

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

**Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису**

**МЕНЬШОВ ОЛЕКСАНДР ІГОРЕВИЧ**

**УДК 550.382.3**

**ДИСЕРТАЦІЯ**

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

**04.00.22 – геофізика**

**Подається на здобуття наукового ступеня**

**доктора геологічних наук**

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ О.І. Меньшов

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий консультант:

**Вижва Сергій Андрійович, доктор геологічних наук, професор**

**Київ – 2017**

## АНОТАЦІЯ

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

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

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

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.

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

Предмет дисертаційного дослідження – магнітні властивості ґрунтів та їхня інформативність в геології, екології, ґрунтознавстві.

Аналіз стану проблеми дослідження магнетизму ґрунтового покриву в Україні та світі показав, що перші роботи було опубліковані у середині минулого століття на Кубі. На даний момент спостерігається значне зростання

обсягу магнітних досліджень ґрунтів у світі з метою застосування даної інформації при вивченні забруднення довкілля, деградації продуктивних земель, пошуків нафти і газу.

В основу теорії та методології застосування магнетизму ґрунтового покриву покладено системне геофізичне дослідження ґрунтової оболонки Землі – педосфери. У кожному окремому випадку зародження та формування магнетиків у ґрунтах, їхні діагенетичні перетворення і накопичення підпорядковуються низці природних, антропогенних та техногенних чинників. Систематизація та узагальнення даної інформації формують основи загальної теорії та методології застосування магнетизму ґрунтового покриву у геології, екології, ґрунтознавстві.

З метою розробки теорії та методології застосування магнетизму ґрунтового покриву в геології, екології, ґрунтознавстві нами використовувався 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 розроблено методологічний комплекс використання методу, методики та технології польових та лабораторних робіт. Використана найсучасніша апаратурна магнітометрична база: кафедри геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка; Геофізичного центру Королівського метеорологічного інституту, Бельгія, Дурб; Центру Наук про Землю (лабораторія CNRS) Університету Монпельє, Франція. Найбільш вживаними магнітними параметрами стали об'ємна та питома магнітна сприйнятливості. Додатково з метою з'ясування магнітомінералогічного складу, доменної структури, розмірів магнітних частинок ґрунтів та пилових фракцій залучені параметри петлі гістерезису, ізотермічна залишкова намагніченість, безгістерезисна (ідеальна) намагніченість, термомагнітний аналіз у діапазоні від 1,8 К (-271,35 °С) до

973,15 K (700 °C), інші види намагніченостей, мінералогічні мікроскопічні дослідження. Побудовано карти, графіки розподілів магнітних величин та їх кореляційні залежності з геохімічними, агрономічними і вуглеводневими параметрами.

За результатами досліджень, які наводяться у розділах дисертації, сформульовано наукову новизну роботи. На прикладі родовищ Передкарпатського прогину та Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) України критеріями інформативності визначено підвищення магнітної сприйнятливості та намагніченості ґрунтів і підстилаючих порід верхньої частини геологічного розрізу в зоні впливу вуглеводнів у 2-15 разів порівняно із фоновими значеннями або зафіксовано високу дисперсію магнітних параметрів. Встановлені закономірності пояснюються формуванням аутогенних (вторинних) магнітних мінералів під впливом вуглеводневої речовини у процесі її міграції та розсіювання, зокрема зафіксовано утворення діагенетичного піротину та магнетиту у псевдооднодоменній фазі розміром від десятків нм до перших мкм. Магнітні аномалії ґрунтів збігаються із аномаліями магнітного поля та геохімічними аномаліями.

Для чорноземів звичайних, типових, південних та сірих лісових ґрунтів Степу та Лісостепу України визначено, що понижені відносно фонових значення магнітної сприйнятливості співпадають із зонами водної ерозії ґрунтів, а зростання магнітної сприйнятливості відповідає підвищенню вмісту гумусу. Отримано високі кореляційні зв'язки між величинами магнітної сприйнятливості та індексом ерозійної небезпеки, показниками продуктивності, вмістом гумусу, марганцю, обмінного калію та кислотнo-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.

На прикладі Києва, Трускавця, Дніпра визначено, що небезпечні для здоров'я людини пилові фракції розміром близько 10 мкм, 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 3. Крім того, визначено, що накопичення небезпечних частинок у ґрунтах відбувається до глибини 20-30 см залежно від будови генетичних горизонтів ґрунтового покриву. Продемонстровано 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, 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).

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

## 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, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine. – 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.

Soil is one of the most dynamic constituents of the geological environment. Soil composition is formed through the interaction of rocks with the atmosphere, hydrosphere and biosphere in a variety of exogenous and biochemical processes. Soils are informative of both their natural components and man-made (anthropogenic and technogenic) pollutants. The ability of soil to change certain physical and chemical properties depending on the external conditions makes it a unique source of knowledge on the state and properties of the environment.

The object of the research is soil as the upper part of the geological section and a key element of agricultural and urban landscapes, including those undergoing natural and man-made modifications.

The subject of the research is the magnetic properties of soils and their information content 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.

To develop the theory and methodology of applying soil magnetism in geology, ecology and soil science, we have used: a systematic analysis of soil magnetism, verification and analysis of soil magnetism materials, the dynamic geophysics methodology, methodologies in cognition, practical integrity and evaluation, as well as pedosphere modeling. A methodological complex has been developed for the use of the method in the field and laboratory work. The studies were performed in well-equipped laboratories: the Department of Geophysics, Taras Shevchenko National University of Kyiv; the Geophysical Center of the Royal Meteorological Institute, Dourbes, Belgium; Geosciences Montpellier, CNRS and University of Montpellier, France. The most widely used magnetic parameters are volume and mass-specific magnetic susceptibility. To study the magnetic mineralogy, the domain state, grain size of the magnetic particles and soils, we have used: hysteresis loops, isothermal remanent magnetization, anhysteretic remanent magnetization, thermomagnetic analysis in the range from 1.8 K (-271.35 °C) to 973.15 K (700 °C), other types of magnetization, and mineralogical microscopic data. Maps and graphs have been built to show the correlation between the magnetic values and geochemical, agronomic and hydrocarbon parameters.

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.

The practical significance of the research results derives from the accumulated evidence – based on practical application – for the high information content of soil magnetism, as well as recommendations on the use of magnetic methods in geological, ecological, agricultural and soil science activities. The obtained materials were used in joint scientific and practical projects with: State Enterprise “Agrogeophysics” of the NJSC “Nadra Ukrainy”; the Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine; NSC “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research n.a. O.N. Sokolovskiy”; Environmental Management Laboratory, Mykolas Romeris University, Vilnius, (Lithuania); Geosciences Montpellier, CNRS and University of Montpellier (France); Geophysical Center of the Royal Meteorological Institute (Belgium).

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

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Монографія*

1. Pereira, P., Brevik, E., Oliva, M., Estebananz, 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 санацій (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 України. *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 слабоурбанізованих 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. Інформативність 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.*

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.*

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 13<sup>th</sup> 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, 13<sup>th</sup> 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, 15<sup>th</sup> 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.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....</b>	<b>18</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>19</b>
<b>РОЗДІЛ 1</b>	
<b>СТАН ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕНЬ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТІВ.....</b>	<b>29</b>
1.1. Історія розвитку досліджень магнетизму ґрунтів.....	30
1.2. Сучасні магнітні дослідження ґрунтового покриву.....	36
<b>РОЗДІЛ 2</b>	
<b>МЕТОДОЛОГІЯ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ.....</b>	<b>55</b>
2.1. Основні принципи методології магнетизму ґрунтового покриву.....	55
2.2. Магнітні дослідження при розв’язанні задач ґрунтознавства та аграрного сектора.....	65
2.3. Магнітні дослідження при розв’язанні екологічних та природоохоронних задач.....	92
2.4. Магнітні дослідження в геології.....	108
<b>РОЗДІЛ 3</b>	
<b>ІНФОРМАТИВНІСТЬ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТІВ В ҐРУНТОЗНАВСТВІ ТА АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....</b>	<b>124</b>
3.1. Інформативність магнетизму ґрунтового покриву при дослідженні деструктивних процесів ґрунтів на прикладі чорноземів приберегової частини Одеської області.....	124
3.2. Інформативність магнетизму ґрунтового покриву при визначенні індексу ерозійної небезпеки на прикладі земель аграрного виробництва Харківської області.....	133
3.3. Інформативності магнетизму ґрунтового покриву при дослідженні його продуктивності на прикладі чорноземів та сірих лісових ґрунтів Полтавської області.....	145
3.4. Інформативність магнетизму ґрунтового покриву при дослідженні фізико-хімічних показників на прикладі аграрних земель Київщини.....	152

3.5. Приклад дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву для розв'язання аграрних завдань за межами України.....	158
--	-----

## **РОЗДІЛ 4**

<b>ІНФОРМАТИВНІСТЬ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТІВ ТА ПИЛОВИХ ФРАКЦІЙ ПРИ КОНТРОЛІ ТА МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ.....</b>	<b>163</b>
--	------------

4.1. Інформативність магнітних методів при контролі забруднення атмосфери.....	163
--	-----

4.2. Магнетизм ґрунтів при контролі техногенного забруднення урбанізованих територій.....	187
---	-----

4.3. Інформативність магнетизму ґрунтів при забрудненні довкілля вуглеводнями.....	212
--	-----

## **РОЗДІЛ 5**

<b>ІНФОРМАТИВНІСТЬ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТІВ ПРИ ПОШУКАХ ВУГЛЕВОДНІВ ТА РОЗВ'ЯЗАННІ ДЕЯКИХ ІНШИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ.....</b>	<b>230</b>
--	------------

5.1. Комплексні магнітні дослідження території покладів вуглеводнів у межах Передкарпатського прогину України, Орховицьке нафтогазове родовище.....	230
---	-----

5.2. Комплексування магнітних методів з іншими геофізичними, геохімічними та геологічними дослідженнями у межах полігону Старуня.....	242
---	-----

5.3. Приклади використання інформативності магнітних досліджень при пошуках вуглеводнів за межами України.....	261
--	-----

<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>269</b>
----------------------	------------

<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>271</b>
--	------------

<b>ДОДАТОК: СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ.....</b>	<b>306</b>
---	------------

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

<b>MS</b>	- магнітна сприйнятливість;
<b><math>\chi</math></b>	- питома магнітна сприйнятливість;
<b><math>\square</math></b>	- об'ємна магнітна сприйнятливість;
<b><math>\chi_{fd}</math></b>	- частотна залежність магнітної сприйнятливості;
<b><math>\chi_{ARM}</math></b>	- безгістерезисна (ідеальна) магнітна сприйнятливість;
<b>IRM</b>	- ізотермічна залишкова намагніченість;
<b>ARM</b>	- безгістерезисна (ідеальна) намагніченість;
<b><math>S_{ratio}</math></b>	- відношення магнітом'якої до магнітожорсткої компоненти IRM;
<b>SP</b>	- суперпарамагнітний стан;
<b>SD</b>	- однодоменний стан;
<b>PSD</b>	- псевдооднодоменний стан;
<b>MD</b>	- мультидоменний стан;
<b>PM10</b>	- пилові фракції розміром близько 10 мкм;
<b>K</b>	- температура за шкалою Кельвіна;
<b>°C</b>	- температура за шкалою Цельсія.

## ВСТУП

**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 [160]. 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 [163], пошуках корисних копалин [250], дослідженні довкілля [185], контролі забруднення урбанізованих територій та повітряних басейнів міст [287], а також в аграрному секторі при розробці оптимальних схем сталого землеробства [222] та як інструменту сучасного ґрунтознавця [37]. 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  $\pm 7$  Тл, частотним діапазоном 0,1 Гц...1 кГц. Обертальний магнітометр J-coercetivity 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 C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub> 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 [21, 37, 39, 55-83, 213, 242, 243, 245-254, 266, 267]. Внесок здобувача у публікаціях, написаних у співавторстві, визначається таким чином. У роботах [266, 267] за участю автора виконано огляд літератури, обговорення результатів, формулювання висновків. У роботах [21, 39, 55-57, 60, 61, 63-65, 67, 70, 71, 77-79, 81-83, 213, 245-254] автор брав безпосередню участь у аналітичному огляді літератури, виконанні експериментальних польових і лабораторних досліджень, обробці та аналізі результатів, підготовці висновків. У роботі [75] дисертанту належить аналітичний огляд стану проблеми, у роботі [74] – постановка завдання досліджень, огляд літератури та обговорення результатів, у патенті [68] автор розробив алгоритм проведення експерименту, виконав експеримент та провів інтерпретацію результатів. У роботі [37] дисертанту належать лабораторні вимірювання магнітних характеристик, обробка та інтерпретація отриманих результатів. У роботі [66] 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 щирю 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.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕНЬ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТІВ

Огляд стану проблеми дослідження магнітних властивостей ґрунтів в Україні та світі, а також вивчення інформативності магнетизму ґрунтів в геології, екології та ґрунтознавстві, на нашу думку, слід розділити на декілька частин. У першій частині пропонується розглянути історію започаткування застосування рок-магнітних та палеомагнітних методів до вивчення ґрунтів, проаналізувати піонерні роботи у даному напрямку. Історичну частину публікацій пропонуємо закінчити кінцем 80-х початком 90-х років минулого сторіччя. Саме такі часові рамки обрані із двох об'єктивних причин. Перша, це певна границя формування нового покоління сучасних дослідників, значний прорив у інструментальному супроводженні досліджень, переформатування наукових шкіл, що викликане геополітичними процесами. Другою, і більш важливою причиною, стало започаткування магнітних досліджень ґрунтів на базі магнітометричної лабораторії Студентського конструкторсько-дослідницького бюро (СКДБ) кафедри геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка на початку 90-х років ХХ ст. У цей же час (1996 р.) автор дисертаційної роботи став членом СКДБ та долучився до вивчення магнетизму ґрунтового покриву.

Друга частина літературного огляду присвячена короткому опису започаткування магнітних досліджень ґрунтів у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, першим публікаціям та звітам, а також здобуткам автора дисертаційної роботи, що відносяться до періоду часу перед захистом кандидатської дисертації (2008 р).

Третя і основна оглядова частина стану проблеми магнітних досліджень ґрунтів присвячена найсучаснішим вітчизняним та закордонним

розробкам із акцентом на інформативність відповідних досліджень у геології, ґрунтознавстві та аграрному секторі, екології та природоохоронній галузі.

### 1.1 Історія розвитку досліджень магнетизму ґрунтів

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, результати яких продемонстрували істотне підвищення магнітної сприйнятливості (MS) ґрунтів по відношенню до материнської породи [297]. Трохи пізніше французький дослідник Le Vorne показав, які магнітні мінерали можуть формувати високу магнітну сприйнятливість ґрунтів [214], а також приділив увагу впливу пожеж на формування та зміни ґрунтового магнетизму [215].

Певним науковим проривом у галузі стала робота С.Е. Mullins, що вийшла у 1977 році й до нашого часу на втратила своєї актуальності [256], на неї продовжують посиляються найбільш визнані фахівці у провідних рецензованих журналах сьогодення. На сторінках даної статті вперше детально для магнетизму ґрунтів аналізується їх магнітна мінералогія, педогенні та аутогенні перетворення феромагнетиків, визначається висока інформативність магнітної сприйнятливості як індикатора процесу ґрунтоутворення. Наступною визначальною роботою прийнято вважати результати досліджень В.А. Maher, що опубліковані у 1986 році [234]. Розглядаються процеси ґрунтоутворення, аутогенетичні, діагенетичні зміни первинних оксидів заліза у ґрунтах. На основі магнітних параметрів виконується диференціація ґрунтів за їх типами. Розглядаються процеси оглеєння та опідзолення, застосовується широкий набір магнітних даних, які складають сьогодні основу повного циклу магнітних досліджень ґрунтів

(магнітна сприйнятливість, її частотна залежність, параметри петлі гістерезису, розмагнічування змінним полем та температурою і т.д.). Слід зауважити, що до наступних публікацій даного автора ми неодноразово будемо звертатися у подальшому.

Дещо раніше у 1982 році вийшла робота Ö. Özdemir, у якій розглянуті магнітні властивості ґрунтів на прикладі Міннесоти у США [262]. Розглянуті вертикальні розподіли магнітних параметрів у генетичних горизонтах. Визначено домінування однодомених (SD) зерен магнетиту у верхньому шарі ґрунтів та псевдооднодомених (PSD) і мультидомених (MD) у глибших горизонтах. Відзначено нижча магнітна стабільність зразків ґрунтів при включенні суперпарамагнітної фази (SP). Висока фаховість наведених результатів та фізико-хімічна обґрунтованість досліджених процесів підтверджується виданням дещо пізніше Ö. Özdemir разом із своїм чоловіком D.J. Dunlop базисної книги з магнетизму гірських порід [152], яка наразі застосовується фахівцями на рівні із класичною для пост радянського простору книгою Т. Нагати [87].

Першим виданням, що може претендувати на приналежність до енциклопедичного та фундаментального класу у галузі магнетизму природних об'єктів стала книга британських авторів R. Thompson та F. Oldfield [294]. У книзі зібрані основні уявлення стосовно магнетизму ґрунтів, його формування та інформативності, що існували на той час. Пізніше, у 2003 році вийшла більш сучасна книга M.E. Evans та F. Heller [159], яка містить теоретичні основи застосування магнітного методу для аналізу ґрунтів, осадових порід, пилових атмосферних фракцій, окреслені основні напрямки та перспективи використання інформативності магнетизму оточуючого середовища та ґрунтів.

Значущий доробок було отримано і на теренах колишнього СРСР. Так, ще у 1960 році вийшла робота А.В. Васильєва та А.С. Семенова, де наводилися результати вимірювання магнітної сприйнятливості ґрунтів

Забайкалля [12]. Приблизно у цей час започатковуються роботи наукової групи під керівництвом А.А. Лукшина. У роботі [45] автори уперше ідентифікували підвищення магнетизму в ілювіальному горизонті дерново-підзолистих ґрунтів на глибині 30-40 см. Далі виходить серія робіт авторів, де, наприклад, вивчається зміна сезонної зволоженості ґрунтів та її вплив на магнітну сприйнятливість, а також розглядається низка інших проблем [46]. У 70-х роках минулого сторіччя з'являються роботи науково-дослідницької групи А.Ф. Вадюниной та В.Ф. Бабанина. У своїх роботах [10, 11] автори наводять результати досліджень магнітної сприйнятливості різних типів ґрунтів СРСР, відзначають її зростання для автоморфних ґрунтів та зниження для гідроморфних, досліджуються різні фракції ґрунтів, у тому числі тонкодисперсні, відзначаються високі значення магнітної сприйнятливості ґрунтів Грузії. У кінці 70-х на початку 80-х років минулого сторіччя у своїх роботах Ю.Н. Водяницький [18, 19] розпочинає детальне дослідження магнітних фракцій феромагнітних мінералів, що власне є носіями магнетизму незабруднених ґрунтів, крім того ним відмічається зв'язок між MS та вмістом гумусу. Крім того, проводилися вивчення змін магнітних властивостей у ландшафті та уздовж катен [1], вивчалися сучасні та поховані ґрунти різних частин СРСР: наприклад Таджикистану [44], Ленінградської області [29], Кавказу [32].

У цілому необхідно зауважити, що у радянську епоху сформувався суттєвий матеріал щодо магнетизму ґрунтів. При цьому треба враховувати, що більшість досліджень проводилося відірвано від подібних у світі, тому більшість з них можуть претендувати на оригінальність та інноваційність на тому етапі розвитку.

Далі перейдемо до розгляду започаткування магнітних досліджень ґрунтів у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка та короткого огляду отриманих результатів автора до захисту кандидатської дисертації.

До вивчення магнетизму ґрунтів колектив дослідницької групи петромагнетизму на чолі з А.В. Сухорадою звернувся наприкінці минулого сторіччя [27, 43]. У даних публікаціях уперше для України були вивчені магнітні властивості деяких характерних ґрунтів. Роботи на перших етапах носили агрономічне спрямування, тому отримали назву агрогеофізика [106]. У подальшому дослідження були спрямовані на розширення їх ареалів включно із покриттям основних агрокліматичних зон України. Почали формуватися ідеологічні та методологічні засади геофізики педосфери та магнетизму ґрунтового покриву [111, 112]. У цей же час було виконано низку робіт на замовлення НАК «Надра України», а у відповідних звітах все ширше детермінувалися ґрунтові покриви за магнітними властивостями відповідно до типів ґрунтів, ландшафтних умов, агроґрунтового районування [22, 28]. Крім того, відбувається більш глибоке вивчення магнітної природи ґрунтів, зокрема К.М. Бондар досліджує природну залишкову намагніченість сучасних ґрунтів різних територій України [4].

Важливим став перехід до з'ясування напрямків можливого використання інформації про магнетизм ґрунтів у народному господарстві. Зокрема, на основі спільного гранту НАТО представники кафедри геофізики КНУ Тараса Шевченка спільно із фахівцями Польської АН проводили порівняльний аналіз техногенно забруднених і фонових ґрунтів України. У результаті вийшла серія публікацій, зокрема і у провідних міжнародних виданнях [194]. Фактично, наведені результати є першою спробою застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву до вирішення екологічних завдань на території України.

Паралельно відбувалися перші спроби більш глибокого дослідження магнетизму ґрунтів для вирішення ґрунтознавчих [106, 107] та агрономічних завдань [36]. Крім того, були започатковані на території України дослідження ґрунтів нафтогазоперспективних територій, у яких було оцінено магнетизм відповідних ґрунтів та їх можливий внесок у формування локального

аномального магнітного поля [97, 100]. Зауважимо, що відповідні дослідження проводилися із врахуванням результатів магніторозвідки на територіях покладів вуглеводнів, які проводилися, зокрема, М.І. Орлюком та В.Ю. Максимчуком [48, 95].

У частині робіт, які згадувалися вище, приймав участь автор даної дисертації. Перша власна публікація студента 2 курсу кафедри геофізики О. Меньшова вийшла у 2000 році [109] і стосувалася вимірювання магнітної сприйнятливості ґрунтів агрогеофізичного полігону. До моменту захисту кандидатської дисертації О. Меньшов став автором та співавтором близько 35 наукових публікацій та 6 наукових-дослідних звітів. Більша частина отриманих результатів була використана при написанні кандидатської дисертації. Розглянемо більш детально найбільш важливі статті та результати.

Основним завданням О.І. Меньшова було вивчити сумарну намагніченість типоморфних ґрунтів основних агрокліматичних зон України. Даний параметр є інтегральним і дозволяє оцінити внесок ґрунтового покриття у формування локальних аномальних магнітних полів. Крім того, він враховує окрім індуктивної компоненти магнітної сприйнятливості і залишкову намагніченість ґрунтів, яка у більшості випадків становить половину магнітного сигналу ґрунтів. Тому, у роботі [113] якраз висвітлювалися методологічні аспекти та їх практична реалізація стосовно визначення двох складових компонент магнетизму ґрунтів – природної залишкової та індуктивної намагніченостей, як складових сумарної намагніченості. Для розрахунку внеску ґрунтів до аномального магнітного поля важливим є параметр ефективної намагніченості. Саме переходу до дослідження даного параметру присвячена робота [110]. Для розуміння розподілів сумарної та ефективної намагніченості ґрунтів по латералі згідно до катен та по вертикалі у генетичних горизонтах ґрунтів проводилися дослідження на різних територіях України, що включало вивчення різних

типів ґрунтів. Наприклад, результати дослідження сірих лісових ґрунтів Лісостепу України наведені у роботі [52]. Після визначення величин магнетизму ґрунтів України у майбутньому планувався перехід до вивчення його інформативності. Тому, ще тоді проводилися оціночні роботи з метою постановки коректних перспективних завдань. Одна із публікацій була присвячена з'ясуванню перспективності використання магнітометрії ґрунтів при пошуках вуглеводнів [53]. Паралельно із наведеними основними дослідженнями відбувалася велика кількість дотичних і паралельних робіт, щодо впливу сільськогосподарської техніки як тяглової сили магнітометрії ґрунтів у русі, оптимального розташування магнітовимірюючої апаратури, вірності розрахунків магнітних параметрів ґрунтів, визначення магнетизму техногенно навантажених територій. Прикладом таких досліджень може слугувати вивчення ґрунтів голоцену, їх магнітна розбраківка у палеоґрунтового розрізі, ідентифікація на основі магнітної сприйнятливості та природної залишкової намагніченості [51].

Результати наведених вище досліджень носили важливе значення і на міжнародному рівні, їх якість була високо оцінена провідними фахівцями у галузі магнетизму оточуючого середовища, що підтверджується неодноразовим запрошенням О.І. Меньшова до участі у закордонних фахових зібраннях [244, 291].

Таким чином, у результаті проведених досліджень у 2008 році було захищено кандидатську дисертацію на здобуття наукового ступеню к.геол.н, за спеціальність 04.00.22 – геофізика, на тему «Намагніченість типоморфних ґрунтів України», науковий керівник к.геол.-мін.н, доцент А.В. Сухорада [54]. Її результатом стало визначення змін сумарної намагніченості ґрунтів України ( $J_{\Sigma}$ ) у латеральному напрямку. Найменш магнітними ґрунтами виявилися лучні та лучно-болотні усіх зон, а також зональні дерново-підзолисті ґрунти Полісся. Середньо магнітними ґрунтами були визначені чорноземи типові Полісся. Сірі лісові ґрунти характеризувалися значними

перепадами значень, а найбільш магнітні типи ґрунтів України – чорноземи звичайні Степу та чорноземи південні Сухого Степу. Також, було вивчено зміни магнітних параметрів по вертикалі у генетичних горизонтах ґрунтового профілю. Підстилаючі ґрунтоутвірні породи були визначені як слабкомагнітні. При переході між основними ділянками повних катен сумарна намагніченість зростає від низовинних ділянок, особливо заболочених, до височин, головним чином вододілів.

Результати вивчення ефективної намагніченості ( $J_{ef}$ ) продемонстрували, що максимальні значення зафіксовані для чорноземів та каштанових ґрунтів Степу та Сухого Степу. Такі ґрунти можуть створити магнітну аномалію до 2-4 нТл. Крім того, вектори  $J_n$  та  $J_\Sigma$  орієнтовані близько до сучасного магнітного поля території досліджень, що свідчить про формування магнетиків у реальному часі.

Важливим для подальших наукових робіт була постановка завдання майбутнього дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву у різних сферах народного господарства. З цією метою на кількох прикладах було оцінено можливості застосування інформативності магнетизму ґрунтів у геології, екології та сільському господарстві. Зазначені рекогносцирувальні матеріали стали основою для постановки завдання дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву, а також створення теорії і методології застосування, що і було реалізовано нами у ході роботи над представленою докторською дисертацією.

## **1.2 Сучасні магнітні дослідження ґрунтового покриву**

Відзначається стрімке зростання кількості результатів магнітних досліджень ґрунтів, що публікуються у світі особливо в останні 10-20 років. При цьому, за рахунок доступу з мережі Київського національного університету імені Тараса Шевченка до міжнародних повнотекстових баз

даних публікацій (Elsevier, Springer, Wiley, EarthDoc), наукометричних баз (Scopus, Web of Science), а також потужних пошуково-комунікаційних ресурсів (Google Scholar, ReserchGate) у процесі роботи над дисертаційною роботою автор мав змогу ознайомитися з величезною кількістю публікацій. При цьому у рамках дисертаційної роботи неможливо згадати усі роботи, які було опрацьовано. Тому, нами пропонується розділити огляд на три основні частини, у рамках яких досліджується інформативність магнетизму ґрунтового покриву та на основі найбільш вагомих робіт зробити короткий огляд сучасного стану проблеми.

### ***Ґрунтознавство та аграрний сектор.***

До цієї частини публікацій віднесемо роботи, які присвячені дослідженню незабруднених та незмінених фонових ґрунтових покривів, генезису їх магнітних властивостей, розвитку носіїв магнетизму у процесі ґрунтоутворення, застосуванню магнітних методів для визначення стану ґрунтів, їх ерозії, впливу пожеж, деградації, деструкції, водним режимам, ущільненню, продуктивності, родючості, вмісту гумусу, фізико-хімічним параметрам, що використовуються в агрономії та ґрунтознавстві.

