеси, техногенне забруднення ґрунтів, можливість відстеження магнітних параметрів уздовж ґрунтознавчих катен, процеси водної ерозії. У польових умовах вимірювалася об'ємна магнітна сприйнятливості κ (10^{-3} од. СІ) за допомогою польового капаметру ПИМВ-М. За системою конверт у цих же точках проводився відбір зразків ґрунтів. Було закладено ґрунтознавчий розріз для дослідження генетичних горизонтів ґрунтів поблизу рівня води. Зрозуміло, що ґрунтовий покрив не був природним за рахунок суттєвого впливу антропогенних чинників. Водночас, вдалося виділити верхні умовно гумусні горизонти та оглеєну підстилаючу суглинисту породу. У лабораторії вимірювалася та розраховувалася питома магнітна сприйнятливості χ (10^{-8} м³/кг) за допомогою капамістка KLY-2. Для розрахунку частотної залежності магнітної сприйнятливості χ_{FD} (%) було виміряно низькочастотну χ_{LF} та високочастотну χ_{HF} магнітні сприйнятливості за допомогою двочастотного магнітометра MS2B. Зауважимо, що під час запланованого наступного етапу досліджень передбачаються магніто-

мінералогічні вимірювання, які включатимуть термомагнітний аналіз, вимірювання параметрів петлі гістерезису, визначення ізотермічної та безгістерезисної (ідеальної) намагніченостей.

Для класифікації зсувонебезпечних та ерозійних процесів ділянки озера Глинка на основі даних про магнітну сприйнятливості та її частотну залежність було застосовано ГІС аналіз за допомогою програми ArcGis.

Результати та їхнє обговорення. Магнітні дослідження проводилися в межах двох протилежних берегів на прикладі умовних мікрополігонів спостережень. У межах полігону 1 на низькому березі (оконтурений синьою лінією на рис. 2) вимірювання магнітної сприйнятливості та відбір зразків ґрунтів для лабораторних досліджень проводився уздовж мікрокатени від умовного вододілу (найвища точка) у напрямку рівня поверхні води (найнижча точка). Загальний вигляд сірого лісового ґрунтового покриву з ознаками техногенного впливу (урбанозем) наведено на рис. 3, а.

Другий мікрополігон спостережень розташований у верхній частині високого берега, де спостерігається зсувний процес (оконтурений червоною лінією на рис. 2). Ділянка засмічена, ґрунтовий покрив має ознаки сірого лісового та урбанозему зі включеннями антропогенних решток. Загальний вигляд ґрунтового покриву наведено на рис. 3, б.

Рис. 2. Магнітна ГІС модель дослідної території "Глинка"

Рис. 3. Вимірювання магнітної сприйнятливості ґрунтів території "Глинка":

а – сірого лісового ґрунту з ознаками урбанозему умовного вододілу низького берега (синє оконтурення на рис. 2); б – сірого лісового ґрунту з ознаками урбанозему умовного вододілу високого зсувонебезпечного берега (червоне оконтурення на рис. 2)

Розглянемо детальніше дані, які наведено на рис. 2. За основу ми використали знімок, завантажений із системи ArcGIS. На ньому проведено класифікацію ґрунтів

території дослідження за магнітною сприйнятливості та її частотною залежністю. Для зазначених вище в тексті мікроділянок за допомогою полігонних об'єктів кольором

показано їх класифікацію. Червоним кольором позначено полігон з найвищими значеннями магнітної сприйнятливості ($\chi = 54 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) та найнижчим значенням частотної залежності ($\chi_{FD} = 3,6 \%$). Це техногенно змінена частина ґрунтів. Зеленим кольором виділено два полігони з подібними значеннями магнітних параметрів: $\chi = 25\text{--}35 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, $\chi_{FD} = 8\text{--}10 \%$. Віднесемо їх до умовно чистих ґрунтів. Жовтий колір характеризує три полігони (два на низькому березі й один на високому зсувонебезпечному) із середніми значеннями магнітних параметрів: $\chi = 35\text{--}40 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, $\chi_{FD} = 6\text{--}7 \%$.

