

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

МЕНЬШОВ ОЛЕКСАНДР ІГОРЕВИЧ

УДК 550.382.3

**ТЕОРІЯ І МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ МАГНЕТИЗМУ
ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ В ГЕОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЇ,
ГРУНТОЗНАВСТВІ**

04.00.22 – геофізика

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора геологічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка

Науковий консультант: доктор геологічних наук, професор
Вижва Сергій Андрійович,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
завідувач кафедри геофізики.

Офіційні опоненти: доктор геологічних наук, професор
Орлюк Михайло Іванович,
Інститут геофізики імені С. І. Субботіна
НАН України,
завідувач відділу геомагнетизму;

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник
Тяпкін Олег Костянтинович,
ДВНЗ «Національний гірничий університет»,
професор кафедри геофізичних методів розвідки;

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник
Багрій Ігор Дмитрович,
Інститут геологічних наук НАН України,
заступник директора.

Захист відбудеться 27 грудня 2017 р. о 10⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.42 Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 03022, Київ, вул. Васильківська, 90, ауд. 104.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці імені М. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01601, Київ, вул. Володимирська, 58, зал №12.

Автореферат розісланий _____ листопада 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.001.42
кандидат фізико-математичних наук



І. В. Тішаєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Актуальність теми дисертаційної роботи визначається пріоритетними тематичними напрямками наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року (Постанова Кабінету Міністрів України № 942 від 7 вересня 2011 р.). Узгоджується із необхідністю створення нових технологій моделювання та прогнозування стану навколишнього природного середовища та змін клімату, очищення та запобігання забрудненню атмосферного повітря, раціонального використання ґрунтів і збереження їх родючості, оцінки корисних копалин, їх раціонального, екологічно безпечного видобування.

Магнітні властивості є одними з найбільш універсальних у природі та характерні практично для усіх об'єктів від мікро- до макрорівнів. Природа магнетизму залежить від багатьох чинників, головними з яких є: склад і вміст магнітних мінералів, їхні розміри та доменний стан, умови формування і шляхи переносу.

Ґрунтовий покрив є однією із найбільш динамічних частин геологічного середовища, склад якого формується через взаємодію гірських порід із атмосферою, гідросферою, біосферою шляхом різноманітних екзогенних та біохімічних процесів. Ґрунти несуть інформацію як про природну компоненту, так і про антропогенну й техногенну складові, мають здатність вибірково змінювати свої фізико-хімічні властивості у залежності від зовнішніх умов, що робить їх унікальним джерелом знань про стан і властивості навколишнього середовища.

Крім того, саме зараз в Україні остаточно сформувалася єдина наука про Землю як освітня та наукова спеціальність, що об'єднує основну частину геологічних та географічних напрямків. Цей факт став логічним втіленням міжнародного досвіду, коли провідні закордонні геофізичні центри до комплексу магнітних досліджень речовини включають гірські породи, палео- та археологічні об'єкти, ґрунти, осади, пилові фракції та інші матеріали. Водночас, упродовж другої половини ХХ ст. – першої половини ХХІ ст. у геофізичній науці з'явилася значна кількість принципово нових міждисциплінарних підходів до вивчення магнетизму верхньої частини твердої землі. Серед них особливе місце належить дослідженням магнетизму ґрунтового покриву (Evans and Heller, 2003). Накопичено значний матеріал щодо магнітної сприйнятливості, мінералогії та інших магнітних характеристик ґрунтів різних регіонів та їх реакції на зміни геологічних, екологічних, ґрунтознавчих та інших чинників. З огляду на це можна розглядати магнетизм ґрунтів як принципово новий інструмент для вирішення актуальних завдань у галузі геології, природокористування, аграрного комплексу, який відповідає сучасним пріоритетам розвитку науки та виробництва в Україні та світі. Ціла низка публікацій та наші власні матеріали свідчать про високу ефективність застосування системного аналізу магнетизму ґрунтів при їх картуванні (Fialova et al., 2006), пошуках корисних копалин (Menshov et al., 2015), дослідженні довкілля (Hanesch et al., 2007), контролі забруднення урбанізованих територій та повітряних басейнів міст

(Spassov et al., 2004), а також в аграрному секторі при розробці оптимальних схем сталого землеробства (Lourenço et al., 2016) та як інструменту сучасного ґрунтознавця (Круглов та ін., 2014). Разом з тим на сьогодні у світовій та вітчизняній літературі чітко не визначено доцільність та найбільш ефективні шляхи застосування зазначених підходів. Хоча наявність суттєвої кількості публікацій і наш власний досвід надають підстави вважати, що інформативність магнетизму ґрунтів є достатньо високою. Таким чином, розробка теорії і методології застосування магнетизму ґрунтового покриву в геології, екології та ґрунтознавстві є головною метою дисертаційного дослідження, що водночас визначає його актуальність.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота тісно пов'язана з науковими дослідженнями, що виконувалися в ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка у рамках:

1. Д/б теми 06БФ049-02 «Розробка теорії та методології комплексної інтерпретації геофізичних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних даних моніторингу геологічного середовища» (державний реєстраційний № 0106U005855).

2. Д/б теми 11БФ049-02 «Розробка теорії та методології побудови динамічних геолого-геофізичних моделей геологічних об'єктів і процесів» (державний реєстраційний № 0111U006457).

3. Д/б теми 16БП049-02 «Наукові засади передумов нафтогазоносності сланцевих товщ і складнопобудованих порід-колекторів» (державний реєстраційний № 0116U004829).

4. Гранту МОН України згідно з указом Президента України «Про Цільовий план Україна-НАТО на 2008 рік у рамках Плану дій Україна-НАТО», г/д тема 08ДП049-03 «Проведення комплексних екопедофізичних досліджень на колишньому військовому аеродромі у м. Прилуки (Чернігівська обл.) з метою визначення ефективної технології очищення ґрунтів, забруднених внаслідок військово-господарської діяльності» (державний реєстраційний № 0108U007504).

5. Двосторонньої співпраці у рамках угод з Карпатським відділенням Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Національним науковим центром «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Центром Навколишнього Середовища Університету Миколаса Ромеріса (Литва), Геофізичним Центром Королівського Метеорологічного Інституту (Бельгія), Центром Наук про Землю (лабораторія CNRS) Університету Монпельє (Франція).

Мета – розробити теорію і методологію дослідження магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні геологічних, природоохоронних та аграрних задач. Для реалізації цього були поставлені такі завдання.

Завдання:

1. Встановити сучасний стан дослідження магнетизму ґрунтового покриву та досвід використання окремих параметрів при вирішенні завдань геології, екології, ґрунтознавства в Україні та за її межами.

2. Дослідити інформативність магнетизму ґрунтів при розв'язанні геологічних завдань, зокрема при сучасному геологічному картуванні та пошуках вуглеводнів.

3. Обґрунтувати і розробити раціональний підхід щодо застосування магнетизму ґрунтів при розв'язанні ґрунтознавчих та аграрних завдань, зокрема при картуванні ґрунтових покривів і ландшафтів, визначенні продуктивності земель, родючості ґрунтів, контролі ерозійних процесів, вивченні вмісту гумусу та інших агрономічних показників.

4. Дослідити інформативність магнетизму ґрунтів та розробити методологію застосування магнітних параметрів при розв'язанні завдань охорони довкілля, зокрема забруднення атмосфери і педосфери важкими металами та іншими небезпечними для життя людини хімічними сполуками, при картуванні урболандшафтів та міських агломерацій, екологічному моніторингу антропогенного та техногенного впливів на довкілля.

Об'єктом дослідження є ґрунтовий покрив як верхня частина геологічного розрізу, ключовий елемент агро- і урболандшафтів, у тому числі змінених під впливом природних, антропогенних та техногенних чинників.

Предметом дослідження є магнітні властивості ґрунтів та їхня інформативність в геології, екології, ґрунтознавстві.

Методи дослідження. Використано системний аналіз магнетизму ґрунтів, верифікація та осмислення матеріалів магнітних досліджень ґрунтів, методологія динамічної геофізики, методологія пізнання, практичної цілісності та оцінки, моделювання педосфери. Для з'ясування інформативності магнетизму ґрунтів на конкретних прикладах нами розроблено методологічний комплекс використання методу в геології, екології, ґрунтознавстві, методики та технології польових та лабораторних робіт. Використано найсучаснішу апаратурну магнітометричну базу: кафедри геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка; Геофізичного центру Королівського метеорологічного інституту, Бельгія, Дурб; Центру Наук про Землю (лабораторія CNRS) Університету Монпельє, Франція. До апаратурного комплексу входили криогенний магнітометр MPMS 3 (Quantum Design, США) із температурним діапазоном 1,8...400 К, магнітним полем ± 7 Тл, частотним діапазоном 0,1 Гц...1 кГц. Обертальний магнітометр J-coercitivity Meter (Казань, Росія), що створює магнітне поле 0-500 мТл. Сквід-магнітометр 2G Enterprises. Капамістки KLY-2 та KLY-4S (AGICO, Чехія) з можливостями автоматизованого вимірювання магнітної сприйнятливості у температурному діапазоні -196...+700 °С у різних змінних електромагнітних полях. Двочастотний вимірювач магнітної сприйнятливості MS2B (Bartington, Велика Британія), польові капаметри типу КТ-5 (Чехія), а також ряд інших високочутливих магнітометричних інструментів. Найбільш вживаними магнітними параметрами стали об'ємна та питома магнітна сприйнятливості. З метою з'ясування магнітомінералогічного складу, доменної структури, розмірів магнітних частинок ґрунтів та пилових фракцій залучено параметри петлі гістерезису, ізотермічна залишкова намагніченість, безгістерезисна

(ідеальна) намагніченість, термомагнітний аналіз у діапазоні від 1,8 К (-271,35 °С) до 973,15 К (700 °С), інші види намагніченостей, мінералогічні мікроскопічні дослідження. Побудовано карти, графіки розподілів магнітних величин та їхні кореляційні залежності з геохімічними, агрономічними і вуглеводневими параметрами.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше на прикладі родовищ Передкарпатського прогину, ДДЗ України, полігону Старуня (Івано-Франківська обл.) зафіксовано високу дисперсію магнітних параметрів ґрунтів і підстилаючих порід верхньої частини геологічного розрізу, критеріями інформативності визначено підвищення магнітної сприйнятливості та намагніченості в зоні впливу вуглеводнів у 2-15 разів порівняно із фоновими значеннями. Встановлені закономірності *пояснюються формуванням аутогенних (вторинних) магнітних мінералів під впливом вуглеводневої речовини у процесі її міграції та розсіювання, зокрема доведено утворення діагенетичного піротину та магнетиту у псевдооднодоменній фазі розміром від десятків нм до перших мкм.* Магнітні аномалії ґрунтів збігаються із аномаліями магнітного поля, геохімічними аномаліями концентрації етану та алканів C₂-C₅ у ґрунтовому покриві.

Вперше для чорноземів звичайних, типових, південних та сірих лісових ґрунтів Степу та Лісостепу України визначено, що понижені відносно фонових значення магнітної сприйнятливості збігаються із зонами водної ерозії ґрунтів, а зростання магнітної сприйнятливості відповідає підвищенню вмісту гумусу, що дає змогу прогнозувати родючість ґрунтів на основі експресної магнітометричної технології. *Отримано значущі за Пірсоном високі кореляційні зв'язки між величинами магнітної сприйнятливості та індексом ерозійної небезпеки, показниками продуктивності, вмістом гумусу, марганцю, обмінного калію та кислотно-лужним балансом ґрунтів.* Зміни магнітної сприйнятливості пов'язані із вмістом і формуванням у ґрунтах однодоменних стабільних та суперпарамагнітних зерен магнетиту, магеміту, гетиту та гематиту ґрунотвірного походження розміром у десятки нм.

Знайшло подальший розвиток дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву та твердих пилових фракцій атмосферного повітря України при розв'язанні екологічних та природоохоронних завдань. А саме, на прикладі Києва, Трускавця, Дніпра визначено, що небезпечні для здоров'я людини пилові фракції розміром близько 10 мкм (PM10), що містять важкі метали, переносяться в атмосферному повітрі урбанізованих територій з подальшим осіданням у ґрунтовому покриві та на плоских гладеньких поверхнях, що призводить до підвищення магнітної сприйнятливості у 10-100 разів, а коефіцієнт частотної залежності магнітної сприйнятливості становить менше ніж 3. Крім того, визначено, що накопичення небезпечних частинок у ґрунтах відбувається до глибини 20-30 см залежно від будови генетичних горизонтів ґрунтового покриву. На прикладі урбоземів Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна продемонстровано значущі за Пірсоном високі кореляційні зв'язки між магнітною сприйнятливістю та вмістом

міді, свинцю, цинку, заліза. *Критерієм техногенного забруднення ґрунтів є наявність у їхньому складі крупнозернистого мультидоменного магнетиту у вигляді сферул розміром близько 10 мкм і більше.*

Удосконалено методологію магнітних досліджень ґрунтів України в геології, екології та ґрунтознавстві, створено алгоритми проведення усіх етапів досліджень, визначено фізико-хімічні основи методу, принципи формування магнітних мінералів у ґрунтах. *Спосіб відбору пилових фракцій атмосферного повітря запатентовано.*

Практичне значення одержаних результатів. Полягає в обґрунтуванні та практичному доведенні на конкретних прикладах високої інформативності магнетизму ґрунтового покриву, а також рекомендації для використання у практиці геологічних, екологічних, аграрних та ґрунтознавчих робіт.

Отримані матеріали використані у спільних наукових та практичних роботах з ДП «Агрогеофізика» НАК «Надра України», Карпатським відділенням Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Національним науковим центром «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Центром Менеджменту Навколишнього Середовища Університету Миколаса Ромеріса (Литва), Центром Наук про Землю Університету Монпельє (Франція), Геофізичним Центром Королівського Метеорологічного Інституту (Бельгія).

Особистий внесок здобувача. Автором створено концепцію дисертаційного дослідження, проведено системний аналіз опублікованої інформації, одноосібно або разом із співавторами, роль яких визначено щодо кожної роботи, проведено польові та лабораторні дослідження. Самостійно проведено обробку, аналіз та інтерпретацію отриманих даних, розроблено теорію та методологію застосування магнітних досліджень ґрунтів у геології, екології та ґрунтознавстві.

Основні результати дисертаційного дослідження викладено у 47 публікаціях. Внесок здобувача у публікаціях, написаних у співавторстві, визначається таким чином. У роботах [1, 31] за участю автора виконано огляд літератури, обговорення результатів, формулювання висновків. У роботах [2-4, 6-9, 11-12, 16-17, 20-22, 25-26, 28-30, 34, 38, 39-40, 42-47] автор брав безпосередню участь в аналітичному огляді літератури, виконанні експериментальних польових і лабораторних досліджень, обробці та аналізі результатів, підготовці висновків. У роботі [14] дисертанту належить аналітичний огляд стану проблеми, у роботі [15] – постановка завдання досліджень, огляд літератури та обговорення результатів, у патенті [32] автор розробив алгоритм проведення експерименту, виконав експеримент та провів інтерпретацію результатів. У роботі [33] дисертанту належать лабораторні вимірювання магнітних характеристик, обробка та інтерпретація отриманих результатів. У роботі [36] автору належить ідея, огляд літератури, обговорення та написання висновків.

Апробація результатів дисертації. Апробація дисертаційного дослідження проходила у рамках *стажування*: Науковий обмін, Геофізичний центр Бельгійського Королівського Метеорологічного Інституту (Дурб, Бельгія, 2016 р); Стипендіальна програма Посольства Франції в Україні для наукового стажування в Центрі Наук про Землю, Університет Монпельє (Монпельє, Франція, 2016 р).