У фундаментальній роботі [20] розглядаються мінерали заліза у ґрунтах як основні носії їх магнетизму. Відзначається провідна роль магнетиту, магеміту, гематиту, гетиту, піриту і піротину у системі утворення та діагенетичних змін у процесі розвитку ґрунтового профілю. Крім того, згадуються наномінерали (наприклад, ферігидрит), які у той же час відіграють головне значення у формування магнетиків ґрунтів на початковому рівні їх розвитку. При розгляді бактеріального характеру розвитку вторинних мінералів у ґрунтах важлива роль відводиться магнітотактичним бактеріям та їх магнітосомам [127, 162]. Візуалізація магнітосом та їх типізація на великі стрижнеподібні клітинні форми, вібріони, спірили, кокоїдні форми наводиться у роботі [282]. У

методологічному плані визначається провідна роль оксидів заліза та їх трансформація у процесі педогенезу як умова формування сучасної магнітної картини різних типів ґрунтів [284]. При цьому значущу роль при ідентифікації походження феромагнетиків у ґрунтах відіграє їх розмір та доменний стан. Визначальною є границя переходу від однодоменного (SD) до суперпарамагнітного (SP) стану ґрунтів, який ідентифікує їх педогенний характер. Наприклад, на основі вивчення частотної залежності магнітної сприйнятливості [293]. Термомагнітний аналіз є ефективним для визначення магнетиків у ґрунтах. У роботі [199] наведено аналіз температурних залежностей магнітної сприйнятливості та намагніченості насичення для ґрунтів, що формувалися у різних ландшафтних умовах. Інтерпретуються різні фази нагріву та вторинного формування магнітних мінералів.

Приділяється увага картуванню ґрунтів різних регіонів Землі. Так, у роботі [133] розглядається картування ґрунтів Бразилії за їх магнітною сприйнятливістю. Магнетизм високомагнітних типів ґрунтів Англії вивчається у роботі [142]. А роль глинистих мінералів у формуванні магнетизму ґрунтів Португалії розглядається у роботі [224]. Крім того, розглядаються взаємозв'язки між магнітними властивостями сучасних та викопних ґрунтів, вплив кліматичних та інших умов на їх формування [235]. На основі магнітних параметрів проводиться ідентифікація та розділення різних типів ґрунтів, наприклад, за показником процесу оглеювання та його ідентифікація на основі вимірювання магнітної сприйнятливості. Дослід успішно проводився для лучних ґрунтів та чорноземів Канади [148].

Детальному розгляду зміни магнітних властивостей різних типів ґрунтів, диференціації магнітних параметрів по вертикалі у генетичних горизонтах, залежностям із вмістом гумусу у ґрунтах, кислотно-лужному балансу присвячена робота австрійських авторів [183]. Чорноземи України є головним її багатством. Вивченню магнітності цих продуктивних земель присвячена робота [193]. У ній визначаються як власне магнітні параметри

ґрунтів, так і робиться висновок про провідну роль магеміту та магнетиту у формуванні магнетизму по вертикалі у генетичних горизонтах чорноземів. Також, у роботі [179] проведено детальні магнітні дослідження чотирьох типів чорноземів Хомутовського Степу (Україна), Середньої Польщі та Моравії (Словаччина). Магнітні методи були використані для вивчення тонких відмінностей між ґрунтовірними горизонтами та механізми формування ґрунтів із різних ґрунтово-кліматичних зон за допомогою магнітних методів.

Слід відмітити, що асоціації гематит-магеміт та взаємні перетворення до магнетитової фази є питанням розгляду широкого кола дослідників мінералогії ґрунтів. Так, у роботі [296] дане питання вивчається для аеробних ґрунтів.

Одним із важливих питань ґрунтознавства є вплив пожеж на продуктивність та загальний стан ґрунтів. Під впливом пожежі зазнає суттєвої зміни магнітна будова ґрунтів. Тобто, метод успішно застосовується для виявлення таких ділянок після проходження певного часу та формування рослинного покриву [126]. Особливо важлива інформативність магнітних методів при вивченні диких пожеж лісових територій [154].

Ерозійні процеси значно прискорюють деградацію продуктивних земель [175], що у свою чергу проявляється у зниженні ефективної потужності верхніх гумусових горизонтів, вологості ґрунтів, здатності акумулювати та утримувати необхідні поживні речовини навіть за умови їх штучного внесення, негативно позначається на фізико-хімічних властивостях верхнього шару ґрунтів [292]. У той же час відзначається, що за допомогою зонування еродованих ділянок на основі вимірювання магнітної сприйнятливості можна робити прогностичні висновки про розвиток ерозії, що виникає у процесі обробки земель [196]. Для виявлення ерозії ґрунтів слід вивчати вертикальні розподіли магнітних параметрів у ґрунтах з метою ідентифікації процесів змиву на поверхні [201]. Крім того, магнітний метод

успішно застосовується для ефективного та експресного визначення ерозії ґрунтів без залучення фізико-хімічних вартісних досліджень. Пропонується нагрівання ґрунтів з подальшим визначенням змін їх магнітних властивостей як показника ерозійних процесів. При вивченні ерозії ґрунтів важливим завданням є визначення походження магнітних мінералів у ґрунтах для відбраковки антропогенних та техногенних аномалій. При цьому існує помітна різниця між ґрунотвірними магнітними мінералами та магнітними сферулами іншої природи [173], які можуть накопичуватися у ґрунтах і зберігатися протягом тривалого проміжку часу. Використання інформативності магнетизму ґрунтового покриву є ефективною технологією визначення закономірності ерозії і седиментації при комплексуванні із визначенням вмісту цезію-137 (Cs-137). Такий підхід реалізовано у межах сільськогосподарської ділянки у північно-західній частині штату Алабама (США) [278].

На прикладі Марокко демонструється, що збільшення антропогенного навантаження, яке призводить до зростаючого розорення природних територій, веде до поступової деградації ґрунтів та втрати їх продуктивності [279]. Автори зазначають, що магнітні мінерали в межах ґрунтового профілю відображають розвиток деструктивних процесів у ґрунтовому покриві. У межах досліджуваної території магнітна сприйнятливість дозволила ідентифікувати руйнацію генетичних горизонтів, негативний вплив природних опадів та дефіцит рослинного покриву.

Одним із показників деструктивних явищ у ґрунтовому покриві виробничих аграрних земель є вміст вуглецю. Дослідженню його вмісту у чорноземах присвячена робота [192]. Результати дослідження вказують на те, що вміст вуглецю знаходиться у взаємозв'язку із іншими важливими показниками продуктивності ґрунту. У той же час магнітна сприйнятливість є високо інформативним параметром для прогнозу вмісту вуглецю. У продовження даної теми вагомими є результати побудови моделей для

прогнозування стабільності ґрунтів, що постраждали від перерозподілу матеріалів у наслідок ерозійних процесів. При цьому для розрахунку індексу ерозійної небезпеки використовується магнітна сприйнятливість [191]. Польові вимірювання магнітної сприйнятливості є високочутливими до сучасного стану поверхні ґрунтового покриву, рослинних залишків, ущільнення, що слід додатково враховувати при визначенні еродованості гумусового шару (генетичний горизонт А) [198].

Незмінені ґрунтові покриви успішно стають об'єктами міждисциплінарних досліджень. Наприклад, у роботі [223] розглядається зв'язок між магнітними властивостями ґрунтів та вмістом нематодів (види червів) у ґрунтових фракціях. Визначається якість ґрунтів та можливість їх подальшого використання у сільському господарстві на основі визначення магнітних показників.

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). Частина досліджень, яка стосувалася магнетизму глейових ґрунтів виконувалася поблизу Рослау, Німеччина [197]. У результаті отримані високі кореляційні зв'язки між магнітними параметрами ґрунтів та вмістом у них важливих для сільського господарства поживних речовин – азоту, вуглецю та сірки.

У роботі [137] розглядається вплив на магнетизм ґрунтового покриву агропромислового вирощування рису протягом тривалого часу. Одним із важливих висновків дослідження стала інформація, що на деградацію продуктивних сільськогосподарських земель, а отже і на зміну величини магнітної сприйнятливості, впливає у першу чергу не інтенсивність ведення сільського господарства, а зміна під його впливом вологості верхніх гумусних горизонтів ґрунту. При проведенні подібних досліджень варто

враховувати зв'язок між магнітними параметрами та показниками рН, а також вмістом органічної речовини у ґрунті [304]. При цьому, як не дивно, на ґрунтознавчі та агрономічні показники родючості ґрунтів можуть позитивно впливати процеси урбанізації у місті. Фіксуються кореляційні зв'язки між магнітними параметрами та зазначеними вище агрономічними показниками. У продовження порушеного питання у роботі [305] було оцінено вплив на магнітну сприйнятливість і вміст органічної речовини орних ґрунтів процесів іригації із джерел очищених стічних вод або ґрунтових вод. Результати показали, що вміст органічної речовини і значення магнітної сприйнятливості ґрунтів, що зрошувалися стічними водами збільшилися на 7,1% і 13,5%, відповідно у порівнянні з сільськогосподарськими землями, що зрошувалися виключно ґрунтовими водами. Автори наполягають на антропогенно-техногенному факторі підвищення магнетизму ґрунтів, що підтверджується величинами відповідних індикативних магнітних параметрів. Отже, магнітна сприйнятливість може використовуватися як швидкісний метод для одночасного моніторингу продуктивності та забруднення орних земель.

Також, магнітні методи застосовуються для моніторингу перерозподілу ґрунтів. У роботі [204] відповідні зміни вивчалися вздовж схилу для ґрунтів, які сформувалися на вапнистих гірських породах у напівзасушливих районах Ірану.

### ***Екологія, забруднення атмосфери та довкілля.***

Екологічний напрямок застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву є найбільш дослідженим у світі. При цьому роботи в останній час зосереджуються на удосконаленні фізико-хімічних основ використання методу, крупних міжнародних та міждисциплінарних проектах з моніторингу забруднення довкілля значних територій, а також локальних

вивченнях випадків забруднення конкретних територій. Тому, пропонуємо більш детально розглянути зазначені сфери.

В Україні основним осередком екомагнітних досліджень є кафедра геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Зокрема, К.М. Бондар з колегами вивчають забруднення ґрунтового покриву та повітря. Так, у роботі [6] проводиться оцінка забруднення повітряного басейну Києва на основі вимірювання магнітної сприйнятливості зразків ґрунтів, а також листя і кори дерев, що акумулюють важкі метали. Крім того, даним колективом спільно із фахівцями Центральної геофізичної обсерваторії вивчаються зразки ґрунтів та фільтрів атмосферного повітря з метою оцінки забруднення крупних міст та урбанізованих територій України на основі магнітного методу. Відзначається значущий ступінь кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістом важких металів. Будуються схеми забруднень міст промисловими підприємствами із врахуванням ландшафтних умов територій досліджень [8, 9].

Паралельно на кафедрі геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка проводяться як практичні, так і методичні дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву. О.І. Меньшовим спільно із А.В. Сухорадою розроблено декілька методик щодо відбору пилових фракцій атмосферного повітря з метою їх подальших магнітних аналізів та оцінки рівнів забруднення урбанізованих територій. Одна із розробок, що включає використання у якості пасток плоских штучних гладких поверхонь (наприклад, віконного скла) запатентована [68]. Зазначені методичні підходи та більш ранні схеми успішно реалізуються авторами з метою контролю забруднення міст на основі експресних, високоефективних та низьковартісних магнітних технологій [242]. Питання способу відбору матеріалу пилових фракцій для подальших магнітних досліджень є доволі важливим. Наприклад, у роботі [287], як і у публікаціях українських фахівців, нерідко використовуються фільтри із насосного

обладнання геофізичних обсерваторій. Даний підхід, на нашу думку, є екстенсивним, оскільки звужує масштаби моніторингових робіт включно до локації відповідних постів.

Зауважимо, що раніше під час виконання спільного українсько-польського проекту у рамках програми НАТО «Наука заради миру та безпеки», було проведено комплексну оцінку деяких забруднених і незабруднених ґрунтів України, виконано їх класифікацією за магнітними параметрами [194].

У продовження розгляду екомагнітних досліджень на теренах колишнього СРСР останнім часом вийшла низка публікацій щодо екологічного напрямку застосування можливостей магнетизму ґрунтів у Росії. Зокрема, проводиться картування забруднених важкою промисловістю аграрних земель Передуралля [92]. З успіхом досліджуються урбанізовані території Саратова на основі магнітної індикації ґрунтів [98, 99]. Важливим вбачається контроль забруднення на основі магнітних методів при моніторингу стану міських агломерацій та столичних міст. Індустріальна діяльність призводить до викидів у навколишнє середовище різноманітних мінеральних відходів, що містять, в тому числі, і сильномагнітні з'єднання заліза. Вони потрапляють у ґрунтовий покрив через їх поверхню, характеризуються високою дисперсією розміру частинок, мають специфічні морфологічні особливості та з плином часу їх внесок зростає. При цьому, тверді атмосферні опади техногенного походження формують один з основних внесків у формування аномальної магнітності забруднених ґрунтів.

Найбільш далеко у своїх дослідженнях просунулися європейські, китайські та американські наукові групи. Так у роботі [124] представлені зміни магнітних властивостей ґрунтів та відкладів на поверхні бетонних конструкцій на прикладі Малайзії. Вивчався мінералогічний вміст та концентрація важких металів у регіоні Кундасанг та Сабах. Ідентифіковано гематит у мультидоменній та псевдооднодоменній фазах як основний

магнетик техногенного походження, що на нашу думку, є доволі дивною обставиною. Іншим регіоном подібних досліджень стала Туреччина [134], де детально вивчене забруднення ґрунтів у межах узбережжя. Ідентифікації забруднення ґрунтів поблизу чеської річки Літавка присвячена робота [150].

Проникнення у глибину ґрунтового покриву частинок-забруднювачів довкілля вивчалось на прикладі Німеччини [125]. Відзначено концентрацію забруднення, перш за все, у верхньому гумусовому горизонті А.

Важливим питанням забруднення атмосфери є побудова баз даних магнетизму ґрунтів урбанізованих територій, чому присвячене дослідження у межах Англії та Уельсу [128]. Відповідна інформація має використовуватися для оцінки техногенного навантаження різного генезису. Наприклад, у роботі [131] проводиться ідентифікація забруднення придорожних ґрунтів за рахунок автомобільного трафіку. Важливим при цьому заданням є виявлення магнітних частинок, що регулюють підвищення значень магнітних параметрів [286]. Визначення відповідних магнетиків, що пов'язані із рухом автомобільного транспорту більш точно реалізується при залученні даних електронної мікроскопії [136]. Отримані результати порівнюються і узагальнюються, що може у майбутньому стати основою для побудові інтерактивної магнітної карти забруднення довкілля Європи та Азії [202, 301].

Найбільш небезпечними частинками, що забруднюють атмосферу, ідентифікуються магнітними методами та з легкістю проникають в організм людини під час дихання, завдаючи йому величезної шкоди, є так званий матеріал розміром у 10 мкм (PM10). Для ідентифікації таких частинок використовуються магнітні методи в Індії [138], Італії [280], Іспанії [273], Чехії [270], Тайвані [189], США [281].

В окрему групу за регіональним принципом слід виділити дослідження пилових фракцій, що накопичують в атмосфері та ґрунтовому покриві, які виконуються китайськими авторами. Відповідними дослідженнями

покривуються найбільш забруднені мегаполіси Китаю. Спостерігається висока кореляція магнітних параметрів із вмістом свинцю, цинку, міді. Зроблені спроби розбраковки джерел викидів речовин забруднювачів довкілля на основі ідентифікації розмірів магнітних частинок [221, 228, 299, 303].

У ряді випадків ресурсами для накопичення магнітного та пилового матеріалу стають листя та кора дерев [172, 207, 236]. Даний підхід є доволі цікавим, проте на нашу думку характеризується і рядом обмежень у порівнянні із методиками, що запатеновані нами. У першу чергу мова йде про сезонність досліджень, що регламентується наявністю листя. Крім того, зняття кори з дерев нерідко може призводити до травмування рослин. Зрозуміло, що дані процеси потребують і більшої затрати часу, як на збір польового матеріалу, так і на підготовку його до подальших лабораторних вимірювань. Хоча зауважимо, що результати робіт, попри недосконалість методики збору матеріалу, успішно ідентифікують рівні та інтенсивності забруднення навколишнього середовища.

Серед публікацій останніх років слід відмітити роботу [171]. Авторами відзначається, що забруднення повітря в Індії є зростаючою проблемою як наслідок антропогенної діяльності. Дослідження зразків, що відбиралися на висоті 7 м від поверхні в штаті Тамілнад дозволило оцінити просторовий розподіл магнітних частинок. Результати вказують на присутність магнетиту і гематиту у пилових фракціях, а підвищення значень магнітної сприйнятливості і залишкової намагніченості насичення відповідає локації найбільших промислових зон. Дослідження за допомогою електронного скануючого мікроскопа (SEM) ідентифікували відповідність зростання магнітних параметрів підвищеному вмісту у зразках пилових фракцій таких мікроелементів як Sb, Zn, Co, Ni, As, V, які у свою чергу є надзвичайно небезпечними для здоров'я людини. Слід зауважити, що за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ) (доповідь за травень 2016

року): «Забруднення атмосферного повітря за рахунок концентрацій малих і дрібних твердих частинок є найбільшим екологічним ризиком для здоров'я людей і призводить до більше ніж 3 млн. передчасних смертей щорічно у всьому світі».

Магнітні вимірювання у межах міста Танділ, Аргентина [239], вказують на домінування тонких зерен магнетиту та гематиту у відносно чистих місцях та концентрацію більш великих зерен поблизу до металургійних заводів та місць інтенсивного руху транспортних засобів. Магнітні параметри можуть бути використані для просторової і часової оцінки змін ступеня забруднення навколишнього середовища у режимі моніторингу.

Розвиток розглянутих вище результатів досліджень інформативності магнетизму ґрунтів при ров'язанні природоохоронних завдань знаходить все більш глибоке відображення у подальших і найбільш сучасних дослідженнях [230, 300, 233, 308, 261]. Розширюється географія досліджень, розглядаються конкретні приклади розподілів магнітних параметрів по вертикалі та латералі, будуються кореляційні зв'язки між магнітними параметрами та вмістом важких металів, визначаються доменні стани та ідентифікуються магнітні фази за різних умов та джерел забруднення урбанізованих територій. Досліджуються вплив типів рослинності, застосовуються нові типи захоплювачів техногенних антропогенних часток, наприклад кварцові бокси із піском, а також нові статистичні інтерпретаційні підходи на основі кластерного та регресійного аналізів.

### ***Пошуки вуглеводнів та інші геологічні задачі.***

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 [151], дослідженням магнітних властивостей більш глибоко залягаючих

геологічних прошарків. Крім того, взаємопов'язаним питанням є проблема забруднення ґрунтів вуглеводневими продуктами у процесі їх видобутку, транспортування та переробки. Тому, пропонуємо дані аспекти аналізувати у комплексі.

Основи застосування магнітного методу при пошуках вуглеводнів були закладені ще радянськими вченими [2, 90]. На сьогоднішньому етапі ряд магніторозвідувальних робіт виконані у межах ДДЗ [38] та Західної України [95, 238]. Їх результати підтверджуються даними застосування магніторозвідки при пошуках нафти і газу, наприклад, у Азербайджані [170]. Крім того, у роботі [167] на прикладі нафтового родовища «Цемент» побудовано аеромагнітні моделі, які вказують на існування низькоамплітудних магнітних аномалій, що однозначно пов'язані з наявністю покладів нафти і газу. Результати показали високу кореляцію нафтогазових покладів із магнітними аномаліями, що підтверджується у 78-90 % бурінням у межах найбільш контрастних ділянок. Крім того, свердловинами було доведено, що поза аномальними магнітними зонами їх продуктивність складала лише 5-16 %. Мінералогічні рентгенівські та спектроскопічні дослідження визначили магеміт і грейгіт як основні залізовмісні мінерали аномальних зон в осадових товщах. У подальших своїх роботах [168] автор дослідив інформативність аеромагнітного методу і дійшов висновку, що він не залежить від генезису та структурної побудови родовищу вуглеводнів, а аномальні зони є результатом лише підвищення магнітних властивостей верхнього шару геологічного розрізу над покладами. На сучасному рівні наведені комплексні магнітометричні дослідження родовищ нафти і газу включають вивчення магнетизму ґрунтового покриву [250, 251].

Методологічні основи застосування магнетизму ґрунтового покриву та магнітометрії для пошуків вуглеводнів закладені у роботі [283], де обґрунтовані фізико-хімічні основи методу. Наразі побудовано декілька

моделей фізико-хімічних змін магнітної мінералогії у ґрунтах і підстилаючих гірських породах під дією вуглеводнів. Дані схеми детально розглядаються у подальших методологічних розділах дисертаційної роботи. Зауважимо лише, що першу таку модель запропоновано у роботі [151], як включала діагенетичні зміни магнетитової фази. Пізніше у роботі [176] описано роль сульфідів заліза у аутогенетичних перетвореннях. У роботі [232] розглянуті мікробіологічні та термохімічні перетворення, а у роботі [157] – детально досліджується заміщення сидериту. Також, результати досліджень [285] вказують на те, що якісну інтерпретацію міграції молекул нафти і газу можна дати на основі термодинамічної теорії дифузії газів і рідини.

Загалом слід відзначити, що на міжнародному рівні взаємозв'язок між міграцією вуглеводнів, формуванням аутогенних магнітних мінералів в осадових породах і ґрунтах викликають значний інтерес протягом тривалого часу. Наприклад, у роботі [156] оцінено як високоефективну методику магнітних досліджень на основі визначення концентрацій діагенетичних магнітних мінералів та аеромагнітних аномалій. Вказуються на існування генетичного зв'язку між міграцією вуглеводнів на формуванням аутигенного магнетиту. Автори [241] розглядають магнітні властивості деяких порід у свердловині NWA-1, яка вскриває крейдяні та силурійські горизонти. Дисперсія магнітної сприйнятливості (MS) вказує на зміну геохімічного і мінералогічного складу літологічних прошарків. Автори виявили метаморфічні перетворення та перемагнічування порід продуктивних горизонтів. У продовження теми аутогенетичних змін більш глибоких прошарків у межах родовищ нафти і газу відзначимо роботу [120]. З кроком 2 см проведене 8760 замірів магнітної сприйнятливості у свердловині. У більшості випадків контрасти MS збігаються з високою щільністю тріщин, вмістом сланців (збільшення гамма-випромінювання у даному інтервалі). Аналіз параметрів петлі гістерезису та термомагнітних кривих ідентифікували у зонах підвищення MS магнетит і піротин вторинного

походження. Публікація [121] присвячена магнітним аналізам ґрунтів та гірських порід трьох нафтових свердловин родовища Ла-Вікторія, Венесуела. Зафіксовано вищу концентрацію субмікронних сферичних агрегатів магнітних мінералів у нафтогазовмісних прошарках свердловин із піками магнітної сприйнятливості. Крім того, у роботах [149, 177] на основі вимірювання магнітної сприйнятливості, електронного парамагнітного резонансу та визначення концентрації радикалів органічних речовин зафіксовано їх тісні кореляційні зв'язки у присутності вуглеводнів. Такі закономірності відзначені як для ґрутового покриву, так і верхньої частини геологічного розрізу.

Крім того, у роботі [140] виявлено, що гематит та магнетит є продуктами пізнього діагенезу під впливом вуглеводневих флюїдів.

Емпіричні дані та термодинамічне моделювання діагенетичного середовища на глибинах до 6-7 км припускає, що мікроорганізми відіграють важливу роль у формуванні вторинних магнітних мінералів у процесі окисно-відновних реакцій [231].

Ідентифікація основних магнітних фаз, які генерують низькоамплітудні магнітні аномалії у межах покладів вуглеводнів може включати декілька гіпотез формування аутогенних мінералів [122]. Перша з них включає розкладання органічної речовини і формування магнетиту, а друга припускає, що утворення вторинних магнітних сульфідів може бути наслідком високої концентрації  $H_2S$  на малих глибинах і у ґрунтовому покриві.

Дослідженню змін магнітних властивостей порід, які вміщують озокерити та бітуми присвячено роботу [166]. Припускається, що стабільна високотемпературна залишкова намагніченість є наслідком вмісту піротину та магнетиту, а їх аутогенетичне походження підтверджується за допомогою електронного скануючого мікроскопу. Присутність піротину в цих породах призводить до підвищення хімічної залишкової намагніченості, що ймовірно

пов'язане із епігенетичним збагаченням сірки під впливом процесу мікропросочування вуглеводнів.

При дослідженні процесів формування нових магнітних мінералів в присутності вуглеводнів слід брати до уваги результати [272], які підтверджують, що процеси метаболізму мікроорганізмів є надзвичайно важливим фактором у перетворенні магнітних мінералів. Крім того, демонструється [208], що у забрудненому вуглеводнями середовищі відбувається динамічне безкисневе та кисневе протікання окисно-відновних реакцій у ґрунтах [274, 275]. При цьому при накопиченні у ґрунтах вуглеводнів відзначається підвищений вміст магнетиту у порівнянні із чистими ґрунтами. Зазначені результати підтверджуються і висновками, що одержані у роботі [123]. Припускається, що підвищення магнітної сприйнятливості у ґрунтах, які вміщують нафтопродукти, може бути пов'язано з новоутвореним у режимі реального часу дрібнозернистим однодоменним (SD) магнетитом. При цьому визначальним чинником його утворення стає бактеріальна активність та метаболізм.

Комплексні геохімічні та магнітні дослідження зразків з різних горизонтів, які асоціюються із нафтоносністю у межах осадових товщ Колумбії, Канади, Індонезії та Великобританії проаналізовані у роботі [159]. Магнітні характеристики ідентифікували закономірність, що при вмісті високоякісної нафти переважають псевдооднодоменні (PSD) зерна магнетиту, у той час як при насиченні нафтами низької якості фіксуються псевдооднодоменні та мультидоменні (MD) зерна магнетиту і гематиту. Такі дані інтерпретуються як важливість врахування бактеріальної активності усередині нафтових систем. У статті [158] на прикладі родовищ Осмінгтон Мілс та М'юпе Уессекського басейну Великобританії запропоновані можливі механізми впливу анаеробних бактерій на флюїди, які мігрують через вміщуючі породи до поверхневих ґрунтів. Використання даних про магнітну сприйнятливість та намагніченості забезпечують платформу для

використання магнітних методів у якості експресного методу розвідки вуглеводневих родовищ та фіксації міграції вуглеводнів. Процеси міграції відіграють одне із найбільш важливих значень при вивченні діагенетичних змін магнітних мінералів в околі родовищ вуглеводнів, а також ідентифікують їх просторові та часові зміни. Так у роботі [182] на прикладі східної Венесуели вивчено приповерхневі магнітні контрасти. Останні пов'язуються саме з максимальним накопиченням вуглеводнів в резервуарі або південною міграцією з північних нафтових структур в напрямку передньої деформації. Результати досліджень надали попередні характеристики пластів, що має важливе значення для постановки подальших розвідувальних робіт та видобутку у регіоні.

У роботі [101] розглянуто процеси міграції вуглеводнів у структурах Західного шельфу Чорного моря за даними тривимірного магнітного моделювання. Вивчаються моделі змін магнітних властивостей під дією флюїдів. Застосовуються підходи, які раніше було запропоновано для осадових порід верхньої частини геологічного розрізу та ґрунтів.

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 [181, 217, 218, 219, 220, 285]. Автори проводять дослідження вертикальних розподілів у свердловинах та по латералі у ґрунтового покриві магнітних параметрів у присутності вуглеводнів та поза їх впливом. Вивчається магнітна мінералогія за допомогою електронного скануючого мікроскопу, визначення параметрів петлі гістерезису, частотної залежності магнітної сприйнятливості, термомагнітного аналізу. Наприклад, термомагнітний аналіз залишкової намагніченості вуглеводневого родовища Капушаліанг у Китаї дозволив ідентифікувати магнітом'яку мультидоменну (MD) фазу, скоріше за все магнетит, а також піротин із точкою Кюрі близькою до 320 °С. Крім того, результати досліджень у межах нафтового

родовища Мавангміао, Китай виявили підвищення магнітної сприйнятливості, намагніченості насичення та ізотермічної залишкової намагніченостей у продуктивному пласті свердловини на відміну від сухої свердловини тієї ж ділянки. Також, у зразках із продуктивних прошарків виявлено більш дрібнозернистий магнітний матеріал при схожій загальній літології двох свердловин

Підтвердження загальних рис високої інформативності магнітних методів при вивченні ґрунтового покриву, порід верхньої частини геологічного розрізу та колекторів наводиться ще у великій кількості публікацій [268, 269, 290, 298]. Їх об'єднує загальний висновок, щодо змін (найчастіше підвищення) значень магнітної сприйнятливості та інших магнітних величин у присутності вуглеводнів. Також, відзначається необхідність комплексування магнітних досліджень із геохімічними, мікробіологічними, мікроскопічними, а також іншими геофізичними методами.

