

УДК 550.382.3

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, Київ, 03022, Україна

ІНФОРМАТИВНІСТЬ МАГНІТНИХ МЕТОДІВ ПРИ МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ, ЯКІ ПОВ'ЯЗАНІ З ОБ'ЄКТАМИ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

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

Наведено результати науково-дослідних робіт із залученням геоінформаційних та геофізичних методів для розв'язання завдань із моніторингу небезпечних природних та техногенних процесів на території розташування об'єктів критичної інфраструктури. Було виокремлено ряд потенційно можливих напрямів використання магнітних методів з метою моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, а також пов'язаних із ними природних і техногенних процесів. Це об'єкти, які можуть впливати на зміни ґрунтового покриву, склад атмосферного повітря, а також приповерхневих геологічних горизонтів. Серед них підприємства енергетичної, хімічної промисловості, а також транспортна мережа і зсувонебезпечні ділянки. Як тестовий полігон обрано ділянку "Ржищів" та пункт "Гребені" – як об'єкти зсувонебезпечної критичної інфраструктури. За результатами обробки космоснімок та вимірювання латеральних та вертикальних розподілів магнітної сприйнятливості ґрунтів і приповерхневих геологічних горизонтів проведено класифікацію ризиків дослідженої території. Найбільш потенційно небезпечною визначено територію обриву на схилі Дніпра. Антропогенно навантажена природно-техногенна територія польової дороги та приватного господарства отримала середню категорію ризиків. Найбільш ризикові ділянками є елементи ландшафту, які знаходяться у межах земель із мінімальним ухилом, відсутністю антропогенного навантаження – сільськогосподарське угіддя та цілина. Магнітні методи виявилися експресними, ефективними та низькоартістичними при дослідженні природних та природно-техногенних процесів, пов'язаних із об'єктами критичної інфраструктури за умови комплексування із іншими геофізичними, ґрунтознавчими методиками та ГІС-технологіями.

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

Вступ. Об'єкти критичної інфраструктури на етапі сучасного розвитку людства відіграють визначальну роль у забезпеченні суспільства енергетичними та продовольчими ресурсами, дозволяють гарантувати безпеку життя, є основою принципів сталого розвитку та існування. Надійність, продуктивність, безперервна робота, безпека, вчасне технічне обслуговування є складовими захисту об'єктів критичної інфраструктури (Alcaraz and Zeadally, 2015). Набір превентивних заходів щодо охорони критичної інфраструктури країн світу вважається національним пріоритетом, а реалізуються вони на основі моніторингу природних та техногенних процесів навколишнього природного середовища (Macaulay, 2016).

На сьогодні відома значна кількість методологічних підходів для оцінки ризиків критичної інфраструктури (Giannopoulos et al., 2013). Використовується набір методів і технологій з метою ідентифікації та класифікації загроз, виявлення вразливості конкретних об'єктів, оцінки впливу небезпечних процесів. Звичайно, вибір методологічного підходу ґрунтується на обсязі запланованих робіт, інституційній належності замовників (національний або локальний рівень), а отже і наборі завдань, які мають бути розв'язаними.

Колективом ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка проводяться науково-дослідні роботи із залученням геоінформаційних та геофізичних методів до розв'язання конкретних завдань із моніторингу небезпечних природних та техногенних процесів на території розташування об'єктів критичної інфраструктури. Результатом цих робіт став звіт за перший етап досліджень у рамках НДР (Вижва та ін., 2018), де розглянуто низку відповідних об'єктів та методів для їх моніторингу. У даній статті пропонується більш детально проаналізувати інформативність геофізичної складової моніторингу об'єктів критичної інфраструктури. Зокрема, акцент робиться на потенціалі експресних та дешевих магнітних методів вивчення навколишнього природного середовища (Thompson, 2012).

При постановці завдання дослідження інформативності магнітних методів з метою моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, а також пов'язаних із ними природних і техногенних процесів, нами було виокремлено ряд потенційно можливих напрямів дослідження.

У першу чергу йдеться про об'єкти, які можуть впливати на зміни ґрунтового покриву, склад атмосферного повітря, а також приповерхневих геологічних горизонтів. Серед згаданих об'єктів є підприємства енергетичної, хімічної промисловості, а також транспортна мережа. Зазначена інфраструктура впливає на зміни навколишнього природного середовища. Законодавство України відносить до "критично важливих об'єктів інфраструктури" такі, діяльність яких пов'язана із технологічними процесами та які можуть порушувати функціонування екосистеми, чинити негативний вплив на стан навколишнього природного середовища, загрозувати загрозу життю і здоров'ю людей. Крім того, Європейський Союз визначає критичну інфраструктуру як систему, важливу для підтримки життєво важливих соціальних функцій. У даному контексті слід розглядати поняття екосистемного сервісу (ecosystem service) (Hauck et al., 2013). Екосистемний сервіс розподіляється на чотири класи (Helming et al., 2013): сировинний, регуляторний, допоміжний та гуманітарний. Нас цікавить третій клас – допоміжний сервіс, який досліджує природні та урболандшафти, ґрунтові покриви та ґрунтоутворювальні процеси, їх зміни, фотосинтез та кругообіг поживних речовин, процеси ерозії та деструкції, забруднення та техногенної деградації у межах території локації об'єктів критичної інфраструктури. Більш детально місце магнітних методів у екосистемному сервісі та можливі зв'язки з об'єктами критичної інфраструктури розглядається у публікації (Меньшов та Харіна, 2016).