Далі проаналізуємо вертикальні розподіли магнітних параметрів, що наведено на рис. 4. Нами було виділено чотири генетичні горизонти на рівні 0 см, 50 см, 100 см, 150 см. Характеризувати їх з точки зору опису генетичних горизонтів незабруднених сірих лісових ґрунтів у даному випадку не є доцільним за рахунок антропогенного впливу. На рівні поверхневого шару: $\chi = 35 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, $\chi_{FD} = 7,4 \%$. Такі показники можна віднести до фонових як для сірих лісових ґрунтів Київщини (Menshov, 2016). Спостерігається накопичення магнітного матеріалу на глибинах 50 та 150 см. При цьому частотна залежність зростає на фоні доволі низьких значень низькочастотної

магнітної сприйнятливості. Так, для горизонту 50 см зафіксовано значення $\chi = 30 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, $\chi_{FD} = 2,4 \%$, а для горизонту 150 см – $\chi = 22 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, $\chi_{FD} = 3,4 \%$. Дана ситуація пояснюється (особливо для горизонту 150 см) накопиченням техногенних магнітних часток у фонові слабкомагнітних підстилаючих суглинистих породах. Водночас, горизонт 100 см характеризується значеннями $\chi = 44 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, $\chi_{FD} = 6,1 \%$, що є ближчим до фонових магнетизму автоморфних зональних ґрунтів Київщини. Отже, спостерігаємо перерозподіл генетичних горизонтів, що відбивається у розподілі магнітних параметрів і свідчить про ерозійні процеси. Ще раз зауважимо, що в межах дослідної ділянки низького берегу "Глинка" важливим для інтерпретації є те, що MS суглинистих слабкомагнітних генетичних горизонтів поблизу рівня води є доволі низькими, частотна залежність магнітної сприйнятливості також є низькою ($\chi_{FD} = 2\text{--}3 \%$), що вказує на домінування техногенних магнітних мінералів. Вододільні ділянки високого берегу загалом характеризуються вищими (близькими до фонових) значеннями MS ґрунтів, а за χ_{FD} ми відносимо їх до незабруднених. Тому їхні значення MS рекомендуються до врахування при побудові комплексної моделі зсувонебезпечної ділянки "Глинка".

Рис. 4. Вертикальний розподіл магнітних параметрів у межах мікрополігону 1:

а – низькочастотна магнітна сприйнятливості; б – частотна залежність магнітної сприйнятливості

Проінтерпретуємо детальніше описані вище результати з частковим урахуванням магнітної мінералогії ґрунтів. Згідно (Lu et al., 2008) важливим індикатором техногенного походження магнетиків у ґрунтового покритті є розмір їхніх зерен. Так, при переважанні багатодомених (MD) або близьких до них за розміром псевдодомених (PSD) частинок над суперпарамагнітними ультрадисперсними (SP) та стабільними однодоменими (SD) зернами йдеться про присутність техногенного зараження ґрунтів. При цьому інформативним індикатором доменного стану є параметр частотної залежності магнітної сприйнятливості. Найчастіше, якщо $\chi_{FD} < 4 \%$, ґрунти є забрудненими, а превалюють в їхній структурі магнітом'які MD частинки (Wang et al., 2000). Зауважимо, що порогові значення можуть дещо відрізнятися за різними авторами (Evans and Heller, 2003). Більшість магнітних частинок техногенного походження є морфологічно відмінними за розміром зерен, а отже, характеризуються особливою поведінкою магнітних параметрів. Наприклад, летка зола перебуває в діапазоні 20–50 мкм, що відповідає стабільному однодоменому (SD) та мультидоменому стану (MD) із значенням $\chi_{FD} < 2 \%$ (Blundell et al., 2009). Слід зауважити, що причиною низьких значень χ_{FD} ґрунтів може бути й вплив парамагнітного або антиферомагнітного матеріалу, що

генетично пов'язано, наприклад, із процесами заболочування, які викликають відновлення і розчинення феромагнітних зерен. Крім того, при інтерпретації отриманих результатів слід урахувувати й забруднення органічними матеріалами, наприклад поліциклічними ароматичними вуглеводнями, особливо в точках спостережень поблизу автомобільних доріг (Wawer et al., 2015).