### **Висновки до розділу 1.**

Таким чином, перші матеріали магнітних досліджень ґрунтів у світі датовані 1952 та 1955 рр [214, 297]. Надалі продовжився їх розиток, за допомогою магнітних методів вивчалися ґрунтознавчі параметри, магнітні мінерали ґрунтів, характеризувалися ґрунтові покриви різних регіонів, зокрема у роботах [234, 256, 294]. Значущий доробок отримано на теринах колишнього СРСР, охарактеризовані за магнітними параметрами деякі ґрунти Забайкалля, Таджикистану, Ленінградської обл., Грузії і т.д [29, 44, 46]. В Україні вивчення магнетизму ґрунтів розпочате наприкінці минулого сторіччя на базі Київського національного університету імені Тараса Шевченка групою фахівців на чолі з А.В. Сухорадою, до яких долучився і автор даної дисертації [109]. Серед сучасних досліджень відзначається високий інтерес у світі до вивчення інформативності магнетизму ґрунтового покриву. Відповідні роботи присвячені дослідженню магнітних властивостей

для вирішення завдань ґрунтознавства [192], аграрного сектору [198], екології [261], контролю забруднення атмосферного повітря та ґрунтів урбанізованих територій [270], пошукам і розвідці корисних копалин [95, 238], дослідженню нафтогазоперспективних територій [182]. Відзначається значна інтенсифікація досліджень в Україні [251].

Проаналізовані роботи найчастіше обмежувалися конкретними дослідженнями у межах однієї наукової публікації. Тому, нашим завданням стало системне вивчення магнетизму ґрунтів як динамічного геофізичного об'єкту, розробка теорії і методології застосування методу, що розглядається у подальших розділах для геології, екології, ґрунтознавства.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДОЛОГІЯ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ

#### 2.1 Основні принципи методології магнетизму ґрунтового покриття

Завдання практичної реалізації визначення інформативності магнетизму ґрунтового покриття при розв'язанні геологічних завдань, екологічній оцінці забруднення урбанізованих територій, контролі та індикації деструктивних процесів у межах промислових аграрних земель вимагає побудови чіткого методологічного підґрунтя відповідних досліджень. При цьому для ефективної розбудови методологічних основ окремих напрямків, де пропонується використовувати інформативність магнетизму ґрунтів, у першу чергу, необхідно з'ясувати концептуальні основи побудови загальної методології магнетизму ґрунтів, в основу яких покладається вчення про об'єкт дослідження – ґрунтову оболонку Землі (педосферу), загальнонаукові принципи пізнання обраного наукового напрямку, фізичні основи, генезис та еволюцію методичних та технологічних принципів досліджень.

З метою реалізації запропонованого вище підходу нами було проведено верифікацію та аналітичне осмислення зібраного на сьогодні матеріалу щодо магнетизму ґрунтів з метою створення загальної теорії та методології геофізичних досліджень педосфери при вирішенні різного роду завдань. Відзначимо, що процес створення загальної концептуальної основи та методології триває від зародження магнітних досліджень ґрунтів (орієнтовно середина ХХ ст. [214, 297]), постійно еволюціонує та пристосовується до викликів сучасності. Їх поглиблення, вдосконалення та адаптація до конкретних умов і завдань досліджень є предметом сучасних і майбутніх фундаментальних та прикладних вишукувань у галузі геофізики педосфери та дослідженні інформативності магнетизму ґрунтового покриття. Тому, на

етапі досліджень у рамках запропонованої дисертаційної роботи пропонуємо розглянути наше сучасне бачення загальних методологічних основ та теорій пізнання геофізики педосфери загалом та магнетизму ґрунтового покриву, як її основної частини.

Теоретичні та методологічні аспекти дослідження ґрунтового покриву за допомогою геофізичних методів відносяться до фундаментальної частини вивчення геофізики педосфери. 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 [104]. В основу динамічної геофізики покладається концепція еволюційної петрофізики, яка вивчає часові зміни геологічних об'єктів [105]. У контексті дослідження ґрунтового покриву задачі динамічної геофізики можна розділити на дві категорії. Перша – прогностні дослідження з метою моделювання перспектив розвитку магнетизму ґрунтового покриву у контексті деградації продуктивних земель, необхідності проведення агрономічних процедур, контролю техногенного навантаження на урбанізовані території. Другий – ретроспективні дослідження з метою відновлення первісної магнітної будови ґрунтового покриву та фіксації подальших змін. Первісною магнітною моделлю ґрунтів фактично є їх фонові відміни у природних ландшафтах поза техногенним та антропогенним впливом. Слід зауважити, що динамічний підхід у дослідженнях ґрунтових покривів має суттєві відмінності від класичних геологічних об'єктів. Мова йде про часові періоди формування відповідних об'єктів: переважна кількість геологічних об'єктів динамічної геофізики формується у геологічному масштабі часу, у той час як ґрунтовий покрив у ряді випадку може формуватися у реальному режимі часу.

Загальна методологія дослідження геофізики педосфери складається із вчення про ґрунтові покриви, геофізичні поля та фізичні властивості, які їх характеризують. Вона включає методологію пізнання, методологію практичної цільності та методологію оцінки [103]. Слід відмітити, що сучасна наука досить широко розуміє і трактує методологію взагалі, тому слід чітко розуміти понятійний апарат, що використовується при відповідних дослідженнях.

Ґрунтовий покрив – це перший від поверхні геологічний горизонт, з яким людина безпосередньо контактує у процесі своєї життєдіяльності. У структурі ґрунтового покриву проявляється як глибинна будова земних надр, так і антропогенне та техногенне навантаження на відповідні території. Необхідною складовою сучасних досліджень ґрунтового покриву з метою вирішення низки фундаментальних та прикладних завдань є використання засобів геофізики [111]. Педосфера (від грец. *pedon* – ґрунт, *sphaira* – шар) – зовнішня оболонка землі, яка складається власне з ґрунтів та включає процеси ґрунтоутворення. Вона існує на границі літосфери, атмосфери, гідросфери, біосфери. Педосфера, в динамічному розумінні, визначає ґрунт разом з його мінеральними компонентами, водою, повітрям, органічною речовиною і живими організмами. Вона об'єднує в одне ціле ризосферу, прикореневу частину ґрунту, в якій зосереджено більшість мікрофлори, а також мінеральну частину, поєднуючи мікрофлору, яка живе на мінеральних частинках ґрунту. Динамічність та мінливість є важливими особливостями педосфери. У природних умовах помітні зміни ґрунтів відбуваються внаслідок зміни природних умов протягом тисячоліть. У горах, зонах активного вулканізму можливі швидкі зміни рельєфу, і гідрологічних умов ґрунтоутворюючої породи. В сучасних умовах найбільше впливає на зміну ґрунтів господарська діяльність людини – вирубування лісів, розорювання земель, гірничодобувні роботи, наслідком яких може бути знищення або прискорена деградація ґрунтового покриву і деструктивні процеси, які

можуть різко змінити або знищити ґрунтовий покрив за кілька десятиріч. Такж, важливим є всебічне врахування техногенного впливу.

Педосфера утворилася у результаті багатовікового впливу атмосферної вологості, сонячного тепла, рослинного та тваринного світів на поверхневі шари порід земної суші. У педосфері нараховують сотні основних типів та багато тисяч видів різних ґрунтів, що відрізняються за будовою, фізичними та хімічними властивостями, гідротермічним режимом, складом та життєдіяльністю ґрунтової біоти (наявні у складі ґрунтів живі організми, у тому числі мікроорганізми). Незважаючи на малу потужність (товщину) – усього від декількох сантиметрів до півтора-двох метрів, педосфера виконує безліч планетарних функцій, що характеризуються надважливим екологічним значенням для життя на Землі, перш за все, для живого світу земної суші та безпосередньо людини з її господарською діяльністю. Однією з найбільш важливих та широко відомих функцій ґрунтів є їх біологічна продуктивність (на сільськогосподарських угіддях – родючість), тобто, здатність до забезпечення рослин елементами живлення, повітрям та теплом. Використання родючості ґрунтових покривів надає людству близько 98% усіх продуктів харчування та велику кількість різного типу сировини для подальшого промислового виробництва. Тому, протягом усієї історії людства боротьба за родючість була на одному із перших місць [35].

Організація з питань продовольства та сільського господарства – ФАО (FAO) визнала ґрунтовий покрив як основний ресурс для сільського господарства та виробництва продуктів, що гостро потребує охорони. ФАО була у центрі підготовки Світової Ґрунтової Карти та разом із Міжнародним Союзом Наук про Ґрунти (International Union of Soil Sciences) і Міжнародним Інформаційним Центром з Дослідження Ґрунтів (ISRIC) є організатором програми із створення глобальної Бази Даних Ґрунтових та Земельних ресурсів (SOTER - Soil and TERrain database) [257]. Зауважимо, що одним із фундаментальних методологічних питань геофізики педосфери є розробка

відповідностей між таксономічними назвами ґрунтів згідно різним класифікаціям – Докучаєва, Соколовського, WRB, FAO та інших [114]. Тому, у даній дисертаційній роботі у деяких випадках ми дублюємо вітчизняні таксономічні види закордонною класифікацією ґрунтів.

За даними Європейського Геологічного Союзу (EGU), який об'єднує одну із найбільших геологічних спільнот світу, у його складі другим за величиною підрозділом починаючи з 2015 року став Підрозділ Ґрунтознавців [188]. На генеральній асамблеї EGU, яка пройшла у квітні 2015 року у Відні, відзначено, що дослідження ґрунтового покриву є ключем до розуміння більшості геологічних процесів, що відбуваються на Землі, а власне ґрунти та сформовані ними ландшафти найчастіше несуть необхідну для дослідників інформацію про поклади корисних копалин, забруднення довкілля, ерозійні процеси, тощо [119].

Модель педосфери – це система її дослідження, яка є засобом для отримання необхідної інформації щодо ґрунтового покриву, але характеризується значно спрощеним представленням реальних процесів, що протікають у середині ґрунтів. Моделювання педосфери спрощує дослідження її реальних властивостей та закономірностей, що застосовується для пізнання, спостереження, аналізу та синтезу нових знань. Моделювання педосфери, як і будь якого іншого природного об'єкта, є невід'ємною частиною досліджень і розробок, оскільки реальні матеріальні об'єкти є безкінечно складними утвореннями, так як несуть безкінечний набір властивостей та форм взаємодії з оточуючим середовищем. Фактично, ґрунтовий покрив є багатошаровим анізотропним динамічним геологічним середовищем. Основним завданням моделювання у класичному його розумінні є отримання додаткової інформації про об'єкт. Найчастіше мова йде про об'єкт, який є недоступним для натурних спостережень. Педосфера як об'єкт геофізичних досліджень є досяжною для проведення польових та

лабораторних досліджень. Тому, оптимальним підходом є одночасне проведення реальних вивчень та моделювання педосфери.

Різні моделі педосфери направлені на вирішення широкого кола поставлених завдань. Геофізичне моделювання педосфери пройшло шлях від певної евристичності до формування реальних та натурних моделей. При цьому нами пропонується використання динамічної моделі ґрунтового покриву, яка характеризується низкою переваг над статичною.

Статична геофізична модель педосфери відображає лише розподіл відповідних полів та фізичних властивостей поза часом. Вона не здатна описати ґрунтові покриви та їх природні, антропогенні та техногенні зміни. Фактично, статична геофізика розглядається лише у якості складової динамічного варіанту. Тому, набагато більш оптимальною є динамічна геофізична модель педосфери, яка є реальною моделлю та досліджує зміни в часі полів та властивостей.

Динамічне ґрунтознавство включає дослідження процесів ґрунтоутворення та сучасних ґрунтових режимів [33]. Інструментом дослідження при цьому з успіхом використовується геофізика у своїй динамічній модифікації. Вивчаються взаємодія біологічного і геологічного кругообігів речовин при ґрунтоутворенні, водний і тепловий режими ґрунту, трансформація мінералогічного складу з гірських порід при ґрунтоутворенні і мінеральні новоутворення у ґрунтах, процеси синтезу і руйнування ґрунтового гумусу, динаміка окисно-відновних та інших хімічних процесів у ґрунтах, динаміка складу ґрунтового повітря, динаміка доступних рослинам сполук біофільних елементів і т. д. Для цього використовуються магнітні методи, зокрема високу інформативність демонструє магнітна сприйнятливність. На основі досягнень в даному науковому напрямку будується система управління родючістю ґрунтів. Саме на базі динамічного ґрунтознавства розвиваються його прикладні аспекти. Особливо інтенсивно в останні роки розвивається геофізичне моделювання ґрунтових процесів.

У геологічній галузі важливим є метод системного аналізу у дослідженні методології, зокрема і педосфери. Системним називають таке дослідження, у основу якого покладено системну модель. У основу сталості педосфери та ландшафтів покладається геофізичне походження оточуючого геологічного середовища, а інструментом пізнання енергетично багатогранного механізму формування цілісності педосфери є системно-геофізичний підхід [49]. Звідси впливає декілька основних ознак системності геофізичної моделі педосфери:

1. Ґрунти характеризуються безкінечною кількістю ґрунтознавчих, фізичних, геофізичних та інших характеристик, що безперервно змінюються у часі (динамічна модель) та взаємодіють між собою.

2. Дослідниками геофізики педосфери формується системна її модель, що включає лише деякі найбільш інформативні для поставленого завдання параметри.

3. Усі властивості педосфери як об'єкта наукового пізнання є рівноважливими, а пізнавальна функція системної моделі педосфери залежить від мети дослідження її інформативності.

4. Системна геофізична модель педосфери складається сукупністю елементів різного рангу. При цьому усі процеси самоорганізації даної оболонки Землі є тісно пов'язаними між собою та представляють складну систему, кожний наступний рівень якої включає попередній. Отже, при дослідженні геофізичної моделі педосфери у якості системного об'єкта визначальним має бути вимога цілісності.

5. Цілісність системної геофізичної моделі педосфери проявляється у виникненні нових інтегральних раптово виникаючих властивостей на кожному рівні організації речовини. Наприклад, емерджентні властивості чітко відображаються при зміні масштабу картування ґрунтових покривів. У ґрунтознавстві емерджентною властивістю ґрунту є його родючість. Самостійні об'єкти з певними характеристиками, які чітко ідентифікуються

при крупномасштабному картуванні, при дрібному масштабі картування можуть ставати деталями інших, більш крупних об'єктів та навпаки. Прикладами виступають мікроландшафтні та макроландшафтні перетини, повні катени у ряді заплава річки – вододіл – заплава, або їх складові балка – локальний вододіл – балка.

Далі більш детально розглянемо, що ж власне собою являє геофізика педосфери. Системне геофізичне дослідження засобами геофізики ґрунтових покривів Землі утворює геофізику педосфери [112]. Термін геофізика педосфери використовується для визначення теоретичних основ дослідження інформативності геофізичних (у нашому випадку найчастіше магнітних) методів у геології, екології, ґрунтознавстві. Крім того, формується спеціальна геофізична дисципліна, що описує закономірності розподілів та формування фізичних особливостей педосфери як специфічної оболонки Землі, яка несе визначальне значення для існування людини. Звідси випливає одне із найбільш актуальних завдань геофізики педосфери – відслідковування у реальному режимі часу за найбільш важливими параметрами ґрунтових покривів, що визначають їх родючість, чистоту екології для комфортного існування людини, прояви у структурі ґрунтового покриву глибинних геологічних процесів та покладів корисних копалин.

Магнетизм ґрунтів як складова геофізики педосфери є оптимальним набором фізичних параметрів, що забезпечують за умови їх високої інформативності трансформацію у життєздатну технологію. Остання включає спеціальний інструментарій та накопичену базу матеріалів щодо інформативності магнетизму ґрунтового покриву у цілій низці галузей.

Слід зауважити, що геофізичні методи не можуть застосовуватися для вивчення педосфери тотожно до вивчення літосфери. Відбувається практична розробка методів, методик, технологій дослідження геофізики педосфери. Реалії сьогодення вимагають переходу від класичних ґрунтознавчих досліджень, основа методології проведення яких була закладена ще

Докучасвим, до вимірювання геофізичних полів та петрофізичних характеристик ґрунтів. При цьому впроваджуються нові програмні продукти для інтенсифікації та оптимізації алгоритмів та процесу обробки отриманої інформації.

Магнетизм ґрунтів виявився найбільш оптимальною властивістю для глибокого пізнання ґрунтових покривів. При цьому дослідження інформативності магнітних методів дослідження ґрунтів у ґрунтознавстві, екології та геології з кожним роком підтверджує їх високу ефективність поряд із низькою вартісністю таких робіт та значущою експресністю магнітних технологій. Більш детально методологію магнетизму ґрунтів для різних сфер застосування розглянемо у наступних підрозділах дисертації. У даному місці лише зауважимо, що загальна концепція та методологія геофізики педосфери та магнетизму ґрунтового покриву є важливою для нових набираючих оберти комплексних міждисциплінарних досліджень. Мова йде про роль магнітних досліджень у комплексі інструментів для прийняття управлінських рішень, міждисциплінарних економічних оцінок впливів та втрат продуктивності ґрунтових покривів, визначення соціальних та гуманітарних ризиків – екосистемному сервісі (ЕС). Однією із найбільш гострих міждисциплінарних проблем в Україні та світі є антропогенні та техногенні впливи на навколишнє природне середовище. У межах України до існуючих форм відповідних навантажень останнім часом додався вплив військових дій. При цьому, порушується сталий розвиток, відбуваються зміни довкілля, агроландшафтів, падає продуктивність аграрних земель, що призводить до суттєвих економічних втрат, що впливає на гуманітарну і соціальну сфери життєдіяльності людства.

Для оптимального використання екосистемного сервісу ґрунтових покривів необхідно вірно розуміти місце ґрунтів у біосфері та їх екосистемні функції. Фундаментальною функцією ґрунтів є забезпечення існування та відтворення живої речовини з метою забезпечення життя на планеті [86].

Велику кількість функцій ґрунтового покриву можна згрупувати у дві частини: глобальні та екосистемні [26]. Глобальні функції пов'язані із біокосною природою ґрунтів та зв'язком із іншими природними середовищами. Серед екосистемних функцій ґрунтів виділяються фізичні, хімічні, біологічні та інформаційні. Не будемо зупинятися на більш глибокому розгляді зазначених функцій, а відзначимо лише наступне. Ґрунти забезпечують постійний взаємозв'язок великого геологічного та малого біологічного кругообігу речовини. Вивітрювання гірських порід, процеси трансформації та переносу відповідної речовин безпосередньо пов'язане із біогенною міграцією хімічних сполук, у першу чергу кисню, вуглецю, азоту. Ґрунтовий покрив акумулює ці речовини, функціонує у якості мембрани, що дозволяє вибірково відбивати, поглинати, пропускати, трансформувати енергетичні та речовинні потоки. З цим пов'язується здатність ґрунтів до перерозподілу хімічних речовин між усіма компонентами біосфери. При цьому газообмін між атмосферою та педосферою підтримує склад атмосферного повітря.

Одним із дієвих підходів для ідентифікації негативних впливів на території, їх моніторингу та розробки шляхів для подолання наслідків є екосистемний сервіс. Саме останнім часом ЕС набув важливого значення у сфері прийняття рішень у галузі вивчення довкілля та оцінки його екологічних змін [186, 187].

ЕС розподіляється на чотири класи. Перший клас – сировинний сервіс. Включає дослідження продуктів, що отримуються з екосистем. У першу чергу мова йде про різного типу сировину, сільськогосподарську та тваринну продукцію, прісну воду. Другий клас – це регуляторний сервіс, який включає дослідження клімату, контроль забруднення води та її очищення, вивчення якості атмосферного повітря, моніторинг небезпечних геологічних процесів та стихійних лих. Третій клас – допоміжний сервіс, який досліджує ландшафти, ґрунтові покриви та ґрунтоутворюючі процеси, їх зміни,

фотосинтез та кругообіг поживних речовин. Четвертий клас – це гуманітарний сервіс. До цього класу відносять послуги щодо вивчення впливів на рекреацію, відпочинок, туризм, досліджуються естетичні цінності та культурна спадщина.

Нами пропонується застосування екосистемного сервісу до антропогенно та техногенно змінених територій із використанням методів геофізики, у першу чергу магнітометрії, геоморфології та ґрунтознавства. Крім того, необхідним є з'ясування економічних втрат від порушення сталого розвитку території, їх знецінення та обрахування витрат на відновлення [145]. Важливим є визначення соціального та гуманітарного стану у межах обраних змінених територій та об'єктів педосфери.

## **2.2 Магнітні дослідження при розв'язанні задач ґрунтознавства та аграрного сектора**

Методологічні основи застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву у ґрунтознавстві та аграрному секторі є визначальним базисом для формування методології інших напрямків дослідження магнетизму ґрунтів. Пояснюється це тим, що при будь-яких варіантах застосування інформативності магнетизму ґрунтів першим кроком має бути розгляд природних незмінених фонових ґрунтових покривів території робіт. Для розуміння будь-яких фізико-хімічних процесів, побудови їх моделей, тощо, необхідно оперувати вихідною інформацією про алгоритм формування ґрунтового профілю та розвиток у даному процесі магнітних мінералів, їх неорганічні перетворення, взаємодію з органічною речовиною, роль мікроорганізмів у формуванні ґрунтової мінералогії та її подальших змін. Наступним кроком є перехід до першої форми антропогенного впливу на ґрунти – ведення сільського господарства. Останнє пов'язане із родючістю – головною функцією ґрунтів для людини, яка пов'язана з наявністю у їх складі гумусу. Інші процеси, які фіксуються у ґрунтах є похідними і

пов'язані з різними природними та техногенними впливами. Мова йде про методологію магнітних досліджень ґрунтів при розв'язанні екологічних та геологічних завдань, що детально розглядається у наступних підрозділах дисертаційної роботи.

Отже, перейдемо до розгляду методологічних основ дослідження природних незмінених ґрунтових покривів.

### ***Теорія неорганічного та органічного генезису і перетворень магнетиків у ґрунтах.***

Серед основних джерел формування та процесів накопичення магнітних мінералів у ґрунтах виділяються наступні:

1. 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 трафіком, 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.

В контексті розгляду методологічних засад дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву у ґрунтознавстві та аграрному секторі розглянемо більш детально наведені вище у пункті 1 класифікації магнетики *педогенного походження*. Вони можуть бути органічного [127] і неорганічного [234] генезису. Магнітні мінерали *неорганічного походження* накопичуються під впливом метаболічних процесів ферментації, окисно-відновних реакцій, вивітрювання, а *органічного походження* – формуються у середині клітин магнетотактичних бактерій.

Основні магнітні властивості ґрунтів визначаються вмістом у них оксидів та гідроксидів металів, у першу чергу заліза, рідше його сульфідів. Мінеральна частина структури ґрунту складає 80-90 %, а органічна лише 10-20 %. У свою чергу у складі органічної частини родючих ґрунтів гумус становить 80-90 %. Органічна речовина є діамагнітною, але при сприятливих фізико-хімічних умовах може взаємодіяти із залізом, що призводить до формування та перетворення парамагнітних та феромагнітних речовин.

Первинні магнітні мінерали неорганічного походження у ґрунтовому покриві формуються у процесі вивітрювання залізовмісних мінералів ґрунотвірних порід: халькопірит, марказит, хроміт, олівін, альмандин, епідот і т.д. [99]. Крім того, слід брати до уваги дегідратацію залізовмісних аморфних гідратованих високомолекулярних гелів.

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 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) та магеміт ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), антиферомагнетиками – гематит ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) та гетит ( $\alpha\text{FeOOH}$ ). Даний факт покладається в основу можливості фіксації та застосування магнетизму ґрунтового покриву.

Розглянемо детальніше процес формування магнітних мінералів у ґрунтах органічного походження за рахунок життєдіяльності

мікроорганізмів. Магнетит є основним магнітним мінералом, що міститься у структурі магнітосом.

Магнітосома – це бактеріальна магнітна наночастинка, мембранна структура магнетотактичної бактерії, що містить однодомений феромагнітний кристал [209], а у клітині найчастіше міститься 15-20 кристалів магнетиту.

Загальний вигляд магнітотактичних бактерій, що зафіксовані у природних об'єктах наведено на рис. 2.1 [282]. Це клітинні форми різної морфологічної природи, що включають великі стрижнеподібні клітинні форми, вібріони, спірили (spirilla), кокоїдні форми. На рис. 2.2 [282] наведені магнітосоми магнітотактичних бактерій. Частилки магнітосом можуть бути організовані в один ланцюг (a, b, c, e), два (f, i), кілька ланцюгів (g, h) або бути нерегулярної форми (j, k, l).

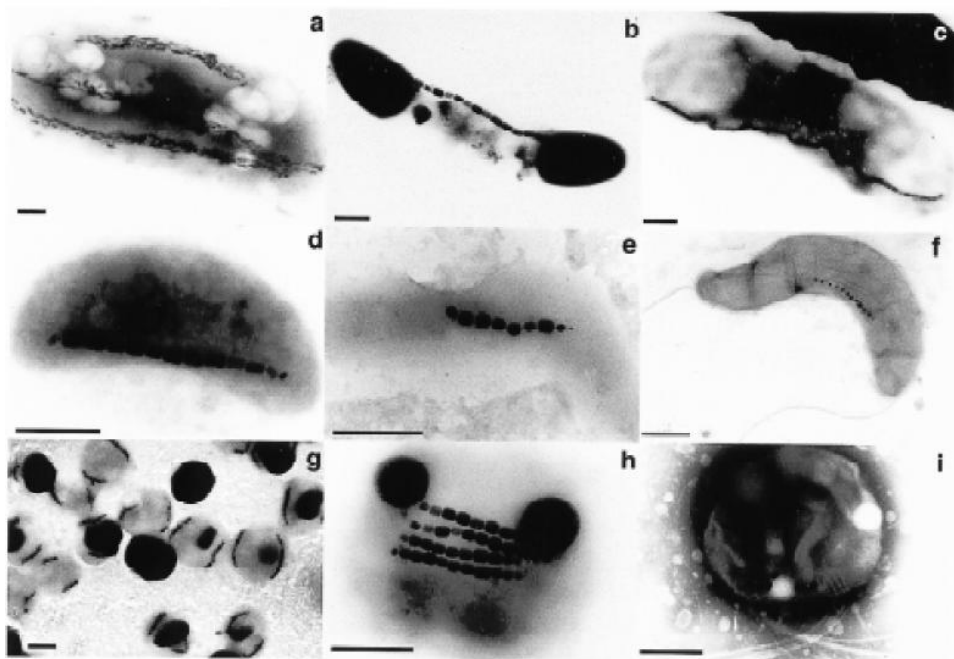


Рис. 2.1. Електронні мікрознімки магнетотактичних бактерій [282]: a, b, c – великі стрижнеподібні клітинні форми, d – вібріони, e, f – спірили (spirilla), g, h, i – кокоїдні форми.

За свідченнями [142] педогенні магнітні мінерали органічного походження можуть бути вторинними продуктами. Мова йде про те, що

материнським мінералом для утворення вторинного магнетиту у сильно магнітних ґрунтах під впливом дії магнетотактичних бактерій може виступати наномінерал ферігдрит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{FeOOH} \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ). Зауважимо, що первинний ферігдрит у процесі свого старіння призводить до формування гематиту ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – найбільш розповсюдженого антиферомагнітного мінералу ґрунтів [255].