Стан проблеми застосування магнітних методів при дослідженні об'єктів і процесів, що пов'язані з критичною інфраструктурою. В основу теоретичних передумов застосування магнітних методів для оцінки впливу природних і техногенних процесів на об'єкти критичної інфраструктури покладається існування тісних кореляційних зв'язків між даними процесами та магнітними властивостями ґрунтів, а також деяких підстильних порід верхньої частини геологічного розрізу. Ці взаємозв'язки підтверджуються побудовою відповідних моделей (Menshov and Sukhorada, 2017), розробкою фізичних та хімічних основ застосування магнетизму ґрунтового покриву (Gadirov et al., 2018; Menshov et al., 2018).

Розглянемо сучасний стан проблеми дослідження умовно незабруднених ґрунтів для випадку природних

процесів. До цієї частини віднесемо роботи, присвячені аналізу стану ґрунтів, їх ерозії та змиву, впливу пожеж, деградації, деструкції, водних режимів, ущільненню, визначенню фізико-хімічних параметрів. Усі зазначені природні процеси є складовими формування зсувів. При цьому важливим є розуміння фізичної сутності методу, алгоритму утворення взаємозв'язків, магнітної мінералогії ґрунтів (Menshov, 2018). У роботі (Водяницький, 2010) розглядаються мінерали заліза у ґрунтах як основні носії їх магнетизму. Відзначається провідна роль магнетиту, магеміту, гематиту, гетиту, піриту і піротину у системі утворення та діагенетичних змін у процесі розвитку ґрунтового профілю, а також ключова роль оксидів заліза та їх трансформації у процесі педогенезу (розвитку ґрунтового профілю) – як умова формування сучасної магнітної картини різних типів ґрунтів (Schwertmann, 1985). При цьому значущу роль при ідентифікації походження феромагнетиків у ґрунтах відіграє їх розмір та доменний стан. Вплив глинистих мінералів на формування магнетизму ґрунтів розглядається у роботі (Lourenço et al., 2012). Крім того, розглянуто взаємозв'язки між магнітними властивостями сучасних та викопних ґрунтів (у ряді випадків маркерів зсувної активності), вплив кліматичних та інших умов на їх формування (Maher, 1998). На основі магнітних параметрів проводиться ідентифікація та розділення різних типів ґрунтів, наприклад за показником процесу оглеювання.

У рамках даної статті розглядаються об'єкти критичної інфраструктури, розміщені в межах територій, домінуючим ґрунтовим покривом яких є різні типи чорноземів. Вивченню магнітності цих продуктивних земель присвячена робота (Jeleńska et al., 2008). Одним із важливих питань при моніторингу об'єктів критичної інфраструктури є вплив пожеж на продуктивність та загальний стан ґрунтів. Під впливом пожежі зазнає суттєвої зміни магнітна будова ґрунтів. Тобто метод успішно застосовується для виявлення таких ділянок після проходження певного часу та формування рослинного покриву (Blake et al, 2006).

У контексті визначення зсувної небезпеки важливу роль відіграють ерозійні процеси ґрунтів. Власне водну ерозію ґрунтового покриву, що спостерігається найбільш гостро у межах схилів, можна вважати частиною зсувних процесів верхньої частини геологічного розрізу. Під час ерозійних процесів відслонюються глибші ґрунтові генетичні горизонти, які можна ідентифікувати при вимірюванні набору магнітних параметрів, насамперед найбільш експресного та дешевого для визначення параметра магнітної сприйнятливості. Ерозійні процеси значно прискорюють деградацію продуктивних земель (Giovannini et al., 1988), що, у свою чергу, проявляється у зниженні ефективної потужності верхніх гумусових горизонтів, вологості ґрунтів, здатності акумулювати та утримувати необхідні поживні речовини навіть за умови їх штучного внесення, негативно позначається на фізико-хімічних властивостях верхнього шару ґрунтів. У той же час відзначається, що за допомогою зонування еродованих ділянок на основі вимірювання магнітної сприйнятливості можна робити прогностичні висновки про розвиток ерозії, що виникає у процесі обробітку земель (Jordanova et al., 2011). Для виявлення ерозії ґрунтів слід вивчати вертикальні розподіли магнітних параметрів у ґрунтах з метою ідентифікації процесів змиву на поверхні (Kapicka et al., 2013). Крім того, магнітний метод успішно застосовується для ефективного та експресного визначення ерозії ґрунтів без залучення фізико-хімічних вартісних досліджень. Також магнітні методи застосовуються для моніторингу перерозподілу ґрунтів.