Основні результати роботи *доповідалися й обговорювалися*: конференції та виставки Європейської Асоціації Геовчених та Інженерів EAGE (Барселона, Іспанія – 2010 р.; Амстердам, Нідерланди – 2014 р.); конференції та виставки «Приповерхнева геофізика» EAGE (Париж, Франція, 2012 р.); Генеральна асамблея Європейського Геологічного Союзу (Відень, Австрія, 2014-2017 рр.); Конференція «Нові тенденції у палео-, рок-магнетизмі та магнетизмі навколишнього середовища» (Новий Град, Чехія – 2010 р., Зволен, Словаччина – 2012 р., Евора, Португалія – 2014 р, Дінан, Бельгія – 2016 р.); Геоінформатика (Київ, 2009-2017 рр.); Моніторинг геологічного середовища (Київ – 2009, 2012 рр., Львів – 2011, 2013, 2016 рр.); Всеукраїнська (молодіжна) конференція-школа «Сучасні проблеми геологічних наук» (Київ, 2009-2013 рр.); Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів» (Дніпропетровськ, 2009, 2011, 2013); Наукова міжнародна конференція «Наукові засади геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази України та світу» (Київ, 2011); Міжнародна наукова конференція «Нетрадиційні джерела вуглеводнів в Україні: пошуки, розвідка, перспективи» (Київ, 2013, 2015).

Публікації. Результати досліджень викладені у 47 наукових публікаціях, зокрема: 1 міжнародна монографія, 18 статей у наукових фахових виданнях України, які входять до переліку ВАК/ДАК України, 7 статей у наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 5 статей в іноземних виданнях, 1 патент, 9 статей та праць в інших виданнях, 6 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що налічує 308 посилань, додатку. Обсяг 312 сторінок, в тому числі 270 основного тексту, містить 21 таблицю, 99 рисунків.

Роботу виконано на кафедрі геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Автор висловлює щире подяку науковому консультанту, доктору геологічних наук, професорові Сергію Андрійовичу Вижві за допомогу у визначенні актуальних завдань та сучасних підходів до їх розв'язання, директорові ННІ «Інститут геології» Володимирі Альбертовичу Михайлову та завідувачу кафедри геології нафти і газу Олексієві Миколайовичу Карпенку за цінні поради, колективам кафедри геофізики, НДЛ «Теоретичної і прикладної геофізики», Студентського Конструкторсько-Дослідницького Бюро ННІ «Інститут геології» та особисто к.геол.н. С.А. Попову, к.геол.н. Р.В. Хоменку, к.геол.н. К.М. Бондар, у співпраці з якими було виконано частину досліджень. Подяка к.геол.н. О.В. Круглову (ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»), д.фіз.-мат.н. В.Ю. Максимчуку, к.геол.н. Р.С. Кудеравцю та м.н.с. І.О. Чоботку (Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України), спільно з якими проводилися польові та лабораторні дослідження. Також подяка закордонним колегам проф. Пауло Перейрі (Центр менеджменту навколишнього середовища Університету Миколаса Ромеріса, Литва), доктору Сімо Спассову (Геофізичний центр Бельгійського Королівського Метеорологічного

Інституту, Бельгія), доктору П'єру Кампсу (Центр Наук про Землю, Університет Монпельє, Франція), проф. Едуарду Петровські (Інститут геофізики Чеської АН, Чехія) за допомогу у стажуванні, наданні лабораторій для вимірювання зразків, допомозі у підготовці закордонних публікацій та проектів. Окрема подяка кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту Анатолієві Васильовичу Сухораді за професійні поради на всіх етапах досліджень.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *Вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами. Визначено мету і завдання дисертаційної роботи, об'єкт і предмет дослідження, методологічну основу, розкрито наукову новизну одержаних результатів, окреслено їх практичне значення, подано відомості про апробацію та опублікування результатів, означено особистий внесок здобувача, структуру та обсяг роботи.

У *першому розділі* «**Стан проблеми дослідження магнетизму ґрунтів**» проведено аналітичний огляд стану проблеми дослідження магнітних властивостей ґрунтів в Україні та світі, а також вивчення інформативності магнетизму ґрунтів в геології, екології та ґрунтознавстві.

З середини ХХ століття на основі магнетизму гірських порід (рок-магнетизму) почав формуватися новий науковий напрямок – магнетизм ґрунтового покриву (педомагнетизм, soil magnetism, environmental magnetism). Першими дослідженнями магнітних властивостей ґрунтів, що відомі нам, були роботи на Кубі (Tucker, 1952). Трохи пізніше французький дослідник Le Borgne показав, які магнітні мінерали можуть формувати високу магнітну сприйнятливість ґрунтів (Le Borgne, 1955). Надалі продовжився розвиток досліджень, за допомогою магнітних методів вивчалися ґрунтознавчі параметри, магнітні мінерали ґрунтів, характеризувалися ґрунтові покриви різних регіонів, зокрема у роботах (Mullins, 1977; Maher, 1986; Thompson et al., 1986).

Значущий доробок отримано на теренах колишнього СРСР, охарактеризовані за магнітними параметрами деякі ґрунти Удмуртії, Забайкалля, Таджикистану, Ленінградської обл., Грузії і т.д. (Лукшин и др., 1974; Ломов и Пеньков, 1979; Жоголев и Микляев, 1989).

В Україні вивчення магнетизму ґрунтів було розпочате наприкінці минулого століття на базі Київського національного університету імені Тараса Шевченка групою фахівців на чолі з А.В. Сухорадою, до яких долучився і автор даної дисертації.

На основі аналізу найсучасніших досліджень, що публікуються у міжнародних журналах під егідою Elsevier, Springer, Wiley та інших, відзначається зростаючий у світі інтерес до вивчення інформативності магнетизму ґрунтового покриву. Відповідні роботи присвячені дослідженню магнітних властивостей для вирішення завдань ґрунтознавства (Jaksik et al., 2016) та аграрного сектора (Jordanova et al., 2014). У фундаментальній 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 перетворень у процесі розвитку ґрунтового профілю. Приділяється увага картуванню ґрунтів різних регіонів Землі. Так, у роботі (Camargo et al., 2014) розглядається картування ґрунтів Бразилії за їх магнітною сприйнятливістю. Магнетизм високомагнітних типів ґрунтів Англії вивчається у роботі (Dearing et al., 2001). А роль глинистих мінералів у формуванні магнетизму ґрунтів Португалії вивчено у роботі (Lourenço et al., 2012).

Масштабні проекти із дослідження магнетизму ґрунтів фінансуються у рамках міжнародних грантових програм. У 2008-2011 роках проходили дослідження у рамках Сьомої Рамкової Програми Європейського Союзу FP7 “iSOIL” (Interactions between soil related sciences – Linking geophysics, soil science and digital soil mapping) (Jordanova et al., 2013). У результаті отримано високі кореляційні зв'язки між магнітними параметрами ґрунтів та вмістом у них важливих для сільського господарства поживних речовин – азоту, вуглецю та сірки.

Значна кількість публікацій присвячена проблемам використання магнітних методів в екології (Ojha et al., 2016) та при контролі забруднення атмосферного повітря та ґрунтів урбанізованих територій (Petrovsky et al., 2014). Відзначається значущий ступінь кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістом важких металів. Екомагнітні роботи проводяться також і в Україні, будують схеми забруднень міст промисловими підприємствами із врахуванням ландшафтних умов територій досліджень (Бондар та ін., 2010, Бондар та ін., 2015). Важливим питанням забруднення атмосфери є побудова баз даних магнетизму ґрунтів урбанізованих територій, чому присвячене дослідження у межах Англії та Уельсу (Blundell et al., 2009). Визначення магнетиків, що пов'язані із рухом автомобільного транспорту, реалізується при комплексуванні магнітної інформації та даних електронної мікроскопії (Charago et al., 2010). Для ідентифікації PM10 (частинки розміром близько 10 мкм) використовуються магнітні методи в Індії (Chutia et al., 2014), Італії (Sagnotti et al., 2006), Іспанії (Revuelta et al., 2014), Тайвані (Hornig et al., 2009).

Розгляд сучасного стану проблеми дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву в геології, зокрема при пошуках нафти і газу, нерозривно пов'язане із паралельним застосуванням магніторозвідувальних робіт (Donavan et al., 1979). Здобутки магніторозвідки при пошуках і розвідці нафти і газу в Україні пов'язані із роботами (Орлюк и др., 1998; Maksymchuk et al., 2013). У роботі (Goldhaber and Reynolds, 1991) описано роль сульфідів заліза в аутогенетичних перетвореннях магнітних мінералів під впливом вуглеводневих флюїдів. У роботі (Machel, 2001) розглянуто мікробіологічні та термохімічні перетворення, а у роботі (Elmore and Grawford, 1990) детально досліджено заміщення сидериту. Крім того, у роботах (Diaz et al., 2000; Gonzalez et al., 2002) на основі комплексування вимірів магнітної сприйнятливості, електронного парамагнітного резонансу та визначення концентрації радикалів органічних речовин ґрунтів зафіксовано їх тісні кореляційні зв'язки у присутності вуглеводнів. Демонструється (Klueglein et al., 2013; Rijal 2012), що у середовищі, що містить вуглеводні, відбувається динамічне аеробне та

анаеробне протікання окисно-відновних реакцій у ґрунтах. Окремою і передовою групою дослідників проблеми магнітних досліджень при пошуках нафти і газу є китайські фахівці, які у своїх роботах комплексно досліджують теоретичні та практичні аспекти застосування методу (Guo et al., 2001; Liu et al., 1998; Liu et al., 2006).

Окремі методологічні аспекти використання магнітних методів при вивченні природних об'єктів висвітлені у результатах досліджень В.Г. Бахмутова (Бахмутов, 2006).

Таким чином, перші матеріали магнітних досліджень ґрунтів у світі датовані початком 50-х років ХХ ст. Відтоді охарактеризовано магнітні властивості ґрунтів різних регіонів світу. Приділяли увагу дослідженню можливостей застосування даної інформації у різних галузях народного господарства. На жаль, такі роботи найчастіше обмежувалися конкретними дослідженнями у межах однієї наукової публікації. Тому, нашим завданням стало системне вивчення магнетизму ґрунтів як динамічного геофізичного об'єкта, розробка теорії і методології застосування методу для задач геології, екології, ґрунтознавства.

Другий розділ «Методологія магнетизму ґрунтового покриву» присвячено розгляду фундаментальних основ методу, фізико-хімічних засад використання його інформативності в геології, екології та ґрунтознавстві. Для створення загальної теорії та методології геофізичного моделювання педосфери необхідно повноцінно розуміти власне об'єкт досліджень, інформативність методів його вивчення, статичні та динамічні особливості досліджуваних геофізичних полів. Єдиним, на нашу думку, адекватним інструментом для розв'язання завдань геофізики ґрунтового покриву є методологія динамічної геофізики. В основу динамічної геофізики покладено концепція еволюційної петрофізики, яка вивчає часові зміни геологічних об'єктів (Сухорада, 1995). Системне геофізичне дослідження засобами геофізики ґрунтових покривів Землі утворює геофізику педосфери (Сухорада, 2004). Термін геофізика педосфери використовується для визначення теоретичних основ дослідження інформативності геофізичних (у нашому випадку, найчастіше, магнітних) методів у геології, екології, ґрунтознавстві. Магнітні параметри характеризуються оптимальним набором показників, що забезпечують за умови їх високої інформативності трансформацію у життєздатну технологію. Остання містить у собі спеціальний інструментарій та накопичену базу матеріалів щодо інформативності магнетизму ґрунтового покриву у цілій низці галузей.

Методологічні основи застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву у **ґрунтознавстві та аграрному секторі** є фундаментом для розробки методології інших напрямків дослідження магнетизму ґрунтів. Пояснюється це тим, що при будь-яких варіантах дослідження магнетизму ґрунтів першим кроком має бути розгляд фонового ґрунтового покриву, що розповсюджений на території робіт.

Серед основних джерел формування та процесів накопичення магнітних мінералів у ґрунтах автором виділені такі:

1. Грунтотвірного (педогенного) походження – магнетики сформовані у процесі ґрунтоутворення і розвитку ґрунтового профілю. Характерні для незабруднених фонових ґрунтових покривів.

2. Літогенного походження – детритові магнітні мінерали кристалічного фундаменту, привнесені у структуру ґрунтів за рахунок його виходу або близького залягання до денної поверхні.

3. Антропогенного походження – сформовані у процесі впливу на ґрунти діяльності людини, у першу чергу агрономічного обробітку, пожеж тощо.

4. Техногенного походження – привнесені магнітні частинки, магнітні сферули, що пов'язані з високотемпературними техногенними процесами, корозією металів, роботою плавильних комбінатів, теплоелектростанцій, автомобільним рухом тощо.

5. Вуглеводневого походження – аутогенні магнітні мінерали, що з високою імовірністю сформувалися у ґрунтах під впливом флюїдів зони розсіювання покладів вуглеводнів або за рахунок виливів нафтопродуктів під час їх видобутку та транспортування.

Розглянемо більш детально наведені вище у пункті 1 класифікації магнетики *педогенного походження*. Вони можуть бути органічного (Blakemore, 1982) і неорганічного (Maher, 1986) генезису. Магнітні мінерали *неорганічного походження* накопичуються під впливом метаболічних процесів ферментації, окисно-відновних реакцій, вивітрювання, а *органічного походження* – формуються у середині клітин магнетотактичних бактерій.

Найбільш магнітні мінерали заліза утворюються в автоморфних, добре аерованих ґрунтах, у той час як у гідроморфних ґрунтах формуються сполуки двовалентного заліза. Найширше розповсюдженими ферімагнетиками педогенного походження є магнетит (Fe_3O_4) та магеміт ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$), антиферомагнетиками – гематит ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) та гетит (αFeOOH). Цей факт покладено в основу можливості фіксації та застосування магнетизму ґрунтового покриву.

Розглянемо процес формування магнітних мінералів у ґрунтах у процесі ґрунтоутворення. Первинною компонентою у цьому ланцюгу може бути феригідрит, який у процесі свого старіння призводить до формування парагенезису гематиту та магеміт/магнетиту. У класичних дослідженнях магнітних властивостей ґрунтів феригідрит не розглядається з причини своєї низької магнітності у звичайних температурних умовах, а отже і низького внеску у формування сумарного магнітного ефекту у ґрунтах. У той же час у процесі старіння у аеробних умовах даний наномінерал відіграє значущу роль у формуванні гематиту. Крім того, феригідрит виконує адсорбційну функцію природного фільтра неорганічних забруднень ґрунтів (Michel et al., 2010).

Найпростіша інтегрована модель формування парагенетичної асоціації магнетит-магеміт/гематит у ґрунтах наведена на рис. 1. Вона розроблена автором із частковим використанням даних щодо магнітних властивостей та магнітної

мінералогії ґрунтових покривів різних ґрунтово-кліматичних зон світу (Torrent et al., 2006). Запропонована модель застосовується за таких основних умов:

1. *Аеробний ґрунтовий покрив.*
2. *Відсутність уламкових детритових магнітних мінералів.*
3. *Відсутність термічних перетворень інших оксидів заліза.*

У цій моделі ліганди, що присутні у структурі ґрунтових агрегатів адсорбуються на поверхні феригідриту, проходять внутрішнє перегрупування і повільне зневоднення до гематиту/магеміту, згідно з кроками (1-3). При цьому ми розглядаємо модель формування ферімагнітного магеміту, опускаючи ланцюг формування магнетиту, який є також основним магнетиком ґрунтів. Існує доведене пояснення (Maher, 1998), яке враховує одночасне формування слабкомагнітного антиферомагнітного гематиту та підвищення магнітних властивостей ґрунтів. Йдеться про чергування засушливих періодів та підвищеного зволоження. У результаті таких чергувань при надмірному зволоженні протікає розчинення і відновлення гематиту (або гетиту) до магнетиту (4), а під час сухих періодів відбувається зворотне окиснення до магеміту.