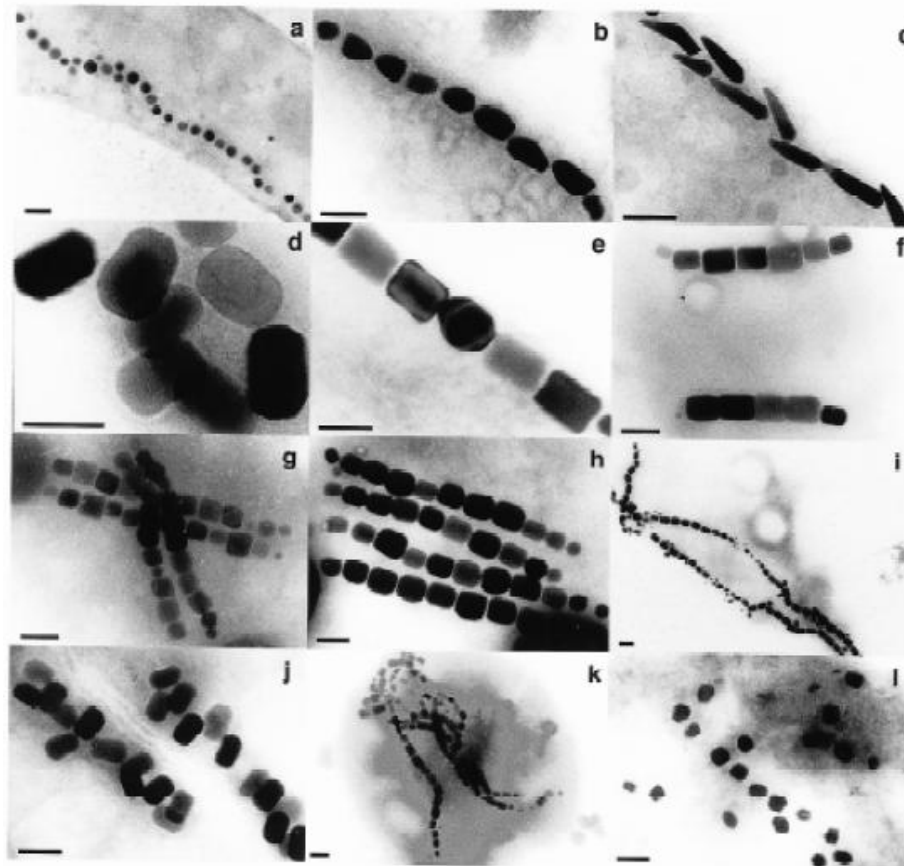


Рис. 2.2. Електронні мікрознімки магнітосом різних магнетотактичних бактерій [282]: а – кубооктогедральна форма, b, c – кулеподібні, d, e, f, g, h, i, j, k – подовжені призматичні, l – прямокутні.

Магнітосоми чистих стабільних однодомних зерен (SD) виробляються внутрішньоклітинно і ідентифікуються у магнітних екстрактах ґрунтів за допомогою просвічуючого електронного мікроскопу. З цього випливає, що у природних незмінених ґрунтах можуть одночасно бути стабільні однодоменні зерна – магнітосоми бактеріального походження, а також

суперпарамагнітні зерна (SP) неорганічного походження. Для виявлення доменного стану магнетиків у ґрунтах застосовують показники частотної залежності магнітної сприйнятливості  $\chi_{fd}$ , безгістерезисна магнітна сприйнятливість  $\chi_{ARM}$ , ізотермічна намагніченість насичення IRM, параметри петлі гістерезису, параметр S – відношення магнітом'якої (магнетит) до магнітожорсткої (гематит) компоненти IRM.

Доказом наявності магнітних частинок бактеріального походження (магнітосом) є наявність структурно впорядкованих магнітних зерен. Велика кількість експериментальних даних вказує на низьку концентрацію у зразках ґрунтів магнетотактичних бактерій, а отже і магнітних мінералів органічного бактеріального походження [142]. Отже, ведучи мову про педогенний генезис магнітного матеріалу у структурі ґрунтів слід говорити про домінуючу роль процесів вивітрювання та вторинну роль магнітотактичних бактерій.

Зауважимо, що розбравка ультрадисперсних SP зерен та SD магнітосом є доволі складним і неоднозначним процесом. Відповідні дослідження мають включати окрім магнітних досліджень, також електронні мікроскопічні аналізи. При цьому розрізнення доменного стану у даному контексті несе більше фундаментальне значення для розуміння фізичних та хімічних основ формування магнітних мінералів у чистих фонових ґрунтах. У той же час дана інформація є менш важливою у прикладному її значенні для застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву у сільському господарстві, агрономії та ґрунтознавстві.

### ***Фізико-хімічні моделі формування магнітних мінералів у ґрунтах.***

Розглянемо процес формування магнітних мінералів у ґрунтах у процесі ґрунтоутворення. Первинною компонентою у даному ланцюгу може бути ферігдрит, який у процесі свого старіння призводить до формування парагенезису гематиту (антиферомагнетик) та магеміт/магнетиту (ферімагнетики) – найбільш розповсюджених магнітних мінералів ґрунтів. У

класичних дослідженнях магнітних властивостей ґрунтів ферігдріт не розглядається з причини своєї низької магнітності у звичайних температурних умовах, а отже і низькому 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, ферігдріт відіграє адсорбційну функцію природного фільтра неорганічних забруднень ґрунтів [255].

Розглянемо більш детально фізико-хімічні основи процесів перетворення та формування педогенних магнітних мінералів. Результати термомагнітних аналізів часто ідентифікують у ґрунтах проміжну магнітну фазу близьку до магемітової із температурою Кюрі близько 400 °С [216]. Насправді, дана проміжна магнітна фаза може бути саме ферігдрітом.

Найпростіша інтегрована модель формування парагенетичної асоціації магнетит-магеміт/гематит у ґрунтах наведена на **рис. 2.3**. Вона розроблена автором із частковим використанням даних щодо магнітних властивостей та магнітної мінералогії ґрунтових покривів різних ґрунтово-кліматичних зон світу [296]. Дана модель застосовується за таких основних умов:

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

У даній моделі ліганди, що присутні у структурі ґрунтових агрегатів адсорбуються на поверхні ферігдріту, проходять внутрішнє перегрупування і повільне зневоднення до гематиту/магеміту згідно крокам (1-3). При цьому ми розглядаємо модель формування ферімагнітного магеміту опускаючи ланцюг формування магнетиту, який є також основним магнетиком ґрунтів. Існує доведене пояснення [235], яке враховує одночасне формування слабкомагнітного антиферомагнітного гематиту та підвищення магнітних властивостей ґрунтів. Мова йде про чергування засушливих періодів та підвищеного зволоження. У результаті даних чергувань при надмірному

зволоженні протікає розчинення і відновлення гематиту (або гетиту) до магнетиту (4), а під час сухих періодів відбувається зворотнє окиснення до магеміту.

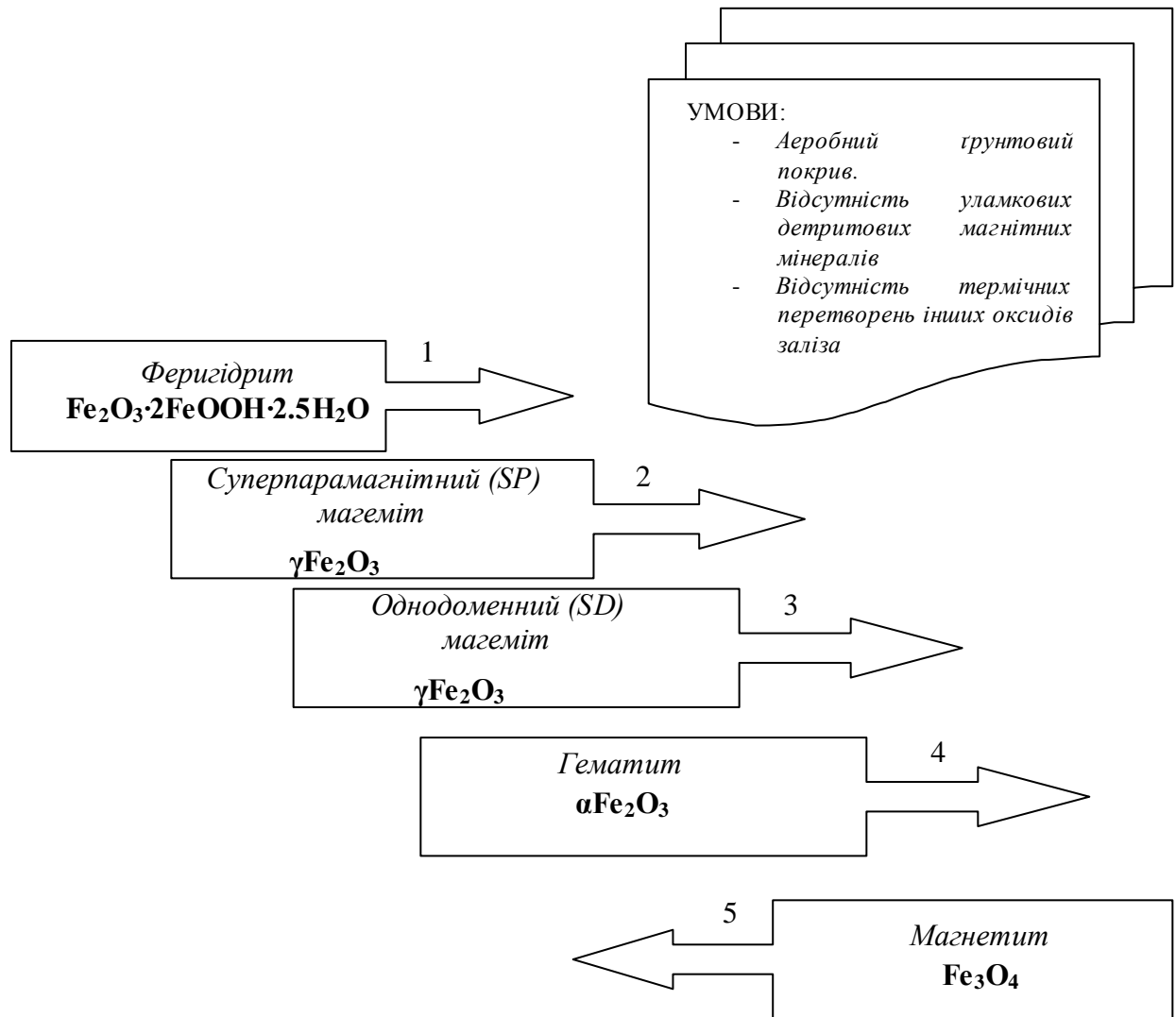


Рис. 2.3. Алгоритм перетворень магнітних мінералів у процесі ґрунтоутворення із частковим використанням даних [296]

Ще одна модель *Schwertmann* педогенного генезису магнетиків у ґрунтах розглядає випадок відсутності гематиту та формування магеміту у процесі розчинення феригідриту [284].

Дана модель застосовується за таких основних умов:

1. Розчинне середовище.
2. Відновне середовище
3. Підкислення або комплексоутворення з органічною речовиною

У процесі гідролізу іонів заліза у розчині утворюється гетит ( $\alpha\text{FeOOH}$ ) або рідше лепідокрокит ( $\gamma\text{FeOOH}$ ).

Таким чином, згідно до двох моделей, що наведені вище при одночасному існуванні у структурі ґрунтів парагенетичних асоціацій магнетит-гематит/мегеміт підвищується ступінь магнетизму ґрунтів. Така картина є характерною для автоморфних ґрунтів України, у першу чергу, родючих чорноземів. У той же час при формуванні гетиту/лепідокрокиту ґрунти стають значно менш магнітними. Така ситуація відповідає гігроморфним лучним та заболоченим ґрунтам.

#### ***Характеристика основних магнітних мінералів педогенного походження.***

Характеристики найбільш значущих магнітних мінералів, які формуються та змінюються у процесі ґрунтоутворення, наведені у таблиці 2.1 із частковим використанням даних [124, 180, 190].

Наведемо більш детальну характеристику найбільш важливих магнітних мінералів у ґрунтах [20, 99, 160].

***Ферігідрит  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{FeOOH} \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ .*** Хімічна формула довго була невизначеною. Хімічний склад зразків мінералу в значній мірі залежить від дисперсності його доменів, розмір яких коливається від 2 до 6 нм. Зміна загального складу зразків ферігідриту не впливає на склад елементарної комірки мінералу, який близький до складу поліморфних  $\text{FeOOH}$  модифікацій. Ферігідрит є парамагнетиком, при нагріванні відбувається безперервне виділення води до  $450^\circ\text{C}$ .

Таблиця 2.1.

Магнітні характеристики найбільш значущих магнетиків  
грунтотвірного походження

Мінерал	Склад	Густина, $10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Тип магнетика	Намагніченість насичення, Ам <sup>2</sup> /кг	Питома магнітна сприйнятливість, $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	Температура Кюрі, °С
<b>Оксиди</b>						
Гематит	$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	5,26	антиферомагнетик	0,4	10-760	680
Магеміт	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,90	ферімагнетик	70-80	40000- 50000	645
Ільменіт	$\text{FeTiO}_3$	4,72	антиферомагнетик		46-80000	- 170
Магнетит	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	5,18	ферімагнетик	90-92	20000- 110000	580
<b>Сульфіди</b>						
Пірит	$\text{FeS}_2$	5,02	парамагнетик	18	1-100	
Піротин	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	4,62	ферімагнетик	20	до 70000	325
Грейгіт	$\text{Fe}_3\text{S}_4$		ферімагнетик	25		350
<b>Гідроксиди</b>						
Гетит	$\alpha\text{FeOOH}$	4,27	антиферомагнетик	<1	26-280	120
Лепідокр окит	$\gamma\text{FeOOH}$	4,18	антиферомагнетик	<1	40-70	-196
<b>Метали</b>						
Кобальт	Co		феромагнетик	161		
Залізо	Fe		феромагнетик	218		770
Нікель	Ni		феромагнетик	55		

При температурі у 300-400 °С ферігідрит переходить у гематит. Ферігідрит є наномінералом і у первинному вигляді рідко зустрічається у структурі ґрунтів. У той же час, як було описано вище, даний мінерал часто є базисом для утворення вторинних магнетиків у ґрунтах, при чому може бути важливим як при органічних, так і неорганічних перетвореннях у процесі педогенезу. У природних умовах ферігідрит є гетерогенною сумішшю трьох компонентів: структурно упорядкованого і дефектного ферігідриту, а також ультрадисперсного гематиту з розмірами доменів когерентного розсіювання близько 2 нм. Найдрібніші частинки відіграють роль зародків нової фази, що призводить у подальшому до твердофазного перетворення в природних умовах ферігідрита у гематит. Така перебудова відбувається під впливом

дегідратація внаслідок підвищення температури і аридизації ґрунтів. Ферігдрит утворюється при органічному каталізі окислення Fe (II) за участі кремнезему. Мікроорганізми беруть участь у синтезі ферігдриту при утилізації органічних лігандів в складі Fe(III) органічних комплексів. Як зазначалося вище ферігдрит є попередником інших, більш стійких магнітних мінералів, у першу чергу, гематиту і гетиту. Природа кінцевих мінералів визначається дією таких чинників як рН, температура, кількість і склад чужорідних іонів. Збереженню у природних умовах ферігдриту як слабо упорядкованого гідроксиду сприяють неорганічні і органічні інгібітори кристалізації. Серед натуральних неорганічних інгібіторів важливу роль відіграє кремнезем, тому ферігдрит можна ідентифікувати у ґрунтах з насиченими кремнієм ґрунтовими водами або у ґрунтах збагачених на Si. Інгібуючу дію органічної речовини фіксують у ілювіальних горизонтах підзолів і псевдофібрах оглеєних ґрунтів, а також у зцементованих прошарках піщаних ґрунтів у прошарках 2-10 мм. При цьому ферігдрит переважає при високому вмісті органічного вуглецю:  $C_{орг} > 5\%$ , а за умови  $C_{орг} < 2-3\%$ , домінують гетит і лепідокрокит.

**Гематит  $\alpha Fe_2O_3$ .** Один із найбільш стійких та розповсюджених мінералів ґрунтів. Забезпечує червонуватий відтінок. Магнітна сприйнятливність залежить від розміру зерен, але у цілому в природних умовах є слабкомагнітним. Будова частинок гематиту – ромбодральна, іони кисню утворюють тісно стислу гексагональну структуру. Звичайна форма гематиту – гексагональні пластинки, але в ґрунтах часто зустрічаються і коломорфні частки. Перехід з антиферомагнітного стану у слабо феромагнітний відбувається із набуттям спонтанної намагніченості близько 2,5 кА/м, точка Кюрі 675 °С. Висока температура Кюрі дозволяє розбракувати його та магнетит. При охолодженні нижче точки Кюрі намагніченість різко зростає, а при -15 °С відбувається перехід Моріна і втрата феромагнітних властивостей. Найчастіше при старінні ферігдриту

кінцевий продукт складається з гематиту та гетиту. Частка гематиту досягає максимуму в слоболужних умовах, а мінімуму у помірно кислому середовищі. Зростання температури і зниження вологості приводять до більш швидкої трансформації ферігідриту і збільшення відношення гематит:гетит. Літогенний гематит часто асоційований в ґрунтах з оксидами заліза – магнетитом і магемітом. Температура та вологість впливають на співвідношення між гематитом і гетитом у ґрунтовому покриві різних геохімічних ландшафтів та катен.

**Магеміт  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ .** Кубічна модифікація оксиду заліза, що виникає у процесі окиснення магнетиту та інших ферошпінелей, а також у процесі дисоціації лепідокрокиту та сидериту. Разом із магнетитом найбільш розповсюджений магнітний мінерал ґрунтів. Хімічна формула ідентична гематиту. Має кристалічну структуру оберненої шпінелі, чорний колір та підвищену у порівнянні із іншими оксидами заліза магнітну сприйнятливість та намагніченість. Магеміт є повністю окисленою формою магнетиту з кубічною кристалічною структурою елементарної гратки, проте меншою за розмірами ніж у магнетиту. При кімнатній температурі спонтанна намагніченість 380 кА/м (нижче за магнетит), температура Кюрі близько 645 °С, але її визначити важко за рахунок метастабільності даного мінералу. Магеміт термічно нестійкий мінерал і при температурі вище за 220-300 °С незворотно переходить у гематит. Така особливість є більш важливою у порівнянні із власне точкою Кюрі.

**Магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .** Найбільш розповсюджений ферімагнітний мінерал ґрунтів. Має кристалічну структуру оберненої шпінелі, чорний колір та підвищену у порівнянні із іншими оксидами заліза магнітну сприйнятливість та намагніченість. Ферімагнітний мінерал, який характеризується двома важливими термомагнітними параметрами: точкою Кюрі та переходом Вервея. Точка Кюрі знаходиться близько 580 °С, теплова енергія долає обмінні зв'язки і магнетит втрачає феромагнітні властивості. Перехід Вервея

для магнетиту знаходиться близько  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  і забезпечує зміну кристалографічного розподілу катіонів заліза. Наявність у ґрунтах стабільних однодомених зерен магнетиту забезпечує їх стабільну залишкову намагніченість. У ґрунтах може бути різного походження: крупнозернистий літогенний, дисперсний педогенний (характерний для автоморфних ґрунтів, наприклад, чорноземів), гідрогенний супердисперсний магнетит, який утворюється в результаті біогенної дисиміляції та редукції гідроксидів  $\text{Fe(III)}$  у перезволожених ґрунтах. У літогенному магнетиті часто фіксуються різноманітні заміщення заліза: двовалентне залізо заміщається  $\text{Mn}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Ni}$ , тривалентне залізо заміщається  $\text{V}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cu}$ . Вміст таких важких металів в магнетиті часто перевищує 1%, що змінює точку Кюрі. Частинки літогенного магнетиту представлені масивними зернами октаедричної форми, найбільше літогенного магнетиту фіксується у ґрунтах, що залягають на основних породах. У лісових ґрунтах магнетит може перетворюватися на гетит. Зустрічаються частинки, які зберегли тільки зовнішню кристалічну форму, але вже повністю заміщені тонкодисперсним гетитом. У результаті утворюються псевдоморфози гетиту по магнетиту. У горизонті ферментації під впливом органічних кислот активно йде процес вивітрювання, що призводить до заміщення структури шпінелі за рахунок утворення гетиту минаючи фазу гематиту.

Педогенний магнетит утворюється в автоморфних ґрунтах у вигляді високодисперсних частинок розміром близько 50 нм. З'являються при неорганічному осадженні  $\text{Fe(II)}$  або під впливом залізоредакуючих бактерій. Часто в ґрунтах знаходять сферичні, відносно великі частинки магнетиту (магнітні сферули) діаметром у 1-10 мкм. Вони можуть бути космічного походження (характерні для умовно незабруднених фонових ґрунтів) та техногенного походження (забруднений ґрунтовий покрив).

Гідрогенний магнетит зустрічається у гідроморфних ґрунтах, де найбільш імовірно утворення біогенного супердисперсного магнетиту за

рахунок твердофазного перетворення сорбованого Fe(II) на поверхні гідроксидів Fe (III). Хімічні та мінералогічні властивості гідрогенного біогенного магнетиту наразі вивчені недостаточно.

Стійкість магнетиту у ґрунтах залежить від багатьох факторів, включаючи рН,  $p_e$  і  $\text{CO}_2$ . Магнетит як продукт неповного відновлення Fe(III) нестійкий в присутності органічної речовини як донора електронів і при подальшій редукції з магнетиту утворюються сидерит та вівіаніт.

**Гетит  $\alpha\text{FeOOH}$ .** Один із найбільш стійких гідроксидних мінералів ґрунтів. Забезпечує жовто-бурий до сизого відтінок. Має кристалічну структуру типу діаспори, слабкомагнітний. Серед гідроксидів, які генеруються у процесі вивітрювання у ґрунтах лише гетит характеризується значущими магнітними властивостями. Гетит є гексагональним антиферомагнетиком. Проте, одночасно гетит демонструє слабкі феромагнітні властивості, які до даного часу є слабо вивченими. Точка Кюрі становить близько 120 °С, спонтанна намагніченість становить близько 2 кА/м, що дещо менше ніж у гематиту. Утворення гетиту та Al-гетиту протікає за різних фізико-хімічних умов, при цьому пов'язується ступінь заміщення Fe на Al з умовами ґрунотвірного процесу. Домінування гетиту характерне для конкрецій у оглеєних ґрунтах, що розвинулися в умовах високого вмісту Fe і гумусових кислот. У цих ґрунтах ймовірність реалізації хемогенного синтезу гетиту зростає, а ймовірність біогенного утворення значно знижується. У лісових ґрунтах гетит значно превалює над іншими гідроксидами (до 75%), у той же час у степових ґрунтах гетит складає лише 30-40 %.

**Пірит  $\text{FeS}_2$  і піротин  $\text{FeS}_{1+x}$ .** Серед сульфідів залізу у контексті дослідження магнетизму ґрунтів найбільш важливу роль відіграють пірит та піротин. Пірит є широко розповсюдженим мінералом, у той же час він парамагнетик. Незважаючи на це пірит приймає участь у процесах заміщення та генерації діагенетичних мінералів, які є більш магнітними і можуть

фіксуватися при магнітних дослідженнях. Безпосередньо магнітним є піротин, який кристалізується в декількох формах. Найбільш поширеними та важливими для магнетизму природних об'єктів є моноклінний та ферімагнітний  $\text{Fe}_7\text{S}_8$ , а також шестикутний (гексагональний) та антиферромагнітний  $\text{Fe}_9\text{S}_{10}$ . На практиці  $\text{Fe}_7\text{S}_8$  і  $\text{Fe}_9\text{S}_{10}$  часто зустрічаються в тісній асоціації один з одним, що призводить до варіативності магнетизму природних зразків. Незважаючи на те, що гексагональний піротин  $\text{Fe}_9\text{S}_{10}$  є антиферромагнетиком при кімнатній температурі, він піддається кристалографічному переходу при температурі близько  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , коли він стає феромагнетиком із подальшою точкою Кюрі при  $265\text{ }^\circ\text{C}$ . Тому, такі зразки характеризуються значним зростанням їх намагніченості у проміжку  $200\text{--}265\text{ }^\circ\text{C}$ . Крім того, існують дані про низькотемпературний перехід Беснуса (Besnus) в околі  $30\text{ K}$  ( $-243,15\text{ }^\circ\text{C}$ ) [277]. Такий перехід, було зафіксовано нами для ґрунтів територій покладів вуглеводнів. Важливою властивістю сульфідів заліза є їх нестійкість у окислювальних умовах. Їх окиснення призводить до підкислення ґрунту, тому пірит і піротин розповсюдженні у сульфатнокислих ґрунтах, які фактично є не характерними для ґрунтового покриву України.

***Короткий огляд основних ґрунтознавчих процесів та показників якості ґрунтів, які вивчаються магнітними методами.***

Основним завданням геофізики є сервісна функція забезпечення інструментального розв'язання низки фундаментальних та прикладних завдань народного господарства, у першу чергу геології, географії, екології, ґрунтознавства і т.д. Аналогічно інформативність магнетизму ґрунтового покриву стає інструментом для вирішення фундаментальних і прикладних завдань ґрунтознавства, сільського господарства та аграрного менеджменту. Тому, нижче розглянемо деякі процеси, що протікають у ґрунтових покривах,

агрофізичні та агрохімічні показники ґрунтів, які успішно та з високою достовірністю ідентифікуються магнітними методи.

### **Показники родючості та продуктивності ґрунтів.**

Значення ґрунтів для народного господарства та аграрного виробництва визначається, у першу чергу, його родючістю. Родючість у загальному розумінні – це здатність ґрунту забезпечувати рослини необхідною кількістю поживних речовин, води, повітря, а також забезпечувати умови нормальної життєдіяльності для створення врожаю [96]. Родючість ґрунтів створюється під час ґрунтоутворення і безперервно змінюється залежно від біохімічних, фізичних та фізико-хімічних процесів, на які у свою чергу впливають характер рослинності, кліматичні умови, агротехніка та інші антропогенні фактори [118]. У більш широкому розумінні на родючість ґрунтів впливають не лише характеристики верхнього гумусового горизонту, але й більш глибокі горизонти, які фактично є верхньою частиною геологічного розрізу. У рамках дисертаційної роботи на конкретних прикладах для виявлення інформативності магнітних методів за інтегральний показник родючості та продуктивності ґрунтів ми приймаємо вміст гумусу, рідше деякі інші фізико-хімічні параметри. Проте, строго кажучи, до елементів родючості ґрунтів слід віднести весь комплекс фізичних, біологічних і хімічних властивостей ґрунтів і їх річну динаміку. Найважливіші серед них наступні [33]:

- *Гранулометричний склад ґрунту.* Від нього залежить тепловий і водний режим, водно-повітряні властивості і харчовий режим ґрунтів. Кращими для зростання більшості культурних рослин є суглинисті ґрунти.
- *Структурність і водно-фізичні властивості ґрунтів.* Щільність ґрунтів, їх фізичні властивості і пов'язані з цим водний, повітряний, тепловий і харчовий режими залежать від структурності ґрунтового

покриву. Від даних параметрів залежить і врожайність. Безструктурний ґрунт не може забезпечувати рослини одночасно водою і повітрям. Для родючості ґрунтів важливе значення має розмір структурних агрегатів і їх якість (водостійкість та пористість).

- *Теплові властивості ґрунтів.* Здатність ґрунту поглинати і відбивати енергію сонця, утримувати тепло, що безпосередньо визначає ріст і розвиток рослин, а також біологічні процеси, з якими пов'язана родючість ґрунтів.
- *Вміст у ґрунтах органічної речовини.* В органічній речовині ґрунтів міститься основна частина запасів азоту, близько 80% сірки і близько 60% фосфору. З кількістю і якісним складом органічної речовини пов'язано утворення водостійкої структури і формування сприятливих для рослин водно-фізичних і технологічних властивостей ґрунтів.
- *Біологічна активність ґрунтів.* Визначається чисельністю, складом і активністю ґрунтових мікроорганізмів і ґрунтової фауни, активністю ферментів, які безпосередньо беруть участь у трансформації недоступних рослинам елементів живлення, а також рослинних залишків у доступній формі.
- *Поглиналина здатність ґрунтів.* Обумовлює ряд життєво важливих для рослин властивостей ґрунтів, харчовий режим, хімічні і фізичні властивості. Завдяки поглинальній здатності елементи живлення утримуються ґрунтами і менше вимиваються опадами, залишаючись у той же час легкодоступними для рослин. Поглинений водень, алюміній і натрій сприяють руйнуванню поглинаючого комплексу, знижують здатність ґрунту утримувати і закріплювати гумусові речовини. Насиченість поглинаючого комплексу кальцієм, навпаки, забезпечує рослинам сприятливу, близьку до нейтральної реакцію ґрунтів, оберігає її, сприяє агрегації ґрунтів і закріпленню в ній гумусу. Як показано у подальших розділах дисертаційної роботи магнітна сприйнятливість

ідентифікує зміни кальцію паралельно із дослідженням гумусності ґрунтів.