Ведучи мову про техногенні процеси, пов'язані з об'єктами критичної інфраструктури, магнітні методи продемонстрували високу інформативність при ідентифікації забруднення техногенно навантажених територій, міських агломерацій, урбанізованого середовища та інших місць розташування об'єктів критичної інфраструктури. Будуються схеми забруднень міст промисловими підприємствами із врахуванням ландшафтних умов територій досліджень. Найсуттєвіших результатів у своїх дослідженнях у світовому масштабі досягли європейські, китайські та американські наукові групи. Так, у роботі (Baco et al., 2010) представлені зміни магнітних властивостей ґрунтів та відкладів на поверхні бетонних конструкцій на прикладі Малайзії. Важливим питанням забруднення атмосфери є побудова баз даних магнетизму ґрунтів урбанізованих територій, чому присвячене дослідження у межах Великої Британії (Blundell et al., 2009). Відповідна інформація має використовуватися для оцінки техногенного навантаження різного генезису. Наприклад, у роботі (Bučko et al., 2010) проводиться ідентифікація забруднення придорожніх ґрунтів за рахунок автомобільного трафіку. Зауважимо, що одним із важливих об'єктів критичної інфраструктури за визначенням є автомобільні шляхи та залізниця. Отримані результати порівнюються і узагальнюються, що може в майбутньому стати основою для побудови інтерактивної магнітної карти забруднення довкілля (Wawer et al., 2015). Зауважимо, що найнебезпечнішими пиловими частинками, що пов'язані з технологічними процесами промислових об'єктів критичної інфраструктури, є так званий матеріал розміром у 10, 2.5, 1 мкм (PM10, PM2.5, PM1), що з легкістю проникає в організм людини під час дихання, завдаючи йому величезної шкоди. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ) (доповідь за травень 2016 року): "Забруднення атмосферного повітря за рахунок концентрацій малих і дрібних твердих частинок є найбільшим екологічним ризиком для здоров'я людей і призводить до більше ніж 3 млн передчасних смертей щорічно у всьому світі". Зазначене забруднення продукується здебільшого технологічними процесами, які покладені в основу функціонування критичної інфраструктури урбанізованого середовища. При цьому пилові фракції акумулюються в атмосфері, осідають у ґрунтового покриві, на гладких скляних поверхнях, корі та листі дерев і т. ін. Концентрація експресно та ефективно визначається магнітними методами.

Приклади. У межах дослідної ділянки "Ржищів" магнітні дослідження проводилися з метою виявлення взаємозв'язків між зонами зсувної небезпеки та станом ґрунтового покриву, переміщенням його шарів, ознаками ерозії, ущільнення. Дослідна ділянка належить до Лісо-степової зони. Нами було використано загальний опис ґрунтового покриву даної території, який наведено у таблиці 1 згідно з (Гузій та Тяміна, 2002). Ґрунтовий покрив – чорнозем типовий, підстильна порода – карбонатний лес, пилуватий, середньосуглинковий.

Всі згадані особливості чорноземів типових є умовою їх високої родючості, що зумовлює необхідність застосування сучасних технологій їх моніторингу для збереження цих ґрунтів, а також вивчення впливів на них об'єктів критичної інфраструктури.

Розглянемо узагальнений ґрунтовий магнітний розріз (рис. 1), який був вивчений нами на схилах Дніпра у межах залісненої території поблизу с. Ржищів. Спостерігалися тіла відриву, які фактично були, з одного боку, зсувними об'єктами, а з іншого – позірним переміщенням ґрунтових генетичних горизонтів, які надавали змогу провести ґрунтознавче та магнітне їх опробування.

Таблиця 1

Узагальнений морфологічний опис ґрунтів, характерних для ділянки "Ржиців"

Показник	Опис
Прив'язка	Дослідний стаціонар Інституту землеробства, 20 м на північ від польової дороги, 450 м на захід від с. Халеп'є
Рельєф	Високий опуклий горб, верхівка опуклого схилу східної експозиції 3–4°, поблизу горизонтального захисного вала
Мікрорельєф	Рівна частина схилу на 10 м нижче вала (непорушений ґрунт)
Угіддя	Рілля
Рослинність	Однolitні трави (віка, овес у задов. стані)
Стан поверхні	Ущільнена
Рівень ПГВ	>20 м
Ґрунтоутворювальна порода	Карбонатний лес, пилуватий, середньосуглинковий
Назва ґрунту	Чорнозем типовий середньозмитий, пилувато-середньосуглинковий на лесі

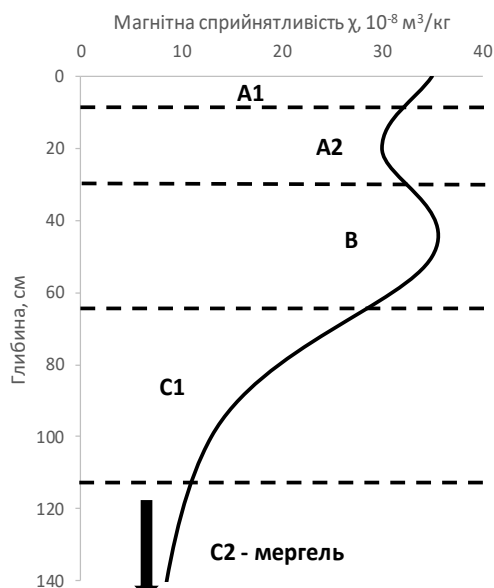


Рис. 1. Розподіл питомої магнітної сприйнятливості із глибиною у генетичних горизонтах ґрунтів та мергелів для зведеного розрізу ділянки "Ржиців"