Таким чином, нами отримані рекогносцирувальні розподіли магнітних властивостей дослідної ділянки "Глинка". Вони будуть використані при комплексуванні з електричною томографією, георадарними вимірюваннями і даними національної бази зсувів (Іванік та ін., 2019) при подальших дослідженнях та інтерпретації ерозійних процесів, які нерозривно зв'язані із зсувною активністю.

Висновки. Результати магнітних досліджень ґрунтів ділянки "Глинка" як тестового об'єкта зсувної небезпеки в межах урбанізованої території міської агломерації Києва дозволили отримати таку інформацію. Виділено дві полігонні області: низький та протилежний високий береги озера. У межах високого берегу зафіксована зсувонебезпечна ділянка. Проведено вимірювання магнітної сприйнятливості ґрунтів та її частотної залежності по латералі вздовж мікрокатени та вертикалі в умовних генетичних горизонтах. Ґрунтовий покрив визначено як сірий лісовий з ознаками урбанозему. Побудовані

полігонні області за магнітними параметрами на основі космознімку завантаженого в системі ArcGIS. Класифікація полігонних областей проведена за параметрами магнітної сприйнятливості та її частотної залежності. Виділено полігон з найвищими значеннями магнітної сприйнятливості ($\chi = 54 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) та найнижчим значенням частотної залежності ($\chi_{FD} = 3,6 \%$). Це технологічно змінена частина ґрунтів. Ідентифіковано два полігони з подібними значеннями магнітних параметрів – $\chi = 25\text{--}35 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, $\chi_{FD} = 8\text{--}10 \%$, які віднесено до умовно чистих ґрунтів. Зафіксовано три полігони (два на низькому березі й один на високому зсувонебезпечному) із середніми значеннями магнітних параметрів – $\chi = 35\text{--}40 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, $\chi_{FD} = 6\text{--}7 \%$. У межах вертикального розрізу спостерігається перерозподіл генетичних горизонтів, що відбивається в розподілі магнітних параметрів і свідчить про ерозійні процеси. Таким чином, нами отримані рекогносцирувальні розподіли магнітних властивостей дослідної ділянки "Глинка". Отримані магнітні характеристики рекомендовано враховувати при комплексній інтерпретації разом з електричною томографією, георадарними вишукуваннями та ГІС аналізом даних національної бази зсувів України з метою розробки оптимального алгоритму моніторингу територій розташування об'єктів критичної інфраструктури.

Підтвердження. Робота виконана в межах держбюджетної теми № 18БП049-01 "Сучасні технології моніторингу природних і природно-техногенних процесів для оцінки впливу на об'єкти критичної інфраструктури".