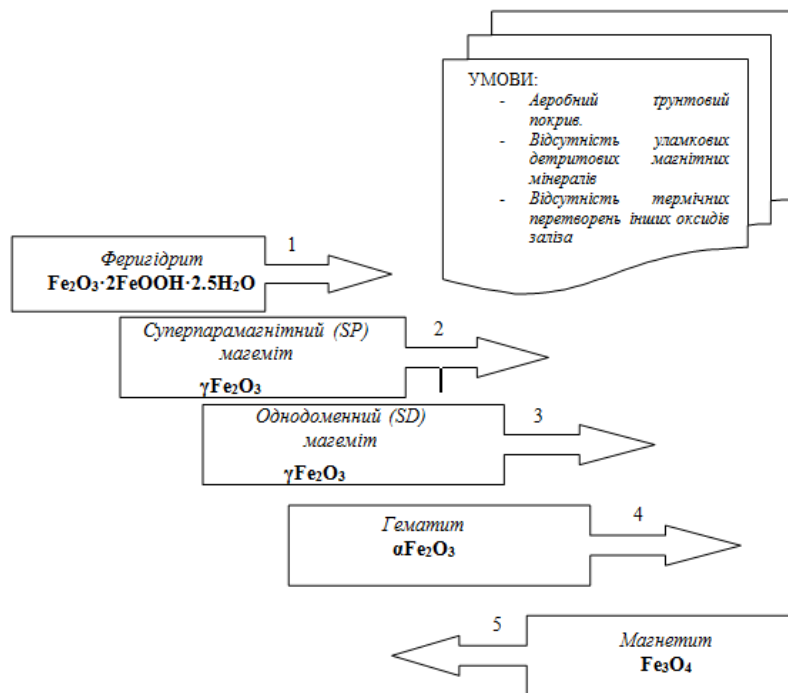


Рис. 1. Алгоритм перетворень магнітних мінералів у процесі ґрунтоутворення із частковим використанням даних Torrent et al., 2006

Розглянемо основи методики та технології магнітних досліджень при розв'язанні завдань ґрунтознавства та аграрного сектора. Нами розроблено алгоритм досліджень, що включає: основні етапи проведення робіт, магнітні параметри, що вивчаються, ґрунтознавчі та аграрні параметри оцінки ґрунтового покриву, що перебувають у взаємозв'язку із магнітними показниками ґрунтів.

Апаратний комплекс, що ми використовували під час дисертаційного дослідження, включав залучення потужностей трьох лабораторій.

У магнітометричній лабораторії при кафедрі геофізики ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка вимірювалася й обраховувалася питома магнітна сприйнятливість (χ) за допомогою лабораторного капамістка KLY-2 (AGICO, Чехія). Крім того, проводилися дослідження частотної залежності магнітної сприйнятливості (χ_{fd}) за допомогою двочастотного магнітометра MS2 (Bartington, Велика Британія). На польовому етапі досліджень для рекогносцирувальної оцінки об'ємної магнітної сприйнятливості (\square) використовувалися польові капаметри ПИМВ-М (Геологоразведка, Росія) та КТ-5 (Чехія).

Низку поглиблених магнітних досліджень було проведено в *Лабораторії Магнетизму Навколишнього Середовища Геофізичного Центру Королівського Метеорологічного Інституту, Дурб, Бельгія*. У цій лабораторії використовувалися кріогенний магнітометр MPMS 3 (Quantum Design, США). Прилад дає змогу вимірювати повну петлю гістерезису, частотну залежність магнітної сприйнятливості, залишкову намагніченість у температурному діапазоні 1,8...400 К (-271,35...+126,85 °С), магнітних полях ± 7 Тл, частотному діапазоні 0,1 Гц...1 кГц. Обертальний магнітометр J-coercitivity Meter (Казань, Росія) дає змогу вимірювати ізотермічні криві намагніченостей у магнітному полі 0...500 мТл: петлі гістерезису, набуту ізотермічну залишкову намагніченість. Капамісток KLY-4S (AGICO, Чехія) забезпечує автоматизоване вимірювання магнітної сприйнятливості у температурному діапазоні -196...+700 °С у різних змінних електромагнітних полях.

Крім того, у *Центрі Наук про Землю (лабораторія CNRS) Університету Монпельє, Франція* проводилися дослідження за допомогою надпровідникового сквід-магнітометра 2G Enterprises з метою визначення безгістерезисної (ідеальної) намагніченості (ARM), ізотермічної намагніченості (IRM) та параметра S_{ratio} (відношення магнітожорсткої до магнітом'якої IRM) зразків.

Методологічні аспекти застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву в екології. Забруднення екосистеми є одним із видів її деградації, а забруднення ґрунтів є одним із найнебезпечніших видів деградації у цілому. Ґрунтовий покрив є найоптимальнішим об'єктом для дослідження, який, з одного боку, накопичує небезпечні речовини, а з другого - є доступним та зручним для випробування. У ґрунтах відбувається накопичення пилових фракцій атмосферного повітря. Тому, крім власне ґрунтів, нами вивчалися пилові фракції атмосферного повітря, які відкладаються на зручних для контролю поверхнях, у першу чергу, віконному склі, корі та листі дерев, інших плоских поверхнях для встановлення можливих видів та джерел забруднення.

В основу використання магнітного методу для картування ґрунтів урбанізованих територій покладено можливість одночасного накопичення магнітного матеріалу техногенного походження та важких металів у пилових фракціях атмосферного повітря, які у процесі своєї міграції осідають у глинистих фракціях ґрунтів (Kersten and Smedes, 2002). Умовою застосування магнітного методу для картування забруднення довкілля є два фактори:

1. Магнітна сприйнятливість забруднених ґрунтів має бути вищою за фонові значення незабруднених ґрунтів відповідного регіону.

2. Магнітна сприйнятливість та інші магнітні параметри мають знаходитися у тісних кореляційних зв'язках із концентрацією важких металів та інших небезпечних для життєдіяльності сполук.

Наочним прикладом для розуміння фізико-хімічних основ формування асоціацій важких металів та техногенних магнетиків є генезис летючої золи (fly ash) під час високотемпературних техногенних процесів. Вугілля найчастіше містить у своїй структурі значну кількість мінералів заліза – пірит, марказит, сидерит (Jordanova et al., 2004). У процесі спалювання пірит дисоціює з утворенням піротину і сірчистого газу. При більш високих температурах піротин розкладається на іони заліза та сірки, а далі у процесі окиснення заліза формуються техногенні сферичні частинки магнетиту, магеміту, гематиту та мікстури. У результаті фракція заліза перетворюється на ферімагнітні мінерали, які викидаються у атмосферу разом з іншими магнітними і немагнітними фазами, хімічними елементами та сполуками, що небезпечні для людини. У процесі формування летючої золи асоціації «магнетит-важкі метали» генеруються таким чином (Spiteri et al., 2005):

1. Важкі метали адсорбуються на поверхні оксидів заліза (у першу чергу магнетиту) під час утворення летючої золи.

2. Такі елементи, як Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, адсорбуються на поверхні оксигідроксидів заліза Fe^{+3} .

3. Збагачення елементами першої перехідної групи V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu і Zn фракцій летючої золи у формі заміщених шпінелей типу $Fe_{3-x}M_xO_4$.

4. Магнітні частинки та небезпечні компоненти переносяться від джерела свого формування до об'єкта накопичення паралельно.

Накопичення забруднюючих речовин і формування аномального техногенного магнітного сигналу у ґрунтовому розрізі відбувається головним чином у верхньому горизонті на глибині 0-30 см. Вигляд поодиноких типових магнітних сферул, які є джерелами промислового забруднення ґрунтів та формують їх магнітні властивості, наведено на рис. 2 (Blaha et al., 2008).

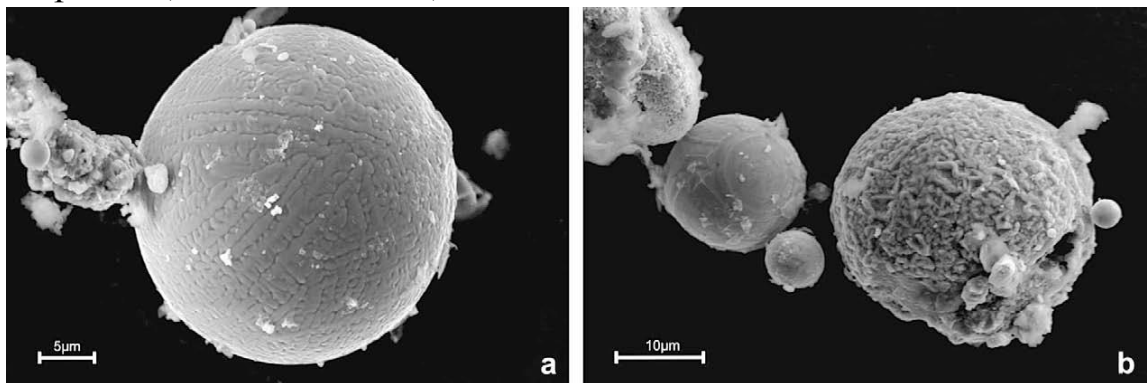


Рис. 2. Результати сканування електронним мікроскопом типових техногенних магнітних сферул із верхнього горизонту забрудненого ґрунту (Blaha et al., 2008)

Джерелами техногенного забруднення ґрунтів, яке може бути зафіксоване магнітними методами, виступають як стаціонарні, так і мобільні об'єкти. Серед мобільних об'єктів виділяється рух автотранспорту та залізниці. Накопичення магнітного матеріалу відбувається із пилу від шин, гальмівних колодок, корозії металу корпусу автомобілів, вихлопних газів. Зауважимо, що найбільша частина небезпечних для людини компонент знаходиться саме у вихлопних газах.

Стаціонарними джерелами забруднення довкілля, які становлять інтерес для магнітних досліджень, є промислові підприємства, електростанції (у першу чергу, теплові), відходи спалювання нафтопродуктів, сміттєспалювальні комбінати, асфальт та асфальтні заводи, бетон та цементні комбінати, дорожня фарба і т. ін.

Під час згаданих вище процесів формуються нові ґрунтові покриви антропогенного та техногенного походження. Їх класифікація є окремим напрямком ґрунтознавства. В її основу покладають схеми та фізико-хімічні основи процесів, які відбуваються у ґрунтах урбанізованих територій. Тому в межах дисертаційного дослідження ми застосовували узагальнене визначення техносоли або урбаноземи (Добровольський, 1997) для ідентифікації забруднених ґрунтів, якими називаємо усі ґрунти, що зазнали техногенного впливу.

Важливим індикатором техногенного походження магнетиків у ґрунтовому покриві є розмір їхніх зерен (Lu et al., 2008). Так, при переважанні багатодомених (MD) або близьких до них за розміром псевдооднодомених (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 $\chi_{fd} < 3-4$, ґрунти є забрудненими, а превалюють у їхній структурі магнітом'які MD частинки. У той же час за умови $\chi_{fd} > 4$, превалюють ультрадисперсні суперпарамагнітні SP та стабільні SD зерна ґрунотвірного походження. У забруднених ґрунтах паралельно зі зниженням χ_{fd} відбувається значуще (у 10-100 разів) зростання магнітної сприйнятливості χ . Крім того, важливим індикатором техногенного омагнічування ґрунтів є ізотермічна залишкова намагніченість (IRM). Набуття зразком IRM насичення вже при 100 мТл вказує на присутність крупнозернистої магнітної фази, найчастіше магнетиту. Для розбраковки новоутворених магнетиків використовують температурні магнітні аналізи на основі визначень точок Кюрі та переходів Вервея (Моріна, Беснуса).

Однією із сфер застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву є геологічна галузь. Йдеться про ультрадетальні магнітні дослідження, крупномасштабне геологічне картування, пошуки корисних копалин. На даному етапі нами найбільше вивчалися **магнітні методи при пошуках вуглеводнів** як об'єкта, з одного боку, важливого для економіки будь-якої країни, а з другого боку, здатного проявлятися у магнітних аномаліях ґрунтового покриву, а отже, і в магнітному полі. При цьому магнітний метод може розглядатися як додатковий, так і прямопошуковий – за рахунок безпосереднього впливу вуглеводневого флюїду на магнітні властивості верхніх шарів геологічного розрізу та ґрунти.

В основі високої інформативності магнітометрії при пошуках нафти та газу лежить припущення про міграцію вуглеводнів (мікропросочування) (Лукин, 2004; Liu et al., 2006). Цей факт підтверджується сейсмічними, радіоактивними, геохімічними методами. При цьому аномалії магнітної сприйнятливості та інших магнітних параметрів формуються як у нижчезалягаючих породах, так і у ґрунтовому покриві за рахунок формування аутогенних (діагенетичних, вторинних) магнітних мінералів.

На рис. 3 наведено узагальнену нами на основі наведених вище підходів модель магнітних змін у геологічному розрізі над покладами нафти і газу. У геологічному розрізі у межах родовищ вуглеводнів зазвичай виділяють 4 зони (Никитский и Глебовский, 1990): поклад та колектор, зона відновлення, зона окиснення, зона субвертикальних неоднорідностей. Зауважимо, що ґрунтовий покрив належить до верхньої зони окиснення. Поряд із процесами, що характерні для зони окиснення підстилаючих гірських порід, у ґрунтах накладаються процеси, пов'язані із ґрунтоутворенням, наявністю гумусу, магнетотактичних ґрунтовірних бактерій тощо. Магнітні величини ґрунтів часто є вищими від підстилаючих формацій. Тому слід розбракувати магнітний сигнал від ґрунтів, що пов'язується із безпосереднім впливом флюїду, та магнітний сигнал, що сформований природним (педогенним) магнетизмом ґрунтів.

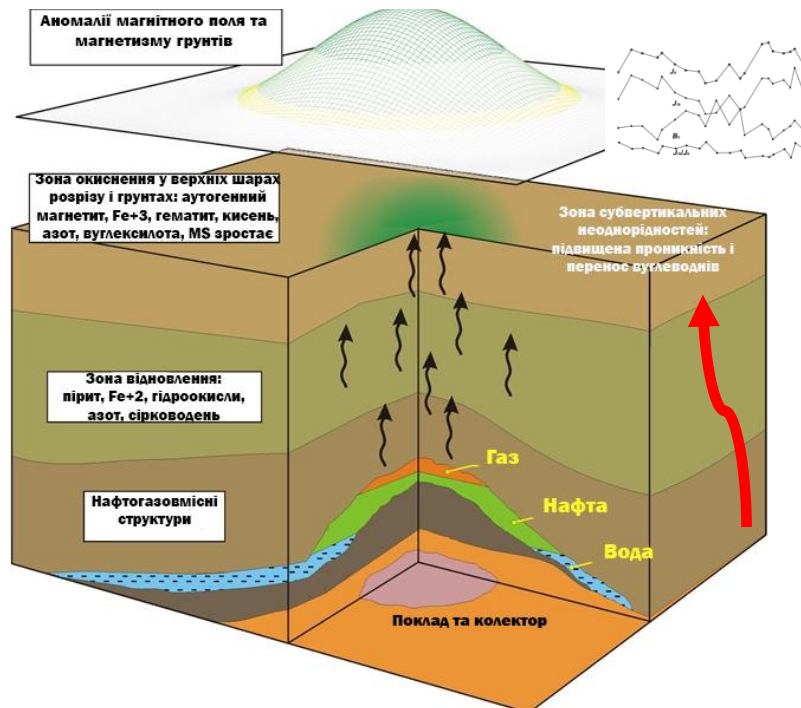
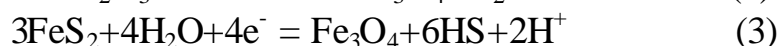
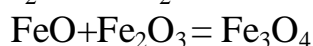


Рис. 3. Узагальнена магнітна модель змін магнітних характеристик геологічного розрізу над покладами вуглеводнів

Нами проаналізовано моделі фізико-хімічних процесів, які ведуть до зміни магнітної мінералогії гірських порід та ґрунтів у зоні впливу вуглеводнів. Перша з моделей запропонована (Donovan et al., 1979). Вона включає утворення вторинного діагенетичного магнетиту в процесі міграції вуглеводнів і базується на заміщенні

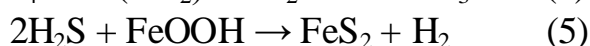
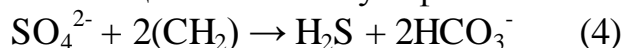
Fe^{3+} з гематиту на Fe^{2+} з магнетиту. Друга модель (Goldhaber and Reynolds, 1991) базується на теорії, що аналізує магнітні мінерали сульфідів. Вона припускає, що заміщення піриту відіграє вирішальну роль у формуванні аутогенного новоутвореного магнітного мінералу піротину, який генерує аномалії магнітного поля та змінює магнетизм ґрунтів у присутності покладів вуглеводнів. У наведених вище процесах основну роль відіграють мікробіологічні та термохімічні процеси (Machel, 2001). Ще одна модель (Elmore, 1990), яка пояснює формування підвищеного ступеня магнетизму нафтогазовмісних осадових порід та ґрунтів, базується на залученні у ці процеси сидериту.