У межах розрізу виділяються чотири основні ґрунтові генетичні горизонти A1, A2, B, C1. Крім того, у розріз включений глибше залягаючий горизонт мергелів C2. Горизонт A1 представлений гумусовим дернинним шаром чорнозему. Питома магнітна сприйнятливості досягає значень $\chi=35-40 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. На глибині 5–30 см зафіксований власне верхній гумусовий горизонт A1 із $\chi=30-32 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Перехідний горизонт B знаходиться на глибині 30–65 см і представлений лесами з ознаками вмісту гумусної речовини. У той же час його магнітність зів'язана із верхнім гумусовим горизонтом і становить $\chi=34-39 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Глибше за 70 см фіксується ґрунотвірний горизонт C1, що формується переважно лесовими породами, магнітна сприйнятливості суттєво спадає і сягає $\chi=10-15 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Також нами був опробований залягаючий набагато глибше, орієнтовно на позначці близько 300 см, горизонт мергелів. Його питома магнітна сприйнятливості складала $\chi=4-8 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Першочерговим завданням магнітних досліджень була ідентифікація ерозійних процесів ґрунтів, як одного із найбільш критичних факторів, що веде до втрати продуктивних земель. Одночасно перед нами постало завдання виявлення взаємозв'язків між ерозійними процесами ґрунтів та зсувною небезпекою. Для ідентифікації зсувних процесів важливою є інформація про змивання та перерозподіл ґрунтових генетичних горизонтів під впливом зсувів. Ідеться про відхилення від нормального залягання генетичних горизонтів. Зміна генетичних горизонтів відбувається у зміні величин маг-

нітної сприйнятливості. Наприклад, розглядаючи конкретну точку, навіть за умови її дернування, при вимірюванні магнітної сприйнятливості можна ідентифікувати той чи інший генетичний горизонт. Отже, якщо на поверхні фіксується замість горизонту A, горизонти B або C, тоді, скоріше за все, відбувся перерозподіл магнітного матеріалу. І навпаки, при фіксації у розрізі на певній глибині замість менш магнітних підстильних порід – похованих або сучасних ґрунтів, можна припускати, що відбувся перерозподіл магнітної речовини, а отже, мають місце ерозійні та зсувні процеси.

Для підтвердження зазначеного вище, важливим є дослідження латеральних змін магнітних параметрів, насамперед уздовж ландшафтних перетинів. З цією метою нами було проведено дослід поблизу с. Гребені, який включав дослідження питомої магнітної сприйнятливості для різних елементів ландшафту (рис. 2). Даний пункт спостереження також належить до ділянки "Ржиців". Перша секція перетину лежить у межах сільськогосподарського поля, засадженого кукурудзою. Ґрунтовий покрив – чорнозем типовий. Питома магнітна сприйнятливості $\chi=32-36 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Зауважимо, що відповідні значення були характерними і для верхнього гумусового горизонту, який розглядався на рис. 1. При закінченні насаджень кукурудзи на нерозораній ділянці сільськогосподарського угіддя магнітна сприйнятливості дещо зростає і становить $\chi=38-42 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Далі ландшафтний перетин переходить до секції травостою, яка протягом тривалого часу не зазнавала впливу агрономічного обробітку та оранки. Магнітна сприйнятливості продовжує демонструвати своє зростання, $\chi=40-43 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Максимальні значення магнітної сприйнятливості було зафіксовано у межах антропогенно зміненої секції, яка представлена польовою дорогою та домогосподарством, $\chi=50-55 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Далі розпочинається крутий схил, який веде до обриву біля р. Дніпро. Змінюється рослинність, з'являються ознаки заліснення, ґрунтовий покрив набуває характеристик сірого лісового. Із зростанням крутизни схилу відбувається поступове спадання величини магнітної сприйнятливості від $\chi=30-35 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ до $\chi=25-28 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ на заключних метрах перетину. Поблизу Дніпра поверхневі шари представлені лесовими утвореннями та привнесеними у процесі зсувної діяльності мергелями із значеннями $\chi=5-15 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Наведена картина розподілу питомої магнітної сприйнятливості вздовж ландшафтного перетину засвідчує відбиття у магнітній картині елементів агроландшафту та фіксує наближення до зсувонебезпечних ділянок поруч із Дніпром.

З метою розбраковки елементів ландшафту, їх типізації та категоризації за рівнем ризиків ми створили ГІС-проект, який включав обробку космоснімки (ESRI ArcGIS Imagery) дослідної території та класифікацію полігонних об'єктів із врахуванням ландшафтних особливостей, зсувної небезпеки та магнітної сприйнятливості. На

рис. 3,а наводиться власне згаданий космоснімок тестової території, на рис. 3,б – його обробка із більш контрастним виділенням елементів ландшафту, на рис. 3,в представлені полігонні області за запропонованою нами схемою класифікації за магнітною сприйнятливостю, на

рис. 3,г, для більш зручної візуалізації, представлено накладання ландшафту на класифіковані нами полігонні області (дослідження виконане за допомогою ліцензованого продукту ESRI ArcGIS 10.3).