### **Органічна речовина ґрунтів, вміст гумусу як інтегральний показник родючості ґрунтів.**

Органічна речовина ґрунтів – це сукупність живої біомаси та відмерлих залишків рослин, тварин, мікроорганізмів, продуктів їх метаболізму та специфічних новоутворень органічної речовини ґрунту – *гумусу* [28]. Перетворення органічних речовин призводить до зміни магнітних параметрів ґрунтів [305]. У процесі трансформації органічних залишків органічна речовина збагачується речовинами індивідуальної природи – неспецифічними сполуками, які складають до 15-20 % загальної маси. Азотовміщуючі речовини представлені білками та амінокислотами. Вуглеводи є основним джерелом енергії для мікроорганізмів та мезофауни. Поряд з розкладом органічних залишків у ґрунті відбувається синтез дуже складних високомолекулярних гумусових речовин, які утворюються з уламків біологічних макромолекул – їх мономерів. Гуміфікація – складний біофізико-хімічний процес трансформації проміжних високомолекулярних продуктів розкладу органічних залишків у особливий клас органічних сполук – гумусових кислот. Гумусові речовини як специфічний продукт гуміфікації являють собою гетерогенну полідисперсну систему високомолекулярних азотовміщуючих ароматичних речовин кислотної природи. Вони представлені гумусовими кислотами та залишком, що не гідролізується – гуміном. Гумусові кислоти – особливий клас речовин із змінним складом. У межах групи вони зберігають загальний принцип будови, їх високомолекулярний характер обумовлює практичну незалежність їх основних фізичних та хімічних властивостей від невеликої зміни складу. Гумусовим кислотам властива гетерогенність і полідисперсність.

Гумусний стан ґрунтів – це сукупність морфологічних ознак, загальних запасів органічної речовини та процесів її утворення, трансформації та міграції у ґрунтовому профілі. Система показників гумусного стану ґрунту включає:

- 1) вміст гумусу, %;
- 2) тип профільного розподілу гумусу;
- 3) запаси гумусу у профілі та в різних його частинах, т/га;
- 4) типи гумусових кислот та співвідношення їх вмісту, що характеризується показником  $C_{ГК}:C_{ФК}$  – груповим та фракційним складом гумусу.

За вмістом гумусу у верхньому орному шарі розрізняють: безгумусні <0,5%; низькогумусні – 0,5-1,0 %; слабогумусовані – 1-2%; гумусовані – 2-3%; малогумусні – 3,5-5,5%; середногумусні – 5,5-8,5%; багатогумусні – 8,5-15%; перегнійні – 15-35%; торфові – >35%. Для різних типів ґрунтів встановлюються індивідуальні межі слабкої, малої та середньої гумусності.

Тип профільного розподілу гумусу залежить від типу будови ґрунтового профілю. У слаборозвинених ґрунтах верхній гумусовий горизонт Н (горизонт А за WRB) має потужність менше 10 см, така ж мала вона у ґрунтах підстилково-гумусового типу будови. У поверхнево-гумусових ґрунтах гумус зосереджений у верхньому горизонті з глибиною до 30 см, а в ізогумусових – гумусовий профіль більш розтягнутий і складається з гумусового шару товщиною >20 см і гумусованих горизонтів такої ж або більшої товщини. Загальна глибина ізогумусових профілів чорноземів в більшості випадків досягає 1 м. У слабоізогумусових профілях (ясно-сірі лісові, каштанові, сіроземи) ця глибина зменшується до 0,5-0,3 м. При бімодальному типі профільного розподілу гумусу наявні два максимуми гумусу у профілі – поверхневий, найчастіше підстилково- або поверхнево-гумусовий та ілювіальний у середній частині профілю (підзоли, підбури ілювіально-гумусові).

### **Загальна деградація продуктивних земель, втрати ґрунтів.**

Основними проявом деградації ґрунтового покриву є втрата ним родючості. Величезні площі щороку вилучаються із промислового сільськогосподарського виробництва. Мова йде про 1,5 млн га у рік. При цьому для відновлення родючого шару ґрунтів необхідні століття [86].

Деградація ґрунтів буває природною та антропогенною. Антропогенна деградація включає у себе і техногенну складову. У межах даного пункту дисертаційної роботи пропонується обмежуватися розумінням антропогенної деградації, що пов'язана із веденням сільськогосподарських робіт.

Існує ряд факторів, що знижують родючість ґрунтів. Серед них [33]: надлишкова кислотність або лужність, надлишок солей, висока глинистість та ущільненість, недостача води, тепла, мінеральних компонентів. Крім того, виділяється перезволоженість до заболочування, недостача аерації, строкатість мікрорельєфу. Однією із найбільш значущих загроз є ухил поверхні, що веде до формування ерозійних процесів та втрати гумусу. Також загрозливим є мала потужність прошарків для коріння рослин, різко диференційований на ґрунтові генетичні горизонти профіль. Неоптимальний комплекс агрономічних процедур або їх відсутність призводять до формування антропогенного біологічного та хімічного зараження ґрунтів.

Зауважимо, що деградація ґрунтів призведе до негативних змін як екологічних систем (екосистемний сервіс), так має й значущий вплив на соціальну сферу. Наочною ілюстрацією такого поєднання є програми Товариства Геофізиків Розвідників (SEG), які частину своїх коштів виділяють на дослідження в області геофізики, які спрямовані саме на вирішення соціально значущих проблем, до яких безумовно відноситься деградація продуктивних земель. З цією метою проводяться заходи щодо оптимального менеджменту аграрних земель, моделювання небезпечних

процесів, ефективного картування ґрунтів [130], зокрема і на основі магнітних методів [196], що має забезпечувати принципи сталого розвитку.

### **Ерозія як найбільш поширене явище деградації продуктивних земель.**

Ерозія ґрунтів є одним із найбільш поширених та водночас небезпечних явищ деградації продуктивних земель, що веде до їх втрати. У межах дисертаційної роботи при дослідженні інформативності магнетизму ґрунтів у аграрному секторі найбільшій уваги приділено саме ерозійним явищам. Тому, пропонуємо більш детально розглянути загальні поняття, що пов'язані з ерозією ґрунтів та є важливими для розуміння методологічних принципів магнетизму ґрунтів у ґрунтознавстві та сільському господарстві.

Ерозія ґрунтів є широко поширеним процесом руйнування ґрунтового покриву, що включає винос, перенос і перевідкладення ґрунтової маси. Залежно від головного чинника руйнування ерозію поділяють на водну та вітрову (дефляція) [33]. Більш детально зупинимося на водній ерозії. Водна ерозія справляю низку негативних гідрологічних впливів, і головне – призводить до втрати гумусового горизонту ґрунтів у процесі площівного або лінійного змиву.

Площівна ерозія є більш розповсюдженою та призводить до втрати верхніх генетичних горизонтів ґрунтів, а також елементів живлення для рослин. Лінійна ерозія включає джерельну, яружну, абразивну та зсувну.

Окрім інших факторів на інтенсивність ерозії впливає характер рельєфу: форма, крутизна і довжина схилів, величина і форма водозборів. Ерозія посилюється на опуклих, крутих і довгих схилах, звужені і витягнуті у довжину водозбори сприяють утворенню ярів. Саме наведені процеси найчастіше розглядаються нами у контексті зміни магнітних властивостей ґрунтів у подальших розділах. Водна ерозія викликає зміну фізичних властивостей ґрунтів: погіршення їх структури, ущільнення орного шару.

Крім того, ерозійні явища зменшують або повністю знищують гумусовий горизонт. Це призводить до зменшення вмісту гумусу, азоту, фосфору, калію та інших поживних елементів речовин. Ґрунтовий покрив втрачає свою родючість.

У таблиці 2.2. наведено класифікацію рівня ерозії та втрати при цьому продуктивних земель [26].

Важливою характеристикою ерозійних процесів є їх інтенсивність, що варто вивчати у режимі моніторингу. Запровадження відповідного моніторингу вбачається оптимальним у комплексі загального моніторингу небезпечних геологічних процесів [15, 16].

Таблиця 2.2.

Втрати ґрунтів при їх ерозії у рік [26]

<b>Рівень ерозії</b>	<b>т/га/рік</b>	<b>мм/рік</b>
Слабкий або відсутня	<10	<0,6
Помірний	10-50	0,6-3,3
Сильний	50-200	3,3-13,3
Дуже сильний	>200	>13,3

### **Вплив пожеж.**

Важливим фактором, що впливає на сталий розвиток та екосистемний сервіс є вплив пожеж на ґрунтовий покрив [265, 302]. Слід зауважити, що власне петромагнітні методи вивчення ґрунтів на початку застосовувалися для дослідження ґрунтових покривів, що зазнали впливів пожеж [215].

Серед основних впливів пожеж на ґрунтовий покрив виділимо наступні [47]:

- Зростання рН та вмісту доступних для рослин поживних елементів у верхніх генетичних горизонтах.
- Стимулювання процесів нітрифікації.

- Вигорання нерозкладеної органічної речовини, що призводить до зниження вмісту азоту в ґрунтах.
- Втрата частини мінералізованої органічної речовини.
- Зменшення кількості живих організмів.
- Різкі коливання добових температур на поверхні ґрунтів.
- Ущільнення, зниження водопроникності, збільшення небезпеки ерозії ґрунтів.

Слід зауважити, що серед наведених факторів (і загалом інших, що не розглядалися) не усі є негативними. При цьому необхідно враховувати часові рамки пожеж, їх періодичність, загальну кількість. Наприклад, ґрунти, що зазнали впливу двох пожеж характеризується більшою інтенсивністю протікання мікробіологічних процесів у порівнянні з ґрунтами, які зазнали впливу однієї пожежі [50]. У таких ґрунтах посилюється інтенсивність мінералізації органічних та азотовмісних речовин. Одночасно внаслідок поліпшення мінерального живлення знижується активність розкладання гумусу.

Ґрунти є величезним сховищем запасів вуглецю [178]. Тому, серед негативних впливів виділяються процеси горіння, які можуть призводити до парникового ефекту. З іншого боку постає питання – чи є пожежі небезпечними для розвитку власне екосистем, що зазнали їх впливу? Питання є надзвичайно актуальним, йому присвячується робота цілих напрямків, як наприклад у рамках щорічної генеральної асамблеї Європейського Геологічного Союзу (*EGU 2016 – Post-fire environments: Impacts, Processes, Modelling and Management*) [169]. Цікавою постає думка, що екосистеми, які протягом свого розвитку неодноразово зазнавали впливу пожеж успішно відновлювалися самостійно [264]. Фактично, підкреслюється, що пожежі є природним явищем і втручання у відновлення територій, що зазнали їх впливу, не є оптимальним підходом. Відповідні ареали успішно відновлюються самостійно, а втручання людини при цьому не несе

визначального впливу. У той же час картування таких територій є важливим з метою планування оптимальної системи землекористування. Саме на даному етапі постає необхідність застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву, що демонструє високу ефективність при вивченні ґрунтів, що зазнали впливу пожеж [260, 126].

***Основи методики та технології магнітних досліджень при розв'язанні завдань ґрунтознавства та аграрного сектору.***

Специфіка магнетизму природних об'єктів визначає набір основних петромагнітних параметрів, які використовуються у вимірюваннях матеріалів, у першу чергу ґрунтів. Головним чином вимірюються ті параметри, які є найбільш інформативними та демонструють найвищі кореляційні зв'язки з показниками родючості, вмісту відповідних поживних та небезпечних речовин у ґрунтах, ілюструють деструктивні процеси та явища. Основний набір магнітних параметрів ґрунтів та їх інтерпретаційне значення наведено у таблиці 2.3. Загальна методична схема проведення магнітних досліджень незабруднених фонових ґрунтів для розв'язання завдань ґрунтознавства та аграрного сектору наводиться на рис. 2.4.

Таблиця 2.3.

Деякі основні магнітні параметри при дослідженні магнетизму ґрунтів

Магнітний параметр	Розмірність	Назва	Інтерпретація
$\chi$	$10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	Питома магнітна сприйнятливість	Інтегральний показник вмісту магнітної речовини.
$\square$	$10^{-5}$ од. СІ	Об'ємна магнітна сприйнятливість;	Відображає концентрацію сильно магнітних оксидів заліза (магнетит, магеміт, піротин). Також відображає наявність парамагнітних і діамагнітних мінералів.

## Продовження таблиці 2.3

$\chi_{fd}$	%	Частотна залежність магнітної сприйнятливості; $\chi_{fd} = 100 \times (\chi_{LF} - \chi_{HF}) / \chi_{LF}$ $\chi_{LF}$ – магнітна сприйнятливість виміряна при низькій частоті, наприклад 0,47 кГц; $\chi_{HF}$ – магнітна сприйнятливість виміряна при більш високій частоті, наприклад, 4,7 кГц	Ідентифікує вміст суперпарамагнітних зерен (SP) розміром <20 нм.
IRM	$10^{-3}$ , А/м	Ізотермальна залишкова намагніченість	Ідентифікує наявність стабільних носіїв залишкової намагніченості
S-параметр	Безрозмірний	Відношення м'якої (низькоерцетивної) ізотермальної залишкової намагніченості до жорсткої (високоерцетивної) ізотермальної намагніченості. Наприклад: $S_{-100} = -IRM_{-100} \text{ mT/SIRM}$ $S_{-300} = -IRM_{-300} \text{ mT/SIRM}$	Розрізнення ферімагнітних та антиферомагнітних мінералів. Часто ідентифікує відношення вмісту магнетиту до гематиту у зразку ґрунту.
ARM	$10^{-5}$ , А/м	Безгістерезисна (ідеальна) залишкова намагніченість	Ідентифікує вміст стабільних одно доменних (SD) зерен.
$\square_{ARM}$	$10^{-3}$ SI	Безгістерезисна магнітна сприйнятливість, $\square_{ARM} = ARM \text{ h}^{-1}$ ; h – інтенсивність поля на постійному струмі	Зростає при домінуванні стабільних однодомених зерен як носіїв залишкової намагніченості.
HIRM	$10^{-3}$ , А/м	Магнітожорстка залишкова намагніченість, $HIRM = (IRM_{1T} + IRM_{-300} \text{ мТ}) / 2$	Ідентифікує вміст антиферомагнітних мінералів.
Tc	°C	Температура Кюрі. Температура, при якій феро/антиферромагнетик втрачає свої властивості і стає парамагнетиком	Визначення конкретних магнітних мінералів, наприклад, магнетит, гематит, і т.д.
Tv	°C	Низькотемпературні переходи Вервея, Моріна, Беснуса.	Визначення конкретних магнітних мінералів, наприклад, магнетит, гематит, протин.

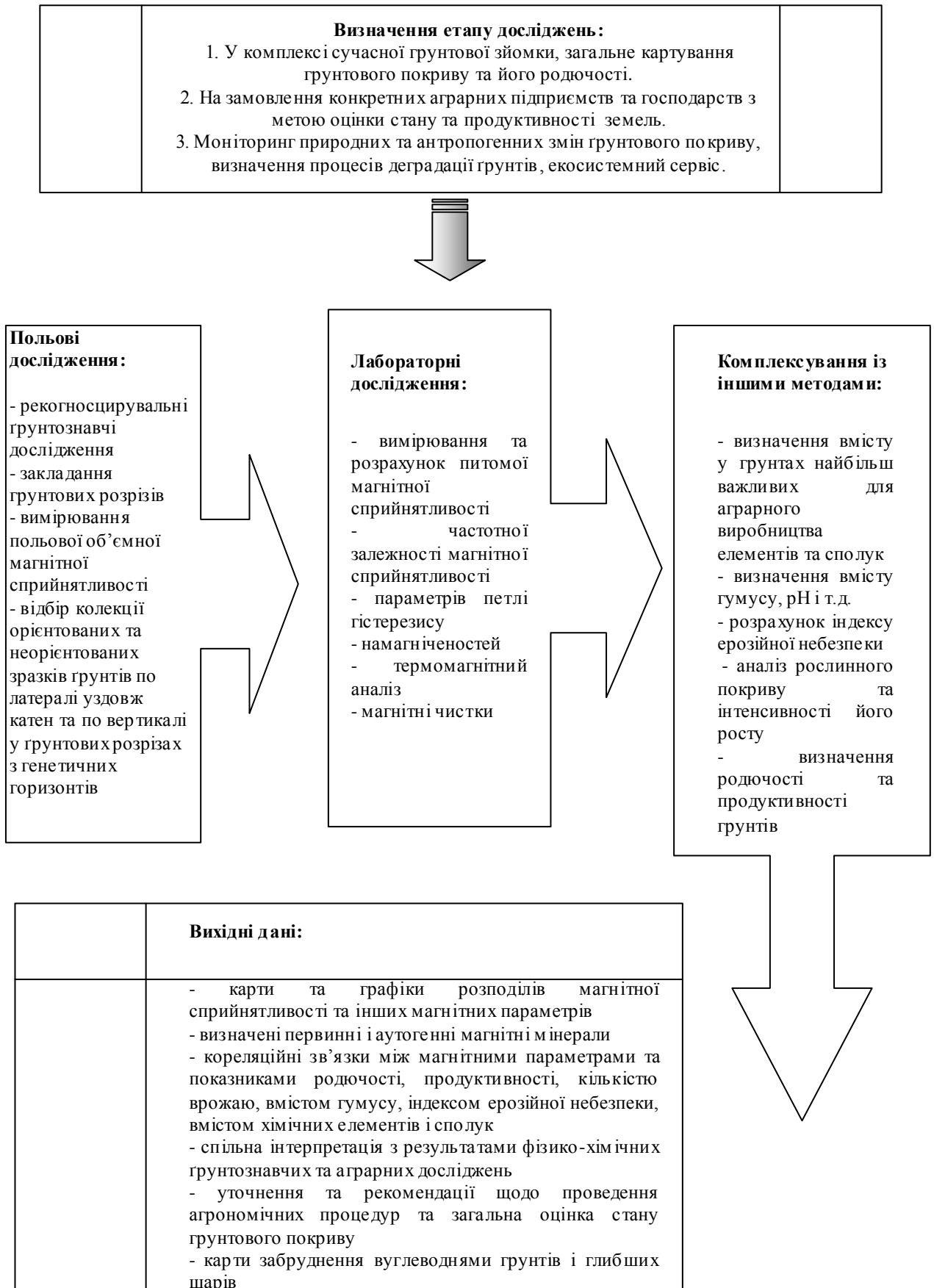


Рис. 2.4. Схема алгоритму дослідження незабруднених фонових ґрунтів

До алгоритму включені основні етапи проведення робіт, магнітні параметри, що вивчаються, ґрунтознавчі та аграрні параметри оцінки ґрунтового покриву, що знаходяться у взаємозв'язку із магнітними показниками ґрунтів.

Апаратурний комплекс, що використовувався нами та вважається оптимальним для вимірювання параметрів, що наведені в табл. 2.3 включав залучення потужностей трьох лабораторій.

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

Низка більш глибоких магнітних досліджень була проведена у *Лабораторії Магнетизму Навколишнього Середовища Геофізичного Центру Королівського Метеорологічного Інституту, Дурб, Бельгія*. У даній лабораторії використовувалися такі інструменти:

- Кріогенний магнітометр MPMS 3 (Quantum Design, США). Дозволяє вимірювати повну петлю гістерезису, частотну залежність магнітної сприйнятливості, залишкову намагніченість. Температурний діапазон 1,8-400 К (-271,35...+126,85 °С), магнітні поля  $\pm 7$  Тл, частотний діапазон 0.1 Hz...1 kHz.
- Обертальний магнітометр J-coercetivity Meter (Казань, Росія). Дозволяє вимірювати ізотермальні криві намагніченостей у магнітному полі 0...500 мТл: петля гістерезису, набута ізотермальна залишкова намагніченість.

- Капамісток KLY-4S (AGICO, Чехія). Автоматизоване вимірювання магнітної сприйнятливості у температурному діапазоні  $-196\dots+700$  °C у різних змінних електромагнітних полях.

- Хімічна лабораторія та лабораторія підготовки зразків. Обладнана повним комплексом для хімічних та фізико-хімічних робіт лабораторія, що забезпечує супровідні до магнітометричних досліджень операції.

Крім того, у *Центрі Наук про Землю (лабораторія CNRS), Університету Монпельє, Франція* проводилися дослідження за допомогою надпровідникового сквід магнітометр 2G Enterprises з метою визначення ARM та IRM зразків.

Наведений алгоритм проведення магнітних досліджень незабруднених фонових ґрунтів забезпечує високу інформативність їх вивчення, забезпечує експресне та низьковартісне ґрунтове картування. Проводиться контроль продуктивних агропромислових земель. Одним з ключових факторів є визначення родючості ґрунтів та контроль ерозійних процесів ґрунтових покривів. Використовуються магнітна та ґрунтознавча інформація. Визначається вміст гумусу у ґрунтах, кислотно-лужний баланс, гранулометричний склад, втрати поживних речовин, необхідність внесення органічних та неорганічних добрив, зволоженість. Усі зазначені процедури змінюють магнітну структуру ґрунтів. При цьому контроль зазначених процесів у режимі магнітного моніторингу може бути основою побудови динамічних геофізичних моделей педосфери аграрних угідь та еталонних незмінених ґрунтових покривів.

### **2.3. Магнітні дослідження при розв'язанні екологічних та природоохоронних задач**

Забруднення екосистеми є одним із видів її деградації, а забруднення ґрунтів є одним із найбільш небезпечних видів деградації у цілому. Крім

того, ґрунтовий покрив є чи не найбільш оптимальним об'єктом, який з одного боку накопичує небезпечні речовини, а з іншого боку є доступним та зручним для опробовування. При цьому у ґрунтах відбувається накопичення пилових фракцій, у яких у повітрі переносяться забруднюючі речовини паралельно із магнетиками. Тому, крім власне ґрунтів нами вивчаються пилові фракції атмосферного повітря, які відкладаються і на інших зручних для контролю поверхнях, у першу чергу віконному склі, корі та листі дерев, інших плоских поверхнях.

Ідеологічно застосування магнетизму ґрунтового покриву для розв'язання природоохоронних завдань у своєму розвитку випереджує усі інші напрямки використання його інформативності. Відповідні дослідження реалізуються у межах урбанізованих територій та міських агломерацій в усьому світі. У ряді випадків можна говорити про формування реальної виробничої технології картування, контролю та моніторингу забруднення довкілля. Пояснюється дана ситуація кількома факторами. Перш за все, це інтенсивне антропогенне та техногенне навантаження на навколишнє середовище фактично у всіх регіонах, де проводить свою діяльність людина. Також, важливими є фізико-хімічні перетворення, які відбуваються у забруднених ґрунтах, у результаті чого формуються аномалії магнітних параметрів, що перевищують фонові значення у десятки і сотні разів. Зрозуміло, що такі контрасти піддаються фіксації та інтерпретації з набагато більшою однозначністю у порівнянні із змінами магнітних властивостей ґрунтів під дією інших чинників, які розглядаються у дисертаційній роботі.

Саме певне випередження у своєму розвитку екологічного напрямку досліджень інформативності магнетизму ґрунтів визначило можливість побудови оптимальних методичних схем та технологій використання методу. Результатом цього стало отримання нами патенту на винахід [68], який пропонує новий спосіб фіксації забруднення повітряних басейнів урбанізованих територій із різними підходами до відбору дослідних зразків.

Нижче детальніше зупинимося на основних аспектах методологічних засад використання інформативності магнетизму ґрунтів в екологічній галузі.

***Теорія формування магнетизму забруднених ґрунтів. Фізико-хімічні передумови одночасного накопичення магнітних частинок, важких металів та інших небезпечних сполук у пилових фракціях.***

В основі використання магнітного методу для картування ґрунтів урбанізованих територій лежить 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 [205].

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. На рис. 2.5. наводиться узагальнена схема утворення магнітних аномалій ґрунтів як результат забруднення довкілля промисловими об'єктами із залученням технологій спалювання, які призводять до викидів у атмосферне повітря летючої золи. Вугілля найчастіше містить у своїй структурі значну кількість мінералів заліза – пірит, марказит, сидерит [195]. У процесі спалювання пірит дисоціює з утворенням піротину і сірчистого газу. При більш високих

температурах піротин розкладається на іони заліза та сірки, а у подальшому у процесі окиснення заліза формуються техногенні сферичні частинки магнетиту, магеміту, гематиту та мікстури.

У результаті фракція заліза у кінцевому рахунку перетворюється на ферімагнітні мінерали, які викидаються у атмосферу разом з іншими магнітними і немагнітними фазами, хімічними елементами та сполуками, що небезпечні для людини.

Наявність новоутворених магнетиків успішно може фіксуватися за допомогою термомагнітного аналізу. Наприклад, для виявлення техногенного магнетиту основою є його точка Кюрі близько до 580 °С. Крім того, техногенний магнетит найчастіше знаходиться у мультидоменній фазі (MD), а його розміри досягають 10 мікрометрів (PM10) і більше.

У процесі формування летючої золи асоціації магнетит-важкі метали генеруються наступними чином [174, 288]:

1. *Важкі метали адсорбуються на поверхні оксидів заліза (у першу чергу магнетиту) під час утворення летючого попелу.*
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 летючого попелу у формі заміщених шпінелей типу  $F_{e3-x}M_xO_4$ .*
4. *Магнітні частинки та небезпечні компоненти переносяться від джерела свого формування до об'єкту накопичення паралельно.*

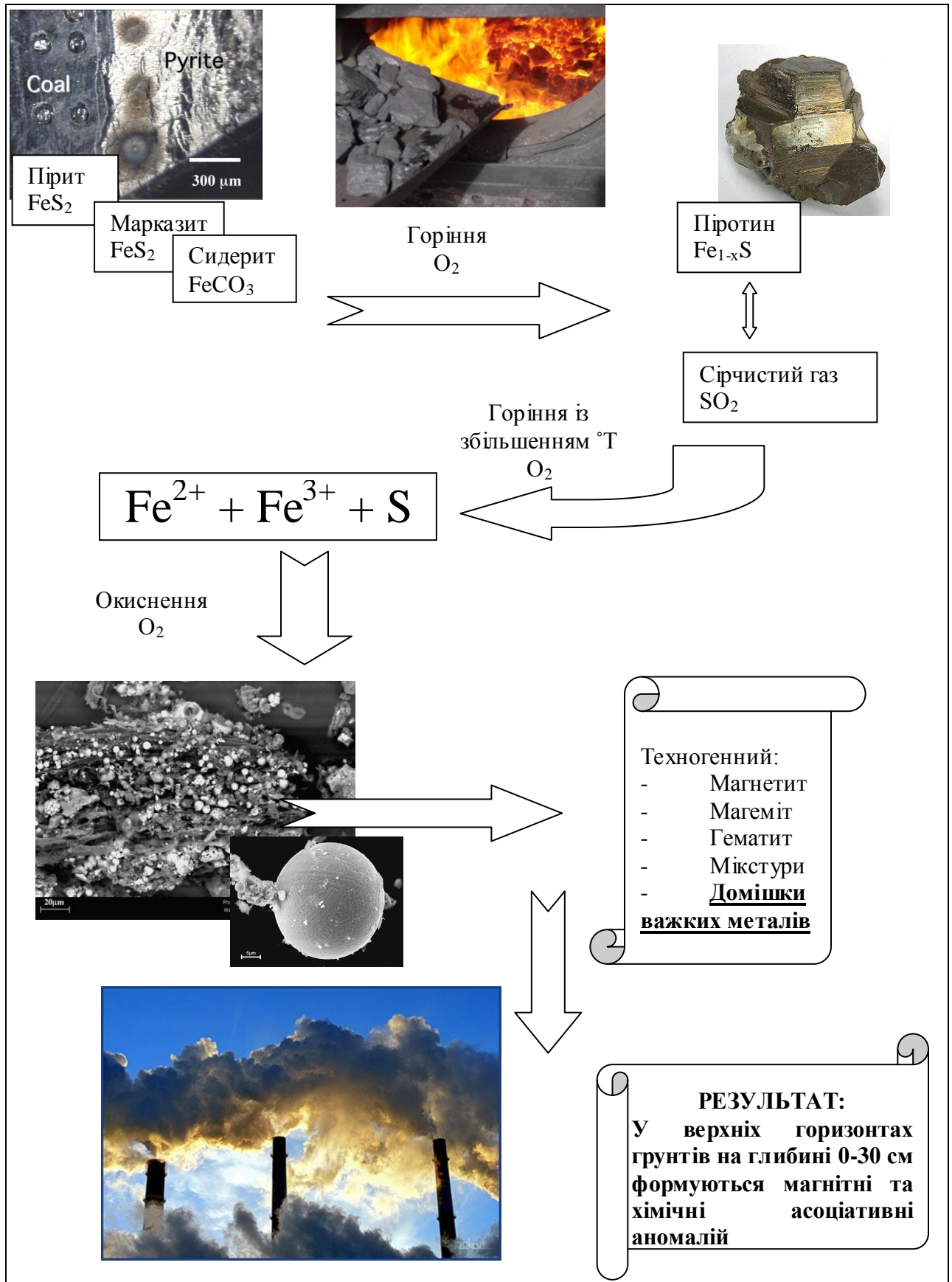


Рис. 2.5. Загальна схема формування аномалій магнітних властивостей ґрунтів під дією високотемпературних техногенних процесів

Накопичення забруднюючих речовин і формування аномального техногенного магнітного сигналу у ґрунтовому розрізі відбувається головним чином у верхньому горизонті на глибині 0-30 см. На рис. 2.6. наведено узагальнену схему розподілів техногенного, педогенного та геогенного (літогенного) сигналів у генетичних горизонтах забруднених ґрунтів. У якості основи схеми використано дані М. Szuszkiewicz. У верхньому дернинному (O за WRB) та гумусовому (A за WRB) горизонтах магнітний сигнал є суперпозицією концентрації магнетиків різного походження. Завданням магнітних досліджень є їх ідентифікація та розбравка.