Список використаних джерел

- Вижва, С., Іванік, О., Шабатура, О. та ін. (2019). Сучасні технології моніторингу природних та природно-техногенних процесів для оцінки впливу на об'єкти критичної інфраструктури. *Звіт з НДР*. Київ.
- Добровольский, Г.В. (Ред.). (1997). Почва, город, экология. Москва: Фонд "За экономическую грамотность".
- Іванік, О., Шевчук, В., Кравченко, Д., Гадяцька, К. (2019). Національна база даних зсувних процесів: принципи розробки, упровадження та застосування для оцінки зсувної небезпеки регіонального та локального рівня. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 86(3), 70-74.
- Меньшов, О. (2019). Інформативність магнітних методів при моніторингу природно-техногенних процесів, які пов'язані з об'єктами критичної інфраструктури. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 84(1), 27-33.
- 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.
- Blundell, A., Hannam, J.A., Dearing, J.A., Boyle, J.F. (2009). Detecting atmospheric pollution in surface soils using magnetic measurements: A reappraisal using an England and Wales database. *Environmental Pollution*, 157, 2878-2890.
- Ding, Z., Zhang, Z., Li, Y., Zhang, L., & Zhang, K. (2020). Characteristics of magnetic susceptibility on cropland and pastureland slopes in an area influenced by both wind and water erosion and implications for soil redistribution patterns. *Soil and Tillage Research*, 199, 104568.
- Eso, R., Bijaksana, S., Ngkoimani, L.O., Agustine, E., Tamuntuan, G., Tufaila, M., ... Usman, I. (2019). Patterns of variation magnetic properties and chemical elements of soil profile in landslide area of South East Sulawesi Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 311, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Evans, M.E., Heller, F. (2003). *Environmental magnetism. Principles and applications of enviromagnetics*, San Diego: Academic Press.
- Falshtynskiy, V., Saik, P., Lozynskiy, V., Dychkovskiy, R., Petlovanyi, M. (2018). Innovative aspects of underground coal gasification technology in mine conditions. *Mining of Mineral Deposits*, 12(2), 68-75. <https://doi.org/10.15407/mining12.02.068>
- Galbraith, J.W., Iuliani, L. (2019). Measures of robustness for networked critical infrastructure: An empirical comparison on four electrical grids. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 27, 100326.
- Gaspar Ferrer, L., Lizaga Villuendas, I., Blake, W. H., Latorre Garcés, B., Quijano Gaudes, L., Navas Izquierdo, A. (2019). Fingerprinting changes in source contribution for evaluating soil response during an exceptional rainfall in Spanish Pre-Pyrenees.
- Karagiannis, G.M., Cardarilli, M., Turksezer, Z.I., Spinoni, J., Mentaschi, L., Feyen, L., Krausmann, E. (2019). Climate change and critical infrastructure-storms.
- Kattel, P.J., Aros-Vera, F. (2019). Critical infrastructure location under supporting station dependencies considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 100726.

- Liu, L., Zhang, K., Fu, S., Liu, B., Huang, M., Zhang, Z., ... Yu, Y. (2019). Rapid magnetic susceptibility measurement for obtaining superficial soil layer thickness and its erosion monitoring implications. *Geoderma*, 351, 163-173.
- 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.
- Menshov, O.I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(4), 130-137.
- Monstadt, J., & Schmidt, M. (2019). Urban resilience in the making? The governance of critical infrastructures in German cities. *Urban Studies*, 0042098018808483.
- Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskiy, 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>.
- Ravi, S., Gonzales, H. B., Buynevich, 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.
- Thompson, J. R., Frezza, D., Necioglu, B., Cohen, M. L., Hoffman, K., Rosfjord, K. (2019). Interdependent Critical Infrastructure Model (ICIM): An agent-based model of power and water infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 24, 144-165.
- Wang, L., Liu, D., Lu, H. (2000). Magnetic susceptibility properties of polluted soils. *Chinese Science Bulletin*, 45, 1723-1726.
- Wawer, M., Magiera, T., Olja, G., Appel, E., Kusza, G., Hu, S., Basavaiah, N. (2015). Traffic-related pollutants in roadside soils of different countries in Europe and Asia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(7), 216.
- WRB, I. W. G. (2014). World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Report*, 106.