Заміщення магнетиту включає три основні типи хімічних реакцій (Liu et al., 1998):



При домінуванні у природних умовах у гірській породі або ґрунтовому покриві залізистого мінералу гематиту, формування вторинного магнетиту відбувається за реакціями (1). Якщо вихідним мінералом є домінуючий пірит, тоді маємо реакцію (3). У даних реакціях слабкомагнітні (антиферомагнетик та парамагнетик за звичайних умов) залізисті мінерали гематит та пірит заміщуються вторинним магнетитом (ферімагнетик), який підвищує значення магнітних величин гірської породи та ґрунту.

Зауважимо, що пірит може бути залучений і до реакцій, в результаті яких формується інший сильно магнітний ферімагнетик – піротин. Водний розчин сірки безпосередньо пов'язаний із заміщенням іонів сульфатів:



При цьому FeS_2 із рівнянь (4) та (5) стає основним реагентом для формування сильномагнітного аутогенного піротину.

Інші реакції, які пов'язані із впливом сірковмісних бактерій та процесами заміщення сірки, включають вміст гетиту або лепідокрокіту. Крім того, ферімагнітний грейгіт (Fe_3S_4) також виступає важливим продуктом перетворення сірки, що викликається міграцією вуглеводнів. Такі ситуації відомі у межах нафтового родовища Сімпсон у США. Природна залишкова намагніченість покладів грейгітвмісних порід викликає локальні магнітні аномалії.

Одним із основних нафтогазоносних басейнів України є Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ). При цьому верхня частина її геологічного розрізу сформована лесовими породами. Саме леси потребують детального аналізу у контексті дослідження впливу міграції вуглеводнів та хімічних реакцій, які відбуваються при цьому. У лесах фіксується біодеградація вуглеводнів (Shao et al., 2005), в результаті чого з'являється аутогенний магнетит (Fe_3O_4). Також тут протікає процес окиснення сирої нафти в присутності мікроорганізмів та зменшення кількості сульфатів у сирій

нафті, що продукує аутогенний піротин (FeS_{1+x}) (Guo et al., 2001). Під час реакцій із залученням Fe_2O_3 в анаеробних умовах у присутності метану та інших вуглеводнів відбувається формування у лесах високомагнітних мінералів – магнетиту та піротину.

Таким чином, в основу теорії і методології магнетизму ґрунтового покриву та використання його інформативності в геології, екології та ґрунтознавстві покладається системне геофізичне дослідження ґрунтової оболонки Землі – педосфери. У кожному окремому випадку зародження та формування магнетиків у ґрунтах, їх діагенетичні перетворення та накопичення підпорядковуються низці природних, антропогенних та техногенних чинників. Систематизація та узагальнення інформації про магнітомінералогічний склад, взаємодію гірських порід із атмосферою, гідросферою, біосферою, екзогенні та біохімічні процеси, розуміння їх магнітної природи, врахування фізико-хімічних показників – формують основи загальної теорії та методології застосування магнетизму ґрунтового покриву у геології, екології, ґрунтознавстві. Приклади конкретного застосування окреслених теоретичних та методологічних принципів розглядаються нижче у наступних розділах.

У розділі 3 «**Інформативність магнетизму ґрунтів у ґрунтознавстві та аграрному виробництві**» розглядається інформативність магнетизму ґрунтового покриву при дослідженні його продуктивності. Проілюструємо отримані результати на прикладі чорноземів та сірих лісових ґрунтів Полтавської області. Роботи проводилися у межах ділянки «Конони», с. Велика Павлівка, Полтавська обл. Було поставлено завдання встановити взаємозв'язок між магнітною сприйнятливістю ґрунтів та їх продуктивністю, а також ідентифікувати магнітні мінерали зазначених ґрунтів. Критерієм продуктивності було обрано висоту рослин у точках спостереження. Територія відноситься до Лісостепу. Ділянка знаходиться поза обробітком протягом тривалого часу (10-15 років). Її характерною особливістю є те, що вона повністю вкрита рослинним покривом, що представлений топінамбуром (*Helianthus tuberosus*, соняшник бульбастий). Бульби їстівні, вирощується як кормова, технічна і харчова рослина. Ґрунтовий покрив фактично не змінюється за рахунок відсутності гіпсометричної диференціації та техногенних впливів.

Локальні максимуми та мінімуми висоти топінамбура пояснюється тим, що 15 років тому у ґрунтовий покрив цієї ділянки було внесено органічні добрива. Проте вони не були розподілені рівномірно, а лишилися насипами. Відповідні насипи й спровокували підвищений ріст топінамбура, а отже, збільшили родючість. Протилежна картина спостерігається у точках, де було відсутнє органічне добриво, а рослини характеризуються низькорослістю і загальною кволістю. На рис. 4а наводиться карта розподілу висот топінамбура у межах дослідної ділянки «Конони», а на рис. 4б карта розподілу питомої магнітної сприйнятливості ґрунтів. Аналізуючи результати магнітних досліджень зауважимо, що більшість аномалій магнітної сприйнятливості (MS) збігаються із аномаліями висоти топінамбура. При цьому, із

збільшенням величини магнітної сприйнятливості зростає і висота рослин. Цей факт підтверджується результатами кореляційного аналізу. Коефіцієнт кореляції Пірсона між MS та висотою топінambuра складає 0,54, що є значущою величиною для вибірки N=66 із імовірністю помилки $p=0,05$ ($r \geq 0,1954$) (Fisher, 1963). У той же час, нами зафіксовано випадки невідповідностей зазначеним вище тенденціям, що у свою чергу значно зменшує значення коефіцієнтів кореляції. Наприклад, у точках 40-50 профілів 10 та 15, а також точках 20-30 профілю 10 нами зафіксовано зворотну залежність, коли при високих абсолютних значеннях магнітної сприйнятливості $\chi=70-80 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ми зафіксували висоти рослин у 40-60 см. Пояснюється цей факт впливом локальних пожеж, які мали місце в околі даних пікетів та знищували потенціал родючості топінambuра. Інтенсивні опіки мають згубний вплив на фізичні властивості ґрунту, знищують органічну речовину ґрунтів, ведуть до втрати структури, збільшення щільності, зниження пористості (DeVyle, 1981).

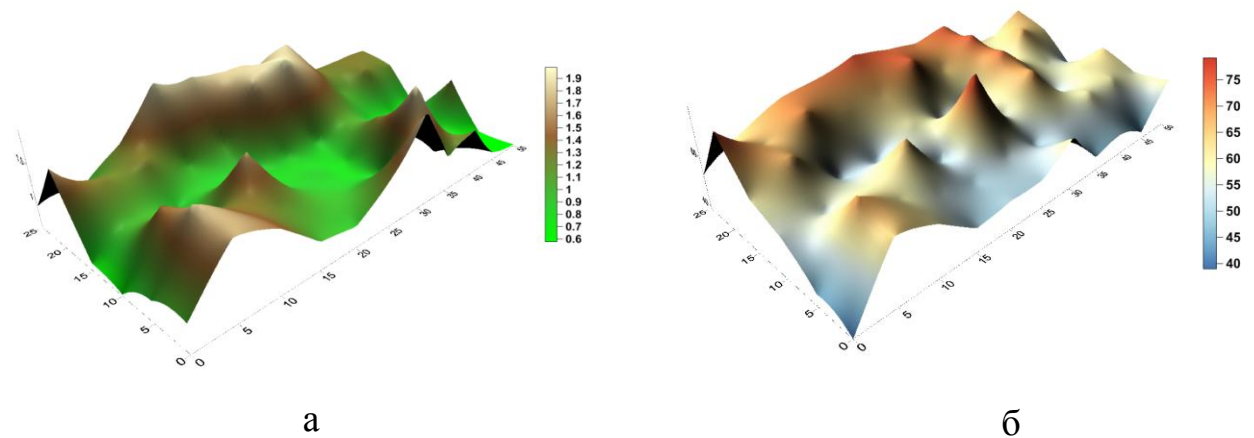


Рис. 4. Карта розподілу висот топінambuру (у метрах) в межах дослідної ділянки «Конони» (а), карта розподілу питомої магнітної сприйнятливості ґрунтів ($\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) (б)

Розглянемо носії магнітного сигналу у дослідженому ґрунтовому покриві. Магнітна сприйнятливість незабруднених ґрунтів визначається вмістом оксидів заліза, які можуть переходити із слабо магнітних фаз, таких як, наприклад, гематит ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) у сильно магнітні оксиди, наприклад, магнетит (Fe_3O_4) або магеміт ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$), які в роботі (Jelenska et al., 2008) досліджені у чорноземах України. На рис. 5а наведено результати низькотемпературного термомагнітного аналізу магнітної сприйнятливості зразка верхнього родючого горизонту А.

Отримані дані підтверджують зазначені вище закономірності щодо превалювання магнетиту педогенного походження на основі зафіксованого переходу Вервея близько $150 \text{ }^\circ\text{C}$. На основі цього дослідження наявність гематиту не зафіксовано. Крім того, низькотемпературний аналіз ізотермічної залишкової намагніченості (рис. 5б) при 17 Е також ідентифікував лише магнетитову фазу на основі переходів Вервея в околі 125 К.

Визначені нами параметри петлі гістерезису та її форма вказують на превалювання псевдооднородних зерен із домішками суперпарамагнітного та однородного матеріалу педогенної природи.

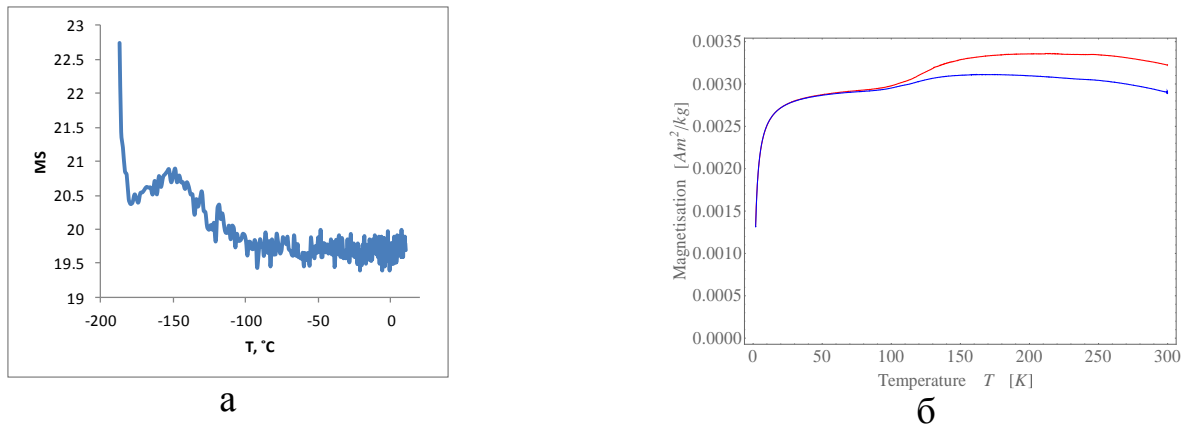


Рис. 5. Низькотемпературний аналіз магнітної сприйнятливості зразка верхнього гумусового горизонту А, ділянка «Конони», Полтавська обл. (а) та ізотермічної залишкової намагніченості при 17 Е (б)

Автором також досліджено інформативність магнетизму ґрунтового покриву при визначенні фізико-хімічних показників на прикладі аграрних земель Київщини. Основними агрохімічними показниками для визначення продуктивності аграрних земель є вміст органічної і мінеральної частини, склад і властивості гумусу, механічний склад ґрунтів і ґрунтовірних порід, колоїди, кислотність, фізичні властивості та вміст хімічних елементів у ґрунтовому покриві (Шкварук, 1976). Деякі із цих показників були досліджені нами на прикладі території землекористування Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН» під керівництвом д.с.-г.н С.Г. Корсун у межах ділянки поблизу с. Чабани, Київська обл. Земельна ділянка була виведена із інтенсивного сільськогосподарського використання за кілька років до наших робіт. Поле розміром близько 1 га розбили на 12 квадратів, у середині яких визначалися ґрунтові та магнітні показники. Було сформовано кілька вибірок. Магнітна сприйнятливість сірих лісових ґрунтів дослідженої колекції вибірки № 1 лежить у межах $\chi=20-30 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, що у цілому є низькими показниками як для відповідного типу ґрунту. У даному випадку техногенне забруднення відсутнє, що підтверджується значеннями частотної залежності магнітної сприйнятливості, які складають $\chi_{fd}=6-9$.

Значущі величини кореляційного зв'язку для вибірки № 1 зафіксовані між магнітною сприйнятливістю та вмістом обмінного калію K_2O (-0,77) (рис. 6а). Такий коефіцієнт кореляції Пірсона є значущою величиною для вибірки $N=31$ із імовірністю помилки $p=0,05$ ($r \geq 0,2960$) (Fisher, 1963). Зауважимо, що ці ґрунти високо забезпечені калієм. Вміст цієї сполуки у ґрунтах залежить від режиму використання аграрного поля: пар або оранка. Крім того, залежить від пори року, шаруватості ґрунту та його енергетичного потенціалу. Існування кореляційних

зв'язків між магнітними параметрами та саме калієвмісними сполуками можна пояснити таким чином. Мінерали, що знаходяться у глинистих ґрунтах, характеризуються дещо більшою розчинністю, ніж мінерали піщаних ґрунтів. Тому в глинистих ґрунтах більше не тільки валового, але і рухомого калію. З іншого боку, відомо, що за присутності глинистих мінералів можуть підвищуватися магнітні властивості ґрунтів (Samargo et al., 2014). Природа походження глинистих мінералів та формування магнітної сприйнятливості ґрунтів може залежати одночасно від впливу підстилаючих материнських порід та внесення добрив. При цьому характерними магнетиками часто виступають магнетит та магеміт. Аналіз таких глинистих мінералів як ілліт, хлорит, каолінит, смектит підтверджує, що їх наявність у складі ґрунтів найчастіше пов'язується із вмістом магнітних мінералів (у першу чергу, магнетиту та магеміту), що може успішно фіксуватися магнітними вимірюваннями та завірятися результатами геохімічних аналізів. Крім того, зв'язок між магнітною сприйнятливістю глинистих фракцій ґрунтів та вмістом мінералів калію пояснюється великою кількістю активних частинок, наприклад, смектиту, що окислюють магнетит. Окислювальний вплив глинистих мінералів (меншою мірою гідролюд і більшою – смектит) виявляється у зниженні кількості ферімагнітного магнетиту в ґрунтах з високим вмістом активних глинистих мінералів. У ґрунтах з однорідним складом глинистих мінералів кількість високомагнітного магнетиту знижується при більш важкому гранулометричному складі (Водяницький, 2010).