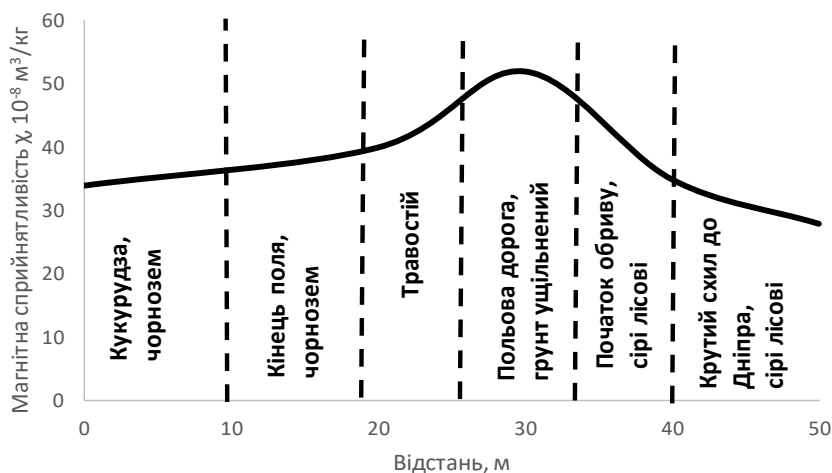


Рис. 2. Розподіл питомої магнітної сприйнятливості ґрунтів уздовж ландшафтного перетину ділянки "Ржищів", пункт "Гребені"

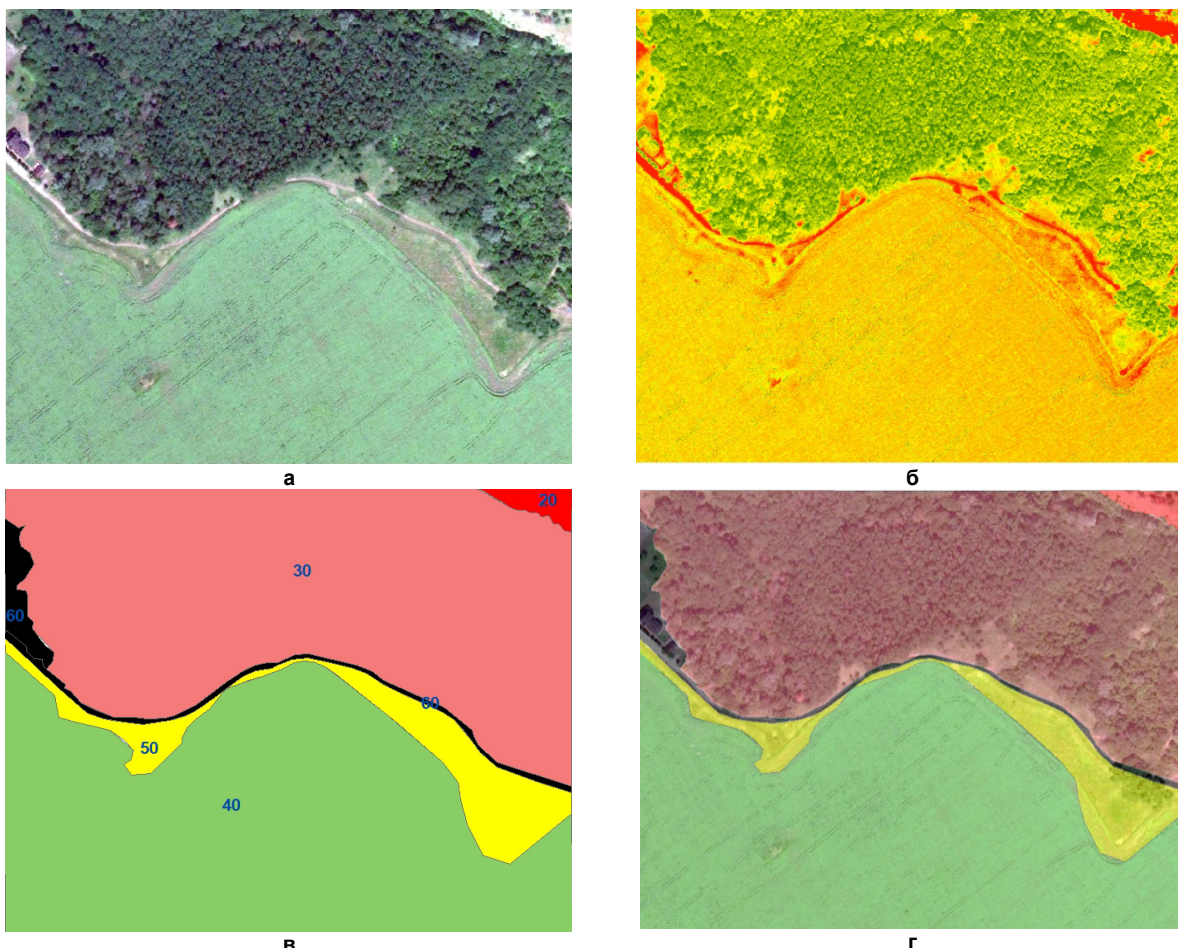


Рис. 3. Геопросторова модель дослідного пункту "Гребені":

а – космоснімок ландшафту за ESRI; б – фільтрація космоснімку ландшафту;

в – класифіковані полігони за величиною магнітної сприйнятливості ґрунтового покриття;

г – візуалізація накладання полігонних областей магнітної сприйнятливості ґрунтів на вихідний космоснімок ландшафту

Згідно з рис. 3 та описовими даними, які наводяться у табл. 2, у межах дослідної експериментальної ділянки нами виділення 6 елементів ландшафту. Кожному із полігонів надане осереднене характерне значення магнітної

сприйнятливості. Далі полігони класифіковано за трьома класам ризиків, пов'язаними з ознаками критичної інфраструктури або природними і техногенними процесами, які належать до неї. Категорія ризику 1 надана природним

елементам ландшафту, які знаходяться у межах земель із мінімальним ухилом та відсутністю антропогенного навантаження. Магнітна сприйнятливості є характерною для верхнього гумусового горизонту чорнозему. У межах ці-

линного полігону (50) значення дещо вище, ніж для полігону аграрного обробітку (40). Тобто зазначені елементи ландшафту характеризуються мінімальними ризиками розвитку небезпечних геологічних процесів.