References

- 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.
- Blundell, A., Hannam, J.A., Dearing, J.A., Boyle, J.F. (2009). Detecting atmospheric pollution in surface soils using magnetic measurements: A reappraisal using an England and Wales database. *Environmental Pollution*, 157, 2878-2890.
- Ding, Z., Zhang, Z., Li, Y., Zhang, L., Zhang, K. (2020). Characteristics of magnetic susceptibility on cropland and pastureland slopes in an area influenced by both wind and water erosion and implications for soil redistribution patterns. *Soil and Tillage Research*, 199, 104568.
- Dobrovolskiy, G.V. (Eds.). (1997). Soil, city, ecology. Moscow: Fond "За экономическую грамотность". [in Russian]
- Eso, R., Bijaksana, S., Ngkoimani, L. O., Agustine, E., Tamuntuan, G., Tufaila, M., ... Usman, I. (2019). Patterns of variation magnetic properties and chemical elements of soil profile in landslide area of South East Sulawesi Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 311, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Evans, M.E., Heller, F. (2003). *Environmental magnetism. Principles and applications of enviromagnetics*, San Diego: Academic Press.
- Falshtynskiy, V., Saik, P., Lozynskiy, V., Dychkovskiy, R., Petlovanyi, M. (2018). Innovative aspects of underground coal gasification technology in mine conditions. *Mining of Mineral Deposits*, 12(2), 68-75. <https://doi.org/10.15407/mining12.02.068>
- Galbraith, J. W., & Iuliani, L. (2019). Measures of robustness for networked critical infrastructure: An empirical comparison on four electrical grids. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 27, 100326.
- Gaspar Ferrer, L., Lizaga Villuendas, I., Blake, W. H., Latorre Garcés, B., Quijano Gaudes, L., Navas Izquierdo, A. (2019). Fingerprinting changes in source contribution for evaluating soil response during an exceptional rainfall in Spanish Pre-Pyrenees.
- Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., Hadiatska, K. (2019). National database of landslide processes: principles of development, implementation and application for landslide hazard assessment on regional and local levels. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 86, (3), 70-74. [in Ukrainian]
- Karagiannis, G.M., Cardarilli, M., Turksezer, Z.I., Spinoni, J., Mentaschi, L., Feyen, L., Krausmann, E. (2019). Climate change and critical infrastructure-storms.
- Kattel, P.J., Aros-Vera, F. (2019). Critical infrastructure location under supporting station dependencies considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 100726.
- Liu, L., Zhang, K., Fu, S., Liu, B., Huang, M., Zhang, Z., ... Yu, Y. (2019). Rapid magnetic susceptibility measurement for obtaining superficial soil layer thickness and its erosion monitoring implications. *Geoderma*, 351, 163-173.
- 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.
- Menshov, O. I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(4), 130-137.
- Menshov, O. (2019). Application of magnetic methods for the monitoring of the natural and man-made processes associated with critical infrastructure objects. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 84, (1), 27-33. [in Ukrainian]
- Monstadt, J., Schmidt, M. (2019). Urban resilience in the making? The governance of critical infrastructures in German cities. *Urban Studies*, 0042098018808483.

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>.

Ravi, S., Gonzales, H.B., Buynovich, 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.

Thompson, J. R., Frezza, D., Necioglu, B., Cohen, M. L., Hoffman, K., Rosfjord, K. (2019). Interdependent Critical Infrastructure Model (ICIM): An agent-based model of power and water infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 24, 144-165.

Vyzhva, S., Ivanik, O., Shabatura, O. et al. (2019). Modern technologies for the monitoring of the natural and man-made processes for the impact assessment of the critical infrastructure objects. *Report*. Kyiv. [in Ukrainian]

Wang, L., Liu, D., Lu, H. (2000). Magnetic susceptibility properties of polluted soils. *Chinese Science Bulletin*, 45, 1723-1726.

Wawer, M., Magiera, T., Ojha, G., Appel, E., Kusza, G., Hu, S., Basavaiah, N. (2015). Traffic-related pollutants in roadside soils of different countries in Europe and Asia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(7), 216.

WRB, I. W. G. (2014). World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Report*, 106.

Надійшла до редколегії 25.09.19

O. Menshov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: menshov.o@ukr.net,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

MAGNETIC STUDIES OF NATURAL AND MAN-MADE PROCESSES OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OBJECTS AT THE AREA "GLINKA"