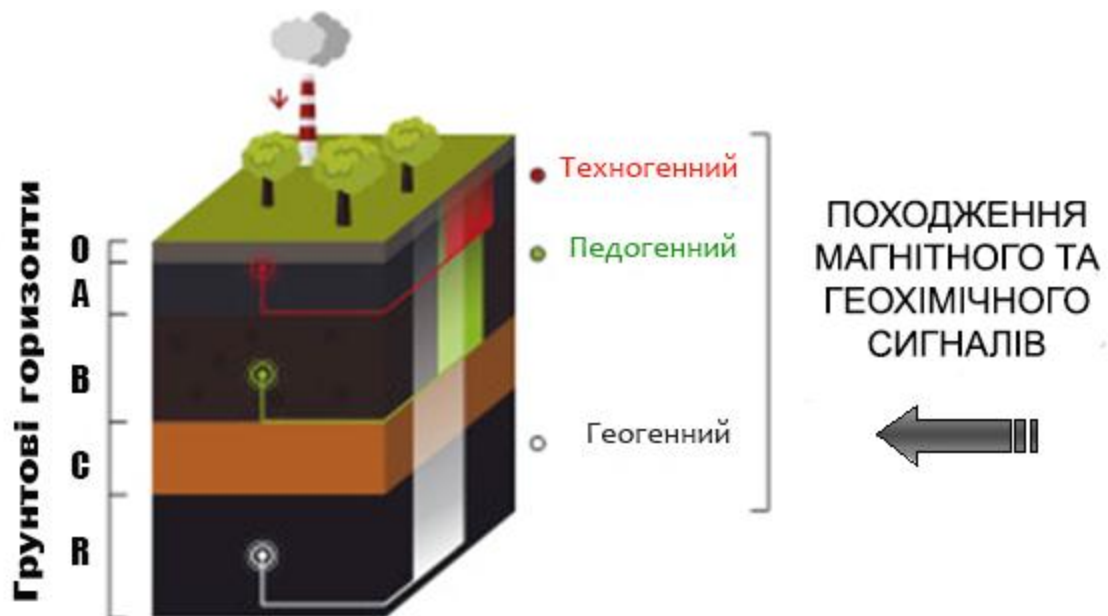


Рис. 2.6. Розподіли магнітного та геохімічного сигналів різного походження у генетичних горизонтах ґрунтів

*Характеристика основних магнітних речовин, які формують магнетизм забруднених ґрунтів та переносяться у пилових фракціях повітря. PM10 частинки, магнітні сферули.*

Загальний вигляд великої кількості новоутворених яскравих магнітних кульок (сферул) із верхнього гумусового генетичного горизонту (Ah), що зазнав техногенного забруднення наведено на рис. 2.7 [288].

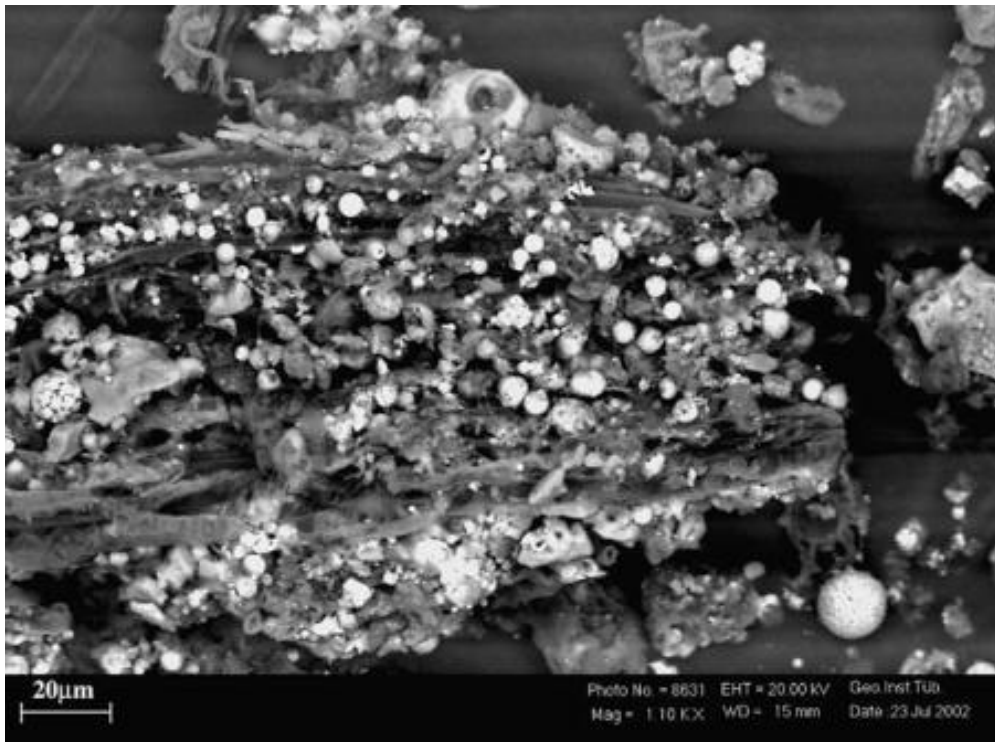


Рис. 2.7. Загальний вигляд великої кількості новоутворених яскравих магнітних кульок [288]

Вигляд поодиноких типових магнітних сферул, які є джерелами промислового забруднення ґрунтів та формують їх магнітні властивості, наведено на рис. 2.8 [125].

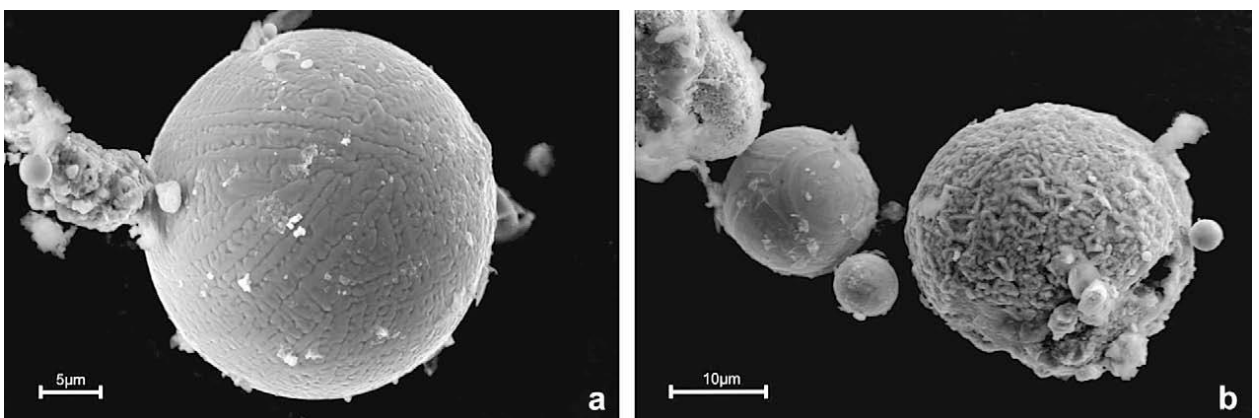


Рис. 2.8. Результати сканування електронним мікроскопом типових техногенних магнітних сферул із верхнього горизонту забрудненого ґрунтового покриву [125]

Зображення отримані зі скануючого електронного мікроскопу (SEM). Найчастіше такі магнітні сферу мають розмір від 10 до 1 мкм, інколи навіть дрібніші. Хоча зустрічаються і крупніші екземпляри до 100 мкм. Вони характеризуються різними типами поверхні: гладкі, шорсткі, апельсинова кірка і т.д. Дана властивість пов'язана із умовами їх формування, наприклад, хімічний склад речовин, що брали участь у техногенному процесі, температура та час охолодження, тощо.

Для більш детального розгляду асоціацій магнітних мінералів у сферулах з іншими хімічними речовинами забруднювачами докілья звернемося до рис. 2.9 [189]. Зображення а-б демонструють діапазон зміни розміру сферул від 1 до 50 мкм. Фотографія а – отримана під оптичним мікроскопом і вказує на диференціацію сферул за кольором та блиском. Перша група сферул (1) має чорний колір та металевий блиск, друга група (2) має тьмяне та світліше забарвлення, третя група (3) має перехідне забарвлення із іржавим відтінком. Важливим є те, що колір, яскравість і блиск відображають диференціацію мінералогічних композицій зразків. Результати вивчення скануючим електронним мікроскопом та хімічний аналіз показують, що яскравішими є сферули оксидів заліза, а більш темні – це оксиди заліза із змінним вмістом Si, Al і Ca (b-c). Важливим є співвідношення між  $Fe^{3+}$  та  $Fe^{2+}$  у сферулах. Третя група сферул (3) із іржавим відтінком містить більше тривалентного заліза  $Fe^{3+}$  ніж групи (2-3). Типові текстури поверхонь сферул різних розмірів представлені на фото (d-e). Два невеликі залізовмісні мінерали із зображення (d) – магнетит та титаномагнетит. На знімках (e-f) представлені оксиди заліза із текстурами подібними до будови мозку та фрамбоїду (часто характерний для осадового піриту).

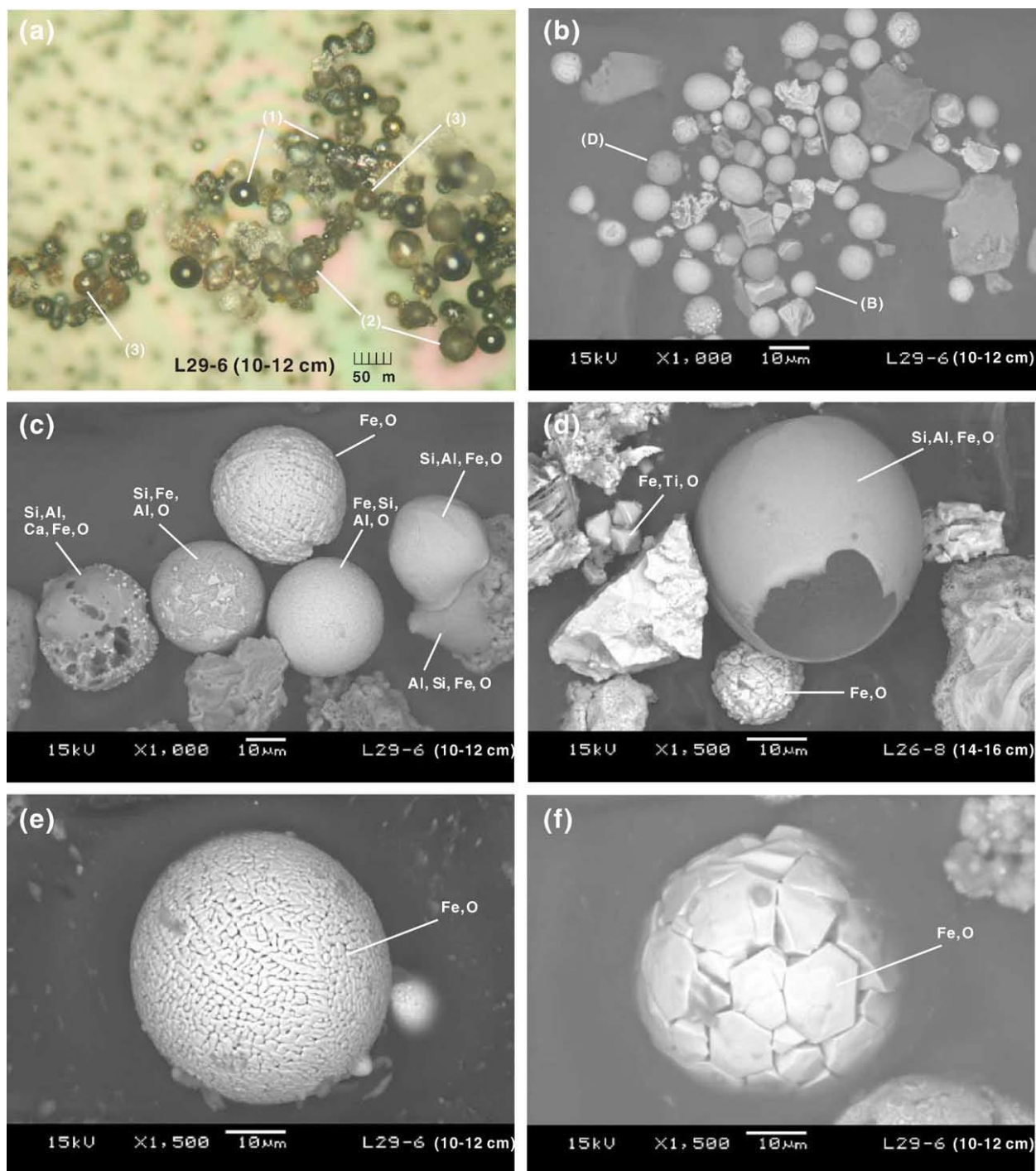


Рис. 2.9. Зображення різних типів сферул техногенного походження, що отримані за допомогою оптичного мікроскопу (а) та скануючого електронного мікроскопу (b-f) [189].

Серед розглянутих магнітних сферул найбільшу небезпеку для людини представляють ультрадисперсні тверді частинки розміром близько 10 мкм (PM10). Вони найчастіше входять до складу летучого попелу та можуть бути

металевого походження і легко потрапляють в організм людини під час дихання. Останнє викликає негативні запальні процеси на клітинному рівні, серцево-судинні, онкологічні та інші захворювання [287]. PM10 постійно мігрують у повітряному басейні урбанізованих територій, а їх вміст може легко ідентифікуватися магнітними методами. За даними Європейської комісії для країн ЄС граничне значення вмісту PM10 складає  $50 \text{ мкг/м}^3$ , середньодобова норма осереднена за рік складає  $40 \text{ мкг/м}^3$ . Зауважимо, що поставлене завдання зниження гранично допустимих концентрацій до  $20 \text{ мкг/м}^3$  [280].

У той же час слід відмітити, що наведені норми не стосуються природних чинників генерації PM10, таких як пустельні бурі, виверження вулканів, геотермальна та сейсмічна активності. Контроль вмісту PM10 у атмосфері магнітним методом є експресним та ефективним підходом для моніторингу забруднення міських агломерацій і рекомендується до впровадження у комплексі моніторингового контролю геофізичними обсерваторіями та метеорологічними службами [270].

***Основні техногенні процеси, які омагнічують пилові фракції атмосферного повітря та ґрунти.***

Джерелами техногенного забруднення ґрунтів, яке може бути зафіксоване магнітними методами, виступають як стаціонарні так і мобільні об'єкти. Серед мобільних об'єктів виіляється, у першу чергу, 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 представляють 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.д. [221].

Автомобільний транспорт генерує магнітні частинки багаті на вміст заліза, у структурі яких також містяться Cu, Pb, Zn. Як зазначалося вище дані асоціації є результатом вихлопних викидів, корозії металу корпусу та інших частин автомобіля. За даними [228] середні концентрації твердих частинок у вихлопах автомобілів на прикладі міста Ханчжоу, Китай складають мг/кг: Cu – 95,83, Cd – 22,14, Fe – 34727,31.

Процеси горіння справляють основний внесок у формування магнетизму пилових фракцій атмосферного повітря, які накопичуються у ґрунтах поблизу відповідних промислових об'єктів. При цьому важливим носієм техногенного забруднення для магнетизму ґрунтів є летюча зола, про що йшлося вище.

Крім того, важливими об'єктами техногенного навантаження на навколишнє природне середовище, у процесі функціонування яких формуються магнетики, є металообробні комбінати, заводи та їх інфраструктури, електростанції. У цьому випадку під час високотемпературних процесів утворюються сферичні магнітні частинки, які у подальшому накопичуються у вигляді пилових фракцій у атмосфері і осідають у ґрунтовий покрив.

Ще одним способом накопичення забруднювачів у ґрунтовому покриві є безпосереднє потрапляння залізовмісних речовин з будівельних відходів, інших типів сміття, залізобрухту і т.д. Дане джерело є надзвичайно розповсюдженим у густо заселених регіонах та міських агломераціях.

### ***Коротка характеристика антропогенних та техногенних ґрунтів.***

Під час наведених вище процесів формуються нові ґрунтові покриви антропогенного та техногенного походження. Їх класифікація є окремим

напрямок ґрунтознавства. В її основу покладаються схеми та фізико-хімічні основи процесів, які протікають у ґрунтах урбанізованих територій.

Ґрунтовий покрив міських агломерацій – це усі ґрунти, що функціонують в навколишньому урбанізованому середовищі [25]. Такі ґрунти зазнають постійного антропогенного та техногенного навантаження. При цьому ведучи мову про забруднення ґрунтів важкими металами слід зауважити, що розповсюджені на великих відстанях від міст ґрунти у цілому можуть зберігати свої первинні властивості і продовжувати розвиватися як природні фонові ґрунти. Відбувається лише накопичення у їх структурі додаткових шкідливих для людини матеріалів паралельно із підвищенням магнітності ґрунтів. Тому, у межах дисертаційного дослідження, яке носить у більшій мірі геофізичне, а не ґрунтознавче спрямування, ми застосовували визначення техносоли або урбаноземи [25] для ідентифікації забруднених ґрунтів, якими називаємо усі ґрунти, що піддалися дії техногенного фактору. За класифікацією WRB такі ґрунти і є техносолами (technosol) [200]. Слід зауважити, що досліджуючи інформативність магнетизму ґрунтів при вивченні забруднення навколишнього середовища не слід залучати до класифікації змінених ґрунтів антропосоли (Anthrosols). Не зважаючи на те, що у закордонній літературі найчастіше вживається термін антропогенного забруднення, на відміну від прийнятого в Україні техногенного забруднення, антропосоли описуються як ґрунти, що зазнали змін під час агрономічних та сільськогосподарських процедур [200]. А такі ґрунти розглядаються у іншому розділі дисертаційної роботи, що стосується сільського господарства.

Нижче наводиться більш детальна класифікація техносолів та деяких інших важливих для нас підтипів антропогенно-техногенних ґрунтів за [25, 99, 200, 289].

**Техносоли (Technosols)**. Спільною рисою таких ґрунтів є переважання техногенних процесів їх формування над процесами педогенезу. Фактично об'єднують характеристики усіх інших наведених нижче типів змінених

ґрунтів. Техносоли містять у своїй структурі значну кількість артефактів, значно ущільнені, включають відходи промислового виробництва та сміття. Відповідні включення можуть бути представлені шламом, шлаками, золою, шахтними відходами, асфальтами, розливами нафтопродуктів. Інколи техносоли об'єднуються у одну категорію із антропосолами, проте такий підхід на нашу думку не є оптимальним. Причини цього висвітлені вище. Розповсюджені техносоли у межах міських агломерацій, промислових районів та інших урбанізованих територій. У класичному розумінні у даних ґрунтів диференціація на генетичні горизонти відсутня. Техносоли містять у своїй структурі токсичні елементи, небезпечні для людини речовини та важкі метали. Магнітна сприйнятливість техносолів може перевищувати фонові значення у 10-1000 разів.

**Урбаноземи.** Фактично урбаноземи відносять у загальному вигляді до техносолів. Їх відмінною властивістю може бути процес ґрунтоутворення, який інколи включає риси класичного педогенезу поряд із індустріальним накопиченням матеріалу. Найчастіше відсутня диференціація генетичних горизонтів до глибини 0,5 м. Зустрічаються домішки сміття, часто розповсюджені у жилих зонах, де відсутній потужний промисловий вплив. Магнітна сприйнятливість урбаноземів у кілька разів перевищує фонові значення.

**Культуроземи.** Ґрунти паркових ділянок міст. Характеризуються потужним наносним гумусовим горизонтом, верхній шар може бути представленим дерниною у 5-7 см завтовшки. У таких ґрунтах відсутні крупні домішки сміття. Культуроземи часто можуть бути природними ґрунтами міста, а тому їх магнітна сприйнятливість може знаходитися у границях фону. У той же час, за рахунок своєї локації можуть накопичувати важкі метали із паралельним омагнічуванням.

**Індустріоземи.** Ґрунти промислових урбанізованих територій. Розповсюджуються згідно до рози вітрів у межах впливу потужних

підприємств, автошляхів, залізниці і т.д. Генетичні горизонти слабо розчленовані. Індустріоземи є крайнім підтипом техносолів, що зазнали найбільших змін. Магнітна сприйнятливості може перевищувати фонові значення у тисячі разів.

***Основи методики та технології магнітних досліджень при розв'язанні екологічних та природоохоронних завдань.***

Залежно від своїх розмірів та форми феромагнітні фракції транспортуються у вигляді пилу та аерозолів на різні відстані у повітряних басейнах, а у подальшому осідають на поверхні ґрунтів, плоских штучних поверхнях, корі та листі дерев і т.д.

Важливим індикатором техногенного походження магнетиків у ґрунтовому покриві є розмір їх зерен [229]. Так, при переважанні багатодомених (MD) або близьких до них за розміром псевдодомених (PSD) частинок над суперпарамагнітними ультрадисперсними (SP) та стабільними однодоменими (SD) зернами мова йде про присутність техногенного зараження ґрунтів. При цьому інформативним індикатором доменного стану є параметр частотної залежності магнітної сприйнятливості. Найчастіше, якщо  $\chi_{fd} < 4$ , ґрунти є забрудненими, а превалюють у їх структурі магнітом'які MD частинки. У той же час за умови  $\chi_{fd} > 4$ , превалюють ультрадисперсні суперпарамагнітні SP зерна педогенного походження (виникли під час природного ґрунтоутворення). У забруднених ґрунтах паралельно із зниженням  $\chi_{fd}$  відбувається значуще (у 10-1000 разів) зростання магнітної сприйнятливості  $\chi$ . Крім того, важливим індикатором техногенного омагнічування ґрунтів є ізотермальна залишкова намагніченість (IRM). Набуття зразком IRM насичення вже при 100 мТл вказує на присутність крупнозернистої магнітної фази, найчастіше магнетиту. Для розбавки новоутворених магнетиків використовують температурні магнітні аналізи на основі точок Кюрі та переходів Вервея (Моріна, Беснуса). Для найбільш

характерної магнітної фази техногенного походження – магнетитової, точка Кюрі лежить близько до 580 °С.

Сумарним показником забруднення ґрунтів важкими металами для подальшої кореляції із інтегральним магнітним параметром магнітної сприйнятливості є індекс загального забруднення Томлінсона (PLI) [295]. Цей індекс вказує на скільки концентрація важких металів у конкретному зразку ґрунту перевищує вміст важких металів для природного середовища. Крім того, PLI дає оцінку стану загальної токсичності зразка як суперпозицію внеску кількох важких металів. Як приклад наводимо формулу для 6 найбільш токсичних важких металів [7]:

$$PLI = \sqrt[6]{K_c(\text{Mn}) * K_c(\text{Cu}) * K_c(\text{Ni}) * K_c(\text{Pb}) * K_c(\text{Cd}) * K_c(\text{Zn})}.$$

PLI розраховується як середнє геометричне коефіцієнтів концентрації  $n$  металів ( $K_c$ ,  $i=1\dots n$ ), де  $K_c$   $i$ -го металу представляє собою відношення вмісту металу в зразку до фонового вмісту. Значення  $PLI > 1$  показує, що ґрунти забруднені, про відсутність забруднення свідчить  $PLI < 1$ .

На рис. 2.10 наводиться схема загального алгоритму проведення магнітних досліджень при розв'язанні екологічних та природоохоронних завдань. Вона включає постановку завдання магнітних досліджень для розв'язання природоохоронних завдань, комплекс лабораторних та польових досліджень, комплексування із іншими методами та вихідну інформацію, яка власне і є завданням дослідження.

Застосування загального алгоритму магнітних досліджень при розв'язанні екологічних та природоохоронних завдань дозволяє із високою інформативністю інтенсифікувати роботи щодо спостереження за змінами, які відбуваються у часі у ґрунтових покривах та атмосферному повітрі під впливом антропогенних та техногенних чинників. Методологічний підхід формується на основі дослідження забруднених ґрунтів по латералі та вертикалі, пилових фракцій атмосферного повітря, врахування фонових значень, що характерні для регіону досліджень.

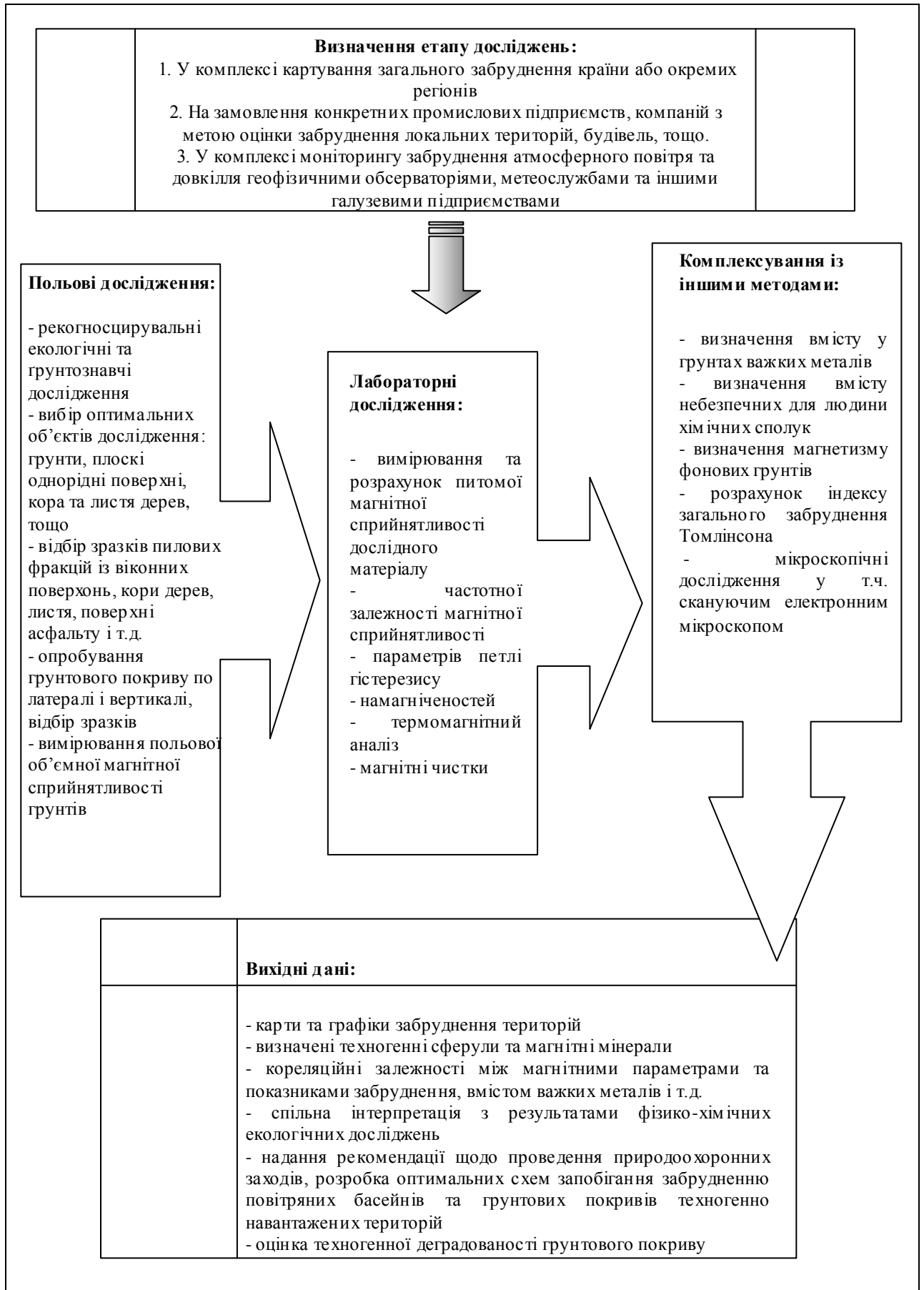


Рис. 2.10. Схема алгоритму дослідження техногенно навантажених територій

Визначається елементний склад, вміст важких металів та інших небезпечних речовин у складі ґрунтів та атмосфері. Проводиться дослідження магнітної мінералогії, визначаються основні магнітні фази, доменна будова та розміри ферімагнітного матеріалу. Фіксуються аутогенні магнітні сферули техногенного походження, які супроводжуються підвищеним вмістом важких металів, визначаються мультидоменні магнітом'які магнетити.