Таблиця 2

**Геопросторова класифікація елементів ландшафту дослідного пункту "Гребені"
із врахуванням даних про магнітні властивості ґрунтового покриву**

№ п/п	Елемент ландшафту	Колір	Осереднена магнітна сприйнятливості, 10^{-8} м³/кг	Категорія ризику
1	Сільськогосподарське угіддя	Зелений	40	1
2	Травостій, цілина	Жовтий	50	1
3	Польова дорога з ознаками антропогенного впливу	Чорний	60	2
4	Приватна територія з ознаками антропогенного впливу	Чорний	60	2
5	Ліс, обрив на схилі Дніпра	Рожевий	30	3
6	Берегова лінія	Червоний	20	3

Категорія 2 ризику надана полігонним областям умовно техногенного впливу. Це польова дорога (60) та приватне господарство (60). Ґрунтовий покрив цих полігонів має ознаки забруднення, що відбивається у підвищених значеннях магнітної сприйнятливості порівняно з фоновим чорноземом. У той же час за цих умов це антропогенне забруднення не є критичним, тому зазначеним елементам ландшафту надана категорія ризику 2.

Найвища категорія ризику 3 надана ділянкам із найбільшою зсувною небезпекою. Залісна територія обриву на схилі Дніпра (30) та зона поруч із береговою лінією із найбільшою небезпекою обвалів (20). Верхній геологічний горизонт складений відповідно менш магнітними сіримі-лісовими ґрунтами та лесами з домішками мергелів.

Наведений приклад є ілюстративним і призначений для демонстрації можливостей магнітних методів при дослідженні об'єктів критичної інфраструктури та пов'язаних із ними природних і природно-техногенних процесів. Магнітні методи можуть розглядатися ефективними при комплексуванні з іншими геофізичними, геоінформаційними, геологічними та ґрунтознавчими вишукуваннями. Перевагою магнітних методів є простота їх реалізації, дешевизна, експресність та ефективність. При цьому вони дозволяють розглядати геологічне середовище як на макрорівні, у даному разі елементів агро- і урболандшафту, так і на мікрорівні – з виходом на мінералогічний та елементний склад досліджуваної речовини як ознаки природних і техногенних процесів у середовищі.

Висновки. На основі існуючих літературних даних та власних натурних спостережень із залученням геофізичних технологій та геопросторових даних визначено високу інформативність магнітних методів при дослідженні об'єктів критичної інфраструктури та їх впливу на навколишнє природне середовище. Як тестовий полігон використано дослідну ділянку "Ржищів" та пункт "Гребені" як об'єкти зсувонебезпечної критичної інфраструктури. За результатами обробки космознімків та вимірювання латеральних та вертикальних розподілів магнітної сприйнятливості ґрунтів і приповерхневих геологічних горизонтів проведено класифікацію ризиків території. Найбільш потенційно небезпечною визначено територію обриву на схилі Дніпра, яка характеризується середніми значеннями магнітної сприйнятливості ґрунтів ($\chi=32-36 \times 10^{-8}$ м³/кг), а також зону поруч із береговою лінією із найбільшою небезпекою обвалів і низькими значеннями магнітної сприйнятливості ($\chi=5-15 \times 10^{-8}$ м³/кг). Антропогенно навантажена (умовно природно-техногенна) територія польової дороги та приватного господарства отримала середню категорію ризиків, у той же час магнітна сприйнятливості для цих ділянок є найвищою ($\chi=50-60 \times 10^{-8}$ м³/кг.). Найбільш ризикостійкою ділянкою є еле-

менти ландшафту, які розташовані у межах земель із мінімальним ухилом та відсутністю антропогенного навантаження – сільськогосподарське угіддя та цілина. При цьому магнітна сприйнятливості чорнозему типового $\chi=38-42 \times 10^{-8}$ м³/кг.

Таким чином, магнітні методи є експресними, ефективними та низьковартісними при дослідженні природних та природно-техногенних процесів, пов'язаних з об'єктами критичної інфраструктури за умови комплексування з іншими геофізичними, ґрунтознавчими методами та ГІС-технологіями.