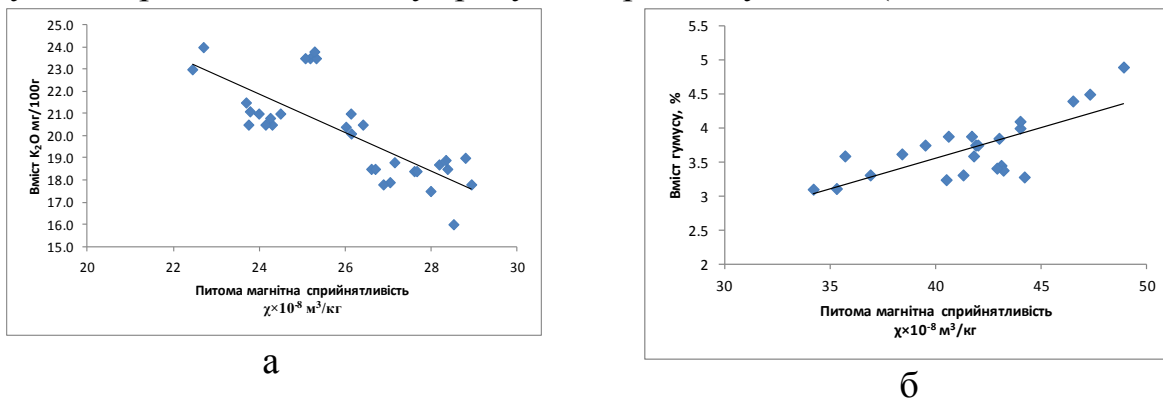


Рис. 6. Регресійні залежності між питомою магнітною сприйнятливістю ґрунтів χ та деякими показниками родючості ґрунтів дослідної ділянки «Чабани», Київська обл.: а – вмістом обмінного калію K_2O , б – вмістом гумусу

Для дослідної ділянки «Чабани» також було проаналізовано вибірку ґрунтів № 2. Визначено кислотно-лужний баланс за (ДСТУ ISO10390:1994), вміст гумусу за (ДСТУ 4289:2004), вміст важких металів. Зафіксовано високі коефіцієнти кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістом гумусу (рис. 6б), а також рН і марганцю. Отримані коефіцієнти кореляції Пірсона є значущими для вибірки $N=22$ із імовірністю помилки $p=0,05$ ($r \geq 0,352$) (Fisher, 1963). Магнітна сприйнятливість вибірки змінюється у межах: $\chi=30-60 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Це середні за ступенем свого магнетизму ґрунти. Відомо, що вміст гумусу в поверхневих горизонтах ґрунтів України коливається від 0,5 до 20 %, різко або поступово зменшуючись з глибиною.

Характерною особливістю гумусових речовин є їхня гетерогенність, тобто наявність різних за стадією гуміфікації, молекулярною масою, хімічним складом і властивостями компонентів. У цілому характерні значення для верхніх гумусових горизонтів сірих лісових ґрунтів України складають 1,5-3 %, а цілинних сірих лісових ґрунтів – 4-6 %. У нашому випадку вони достатньо гуміфіковані (3-5 %), отже й характеризуються високим ступенем родючості. Крім того, магнітна сприйнятливість сірих лісових ґрунтів найчастіше знаходиться у високому кореляційному зв'язку із вмісту гумусу та рН (Обыденова, 2003). При цьому із підвищенням значення магнітної сприйнятливості рН спадає. У нашому випадку коефіцієнт кореляції між MS та рН склав -0,67. Новоутворення педогенного магнетиту регулюється залізоредакуючими бактеріями (Hanesch and Scholger, 2005). Сприятливими умовами є майже нейтральна реакція рН (5,5-7), наявність заліза, органічної речовини і безкисневе середовище. Близькі до цих умов мали місце у нашому випадку.

Марганець – важливий елемент для росту рослин, є необхідним у процесі фотосинтезу. Нестача цього елемента часто є тимчасовою через несприятливі погодні та ґрунтові умови. Вміст Mn складає в ґрунті лише декілька десятих або навіть сотих часток відсотка й зумовлений присутністю марганцевих конкрецій, що утворилися в результаті мікробіологічної діяльності. У розсіяному вигляді марганець може входити до складу деяких первинних мінералів (олівінів, піроксенів, епідоту) (Назаренко, 2004). У нашому випадку кореляція між магнітною сприйнятливістю та вмістом марганцю складає 0,72. Фізично процес кореляційного зв'язку між магнітною сприйнятливістю та вмістом марганцю може пояснюватися результатами дослідження електронної мікроскопії незабруднених ґрунтів (Водяницький, 2010). У ряді випадків у ґрунтах визначаються не тонкі кристали магнетиту педогенного походження, а дрібні кульки шпінелей розміром 0,05-0,1 мкм. Ці кульки звичайно включають марганець, а з більш великими кульками (атмосферного космічного або техногенного походження) їх поєднує хімічний склад.

Отже, наведені приклади застосування інформації про магнетизм ґрунтового покриву при розв'язанні ґрунтознавчих та аграрних завдань підтверджують високу інформативність методу. *Встановлено тісний генетичний і високі кореляційні зв'язки між магнітними параметрами та показниками родючості, продуктивності, деградації, ерозією, вмістом органічних та неорганічних речовин, фізико-хімічними показниками, що дає змогу проводити картування аграрних земель та природних ландшафтів на основі експресної, високоефективної та низьковартісної магнітометричної технології.*

У розділі 4 «Інформативність магнетизму ґрунтів та пилових фракцій при контролі та моніторингу забруднення довкілля» на конкретних прикладах досліджується інформативність магнетизму пилових фракцій атмосферного повітря та ґрунтового покриву, що накопичує їх, з метою розв'язання природоохоронних завдань.

Для ілюстрації отриманих результатів розглянемо розроблений, запатентований та протестований нами на прикладі м. Києва спосіб атмомагнітного контролю забруднення повітряного простору. Завдання оптимізації процесу відбору дослідного матеріалу для подальших магнітних досліджень було реалізовано нами шляхом використання як накопичувача пилової фракції атмосферного повітря скляної віконної поверхні. На основі цього винаходу отримано патент (Меньшов та Сухорада, 2013). Із використанням запропонованого підходу нами було проведено ряд дослідів із вивчення забруднення атмосферного повітря міста Києва на основі відбору пилових фракцій з поверхонь вікон та подальших вимірювань їхньої магнітної сприйнятливості. Результати дослідження на прикладі шістнадцятиповерхового будинку, що розташований по вул. Миропільській, м. Київ, наведено на рис. 7. Відбір пилової фракції проводився двічі з віконних поверхонь на кожному поверсі уздовж одного прольоту. Перший відбір виконувався під час тривалого бездощового періоду. Другий відбір було проведено після періоду дощів за такою ж схемою. Ці вікна орієнтовані у бік проїжджої частини з інтенсивним автомобільним трафіком та трамвайною лінією. Крім того, поблизу сконцентровані кілька підприємств хімічної промисловості та теплоелектростанції.

Зафіксовано підвищення значень об'ємної магнітної сприйнятливості (\square) на рівні 5-7 поверхів. При чому відповідна тенденція фіксується як у бездощовий період, так і після опадів. Це може свідчити про те, що найбільш інтенсивно частинки типу PM10 переносяться на рівні 30-40 м над поверхнею землі для даної частини м. Києва. Відзначається більш дисперсна крива магнітної сприйнятливості після дощів, що пояснюється неоднорідністю змивання феромагнітного матеріалу з віконної поверхні. Тому, при виконанні відповідних експериментів, слід чітко дотримуватися методологічних принципів (площа відбору зразків, фільтрувальний матеріал, врахування пори року та атмосферних опадів), які наведені в описі до патенту (Меньшов та Сухорада, 2013).

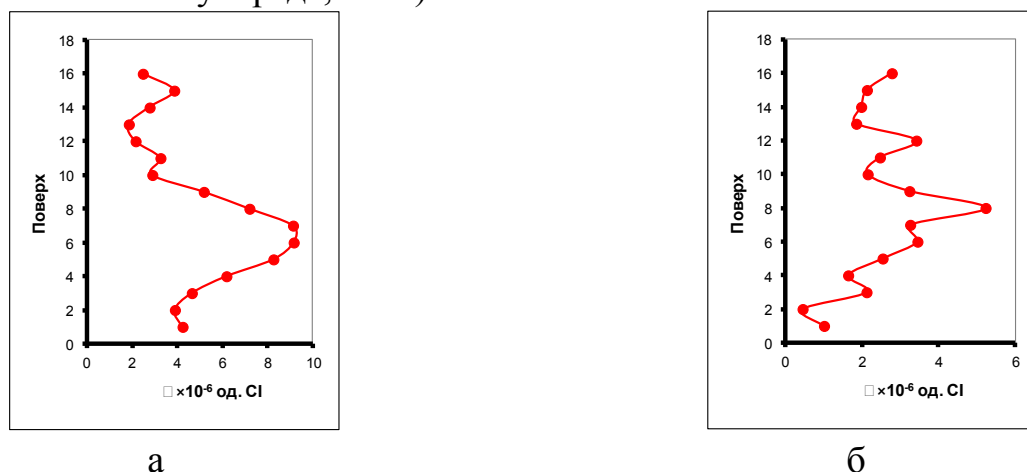


Рис. 7. Розподіл магнітної сприйнятливості зразків пилових фракцій атмосферного повітря залежно від висоти житлового будинку для міста Києва: а – розподіл у бездощовий період, б – розподіл у період впливу дощу

Розглянемо результати екомагнітних досліджень ґрунтового покриву слабоурбанізованого міста Трускавець. Метою запропонованих досліджень є оцінка його загального забруднення та визначення магнітних мінеральних фаз, що відповідають за зміни магнітності ґрунту, спричинені техногенними процесами. В основу ідеї вибору даної території для проведення магнітних оцінок екологічного навантаження було покладено відносно слабкий рівень урбанізації Трускавця, який по суті є рекреаційною зоною. У першу чергу, йдеться про переважаючу роль автомобільного транспорту та залізниці у внеску до загального забруднення території. По-друге, навкруги Трускавця концентрується величезна кількість законсервованих шахт, які можуть бути суттєвим джерелом забруднення довкілля, зокрема ґрунтових вод. Рекогносцирувальні роботи проводилися уздовж залізничної колії та кільцевої дороги Трускавця. Досліджувався верхній горизонт забруднених ґрунтів та відбиралися зразки пилових фракцій з дерев із гладенькою поверхнею кори уздовж зазначених маршрутів. Фонові значення пилових фракцій та ґрунтів досліджувалися у межах лісу. Незабруднені ґрунти представлені сірими лісовими, глеуватими слабкомагнітними відмінами. Забруднені ґрунти набули ознак класичних урбаноземів.

Магнітна сприйнятливість була виміряна для близько 100 зразків ґрунтів. Питома магнітна сприйнятливість (χ) незабруднених глейових ґрунтів склала $\chi=8-10 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. У той же час, зразки, відібрані уздовж залізниці, характеризуються $\chi=29-162 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Частина колекції, яка зазнала впливу автомобільного трафіку, демонструє значення питомої магнітної сприйнятливості $\chi=36-155 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Додатково було проведено площадне вивчення магнітної сприйнятливості поруч із найбільш навантаженим автомобільним трафіком місцем Трускавця – Стебницьким кільцем (рис. 8).

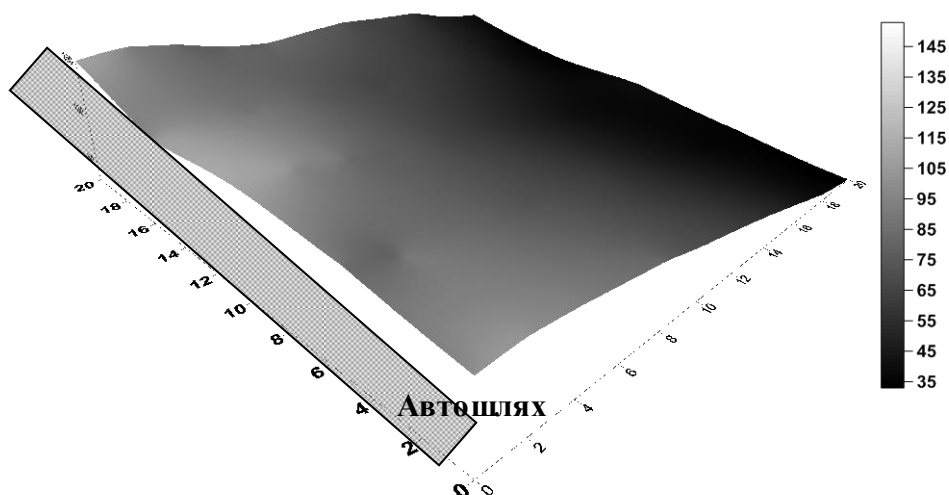


Рис. 8. Площадне вивчення магнітної сприйнятливості поруч із Стебницьким кільцем, Трускавець

Максимальні значення MS зафіксовані на відстані 0-8 м від автошляху ($\chi=95-155 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$). Із віддаленням у бік лісу на відстані 20-25 м від дороги магнітна

сприйнятливості спадає ($\chi=35-25 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), проте ще не досягає фонових значень, які наведені вище. Для завірки апіорного припущення про техногенне забруднення ґрунтів було виміряно і розраховано коефіцієнт частотної залежності магнітної сприйнятливості забруднених ґрунтів. Він склав $\chi_{fd}=2-3$, що характерно саме для забрудненого ґрунтового покриву. Скоріше за все це магнетит у мультидоменному стані техногенного походження, що підтверджується результатами, отриманими у роботі (Dearing et al., 1996).

Результати дослідження пилових фракцій, що були відібрані з кори дерев продемонстрували, що об'ємна магнітна сприйнятливості є найвищою у найбільш техногенно навантажених точках ($\square=18-48$ од. СІ). Причому, у місцях впливу одночасно залізниці та автомобільного трафіку значення вищі. Для зразків, що відбирались у лісі, значення прямують до нуля.

Для ідентифікації магнітного матеріалу, що викликає описані вище екстремуми магнітної сприйнятливості, нами було проведено термомагнітний аналіз зразків забруднених ґрунтів. Форма кривих магнітної сприйнятливості нагрівання та охолодження (рис. 9а) вказує на основну магнетитову фазу із точкою Кюрі близько до $580 \text{ }^\circ\text{C}$.

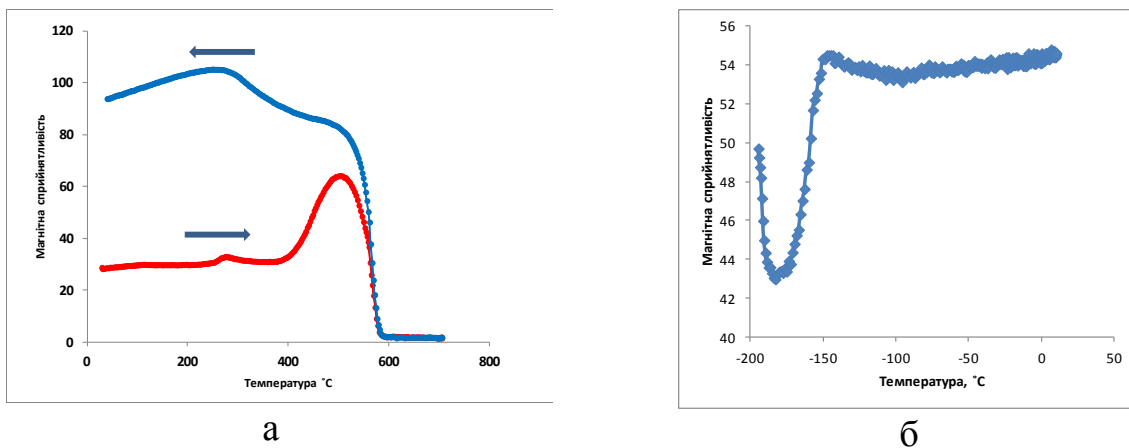


Рис. 9. Результати термомагнітного аналізу забруднених ґрунтів Трускавця: а – високотемпературний аналіз магнітної сприйнятливості у циклі нагрів-охолодження, б – низькотемпературний аналіз

Існування помітних переходів при температурі $300 \text{ }^\circ\text{C}$ може інтерпретуватися не лише як наявність піротинової фази, але й вмістом невеликої кількості однодомених зерен інших магнітних мінералів (Yang et al., 2016). Цей факт дає підстави стверджувати, що у зразках ґрунтів присутній магнітний матеріал первинного педогенного походження, який є основним у випадку фонових незабруднених сірих лісових, глеєвих ґрунтів лісової ділянки Трускавця. Високоінформативним стало низькотемпературне дослідження магнітної сприйнятливості (рис. 9б). Зафіксований перехід Вервея на позначці у $-150 \text{ }^\circ\text{C}$ ($123,15 \text{ K}$) є однозначним підтвердженням превалювання магнетиту як основного магнетика урбанізованих ґрунтів Трускавця.