Відслідковуються ареали техногенних впливів, у режимі моніторингу з'ясовуються найбільш загрозливі цикли забруднення довкілля, формуються управлінські рішення. З плином часу за умови існування антропогенного та техногенного навантаження зазначені вище параметри та властивості зазнають постійних змін. За умови моніторингових спостережень будується оптимальна динамічна еколого-геофізична модель ґрунтового покриву урбанізованих та техногенно навантажених територій.

## **2.4 Магнітні дослідження в геології**

Однією із сфер застосування інформативності магнетизму ґрунтового покриву є геологічна галузь. Мова йде про ультрадетальні магнітні дослідження, крупномаштабне 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 за іншого боку здатного проявлятися у магнітних аномаліях ґрунтового покриву, а отже і магнітному полі. При цьому магнітний метод може розглядатися як у якості додаткового, так і прямо пошукового – за рахунок безпосереднього впливу вуглеводневого флюїду на магнітні властивості верхніх шарів геологічного розрізу та ґрунти. На рис. 2.11 наведено узагальнену блок схему дослідження інформативності магнетизму ґрунтів при пошуках вуглеводнів. Ефективність класичних

сейсмічних вишукувань на нафту і газ при дослідженні структурних та неструктурних пасток часто не відповідає фінансовим затратам на відповідні роботи. Крім того, сейсмозрозвідка не завжди надає повну інформацію про нафтогазоносні інтервали розрізу описуючи лише узагальнений стан геологічного середовища. Тому, на ранніх етапах пошуків нафти та газу дослідники намагаються використовувати прямі методи пошуків вуглеводнів – геохімічні, викликані поляризації та інші. Зауважимо, що позитивні результати в даному контексті досягнуто за допомогою використання геоелектричних методів вітчизняними фахівцями [42].

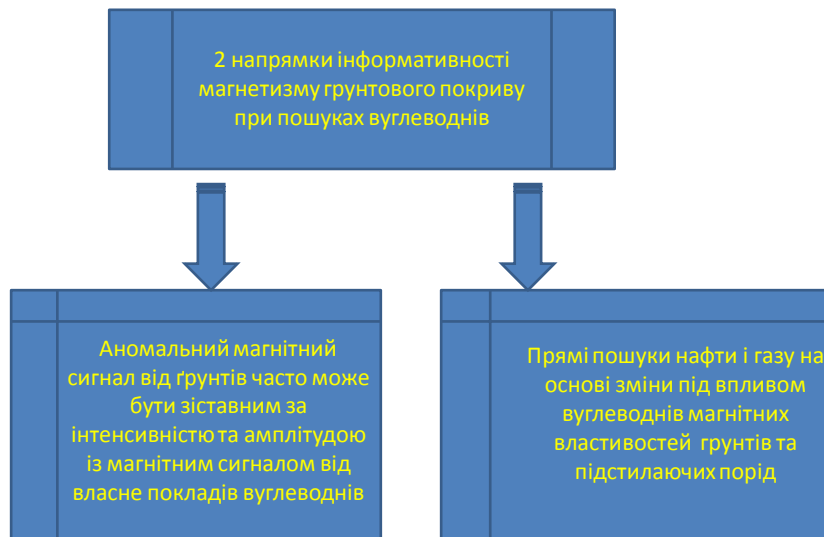


Рис. 2.11. Узагальнена блок-схема напрямків дослідження інформативності магнетизму ґрунтів при пошуках вуглеводнів

В основі високої інформативності магнітометрії при пошуках нафти та газу лежить припущення про міграцію вуглеводнів (мікропросочування) [220]. Даний 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.

Розглянемо детальніше фізичні основи використання магнітних методів при геофізичних дослідженнях міграції вуглеводнів над їх покладами.

На даному етапі накопичений матеріал, який підтверджує, що пошуки покладів нафти та газу можуть бути значно інтенсифіковані та здешевлені за рахунок використання магнітометрії у комбінації з високороздільними магнітними дослідженнями гірських порід та ґрунтів, а також вивченням природи міграції вуглеводнів. При цьому важливою є необхідність зрозуміти механізм новоутворення магнітних мінералів в процесі міграції вуглеводнів. На рис. 2.12 наводиться узагальнена схема [283] будови геологічного розрізу над покладами вуглеводнів із врахуванням основних фізико-хімічних процесів, які характерні для кожної зони.

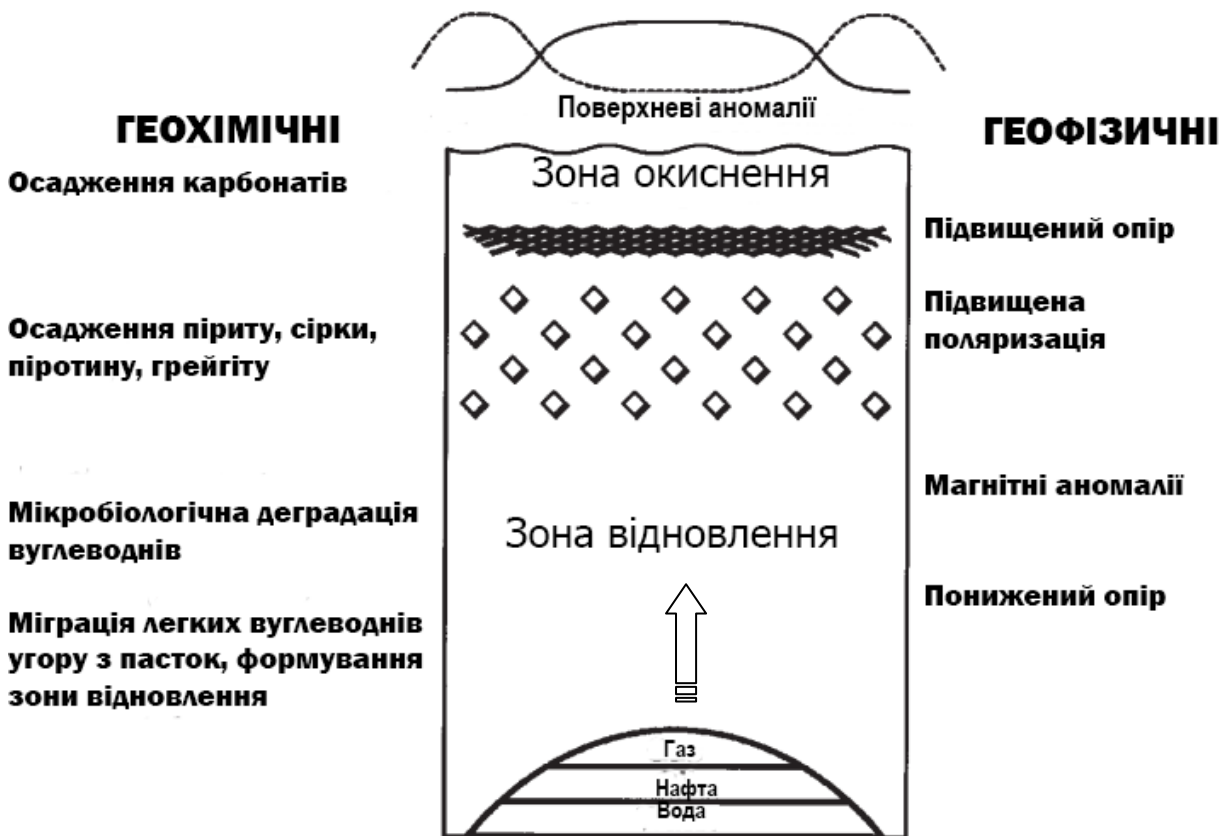


Рис. 2.12. Узагальнена схема [283] будови геологічного розрізу над покладами вуглеводнів з основними фізико-хімічними процесами

За допомогою геофізичних та геохімічних методів на поверхні фіксуються аномалії відповідних полів та властивостей гірських порід та ґрунтів. Основними складовими наведеної моделі є такі фактори:

1. *Мікроспросочування призводить до формування мікробіологічних аномалій (основа процесу взаємодії вуглеводнів з магнітними мінералами у ґрунтах та породах), фіксуються витоки на поверхню грязьових, сольових та вуглеводневих мікстур.*
2. *Аутогенні мінералогічні зміни за участю піриту, кальциту, сірки, інших сульфідів та оксидів заліза.*
3. *Зміни глинистих мінералів.*
4. *Електрохімічні процеси та формування електрохімічних аномалій.*
5. *Формування радіоактивних аномалій.*
6. *Формування біогеохімічних та геоботанічних аномалій.*

Слід відмітити, що основна роль у взаємодії вуглеводнів із вміщаючим середовищем належить бактеріям та мікробам, окисно-відновним процесам, у яких вони приймають участь. За умови довгострокового протікання зазначених процесів міграції вуглеводнів відбувається формування аномальних зон окиснення у приповерхневих геологічних шарах та ґрунтовому покриві територій покладів вуглеводнів. При цьому інформативними є методи дослідження вмісту вуглецю у ґрунтах, електричні методи, радіоактивні, дистанційне зондування, магніторозвідка та дослідження магнетизму гірських порід та ґрунтів.

У контексті даного дисертаційного дослідження найбільший інтерес для нас представляє модель саме магнітних змін у геологічному розрізі над покладами нафти і газу (рис. 2.13). У геологічному розрізі у межах родовищ вуглеводнів звичайно виділяють 4 зони [90]:

1. *Поклад та колектор.*
2. *Зона відновлення*

3. Зона окиснення.

4. Зона субвертикальних неоднорідностей.

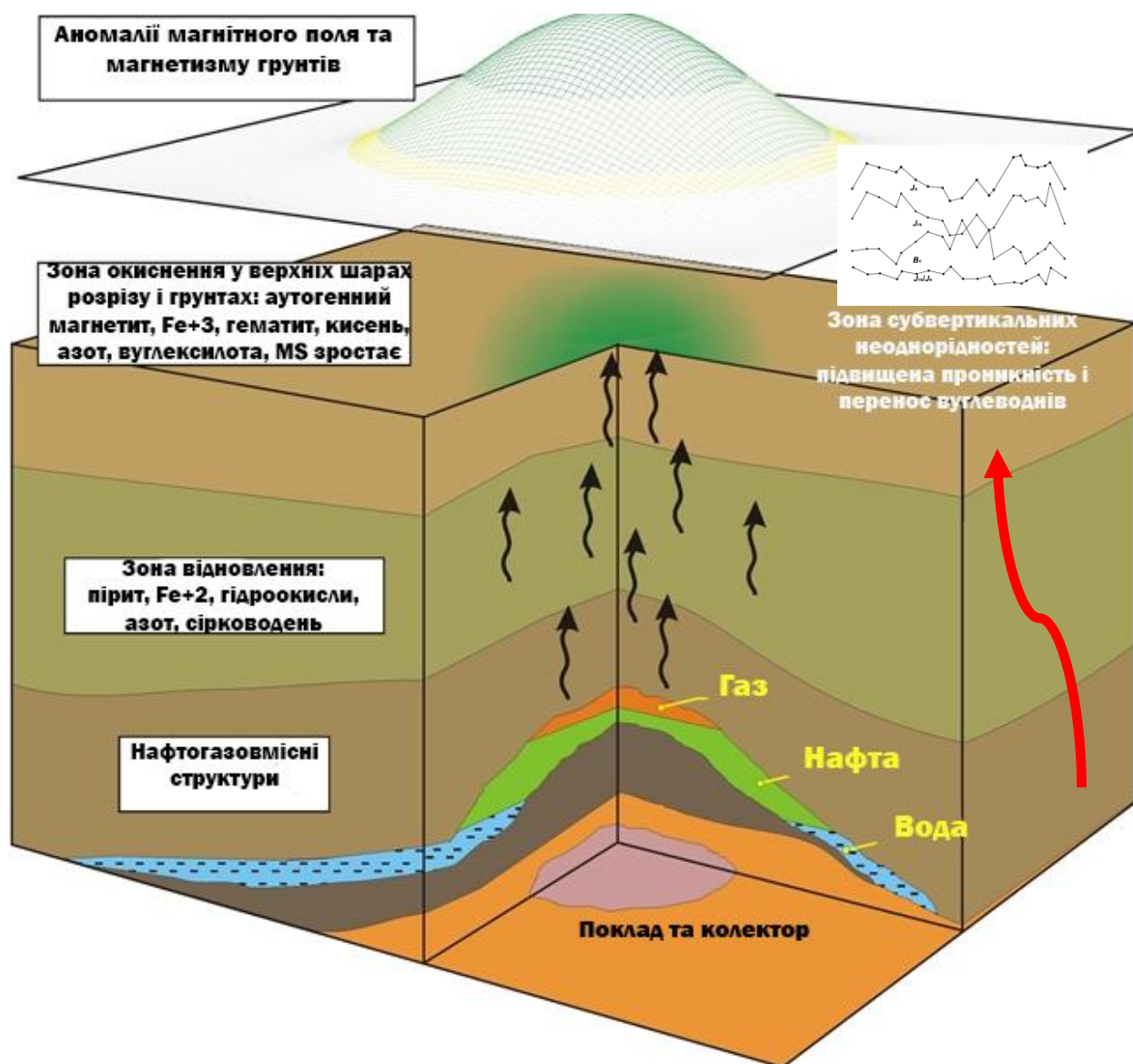


Рис. 2.13. Узагальнена магнітна модель змін магнітних характеристик геологічного розрізу над покладами вуглеводнів

Основні характеристики даних зон наводяться у таблиці 2.4. Зауважимо, що ґрунтовий покрив відноситься до верхньої зони окиснення. Поряд із процесами, що характерні для зони окиснення підстилаючих гірських порід, у ґрунтах накладаються процеси, що пов'язані із

грунтоутворенням, наявністю гумусу, магнетотактичних ґрунтовірних бактерій і т.д.

Таблиця 2.4.

Магнітні мінерали у геологічних розрізах територій покладів  
вуглеводнів

Частина розрізу	Мінерал	Тип магнетика	Магнітна сприйнятливість матеріалу
Колектор з покладом	магнетит Fe <sup>+2</sup> магеміт сидерит хлорити пірит	ферімагнетик ферімагнетик парамагнетик парамагнетик парамагнетик	мінерали: $\square \leq 30 \times 10^{-6}$ од. СІ магнітні мінерали: $\square = 6 \times 10^{-2}$ од. СІ газ: $\square \leq 10 \times 10^{-6}$ од. СІ
Зона відновлення	магеміт гематит ільменіт гетит	ферімагнетик антиферомагнетик антиферомагнетик антиферомагнетик	магнітна сприйнятливість понижується на $\square = 400-600 \times 10^{-6}$ од. СІ
Зона окиснення	магнетит Fe <sup>+3</sup> магеміт гематит ільменіт гетит сидерит піротин	ферімагнетик ферімагнетик антиферомагнетик антиферомагнетик антиферомагнетик парамагнетик ферімагнетик	підвищені значення магнітної сприйнятливості, формування аутогенних магнетиків
Зона субвертикальних неоднорідностей	підвищується неоднорідність магнетизму порід у всьому розрізі	підвищена лужність, понижений окисно-відновний потенціал	висока неоднорідність магнетизму порід, високодисперсні різнознакові магнітні аномалії
Ґрунтовий покрив	магнетит Fe <sup>+3</sup> магнетит Fe <sup>+2</sup> магеміт піротин гематит	ферімагнетик ферімагнетик ферімагнетик ферімагнетик антиферомагнетик	звичайні ґрунти $\square = 100-1000 \times 10^{-6}$ од. СІ, насичені вуглеводнями ґрунти $\square = 100-4500 \times 10^{-6}$ од. СІ

Магнітні властивості 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.

Щоб більш глибоко зрозуміти фізико-хімічні процеси, які ведуть до зміни магнітної мінералогії гірських порід та ґрунтів у зоні впливу вуглеводнів розглянемо їх основні типи. Існує декілька моделей таких процесів. Перша з моделей запропонована [151]. 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 [176] основана 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 [232].

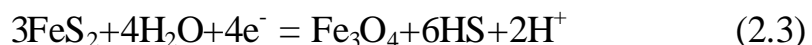
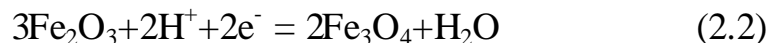
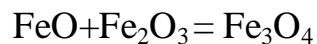
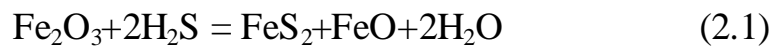
Ще одна модель [157], яка пояснює формування підвищеного ступеню магнетизму нафтогазовмісних осадових порід та ґрунтів, базується на залученні у дані процеси сидериту.

Розглянемо модель родовища вуглеводнів на молекулярному рівні. У межах ареалів розсіювання вуглеводнів над їх покладами молекули мігрують у вертикальному напрямку до поверхні, що викликає зміни у магнітній мінералогії гірських порід верхньої частин геологічного розрізу та ґрунтовому покриві. Якісна інтерпретація процесів молекулярної міграції нафти і газу може бути проведена на основі термодинамічної теорії дифузії газів і рідин. Згідно [285] теорія дифузії описує міграцію молекул вуглеводнів як замкнуту систему. Кількісна різниця фізичних величин спонукає речовини та їх енергію перерозподілятися до моменту досягнення динамічної рівноваги системи. Резервуари нафти і газу приймаються при

цьому за джерело вуглеводневої речовини, звідси різниця концентрацій вуглеводнів є надзвичайно високою у порівнянні із вміщуючим навколишнім середовищем. Отже, дифузія вуглеводневої речовини матиме місце, якщо оточуюче середовище є замкненою системою. Дана теорія розглядається на прикладі Західного Китаю, а інформація підтверджується бурінням серії свердловин

З метою підвищення однозначності інтерпретації магнітних аномалій, які пов'язані з присутністю вуглеводнів необхідно досліджувати геохімічні процеси та відповідні хімічні реакції, які протікають при формуванні та заміщенні магнітних мінералів у ареалі впливу нафти і газу. Загальним чином, міграція вуглеводнів залежить від таких факторів, як температура, тиск, рН, Eh, активність двовалентного заліза, характеристика залізистих мінералів, гідродинамічні умови, активність мікроорганізмів, сірки та бікарбонатів.

Заміщення магнетиту включає три основні типи хімічних реакцій [217]:



При домінуванні в 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.

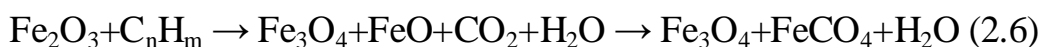
Зауважимо, що пірит може бути залучений і до реакцій, в результаті яких формується інший сильно магнітний ферімагнетик – піротин. Водний розчин сірки безпосередньо пов'язаний із заміщенням іонів сульфатів:



При цьому  $\text{FeS}_2$  із рівнянь (4) та (5) стає основним реагентом для формування сильно магнітного аутогенного піротину.

Інші реакції, які пов'язані із впливом сірковмісних бактерій та процесами заміщення сірки включають вміст гетиту або лепідокрокіту. Крім того, ферімагнітний грейгіт ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) також виступає важливим продуктом перетворення сірки, що викликається міграцією вуглеводнів. Такі ситуації відомі зокрема у межах родовища нафти Сімпсон у США. Природна залишкова намагніченість покладів грейгітвмісних порід викликає локальні магнітні аномалії.

Ведучи мову про карбонатні резервуари, основним продуктом перетворення вуглецю може бути вторинний сидерит [307]. При цьому основними хімічними реакціями стають наступні:



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 притікають при цьому. У лесах відбувається біодеградація вуглеводнів [285], в результаті чого з'являється аутогенний магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Також протікає

процес окиснення сирої нафти в присутності мікроорганізмів та зменшення кількості сульфатів у сирій нафті, що продукує аутогенний піротин ( $\text{FeS}_{1+x}$ ) [181]. Під час реакцій із залученням  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у анаеробних умовах у присутності метану та інших вуглеводнів відбувається формування у лесах високо магнітних мінералів – магнетиту та піротину.

У той же час слід ретельно ставитися до процесу обробки та інтерпретації одержаних результатів, проводити чітку розбравку магнітного сигналу у ґрунтах. Це пов'язане із наявністю магнітних мінералів у структурі ґрунтів педогенного походження, які сформувалися у процесі ґрунтоутворення поза впливом вуглеводневої речовини. Наприклад, чорноземи України, які розповсюджені вище лесових товщ, містять дрібнозернистий окислений магнетит та магеміт ґрунотвірного походження, які сформувалися у процесі вивітрювання материнської породи без будь-якого впливу вуглеводневої речовини [194].

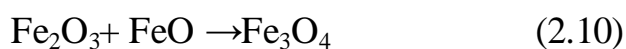
Звідси випливає, що у анаеробних умовах у лесах за умови наявності вуглеводного покладу, можуть протікати реакції між вуглеводнями,  $\text{SO}_4^{2-}$  та продукується  $\text{H}_2\text{S}$  за наступними схемами:



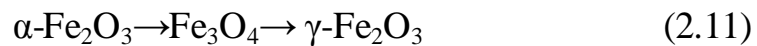
Далі  $\text{H}_2\text{S}$  відновлює  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  частково до  $\text{FeO}$  та  $\text{FeS}_{1+x}$ :



Магнітна сприйнятливість  $\text{FeS}_{1+x}$  вища за  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Отже,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та  $\text{FeO}$  рівномірно формують магнетит:



Важливою є трансформація феромагнітного матеріалу у присутності вуглеводнів. Гематит  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  є компенсаторним антиферомагнетиком, що часто зустрічається у гірських породах та ґрунтах. У присутності вуглеводнів відбувається ступенева реакція його перетворення у магнетит, а потім магнетиту у магеміт (часто у ґрунтах і у зворотній бік). Експериментальні дослідження вказують [258] на те, що відповідні реакції протікають при зростанні густини вуглеводнів у присутності потоку кисню та при високих температурах (270-340°C):



Згідно теорії феромагнетизму для зміни магнітної сприйнятливості будь-якого магнітного домену достатньо зміни навколишньої температури. Зміни підлягають закону Кюрі-Вейса. Звідси, при досягненні висхідним флюїдним потоком вуглеводнів лесових шарів відбувається підвищення їх магнітної сприйнятливості.

Високомагнітні мінеральні фази, які описані вище у деяких випадках у ґрунтах можуть повертатися до вихідних менш магнітних піриту, сидериту, гематиту в умовах відновного середовища [155]. Відповідні флуктуації ведуть до формування високодисперсних пилоподібних аномалій магнітного поля над родовищами вуглеводнів, особливо у зонах субвертикальних неоднорідностей. З одного боку це ускладнює процес інтерпретації, а з іншого стає критерієм виявлення наявності покладів за магнітними показниками.

Загальна методична схема проведення магнітних досліджень ґрунтів для розв'язання нафтогазопозукових завдань наводиться у вигляді блок-схеми (рис. 2.14). До блок схеми включені основні етапи проведення робіт, магнітні параметри досліджуваних матеріалів, комплекс інших геофізичних та геохімічних досліджень.

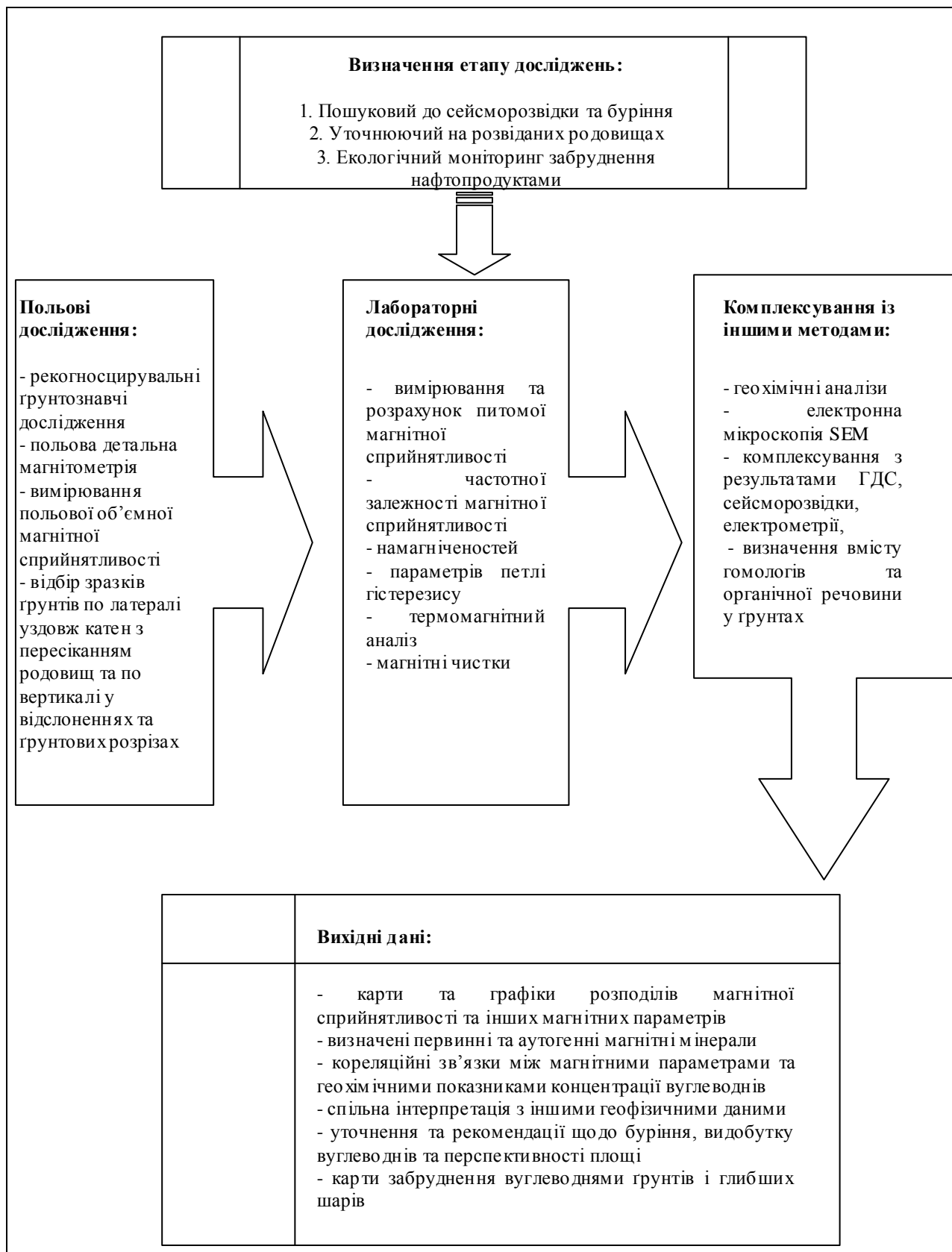


Рис. 2.14. Блок схема методичного алгоритму магнітних досліджень при пошуках вуглеводнів

Останнім часом набуло певної актуальності питання методологічних принципів використання інформативності магнетизму ґрунтів при дослідженні покладів *нафти і газу нетрадиційного типу*.

Узагальнена схема місця магнітних методів при дослідженні нетрадиційних джерел вуглеводнів наведена на рис. 2.15.