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

Список використаних джерел

- Вижва, С., Шабатура, О., Іванік, О. та ін. (2018). Сучасні технології моніторингу природних та природно-техногенних процесів для оцінки впливу на об'єкти критичної інфраструктури. *Звіт з НДР (промисловий)*. Київ.
- Водяницький, Ю.Н. (2010). Соединения железа и их роль в охране почв. Москва: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии.
- Гузій, М.І., Тяміна, К.М. (2002). Комплексні магнітометричні дослідження найважливіших родючих ґрунтів України для визначення раціонального комплексу агрогеофізичних робіт. *Звіт з НДР*. Балаклія.
- Меньшов, О. (2018). Роль магнетотактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 80(1), 40–45.
- Меньшов, О., Сухорада, А. (2017). Основи теорії і методології геофізики ґрунтового покриву: перші результати практичного застосування. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 79 (4), 35–39.
- Меньшов, О.І., Харіна, О.О. (2016). Економічна оцінка інформативності магнетизму ґрунтового покриву при екосистемному сервісі. *Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень*, 129–130.
- Alcaraz, C., Zeadally, S. (2015). Critical infrastructure protection: Requirements and challenges for the 21st century. *International journal of critical infrastructure protection*, 8, 53–66.
- Baco, S., Chik, A., Musta, B., Yassin, F.M., Halim, S.A. (2010). Study on magnetic properties, mineralogy and heavy metal content of soil and concretion. *Borneo Science*, 27, 25–34.
- Blake, W. H., Wallbrink, P. J., Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Humphreys, G. S. (2006). Magnetic enhancement in wildfire-affected soil and its potential for sediment-source ascription. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31 (2), 249–264.
- 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 (10), 2878–2890.
- Bucko, M. S., Magiera, T., Pesonen, L. J., Janus, B. (2010). Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes – Case study from Finland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 209 (1–4), 295–306.
- Gadirov, V. G., Eppelbaum, L. V., Kuderavets, R. S., Menshov, O. I., Gadirov, K. V. (2018). Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine. *Acta Geophysica*, 66 (6), 1463–1483.
- Giannopoulos, G., Dorneanu, B., Jonkeren, O. (2013). Risk Assessment Methodology for Critical Infrastructure Protection. JRC – Scientific and Policy Report.
- Giovannini, G., Lucchesi, S., Giachetti, M. (1988). Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146 (4), 255–261.
- Hauck, J., Görg, C., Varjopuro, R., Ratamäki, O., & Jax, K. (2013). Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and

decision making: some stakeholder perspectives. *Environmental Science & Policy*, 25, 13-21.

Helming, K., Diehl, K., Geneletti, D., Wiggering, H. (2013). Mainstreaming ecosystem services in European policy impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 40, 82-87.

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

Jordanova, D., Jordanova, N., Atanasova, A., Tsacheva, T., Petrov, P. (2011). Soil tillage erosion estimated by using magnetism of soils—a case study from Bulgaria. *Environmental monitoring and assessment*, 183 (1-4), 381-394.

Kapicka, A., Dlouha, S., Grison, H., Jaksik, O., Petrovsky, E., Kodesova, R. (2013). Magnetic properties of soils - A basis for erosion study at agricultural land in Southern Moravia. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*, 577.

Lourenço, A.M., Rocha, F., Gomes, C.R. (2012). Relationships between magnetic parameters, chemical composition and clay minerals of topsoils near Coimbra, central Portugal. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12 (8), 2545-2555.

Macaulay, T. (2016). Critical infrastructure: understanding its component parts, vulnerabilities, operating risks, and interdependencies. CRC Press.

Maher, B.A. (1998). Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeog. Palaeoclimat. Palaeoecol*, 137, 25-54.

Menshov, O. (2018). Theory and methodology of soil magnetism in geology, ecology and soil science. *XII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 13-16 November 2018, Kyiv, Ukraine.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62 (4), 681-696.

Schwertmann, U. (1985). The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Adv. Soil Sci.*, 1, 171-200.

Thompson, R. (2012). Environmental magnetism. Springer Science & Business Media.

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.

References

Alcaraz, C., Zeadally, S. (2015). Critical infrastructure protection: Requirements and challenges for the 21st century. *International journal of critical infrastructure protection*, 8, 53-66.

Baco, S., Chik, A., Musta, B., Yassin, F.M., Halim, S.A. (2010). Study on magnetic properties, mineralogy and heavy metal content of soil and concretion. *Borneo Science*, 27, 25-34.

Blake, W. H., Wallbrink, P. J., Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Humphreys, G. S. (2006). Magnetic enhancement in wildfire-affected soil and its potential for sediment-source ascription. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31 (2), 249-264.

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 (10), 2878-2890.

Bučko, M. S., Magiera, T., Pesonen, L. J., Janus, B. (2010). Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes – Case study from Finland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 209 (1-4), 295-306.

Gadirov, V. G., Eppelbaum, L. V., Kuderavets, R. S., Menshov, O. I., Gadirov, K. V. (2018). Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine. *Acta Geophysica*, 66 (6), 1463-1483.

Giannopoulos, G., Dorneanu, B., Jonkeren, O. (2013). Risk Assessment Methodology for Critical Infrastructure Protection. JRC – Scientific and Policy Report.

Giovannini, G., Lucchesi, S., Giachetti, M. (1988). Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146 (4), 255-261.

Guziy, M.I., Tyzmina, K.M. (2002). Complex magnetic studies of the most important Ukraine fertile soils for the determining of the optimal work agrogeophysics package. *Report*. Balaklea. [in Ukrainian]

Hauck, J., Görg, C., Varjopuro, R., Ratamäki, O., & Jax, K. (2013). Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: some stakeholder perspectives. *Environmental Science & Policy*, 25, 13-21.

Helming, K., Diehl, K., Geneletti, D., Wiggering, H. (2013). Mainstreaming ecosystem services in European policy impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 40, 82-87.