Для підвищення однозначності інтерпретації результатів ми виконали серію вимірювань температурних змін залишкової намагніченості за допомогою магнітометричної системи Quantum Design's MPMS 3. На рис. 10а наведено криві охолодження (ZFC) та нагріву (ZFW) зразка забрудненого ґрунту Трускавця у нульовому магнітному полі. Залишкова намагніченість отримана у полі 7 Тл (IRM_{7T}) при кімнатній температурі. Для обмеження внеску магнітов'язких зерен час між намагнічуванням зразка та охолодженням склав 1 годину. Для виключення стороннього шуму було обчислено першу похідну різниці ZFC-ZFW із використанням засобів фільтрації (рис 10б). Криві нагріву та охолодження розходяться на позначці близько 90 К. При цьому залишкова намагніченість після циклу охолодження нижча за початкову. Глобальний максимум ідентифікований при 127 К, що є близьким до переходу Вервея (110-125 К) та ізотропної точки магнетиту (130 К). Наведені характеристики показують, що зразок містить головним чином багатодомений (MD) магнетит. Це підтверджується крутим нахилом кривої у діапазоні переходу Вервея. Крім того, IRM_{7T} є нижчою після переходу через ізотропну точку. Це явище пов'язане з руйнуванням слабо закріплених доменних стінок (Özdemir and Dunlop, 1999). Той факт, що жодних різких змін величини залишкової намагніченості не ідентифіковано в околі ізотропної точки, можна пояснити ступенем окиснення, тобто зразок може містити певну кількість магеміту. Таке припущення робилося нами й вище для термомагнітного аналізу магнітної сприйнятливості. Доказів наявності інших магнітних фаз (наприклад, гематиту) не виявлено.

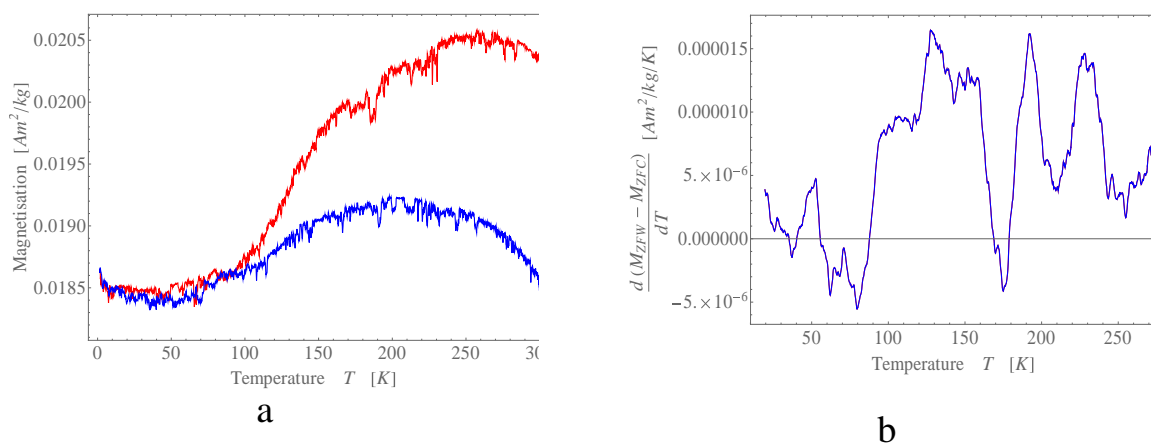


Рис. 10. Температурний аналіз залишкової намагніченості забрудненого ґрунту Трускавця: а – криві нагріву ZFW (нижня) та охолодження ZFC (верхня), б – перша похідна різниці ZFC- ZFW

На рис. 11 наведено результати вимірювання петлі гістерезису при температурі 30 К (а) та 300 К (б) за допомогою магнітометричної системи Quantum Design's MPMS 3. Характер кривих при кімнатній та низькій температурі свідчить про наявність парамагнітних мінералів у складі ґрунту. Зростання значень в області слабого поля вказує на виникнення феромагнітних мінералів з низькою

коерцитивністю. Отже, параметри гістерезису підтверджують результати термомагнітних аналізів і засвідчують присутність крупнозернистих псевдооднородних (PSD) та мультидомених (MD) зерен.

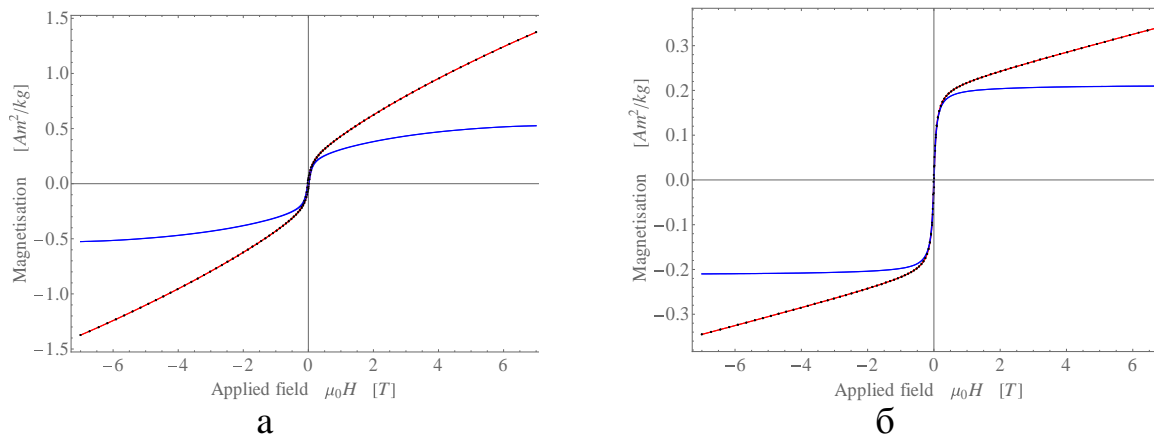


Рис. 11. Петлі гістерезису для забрудненого ґрунту Трускавця із врахуванням корекції нахилу при високому полі та без корекції: а – виміряна при 30 К, б – виміряна при 300 К

Результати визначення параметра S_{ratio} , яке є відношенням вимірної нами ізотермічної залишкової намагніченості при напруженості магнітного поля у 1,2 Тл та 0,1 Тл, дали змогу розбракувати магнітом'яку та магнітожорстку компоненти. У випадку забруднених ґрунтів параметр S_{ratio} наближається до 1, що свідчить про превалювання магнітом'якого магнетиту. У той же час значно нижчі величини параметра S_{ratio} у випадку фонових сірих лісових, глеєвих ґрунтів свідчить про внесок магнітожорсткого висококоерцетивного мінералу, яким можуть бути у даному випадку педогенні гематит або гетит (Robertson et al., 2003).

З метою визначення залежностей між магнітними параметрами та вмістом у ґрунтах важких металів проведено магнітні дослідження ґрунтового покриву на прикладі центральної частини м. Києва на території Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Ґрунтознавчу частину робіт та вимірювання вмісту хімічних елементів та сполук люб'язно забезпечили фахівці Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН» під керівництвом д.с.-г.н С.Г. Корсун.

Порівнюючи значення магнітної сприйнятливості із фоновими, що характерні для ґрунтового покриву незабруднених ґрунтів Лісостепу України, нами встановлено підвищення медіанних значень питомої магнітної сприйнятливості у 1,5-2 рази. Для ідентифікації доменного стану магнетиків у ґрунтах та розбраківки їх генезису ми використали параметр частотної залежності магнітної сприйнятливості. Медіанне значення $\chi_{fd}=3\%$, що свідчить про превалювання мультидомених магнітної фази у ґрунтах та наявність техногенного зараження.

Вміст більшості важких металів у цій колекції ґрунтів загалом перевищує фон за (ДСТУ 4362:2004), але подібно до параметра магнітної сприйнятливості знаходиться у межах підвищених значень, тобто не є екстремально високими. Коефіцієнти

кореляції магнітної сприйнятливості з вмістом важких металів складають: Cu 0,81; Pb 0,9; Fe -0,74, Zn 0,81. Наведені коефіцієнт кореляції Пірсона є значущими для вибірки N=21 із імовірністю помилки $p=0,05$ ($r \geq 0,352$) (Fisher, 1963).

Таким чином, магнітні дослідження забруднених ґрунтів та пилових фракцій атмосферного повітря, які накопичуються у структурі ґрунтового покриву, осідають на плоских скляних поверхнях, а також на поверхні кори дерев, на конкретних прикладах продемонстрували свою високу інформативність та ефективність при оцінці загального забруднення територій. Спосіб відбору пилового матеріалу з поверхні вікон виявився патентоспроможним. *Визначено, що доменний стан магнітного матеріалу, розміри та форма залежать від його походження та знаходяться у тісному генетичному зв'язку із вмістом важких металів, а коефіцієнти кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістом міді, цинку, свинцю у ряді випадків складають 0,7-0,9.* Серед найбільш небезпечних магнітних пилових фракцій визначено так звані PM10 – частинки розміром менше за 10 мкм, що легко переносяться у повітряному просторі, під час дихання потрапляють в організм людини та спричиняють небезпечні захворювання.

Розділ 5 «Інформативність магнетизму ґрунтів при пошуках вуглеводнів та розв'язанні деяких інших геологічних завдань». З метою ілюстрації отриманих результатів розглянемо показовий приклад комплексування магнітних методів з іншими геофізичними, геохімічними та геологічними дослідженнями у межах полігону Старуня. У першій половині 20-го століття на озокеритовій шахті поблизу селища Старуня, близько 130 км на південний схід від Львова, було знайдено похованих великих ссавців Плейстоцену, що стало значною науковою подією світового масштабу. Ідеальному збереженню експонатів сприяла наявність унікального поєднання вуглеводневих фракцій: нафти, розсолів, глинистого мулу Плейстоцену, у яких тварина затонула і законсервувалася. За рахунок інтенсивного видобутку нафти та озокериту на шахті Старуні у період 1868-1960 рр. та тектонічної активності були сформовані численні витоки нафти та газу різного походження (у т.ч. за рахунок мікропросочування та міграції вуглеводневих флюїдів), а також грязьові вулкани, які періодично і до нашого часу викидають мінералізовані води насичені гомологами алканів, газу, бензинові фракції, нафту, глини. У межах окресленої території було проведено кілька етапів міждисциплінарних геолого-геофізичних та геохімічних досліджень (Kotarba, 2005; Kotarba, 2009).

Комплексні магнітні дослідження проводилися нами уздовж латерального профілю MAG1 (рис. 12). Магніторозвідувальна частина досліджень була реалізована спільно із фахівцями Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України Р.С. Кудеравцем та І.О. Чоботком за підтримки директора інституту В.Ю. Максимчука. Довжина магнітного профілю склала 1400 м із Заходу на Схід. Досліджений профіль MAG1 включає явну локальну негативну магнітну аномалію інтенсивністю 30-35 нТл та довжиною близько 700 м. Найбільші

екстремуми зафіксовані у точках спостережень поблизу грязьового вулкану Старуні. Джерела такої аномалії пов'язані із прошарками соляних порід та великою кількістю включень озокериту у нижчезалягаючій Воротищенській світі. Просторове положення цієї аномалії також зіставне із розломом Рінне, за рахунок якого на поверхню йде інтенсивний витік нафти, глинистих фракцій, просяканих вуглеводнями та солями різного складу. Дослідження магнітної сприйнятливості ґрунтів проводилося уздовж профілю MAG1 паралельно із магніторозвідкою (рис. 12).

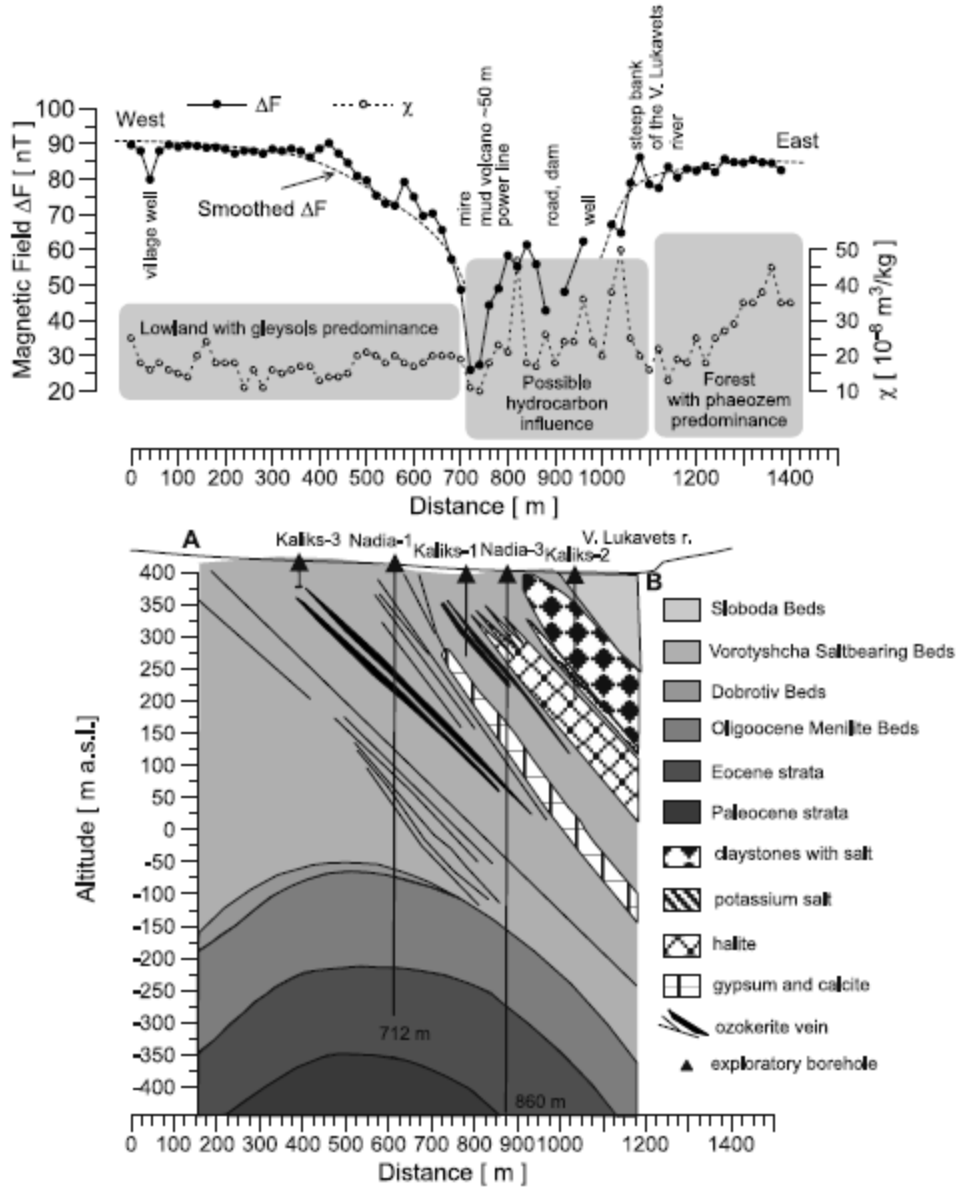


Рис.12. Розподіл аномального магнітного поля та питомої магнітної сприйнятливості верхнього шару ґрунтів уздовж профілю MAG1 та геологічний розріз уздовж лінії А-В у межах полігону Старуня (геологічна основа за Kotarba, 2005; Kotarba, 2009)

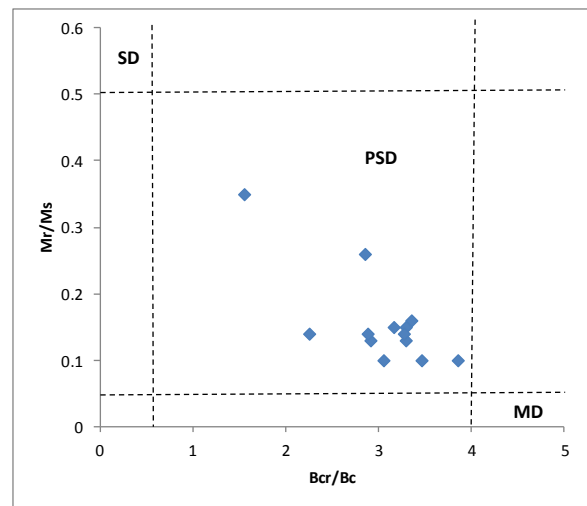
У ландшафтному перетині виділяється 3 секції. Перша секція складається лісовим ландшафтом із сірими-лісовими природними незміненими ґрунтами (пікети спостереження 140-440 м). Магнітна сприйнятливість залежить більше від альтитуды точок спостереження і складає $\chi=20-45 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ для поверхневого шару ґрунту.