The results of magnetic soil and underlying rocks studies at the area near Lake Glinka are considered. This study was performed as a part of the landslide investigation of the urban environment of the Kyiv agglomeration. The aim was to detect the natural and man-made processes affecting critical infrastructure. Under field condition we measured the volume magnetic susceptibility of soil κ (10^{-3} SI), and sampling was performed. Under laboratory conditions we measured and then calculated the mass-specific magnetic susceptibility χ (10^{-8} m³/kg), and its frequency dependence χ_{FD} (%). The soil of the study area is gray forest (Greyic Phaeozems Albic in WRB) with signs of urban soil. Magnetic studies were conducted at two points on the high landslide bank of the Lake Glinka, as well as on the opposite low bank. On the low bank, we organised measurements and sampling along the micro-catena and at the vertical soil section to study the soil genetic horizons. Magnetic polygons were constructed based on cosmography downloaded by ArcGIS. The classification of the polygons is made by the attracting the magnetic susceptibility and its frequency dependence. We identified the polygon with the highest values of magnetic susceptibility ($\chi=54 \times 10^{-8}$ m³/kg) and the lowest value of frequency dependence ($\chi_{FD} = 3.6$ %). This is the soil with man-made pollution. Two polygons with similar values of magnetic parameters were identified: $\chi=25-35 \times 10^{-8}$ m³/kg, $\chi_{FD} = 8-10$ %. Such values are related to the natural soils. Three polygons (two on the low bank and one on the high landslide bank of Glinka) have average intensity values of magnetic parameters: $\chi=35-40 \times 10^{-8}$ m³/kg, $\chi_{FD} = 6-7$ %. The vertical distribution of soil magnetic parameters in genetic horizons was observed and the redistribution of magnetic material was detected. Such kind of the redistribution indicates the erosion processes. The magnetic properties of soils are important for the joint interpretation with electric tomography, GPR measurements, and GIS analysis of the national landslide database of Ukraine. The results are useful for the development of the algorithm for the environmental monitoring of the critical infrastructure at the urban area.

Keywords: critical infrastructure, natural and man-made processes, soil, environmental magnetism, magnetic susceptibility, GIS.

A. Меньшов, д-р геол. наук, ст. науч. сотр.,
E-mail: menshov.o@ukr.net,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА "ГЛИНКА"

Рассматриваются результаты магнитных исследований почвы и подстилающих пород тестовой территории вблизи озера Глинка. Работы проводились в рамках изучения оползневой опасности урбанизированной среды городской агломерации города Киева с целью мониторинга природных и техногенных процессов, влияющих на объекты критической инфраструктуры. В полевых условиях измерялась объемная магнитная восприимчивость почвы κ (10^{-3} ед. СИ) и проводился отбор образцов. В лабораторных условиях были измерены и рассчитаны удельная магнитная восприимчивость χ (10^{-8} м³/кг), а также ее частотная зависимость χ_{FD} (%). Почвенный покров данного участка серый лесной с признаками урбанозема. Магнитные исследования проводились в рамках двух условных микрополигонов на высоком оползнеопасном берегу озера Глинка, а также на противоположном низком. В пределах низкого берега были заложены микрокатена и вертикальный почвенный разрез с целью изучения генетических горизонтов почвы. Были построены полигональные области по магнитным параметрам на основе космоснимков загруженных из системы ArcGIS. Классификация полигональных областей проведена по параметрам магнитной восприимчивости и ее частотной зависимости. Выделен полигон с самыми высокими значениями магнитной восприимчивости ($\chi = 54 \times 10^{-8}$ м³/кг) и низким значением частотной зависимости ($\chi_{FD} = 3,6$ %). Это техногенно измененная часть почвенного покрова. Идентифицированы два полигона с близкими значениями магнитных параметров: $\chi = 25-35 \times 10^{-8}$ м³/кг, $\chi_{FD} = 8-10$ %, которые отнесены к условно чистым почвам. Зафиксированы три полигона (два на низком берегу и один на высоком оползнеопасном) со средними значениями магнитных параметров: $\chi = 35-40 \times 10^{-8}$ м³/кг, $\chi_{FD} = 6-7$ %. В пределах вертикального разреза обнаружено перераспределение генетических горизонтов, что, в свою очередь, отражается в величинах магнитных параметров и свидетельствует о присутствии эрозионных процессов. Магнитные свойства почвы рекомендуются учитывать при комплексной интерпретации вместе с электрической томографией, георадарными измерениями и ГИС анализом данных национальной базы оползней Украины. Результатом предложенных работ станет разработка оптимального алгоритма мониторинга территорий расположения объектов критической инфраструктуры.

Ключевые слова: критическая инфраструктура, природные и техногенные процессы, почвы, магнетизм окружающей среды, магнитная восприимчивость, GIS.