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

Jordanova, D., Jordanova, N., Atanasova, A., Tsacheva, T., Petrov, P. (2011). Soil tillage erosion estimated by using magnetism of soils – a case study from Bulgaria. *Environmental monitoring and assessment*, 183 (1-4), 381-394.

Kapicka, A., Dlouha, S., Grison, H., Jaksik, O., Petrovsky, E., Kodesova, R. (2013). Magnetic properties of soils - A basis for erosion study at agricultural land in Southern Moravia. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*, 577.

Lourenço, A.M., Rocha, F., Gomes, C.R. (2012). Relationships between magnetic parameters, chemical composition and clay minerals of topsoils near Coimbra, central Portugal. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12 (8), 2545-2555.

Macaulay, T. (2016). Critical infrastructure: understanding its component parts, vulnerabilities, operating risks, and interdependencies. CRC Press.

Maher, B.A. (1998). Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeog. Palaeoclimat. Palaeoecol*, 137, 25-54.

Menshov, O. (2018). The role of magnetotactic bacteria in formation of natural magnetism of Ukraine soils. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 80 (1), 40-45. [in Ukrainian]

Menshov, O. (2018). Theory and methodology of soil magnetism in geology, ecology and soil science. *XII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 13-16 November 2018, Kyiv, Ukraine.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62 (4), 681-696.

Menshov, O., Sukhorada, A. (2017). Basic theory and methodology of soil geophysics: the first results of application. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 79 (4), 35-39. [in Ukrainian]

Menshov, O.I., Kharina, O.O. (2016). Economical assessment of the soil magnetism potential for the ecosystem service. *United by the science: perspectives of the interdisciplinary studies*, 129-130. [in Ukrainian]

Schwertmann, U. (1985). The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Adv. Soil Sci.*, 1, 171-200.

Thompson, R. (2012). Environmental magnetism. Springer Science & Business Media.

Vodyanitskiy, Yu. N. (2010). Heavy metals compounds and their place for the soil defend. Moscow: GNU Soil Institute of Dokuchaev Rossel'hozokademiya. [in Russian]

Vyzhva, S., Shabaturova, O., Ivanik, O. et al. (2018). 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]

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.

Надійшла до редколегії 21.11.18

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

APPLICATION OF MAGNETIC METHODS FOR MONITORING NATURAL AND MAN-MADE PROCESSES ASSOCIATED WITH CRITICAL INFRASTRUCTURE OBJECTS

Presented are the results of research studies with the attracting of the GIS and geophysical methods for solving the problems of monitoring of dangerous natural and man-made processes at the areas of the critical infrastructure objects location. The possible ways of the magnetic methods applied for the critical infrastructure objects monitoring were considered. The natural and man-made processes associated with the critical infrastructure were defined. Among them are the objects that can influence the changes in soils, atmospheric air composition, as well as near-surface geological horizons. The most important objects are the energy enterprises, chemical industry, transport network, and landslide areas. The "Rzhyshev" section and the "Grebeni" site were used as testing objects of the landslide critical infrastructure. According to the results of processing of cosmoimages and measurements of lateral and vertical distributions of magnetic susceptibility of soils and near-surface geological horizons, the classification of territory risks has been carried out. The territory of the cliff on the slopes of the Dnieper is the most potentially dangerous. Anthropogenically impacted natural and man-made territory of the field road and private economy has received an average category of risks. The most risky part of the site are the elements of the landscape, which are located on the land with a minimum slope, the absence of anthropogenic loading, agricultural land and virgin land. Magnetic methods proved to be rapid, effective and low-cost technology for the study of natural and man-made processes associated with objects of critical infrastructure. The integration with other geophysical, soil science methods, and GIS technologies are required.

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

А. 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, Киев, 03022, Украина

ИНФОРМАТИВНОСТЬ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С ОБЪЕКТАМИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Приводятся результаты научно-исследовательских работ с привлечением геоинформационных и геофизических методов для решения задач по мониторингу опасных природных и техногенных процессов на территории расположения объектов критической инфраструктуры. Был выделен ряд возможных направлений использования магнитных методов с целью мониторинга объектов критической инфраструктуры, а также связанных с ними природных и техногенных процессов. Это объекты, которые могут влиять на изменения почвенного покрова, состав атмосферного воздуха, а также приповерхностных геологических горизонтов. Среди них предприятия энергетической, химической промышленности, а также транспортная сеть и оползнеопасные участки. В качестве тестового полигона выбраны участок "Ржищев" и пункт "Гребени" – как объекты оползнеопасной критической инфраструктуры. По результатам обработки космоснимков и измерения латеральных и вертикальных распределений магнитной восприимчивости почв и приповерхностных геологических горизонтов проведена классификация рисков территории. Наиболее потенциально опасной признана территория обрыва на склоне Днепра. Антропогенно нагруженная природно-техногенная территория полевой дороги и частного хозяйства получили среднюю категорию рисков. Наиболее устойчивыми участками являются элементы ландшафта, которые находятся в пределах земель с минимальным уклоном и отсутствием антропогенной нагрузки – сельскохозяйственное поле и целина. Магнитные методы оказались экспрессными, эффективными и дешевыми при исследовании природных и природно-техногенных процессов, связанных с объектами критической инфраструктуры, при условии комплексирования с другими геофизическими, почвоведческими методиками и ГИС-технологиями.

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