Друга секція ландшафтного перетину знаходиться в околі пікетів 440-840 м. Це найбільш інформативна ділянка у контексті дослідження впливу вуглеводнів на магнетизм ґрунтів. Вона знаходиться поблизу свердловини Надія-1 та грязьового вулкану, а отже, ґрунтовий покрив та підстилаючі породи піддалися найбільшому впливу процесів мікропросочування. Незмінні ґрунти цієї ділянки характеризуються магнітною сприйнятливістю $\chi=20-50 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Третя ландшафтна секція знаходиться у межах пікетів 940-1540 м. Вона складена системою мікрокатен, проте переходи від локальних понижень до водорозділів є незначними, оскільки ділянка фактично є лучною. Лучні та болотні ґрунти, що розповсюджені у її межах не виявляють ознак насичення вуглеводневими продуктами, верхній шар ґрунтів характеризується магнітною сприйнятливістю $\chi=10-20 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Для підвищення однозначності інтерпретації матеріалів закладений ґрунтовий розріз на основі відслонення у межах русла річки Великий Лукавець на території другої секції (під впливом вуглеводнів). Результати наведені на рис. 13а. У верхній частині розрізу ідентифікуються три ґрунтові горизонти. Потужність горизонту А складає 10 см, горизонту В – 15 см, горизонт С переходить у підстилаючі більш глибинні породи. Магнітна сприйнятливість верхнього горизонту А, який складений лучними ґрунтами, не перевищує $\chi=25 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Горизонти В та С є слабомагнітними з $\chi=5-20 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Набагато інформативнішими стали вивчення глибших глинистих горизонтів. На глибині 250 см реєструється надзвичайно інтенсивне підвищення значень магнітної сприйнятливості, яка досягає значень $\chi=160-440 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Це бігумізовані та насичені озокеритом глини. Озокерит видобувався на цій території у попередні роки.



а



б

Рис. 13. Результати магнітних досліджень у межах полігону Старуня:
а – ґрунтовий покрив із візуалізацією природного насичення вуглеводнями прошарків ґрунтів та глин із розподілом магнітної сприйнятливості по вертикалі у відслоненні р. Великий Лукавець, б – діаграма Дея для ґрунтів із впливом вуглеводнів

Для з'ясування доменної будови зразків ґрунтів з території покладів вуглеводнів нами було виміряно петлі гістерезису та використано діаграму Дея (рис. 13б). Більшість зразків знаходяться у псевдооднодоменному стані (PSD). Можна припустити наявність й суперпарамагнітних (SP) дрібнодисперсних магнетиків ґрунтоутвірної природи.

Термомагнітний аналіз магнітної сприйнятливості зразків території полігону «Старуня» показав, що для набагато магнітніших зразків насичених вуглеводнями відзначається пік магнітної сприйнятливості поблизу 200 °С із подальшим спаданням значень біля 400 °С. Така закономірність може свідчити про присутність сульфідів заліза або магемітової фази (Mathé and Lévêque, 2005). Крім того, зазначена диференціація може бути спричиненою наявністю ультрадисперсних однодоменних (SD) магнітних частинок за кімнатної температури із подальшим переходом у суперпарамагнітний стан (SP) при зростанні температури у діапазоні температур, що обговорюється (Rijal et al., 2012). У той же час зразок фонового ґрунту, що аналізується, не проявляв максимумів при наближенні до 500 °С, що є ознакою значно меншого вмісту магнетитової фази. Диференціація у діапазоні 200-400 °С вказує на основні магнітні фази даного зразка – сульфідів та магеміту. Низькотемпературний аналіз магнітної сприйнятливості насиченого вуглеводнями ґрунту полігону Старуня не ідентифікував магнетитової та гематитової фази, тобто переходи Вервея та Моріна відсутні, що підтверджує гіпотезу про формування аутогенного піротину під впливом вуглеводнів.

Для підвищення однозначності інтерпретації результатів дослідження магнітної мінералогії ґрунтів полігону Старуня розглянемо результати вивчення низькотемпературних характеристик залишкової намагніченості, що отримані за допомогою магнітометричної системи Quantum Design's MPMS 3. На рис. 14 наведено криві для насиченого вуглеводнями ґрунту з околу свердловини Надія-1. Вимірювання проводилися у нульовому магнітному полі. Залишкова намагніченість отримана у полі 7 Тл (IRM_{7T}) при кімнатній температурі. Ідентифікується абсолютний максимум на позначці у 113,5 К, що є близьким до переходу Вервея магнетиту. У той же час, крутизна нахилу кривих після подолання зони переходу Вервея та ізотропної точки магнетиту є незначною. Це свідчить про превалювання дрібнозернистого магнетиту, скоріше за все однодоменного (SD), імовірно педогенного або вуглеводневого походження. Тобто, у структурі ґрунту одночасно можуть знаходитися магнетики ґрунтоутвірного походження та аутогенного, що формуються під впливом вуглеводнів. Свідченням наявності аутогенного піротину вуглеводневого походження може бути помітний при збільшеному масштабі на рис. 14а, а також видимий на рис 14б перехід Беснуса в діапазоні 30-40 К.

Насичені вуглеводнями зразки глин та ґрунтів демонструють екстремально високі значення магнітної сприйнятливості, що можна пов'язувати з формуванням вторинних магнітних мінералів. Ця теорія підтверджується результатами геохімічних приповерхневих досліджень території полігону Старуня (Sechman,

2009). Найвищі значення вмісту метану у ґрунтах відповідають аномально високим значенням магнітної сприйнятливості ґрунтів (ландшафтна секція 2) та від'ємним аномаліям магнітного поля.

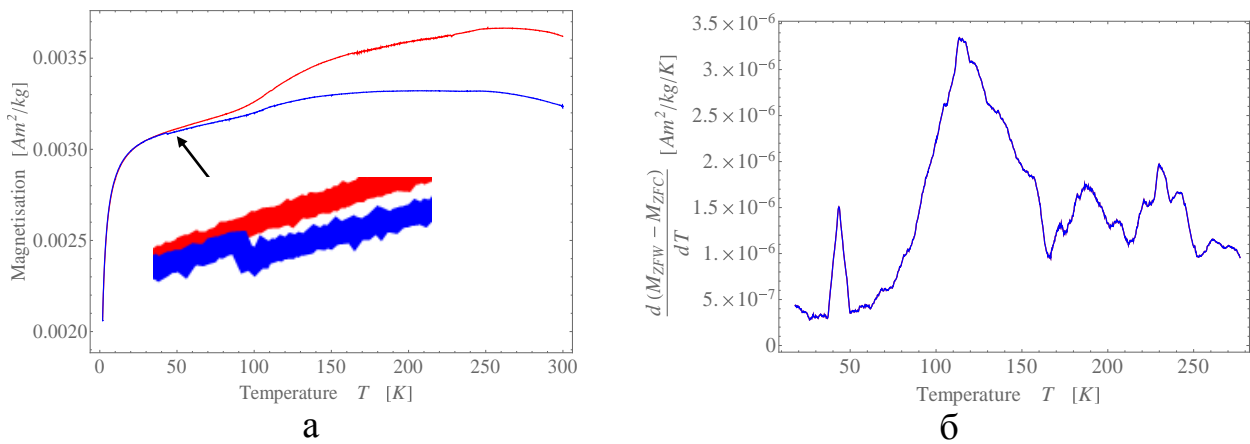


Рис. 14. Температурний аналіз залишкової намагніченості полігону Старуня: а – криві нагріву ZFW (нижня) та охолодження ZFC (верхня), б – перша похідна різниці ZFC- ZFW

У більшості випадків метан є термального генезису та мігрує у приповерхневі горизонти і ґрунтовий покрив із глибинних структур. Найвищі значення вмісту алканів C₂-C₅ у ґрунтах також відповідають аномально високим значенням магнітної сприйнятливості ґрунтів (ландшафтна секція 2). Аномально високі концентрації метану та сумарних алканів C₂-C₅ можуть свідчити про наявність водних резервуарів Плейстоцену, які розвинені навкруги розломної зони. Крім того, значна кількість метану була продукована мікроорганізмами четвертинних відкладів полігону Старуня. Отже, отримані розподіли вмісту газів визначаються впливом розломних зон, літологічними особливостями плейстоценових відкладів, маршрутами міграції вуглеводневої сировини у приповерхневі горизонти та ґрунти, термогенними та мікробними газами.

Отже, наведені матеріали підтверджують міграцію вуглеводневого флюїду у верхні частини геологічного розрізу та ґрунтовий покрив, а також природне та антропогенне накопичення вуглеводневих продуктів у ґрунтах, що спричинює вторинні зміни магнітної мінералогії. Сформовані таким чином аутогенні (діагенетичні) магнетики можуть підвищувати магнітну сприйнятливість ґрунтів у межах ареалів розсіювання або безпосереднього витоку вуглеводнів на поверхню. Магнітні аномалії збігаються з геохімічними даними концентрації метану та алканів C₂-C₅ у зразках ґрунтового газу. Зафіксовано, що для родовищ Передкарпатського прогину України основними магнітними фазами ґрунтів, які зазнали впливу вуглеводнів, є аутогенні сульфіди заліза у псевдооднородному стані (PSD).

ВИСНОВКИ

1. Раціональний комплекс дослідження магнетизму ґрунтового покриву з метою розв'язання завдань геології, екології та ґрунтознавства, що визначений автором, має включати: масову капаметрію ґрунтового покриву по латералі і вертикалі, аналіз природи магнітних аномалій ґрунтів на основі високороздільних магнітомініралогічних досліджень, зіставлення величин магнітних характеристик та складу магнетиків із інформацією про наявність корисних копалин, забруднення навколишнього середовища, показниками родючості аграрних земель (зони покладів вуглеводнів, техногенні аномалії, дані щодо ерозії ґрунтового покриву, вмісту гумусу і т.ін.).

2. Магнетизм ґрунтового покриву має розглядатися на даному етапі як досі не використаний інформаційний ресурс при геологічних дослідженнях, у тому числі при пошуках родовищ нафти і газу. Зокрема, проєкції покладів вуглеводнів на денну поверхню і відповідні геологічні аномалії часто зіставні із зонами магнітних аномалій та змінами магнітних характеристик ґрунтів, що підтверджується конкретними прикладами для дерново-підзолистих та лучних ґрунтів родовищ Передкарпатського прогину України. Це пояснюється вторинними перетвореннями феромагнітних фракцій відповідних ґрунтів під впливом вуглеводневих флюїдів. Зафіксовано утворення діагенетичного піротину та магнетиту у псевдооднодоменній фазі розміром від десятків нм до перших мкм, підтверджено збіги зон магнітних та геохімічних аномалій концентрації етану та алканів C_2 - C_5 у ґрунтовому покриві.

3. Висока інформативність магнітних характеристик ґрунтового покриву при екологічних дослідженнях визначається привнесенням до структури ґрунту у межах техногенно забруднених територій феромагнітної компоненти, що утворюється у процесі роботи підприємств важкої промисловості та руху транспорту. Відбувається зростання значень магнітних параметрів відповідних ґрунтів у порівнянні з їх первинним (фоновим) станом. При цьому техногенні магнітні мінерали відіграють роль переносника небезпечних для людини хімічних компонентів, у першу чергу важких металів. Результатами наших досліджень для різних регіонів України продемонстровано високі коефіцієнти кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістом цілого ряду техногенних елементів, зокрема міді, свинцю, цинку, заліза. Критерієм техногенного забруднення є підвищення магнітної сприйнятливості урбаноземів на глибині до 30 см у 10-100 разів, а коефіцієнт частотної залежності магнітної сприйнятливості становить менше ніж 3. Ознакою техногенного генезису магнетиків у ґрунтах є наявність у їхньому складі крупнозернистого мультидоменного магнетиту у вигляді сферичних зерен розміром близько 10 мкм і крупніше, що було зафіксовано для міст Київ, Дніпро та Трускавець. Практична реалізація зазначеного положення значно спрощується впровадженням розроблених нами патентоспроможних способів відбору пилових фракцій з метою визначення забруднення атмосфери.

4. Прикладне значення магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні завдань ґрунтознавства та аграрного сектора визначається диференціацією магнітних

характеристик у ґрунтовому розрізі, а також тісними кореляційними зв'язками між магнітними параметрами та показниками родючості ґрунтів. Зокрема, нами зафіксовано для чорноземів звичайних, типових, південних та сірих лісових ґрунтів Степу та Лісостепу України високі за Пірсоном коефіцієнти кореляції між магнітною сприйнятливістю та індексом ерозійної небезпеки, продуктивністю земель, вмістом гумусу, марганцю, калію, кислотно-лужним балансом. Ідентифікуються місця природних пожеж та необхідності внесення добрив. Критерієм незабруднених фонових ґрунтів визначено вміст однодомених стабільних та суперпарамагнітних дрібнодисперсних зерен магнетиту, магеміту, гетиту та гематиту ґрунотвірного походження розміром від кількох нм до перших мкм.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія:

1. Pereira, P., Brevik, E., Oliva, M., Estebaranz, F., Depellegrin, D., Novara, A., Cerda, A., **Menshov, O.** (2017). Goal Oriented soil mapping: applying modern methods supported by local knowledge. In Pereira, P., Brevik, E., Munoz-Rojas, M., Miller, B. (Eds.), *Soil mapping and process modelling for sustainable land use management* (pp. 61-83). Elsevier: ISBN: 9780128052006.

Статті у наукових фахових виданнях України:

(які входять до переліку ВАК/МОН України)

2. Кудеравець, Р.С., **Меньшов, О.І.**, Чоботок, І.О. (2013). Результати магніторозвідки та капаметрії ґрунтового шару на Орховицькому нафтогазовому родовищі у Передкарпатському прогині. *Геодинаміка*, 2(15), 189-191.

3. **Меньшов, О.І.**, Сухорада, А.В., Буковський, В.П. (2009). Педомагнетизм нафтогазоперспективних територій (на прикладі ДДЗ). *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 6, 163-170.

4. **Меньшов, О.**, Сухорада, А., Круглов, О., Хоменко, Р. (2009). Ґрунтовий покрив військових аеродромів України та їх можлива екологічна санація (на прикладі аеродрому в м. Прилуки). *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 47, 36-38.

5. **Меньшов, О.І.** (2010). Перший досвід застосування атмомагнітометрії в Україні (на прикладі Київського мегаполісу). *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 7, 343-348.

6. **Меньшов, О.І.**, Сухорада, А.В. (2011). Геологічна інформативність магнітних досліджень при пошуках вуглеводнів. Стан проблеми. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 8, 59-70.

7. **Меньшов, О.І.**, Сухорада, А.В. (2011). Інформативність ультрадетальних магнітних та магнітометричних досліджень при прогнозуванні та моніторингу геологічного середовища. *Геодинаміка*, 2(11), 202-204.

8. **Меньшов, О.І.**, Сухорада, А.В., Хоменко, Р.В., Круглов, О.В. (2012). Сучасні магнітні дослідження природних об'єктів. Інформаційний аспект. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 9, 178-185.

9. **Меньшов, О.**, Круглов, О., Сухорада, А., Хоменко, Р. (2012). Ультрадетальна магнітометрія природних систем. Економічні та аграрні аспекти. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 56, 24-26.

10. **Меньшов, О.** (2013). Магнетизм верхньої частини розрізу земної кори: природна та техногенна складові. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 1(60), 28-32.

11. **Меньшов, О.,** Сухорада, А. (2013). Геофізика педосфери та природознавство В.І. Вернадського. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 3(62), 29-32.

12. **Меньшов, О.І.,** Сухорада, А.В., Хоменко, Р.В., Круглов, О.В. (2013). Архітектура педомагнітної бази даних. Постановка задачі. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 10, 118-125.

13. **Меньшов О.І.** (2014). Перші результати атмомагнітного контролю стану довкілля на прикладі міста Київ. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 11, 178-184.

14. **Меньшов, А.,** Сухорада, А. (2014). Геомагнитные исследования в Киевском Университете. История и перспективы развития. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 3(66), 68-70.

15. **Меньшов, О.,** Карпенко, О. (2014). Магнітні дослідження при пошуках покладів вуглеводнів нетрадиційного типу. Постановка задачі. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 4(67), 55-58.

16. **Меньшов, А.И.,** Кудеравец, Р.С., Чоботок, И.А. (2015). Магнетизм природных объектов нефтегазоперспективных территорий Западной Украины. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 12, 25-33.

17. **Меньшов, О.І.,** Кудеравец, Р.С., Чоботок, І.О. (2015). Магнітна сприйнятливість ґрунтів Карпат у долині річки Манявки. *Геодинаміка*, 2, 94-99.

18. **Меньшов, О.І.** (2016). Застосування магнітних методів для контролю деградації продуктивних земель. *Геофізичний журнал*, 4(38), 130-137.

19. **Menshov, O.** (2013). Magnetic susceptibility and heavy metals soil accumulation in Ukrainian urban areas. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(63), 30-33.

*Статті у наукових фахових виданнях України,
які входять до міжнародних наукометричних баз даних:*

20. Гадиров, В., **Меньшов, А.,** Кудэравец, Р., Гадиров, К. (2016). Гравімагніторозвідка при пошуках нафтогазових родовищ в умовах Азербайджану та України. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 3(74), 23-33.

21. **Меньшов, А.И.,** Сухорада, А.В. (2012). Магнетизм почв Украины. *Науковий Вісник НГУ*, 1(127), 15-22.

22. **Меньшов, А.И.,** Круглов, А.В., Сухорада, А.В. (2012). Информативность показателей магнетизма почвенного покрова при решении агрогеофизических и почвоведческих задач. *Науковий Вісник НГУ*, 3(129), 7-12.

23. **Меньшов, А.** (2013). Информативность показателей магнетизма почвенного покрова при решении экологических задач. *Науковий Вісник НГУ*, 6(138), С. 92-98.

24. **Меньшов, О.** (2015). Магнітна сприйнятливість південних чорноземів України на прикладі Одеської області. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 2(69), 70-74.

25. **Меньшов, О.,** Кудеравец, Р., Попов, С., Хоменко, Р., Сухорада, А., Чоботок, І. (2016). Термомагнітний аналіз ґрунтів територій покладів вуглеводнів. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 2(73), 33-37.

26. **Меньшов, О.**, Кампс, П. (2017). Перші результати екомагнітних досліджень слабкоурбанізованих міст на прикладі Трускавця (Україна) та Монпельє (Франція). *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 1(76), 27-32.

Статті в іноземних виданнях:

27. **Меньшов, А.И.** (2016). Информативность магнетизма почвенного покрова при поисках углеводородов на примере Западной Украины. *Вестник ВКГТУ*, 2, 36-41.

28. **Меньшов, А.И.**, Круглов, А.В. (2016). Магнитные методы при изучении деградации аграрных земель Украины. *Вестник ВКГТУ*, 3, 9-14.

29. **Menshov, O.**, Kuderavets, R., Vyzhva, S., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59(4), 614-627.

30. **Menshov, O.**, Kuderavets, R., Vyzhva, S., Maksymchuk V., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2016). Magnetic studies at Starunia paleontological and hydrocarbon bearing site (Carpathians, Ukraine). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 60(4), 731-746.

31. Pereira, P., Cerda, A., Martin, D., Úbeda, X., Depellegrin, D., Novara, A., Martinez-Murillo, J., Brevik, E.C., **Menshov O.**, Comino, J.R., Miesel, J. (2017). Short-term low-severity spring grassland fire impacts on soil extractable elements and soil ratios in Lithuania. *Science of The Total Environment*, 578, 469-475.

Патент:

32. **Меньшов, О.І.**, Сухорада, А.В. (2013). Спосіб атмомагнітного контролю стану довкілля. *Патент на винахід*, № 102735 від 12.08.2013.

Статті та праці в інших виданнях:

33. Круглов, О.В., Назарок, П.Г., **Меньшов, О.І.** (2014). Перспективний досвід визначення проявів ерозійних процесів з використанням геофізичних методів. *Матеріали наукової конференції-семінару «Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах»*. Львів, 109-110.

34. **Меньшов, О.І.**, Сухорада, А.В. (2009). Ґрунтовий покрив території військового аеродрому у м. Прилуки. Ступінь враженості та перспективи санації. *Матеріали п'ятої Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів"*. Дніпропетровськ, 72-74.

35. **Меньшов, О.І.** (2011). Ультрадетаљна магнітометрія при вивченні довкілля. *Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів"*. Дніпропетровськ, 52-54.

36. **Меньшов, О.І.**, Сухорада, А.В., Хоменко, Р.В., Круглов, О.В. (2012). Архітектура педомагнітної бази даних. *Геоінформатика*. Київ, Диск CD.

37. **Меньшов, О.І.** Информативність магнетизму ґрунтового покриву. Розвиток досліджень 2012. (2012). *Матеріали X Міжнародної наукової конференції "Моніторинг геологічних процесів"*. Київ, 101-104.

38. Kruglov, O., **Menshov, O.** (2017). To the soil magnetic susceptibility application in modern soil science. *16th EAGE International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects*, Диск CD.

39. **Menshov, O.**, Sukhorada, A., Homenko, R., Kruglov, O. (2012). Ultradetailed Environmental Magnetic Investigations in Ukraine. *EarthDoc. Near Surface Geoscience*

2012 – Paris, France, Диск CD. <http://earthdoc.eage.org/detail.php?pubid=61751>.

40. **Menshov, O.**, Kuderavets, R., Chobotok, I., Tymoschuk, V. (2014). Magnetic Studies Associated with Hydrocarbon Fields in the Ukrainian Part of Carpathian Foredeep. *In 76th EAGE Conference and Exhibition 2014*.

41. **Menshov, O.** (2017). Magnetic measurements of soil pollution in low urbanized environment. *16th EAGE International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects*, Диск CD.

Тези наукових доповідей:

42. **Menshov, O.**, Sukhorada, A., Homenko, R., Kruglov, O. (2012). Multipurpose magnetic investigations in Ukraine for solving environmental tasks. *Contributions to Geophysics and Geodesy "Paleo, Rock and Environmental Magnetism 13th Castle Meeting, Special issue*, 87-88.

43. **Menshov, O.**, Kruglov, O., Sukhorada, A. (2014). Magnetic properties of soils in boreal regions. Case study from Ukraine. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 16, 90.

44. **Menshov, O.**, Kuderavets, R., Chobotok, I. (2014). Magnetic investigations in Carpathian foredeep of Ukraine. *Book of Abstracts, 13th Castle Meeting New trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism*, 115-116.

45. **Menshov, O.**, Pereira, P., Kruglov, O., Sukhorada, A. (2016). The importance of magnetic methods for soil mapping and process modelling. Case study in Ukraine. *In EGU General Assembly Conference Abstracts*, 18, 136.

46. **Menshov, O.**, Kuderavets, R., Chobotok, I. (2016). Magnetic studies at Starunia hydrocarbon site in Ukraine. *Book of Abstracts, 15th Castle Meeting New trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism*, 2016, 101-102.

47. **Menshov, O.**, Pereira, P., Kruglov, O., Sukhorada, A. (2017). Mapping soil magnetic susceptibility and mineralogy in Ukraine. *In EGU General Assembly Conference Abstracts*, 19, 77.

АНОТАЦІЯ

Меньшов О.І. Теорія і методологія застосування магнетизму ґрунтового покриву в геології, екології, ґрунтознавстві. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка МОН України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена розробці теорії та методології застосування магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні завдань геології, екології, ґрунтознавства.

В основу теорії і методології застосування магнетизму ґрунтового покриву покладається системне геофізичне дослідження ґрунтової оболонки Землі – педосфери.

Наведені приклади застосування інформації про магнетизм ґрунтового покриву при розв'язанні ґрунтознавчих та аграрних завдань доводять тісний генетичний зв'язок між магнітними величинами та показниками родючості, ерозії, вмістом органічних та неорганічних речовин, фізико-хімічними параметрами ґрунтів.

Магнітні дослідження техногенних ґрунтів та пилових фракцій атмосферного повітря продемонстрували свою високу інформативність та ефективність при оцінці загального забруднення територій. Визначено, що доменний стан магнітного матеріалу, розміри та форма магнетиків залежать від їх походження та знаходяться у тісному генетичному зв'язку із вмістом важких металів та інших техногенних домішок.

Міграція вуглеводнів у верхні частини геологічного розрізу та ґрунтовий покрив, а також їх природне та антропогенне накопичення спричинюють вторинні зміни магнітної мінералогії. Проекції покладів вуглеводнів на денну поверхню і відповідні геологічні аномалії часто зіставні із зонами магнітних, геохімічних аномалій та змінами магнітних характеристик ґрунтів. Аутогенними магнітними мінералами ґрунтів Передкарпатського прогину України, які зазнали впливу вуглеводнів, визначено сульфіди заліза у псевдооднородному стані.

Ключові слова: магнетизм ґрунтів, теорія і методологія, намагніченість, магнітна сприйнятливість, ґрунтовий покрив.

АННОТАЦІЯ

Меньшов А.И. Теория и методология применения магнетизма почвенного покрова в геологии, экологии, почвоведении. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора геологических наук по специальности 04.00.22 – геофизика. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко МОН Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена разработке теории и методологии применения магнетизма почвенного покрова при решении задач геологии, экологии, почвоведения.

В основу теории и методологии применения магнетизма почвенного покрова положено системное геофизическое исследование почвенной оболочки Земли – педосферы.

Приведенные примеры применения информации о магнетизме почвенного покрова при решении почвоведческих и аграрных задач доказывают тесную генетическую связь между магнитными величинами и показателями плодородия, эрозии, содержанием органических и неорганических веществ, физико-химическими параметрами почв.

Магнитные исследования техногенных почв и пылевых фракций атмосферного воздуха продемонстрировали свою высокую информативность и эффективность при оценке общего загрязнения территорий. Определено, что доменное состояние магнитного материала, размеры и форма магнетиков зависят от их происхождения и находятся в тесной генетической связи с содержанием тяжелых металлов и других техногенных примесей.

Миграция углеводородов в верхние части геологического разреза и почвенный покров, а также их естественное и антропогенное накопление вызывают вторичные изменения магнитной минералогии. Проекции залежей углеводородов на дневную

поверхность и соответствующие геологические аномалии часто сопоставимы с зонами магнитных, геохимических аномалий и изменениями магнитных характеристик почв. Аутогенными магнитными минералами почв Предкарпатского прогиба Украины, подвергшихся воздействию углеводородов, определены сульфиды железа в псевдооднородном состоянии.

Ключевые слова: магнетизм почв, теория и методология, намагниченность, магнитная восприимчивость, почвенный покров.

ABSTRACT

Menshov, O.I. Theory and methodology of the application of soil magnetism in geology, ecology, and soil science. – Manuscript.

Dissertation for a doctoral degree in Geological Sciences, specialty 04.00.22 – Geophysics. – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, 2017.

The dissertation aims to advance the theory and methodology of soil magnetism with a view to applying it to issues in geology, ecology, and soil science.

The present state of knowledge of soil magnetism and its applications in Ukraine and worldwide has been analyzed. The first research papers date back to the middle twentieth century in Cuba. There is nowadays a growing interest in soil magnetism research around the world, with the most topical issues in environmental pollution, land degradation and erosion, oil and gas prospecting.

A systematic geophysical study of the Earth's soil layer (pedosphere) is the basis for the development of a consistent theory and methodology of applying soil magnetism in geology, ecology, and soil science. The fundamentals of the general theory and methodology of soil magnetism include interpretation and generalization of data on magnetic mineralogical composition, interaction of rocks and soils with the atmosphere, hydrosphere, biosphere, exogenous and biochemical processes, understanding of the nature of soil magnetism, and investigation of the physical and chemical parameters of soil.

The practical examples of applying soil magnetism in solving soil and agrarian problems confirm the high information content of the method. The scientific novelty of the investigation has been formulated. There has been proved a close genetic relationship and a strong correlation between magnetic parameters and soil fertility, productivity, degradation, erosion, organic and inorganic matter content, physical and chemical indicators. The changes in the magnetic susceptibility are related to the presence and pedogenic formation of the single-domain stable and superparamagnetic grains of magnetite, maghemite, goethite and hematite with the grain size of tens of nm.

Magnetic studies of polluted soils and atmospheric particulate matter accumulating in soil, tree bark, and other flat surfaces, demonstrated their high effectiveness in assessing the overall environmental pollution of the urbanized territories and big cities. It has been determined that the magnetic state of a magnetic material, its grain size and shape depend of the material origin. There has been identified a close genetic relationship between the magnetic properties of soil and the content of heavy metals and other technogenic admixtures. High coefficients of correlation between the magnetic susceptibility and copper, zinc, and lead content in soils have been

obtained. Environmental pollution leads to an increase in the values of magnetic susceptibility up to 10-100 times. The frequency dependence of magnetic susceptibility was less than 3. The accumulation of technogenic particles in soils occurs to a depth of 20-30 cm depending on the structure of the soil genetic horizons. Convincing evidence for the man-made pollution of soils is the presence of coarse-grained multidomain magnetite with the sphere size of about 10 microns or larger.

Our research results confirm the migration of hydrocarbons to the upper layers of the geological section and to the soil. Moreover, natural and anthropogenic accumulations of hydrocarbons in the soil were observed. These cause secondary authigenic changes in the magnetic mineralogy of soils. We have identified an increase in the magnetic susceptibility of the soil and underlying rocks and magnetization across the area of geological section in the zone affected by hydrocarbons. This increase was up to 2-15 times compared to the background values. The projections of the hydrocarbon deposits on the surface and the corresponding geological anomalies are often comparable with the zones of magnetic and geochemical anomalies. Hence changes in the magnetic characteristics of soils. Iron sulphides in a pseudo-single-domain state were determined as the authigenic magnetic minerals of soils of the Carpathian Foredeep of Ukraine.

Key words: soil magnetism, theory and methodology, magnetization, magnetic susceptibility, soil.