Рис. 2.15. Узагальнена схема місця магнітних методів при дослідженні нетрадиційних джерел вуглеводнів

Зауважимо, що в останні роки розглядається все більше коло теоретичних питань стосовно нетрадиційних джерел нафти і газу [84], їх видобутку, досліджуються різні моделі дифузійних процесів у мережі свердловин, тріщин, процесів гідророзривів [139]. Однією з найгостріших є проблема наслідків гідророзриву порід, закачування у товщі флюїду, що у ряді випадків є насиченим небезпечними для людини і довкілля хімічними сполуками. Відповідні реагенти справляють негативний і небезпечний вплив на людину, тварину, рослинність та ґрунтовий покрив. Постає загроза забруднення ґрунтових покривів та цілих ландшафтів як індикатора

загального екологічного зараження територій, деградація продуктивних сільськогосподарських земель, виникнення ерозійних процесів.

У методичному контексті для магнітного методу не має значення генезис нафти і газу, адже магнетизм природних об'єктів може виступати у якості прямопошукового методу. Отже, методологія та технологія таких досліджень є аналогічною до запропонованої при розгляді традиційних покладів нафти і газу. Основним завданням при цьому постає не розвідка відповідних структур, пасток, тощо, а вимірюються зміни магнітних характеристик, що відбуваються у гірській породі, або ґрунтовому покриві під впливом дії флюїдів вуглеводневого походження. Отже, якщо такий слід від газу чи нафти ущільнених порід існує, тоді стає можливим використання магнітометрії. В той же час, слід враховувати й дослідження низькоамплітудних магнітних аномалій, які можуть генеруватися, наприклад, ґрунтовим покривом. Дана інформація необхідна для розбраковки магнітного сигналу ґрунтів та сигналу спричиненого іншими геологічними об'єктами.

Виходячи із зазначеного вище впливає також й інша можливість залучення магнітних досліджень ґрунтового покриву до розробки родовищ сланцевого газу. Це – екологічний моніторинг забруднення ґрунтових покривів та вивчення ступеня зниження родючості аграрних угідь. Магнітні методи є ефективною, дешевою та експресною технологією картування забруднених ґрунтових покривів і на нашу думку вбачається можливість екомагнітного картування саме гідророзривно-флюїдного зараження верхньої частини геологічного розрізу.

Важливим у контексті дослідження нетрадиційних вуглеводневих родовищ є досвід вивчення ущільнених пісковиків у Алжирі, Південний Захід нафтового родовища Хассі Мессаоуд [120]. Досліджувалася магнітна сприйнятливість зразків із шести свердловин в ущільнених пісковиках із кроком відбору 2 см. У більшості випадків контрасти магнітної сприйнятливості відповідали високій щільності тріщин та присутності

сланців (підвищення гама випромінювання у даних інтервалах). Подальший магнітний аналіз зазначених зразків включав вимірювання ізотермальної залишкової намагніченості, залишкової намагніченості насичення, інших гістерезисних параметрів, термомагнітний аналіз. Результати продемонстрували, що у даних інтервалах підвищений вміст високомагнітних магнетиту та піротину. Отже, тріщини можуть бути розглянуті у якості місць осадження магнітних мінералів в резервуарі. Відзначається лінійна залежність між магнітною сприйнятливістю і основними петрофізичними параметрами (гамма випромінювання, нейтронна пористість, щільність, нафтонасиченість).

Таким чином, при магнітних дослідженнях ґрунтових покривів територій покладів вуглеводнів у порівнянні із фоновими незміненими ґрунтами вивчаються аутогенні магнітні мінерали, що формуються під впливом флюїдів та безпосереднього впливу вуглеводневої речовини. Новоутворені магнітні аномалії ґрунтів розбраковуються у комплексі магніторозвідувальних робіт та розглядаються як об'єкт прямопошукових методів розвідки нафти і газу.

## **Висновки до розділу 2.**

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, 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. Практичне використання методологічних та теоретичних принципів, що наведені у розділі, формує раціональний комплекс прикладних магнітних досліджень ґрунтів.

### РОЗДІЛ 3

## ІНФОРМАТИВНІСТЬ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТІВ В ҐРУНТОЗНАВСТВІ ТА АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

У межах даного розділу пропонується дослідити інформативність магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні завдань ґрунтознавства та в аграрному секторі на конкретних прикладах. Території досліджень є характерними для ґрунтово-кліматичних зон та ґрунтових покривів України, а також є показовими з точки зору аграрного обробітку.

### **3.1. Інформативність магнетизму ґрунтового покриву при дослідженні деструктивних процесів ґрунтів на прикладі чорноземів приберегової частини Одеської області.**

Дослідження проводилися на узбережжі Чорного моря, у аграрно необроблювальній прибереговій частині Одеської області, поблизу селища Санжейка. Ландшафтні умови характеризуються як рівнинна частина з високим обривом біля морської смуги. Найбільш типовими ґрунтами території є чорноземи південні (Haplic Chernozems за міжнародною класифікацією WRB). Загалом, чорноземи південні займають північну частину Причорноморської низовини і південну частину Степового Криму. Вони утворились під ковилово-типчakovими степами в умовах посушливого клімату. Товщина гумусового горизонту в них: 45-60 см. На глибині 180-200 см залягає шар з дрібними кристалами гіпсу. Південні чорноземи відрізняються від чорноземів звичайних (які розповсюджені у межах досліджуваної території у глиб континенту) меншою кількістю гумусу: у верхньому горизонті його вміст становить 3,5-4,5%. Реакція нейтральна. Ґрунти високопродуктивні за умов зрошення [117]

Нами було закладено опорний ґрунтовий розріз та латеральний перетин (рис. 3.1 та 3.2). Досліджені чорноземи південні у цілому відповідають за своїми ознаками класичному морфологічному опису [14].

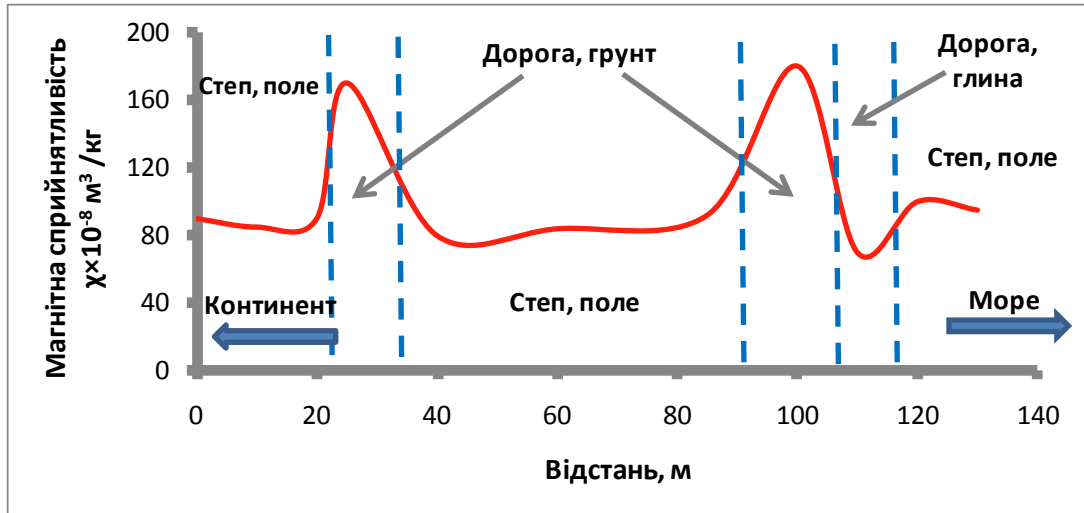


Рис. 3.1. Магнітна сприйнятливість ґрунтів уздовж ландшафтного перетину дослідної ділянки поблизу селища Санжейка, Одеська обл., Україна

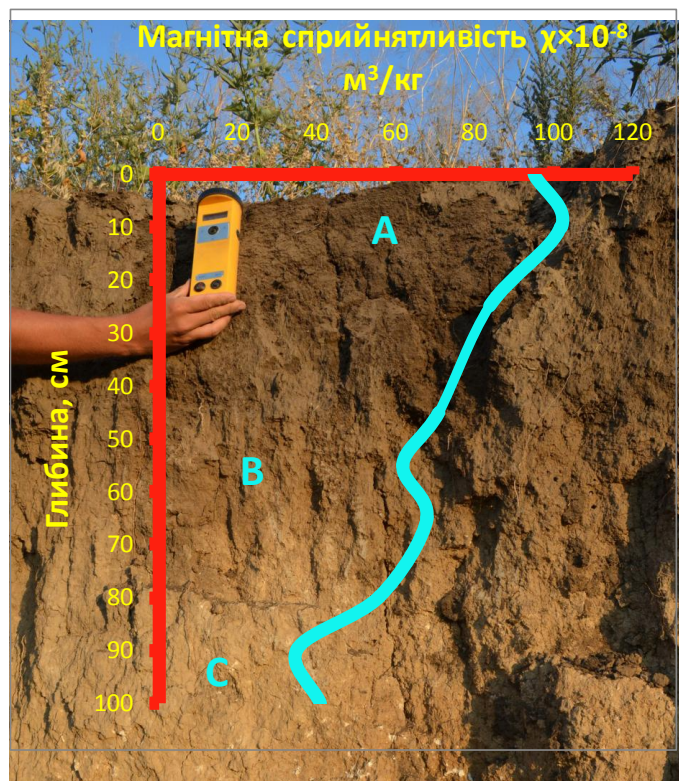


Рис. 3.2. Магнітна сприйнятливість чорноземів південних та підстилаючих горизонтів уздовж ґрунтового розрізу ерозійно небезпечної дослідної ділянки поблизу селища Санжейка, Одеська обл., Україна

Грунтовий розріз складається з наступних горизонтів. Верхній гумусовий Н (А за WRB) залягає на глибині 0-40 см. Темно-сірого кольору, структура дрібнозерниста, на поверхні спостерігається борошниста присипка. Гумусовий перехідний Н<sub>p</sub> (В1) залягає на глибині 40-70 см, з темно-коричневим відтінком, структура горіховидна, деякі агрегати гострогранчастої форми, щільний, перехід до підстилаючих порід різкий. Бурувато-палевий щільний горизонт Р<sub>k</sub> (В2) залягає на глибині 70-85 см, по щілинах візуалізується затікання гумусу. Наступний горизонт Р<sub>k</sub> (В3) залягає на глибині 85-130 см, великий вміст карбонатів у вигляді білозірки. Підстилаючий горизонт Р<sub>k</sub> (С) на глибині 130-180 см, темно-палевий глинистий лес, на значних глибинах зустрічаються кристали гіпсу. У нашому описі ґрунтового розрізу ми використали дещо спрощену схему WRB і виділили три основні горизонти: А, В, С.

Було проведено повний комплекс польових та лабораторних магнітних досліджень. Дослідна ділянка представлена ландшафтним перетином приберегової частини Чорного моря. Степовий ландшафт шириною близько 200 м (далі іде забудова) розташовувався на високому обриві (близько 100 м над рівнем моря). Територія рівнинна, вкрита типовою степовою рослинністю, розрізана мережею польових доріг. Важливою особливістю з точки зору дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні сільськогосподарських та ґрунтознавчих завдань є ділянки водної ерозії поблизу безпосередніх обривів.

Розглянемо більш детально зміни магнітної сприйнятливості ґрунтів у межах даної ландшафтної ситуації на прикладі рис. 3.1. Ландшафтний перетин складений кількома блоками. Перший блок сформовано власне типовими фоновими ґрунтами для даної ґрунтово-кліматичної Зони України – чорноземами південними. Це лука поза аграрним обробітком без перепаду висот. Ерозійні процеси фактично не спостерігаються, а питома магнітна

сприйнятливості знаходиться у межах  $80-100 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Другий блок даного ландшафтного перетину складений польовими дорогами. У даних місцях верхній шар ґрунтового покриву залишається початковим, без ознак вимивання, проте спостерігається процес ущільнення ґрунту, що у свою чергу є однією із ознак деградованості. Магнітна сприйнятливості зростає у 1,5-2 рази і складає  $130-180 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Окремо виділяється частина, що названа «дорога, глина». Особливістю її є наближеність до обриву де візуалізуються водно-ерозійні процеси у ґрунтовому покриві. Верхня частина гумусного шару змита, фактично дорога формується глинистими фракціями горизонту В, у порівнянні з описаними вище польовими дорогами магнітна сприйнятливості падає у 2-3 рази. Навіть порівняно із незміненою польовою частиною у 1,5 разів. Абсолютні значення питомої магнітної сприйнятливості складають  $50-70 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$

Для коректної інтерпретації наведених матеріалів необхідною є інформація про вертикальний розподіл магнітних характеристик у ґрунтовому розрізі (рис. 3.2). Розріз було закладено у кінці ландшафтного перетину (пікет 140 м) у безпосередній близькості до обриву з частковим використанням природного відслонення. Верхній гумусний горизонт А має потужність близько 40 см та характеризується високою магнітною сприйнятливості  $80-100 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , відповідною до зафіксованої для незмінених польових ділянок ландшафтного перетину, що наводиться на рис. 3.1. Нижче на глибині 40-70 см залягає перехідний горизонт В з магнітною сприйнятливості  $70-80 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , який є ідентичним до глинистої фракції вимитої польової дороги (рис. 3.1). На глибині більше за 80 см чітко ідентифікується підстилаючий материнський горизонт С з магнітною сприйнятливості  $30-40 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , який складається суглинистою породою. Відзначимо, що за рахунок природного відслонення глибше (десятки метрів) ми відслідковували залягаючі геологічні горизонти, у тому числі

палеоґрунти, проте у межах дисертаційної роботи більш детально їх розглядати не пропонується.

Частотно залежна магнітна сприйнятливість  $\chi_{fd}$  у більшості випадків для верхнього гумусового горизонту перевищує 3-4 % і досягає 10 %.

Отже, для дослідженого нами верхнього гумусового незміненого горизонту А чорноземів південних дослідженої території характерними є значення магнітної сприйнятливості  $80-100 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Такі значення у цілому є найбільш високими як для незмінених (поза впливом антропогенних та техногенних факторів) ґрунтових покривів, що фіксувалися в Україні.

На рис. 3.3 наведено залежність магнітної сприйнятливості від температури для зразка, що відібраний з верхнього гумусового горизонту А. Проведено два цикли нагріву та охолодження (а, б).

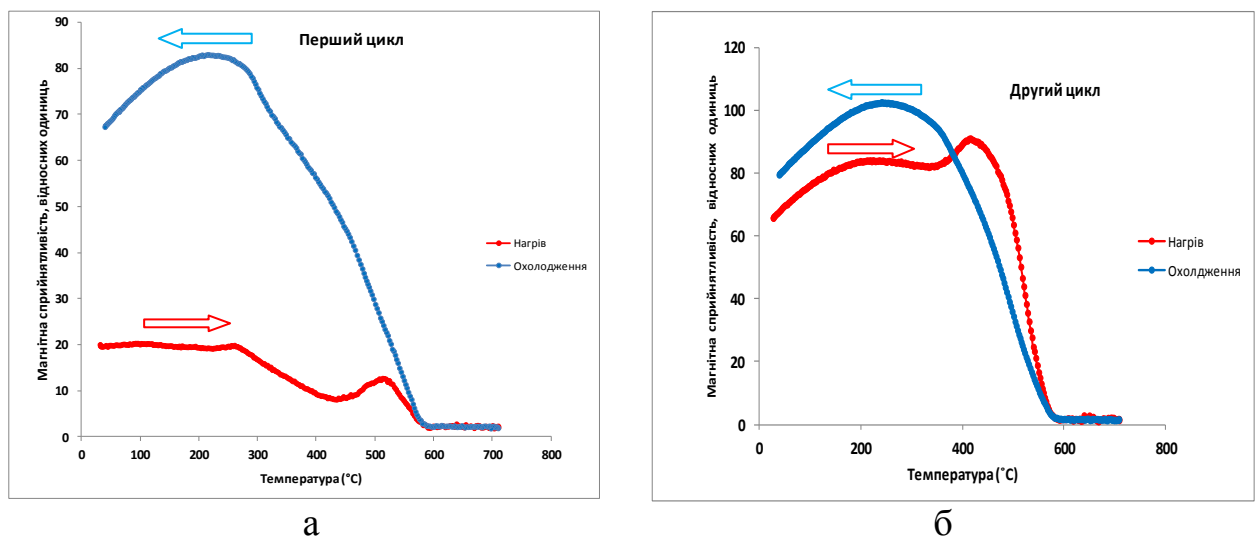


Рис.3.3. Температурна залежність магнітної сприйнятливості для зразка ґрунту з горизонту А: а, б – перший та другий цикли нагріву та охолодження.

Загальним чином відмічається [184], що інтерпретація температурних залежностей при нагріванні зразків ґрунтів є складним і неоднозначним процесом. Пояснюється цей факт наявністю вторинних переходів під дією

температури у процесі нагріву та охолодження, коли оксиди та гідроксиди заліза трансформуються у феромагнітні фази.

При першому циклі нагрівання (а) фіксуються два максимуми MS близько до 260 °C та 530 °C, а також мінімуми близько 430 °C та 580 °C. Відомо [184], що для сильно магнітних ґрунтів із високим вмістом органічного вуглецю, який пов'язаний із підвищеним вмістом гумусу та родючістю, характерним є фазовий перехід гетиту, ферігідриту та гематиту у сильно магнітну фазу, наприклад, магнетит та магеміт. При цьому лепідокрокит та сидерит можуть трансформуватися і при низькому вмісті органічного вуглецю. У даному випадку при аналізі термомагнітних кривих ми не враховуємо сульфід заліза, тому що для чорноземів вони не є характерними магнітними фазами. Перший невеликий максимум MS біля 260 °C може бути викликаний наявністю невеликої кількості ферігідриту, який поступово заміщується магемітом [197]. Подальше спадання кривої пов'язане із переходом магеміту у гематит. Наступний максимум біля 530 °C із остаточною втратою феромагнітних властивостей близько до 580 °C викликається відновленням гематиту до магнетиту [152]. Залишки гематитової фази за допомогою кривої нагрівання для ґрунтів ідентифікувати важко. Крім того, наведені зміни підтверджують наявність ультрадисперсних однодоменних (SD) магнітних частинок за кімнатної температури та їх перехід у суперпарамагнітний стан (SP) при зростанні температури. Це вказує на превалювання педогенного характеру магнетизму даного ґрунтового покриву та відсутність техногенного зараження ділянки. Крива охолодження, а також повторне нагрівання та охолодження досліджуваного зразка (б) підтверджують формування магнетитової фази з подальшими переходами під час нагріву-охолодження у ряді магнетит-магеміт.

Аналізуючи джерела формування магнітного сигналу у ґрунтах наведеного прикладу відзначимо, що згідно [193] існує три процеси формування магнетиків у чорноземах України: аутогенез, діагенез та

розчинення. Фактично мова йде про педогенний характер магнетизму, літогенний та техногенний (антропогенний). У ряді випадків дані процеси накладаються один на одний. Повертаючись до питання вивчення верхнього гумусового горизонту А чорноземів України відзначимо, що за даними наведеними у роботі [193], у ньому містяться дрібнозернисті окислені частинки магнетиту, а також магеміт педогенного походження.

З точки зору дослідження процесів ерозії ґрунтів значущу вагу несе інформація про магнітну сприйнятливість, що фіксувалася нами у межах глинистої польової дороги з  $\chi=70-80 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (рис. 3.1), як ділянки можливого змиву. Більш того, подібні значення зафіксовані і у перехідному горизонті В розрізу (рис. 3.2). Ґрунтознавчий аналіз підтвердив подібність даного літологічного прошарку. Тому, для даного випадку ми з високою точністю ідентифікуємо процес ерозії ґрунтів, що доволі чітко підтверджується значеннями магнітної сприйнятливості при перетині по латералі і у свою чергу ілюструється дослідженнями у розрізі. Щоб зрозуміти основні принципи оцінки ерозії ґрунтів на основі дослідження магнітної сприйнятливості потрібно розглядати цілу групу факторів [196]: тип магнітних мінералів, концентрації та розмір їх зерен, стабільність магнетиків, площівний розподіл величин магнітної сприйнятливості, а також надважливо всебічно використовувати доступну агрономічну оціночну інформацію.

Проаналізовані нами підстилаючі породи горизонту С ґрунтового розрізу характеризуються більш низькими значеннями магнітної сприйнятливості у порівнянні із горизонтами А та В. У той же час це доволі високі значення ( $\chi=30-40 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) як для підстилаючої породи. Наприклад, навіть для верхнього гумусного горизонту А класичних незмінених чорноземів типових і чорноземів звичайних лісостепової зони України  $\chi=30-50 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

При вивченні еродованості ґрунтових покривів магнітними методами слід брати до уваги можливість зараження ґрунтів магнетиками техногенного

походження. Магнітні аналізи дозволяють швидко і високоефективно розділяти походження магнетиків у структурі ґрунтів на основі дослідження, наприклад, найбільш експресного параметру частотної залежності магнітної сприйнятливості [180]. У нашому випадку  $\chi_{fd}$  вища за 3-4 %, а найчастіше близька до 10%.

З метою більш детального аналізу доменного стану магнітних мінералів ґрунтів дослідної ділянки нами було проведено визначення параметрів петлі гістерезису (рис. 3.4а), кривої ізотермальної залишкової намагніченості IRM (рис. 3.4б) та безгістерезисної намагніченості ARM. Форма кривої гістерезису вказує на домінування ультра дисперсних та одно доменних зерен педогенного походження [160].

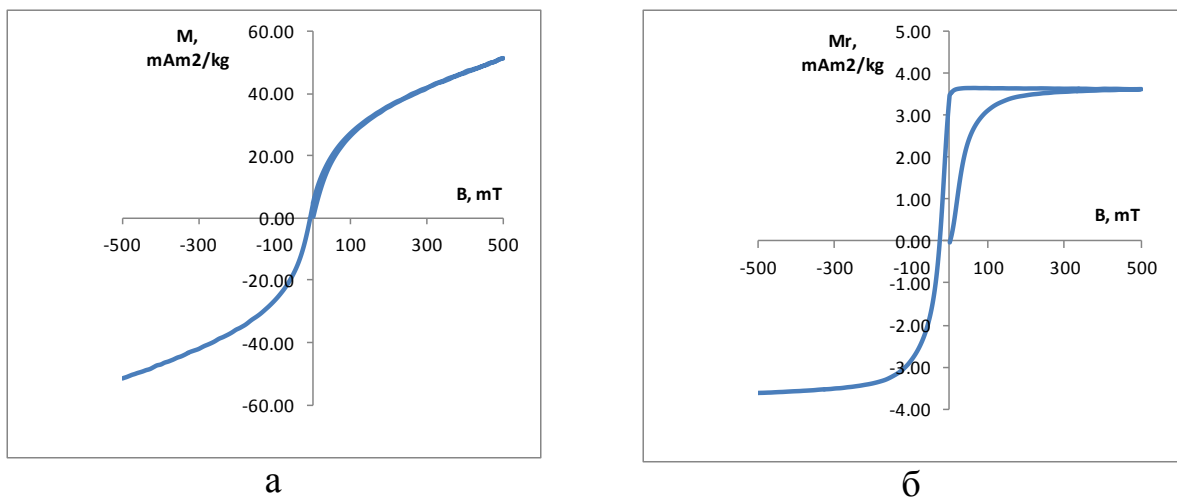


Рис. 3.4. Результати визначення намагніченостей верхнього гумусового горизонту А ділянки Санжейка, Одеська обл., Україна: а – петля гістерезису, б – крива ізотермальної залишкової намагніченості.

На рис. 3.5 наводиться діаграма Дея [141] для чорноземів даної території. Більша частина зерен магнетиту згаходиться у псевдооднодоменному стані (PSD). Техногенні мультидоменні зерна (MD) не ідентифіковано. Крім того, результати термомагнітного аналізу та визначення ARM підтверджують вміст певної кількості одно доменних (SD) та суперпарамагнітних (SP) частинок педогенної природи.

Значний вміст магнетитової фази у досліджуваних ґрунтах ділянки Санжейка також було підтверджено на основі низькотемпературних аналізів намагніченості зразків із різних генетичних горизонтів (рис. 3.6).

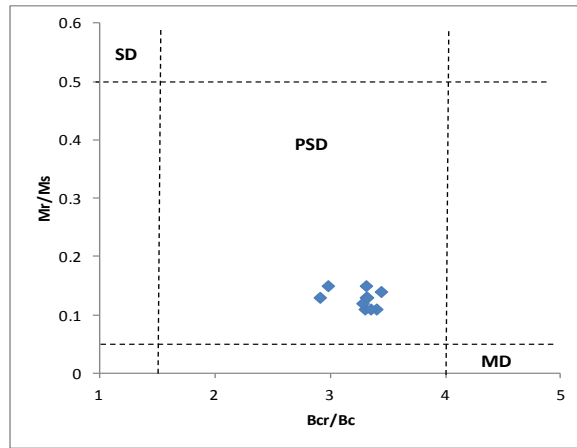


Рис. 3.5. Діаграма Дея для ерозійно небезпечної дослідної ділянки поблизу селища Санжейка, Одеська обл., Україна

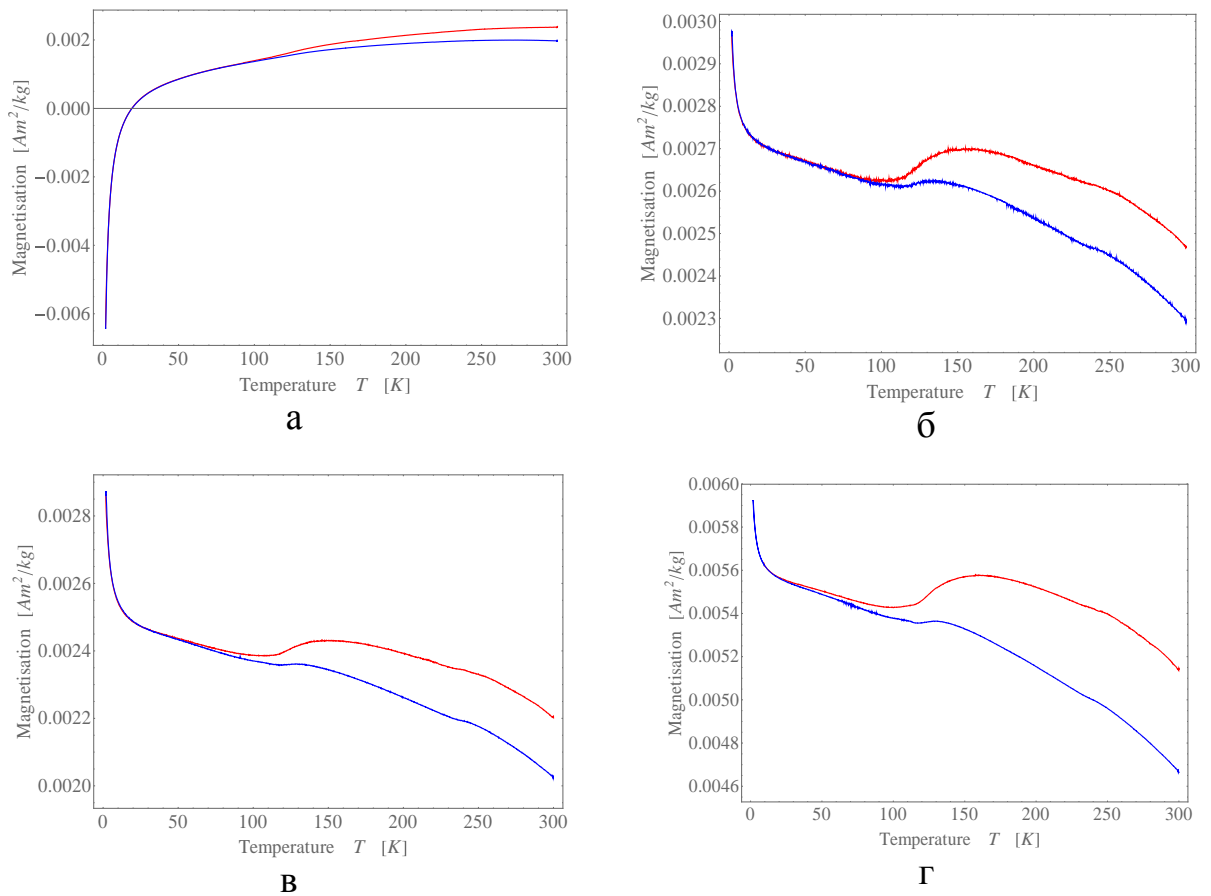


Рис. 3.6. Низькотемпературні залежності намагніченості від температури для різних генетичних горизонтів: а – горизонт А, б – горизонт В, в – горизонт С1, г – горизонт С2.

Ідентифіковані переходи Вервея близько 125 К (-148,15 °С). Піротинова та гематитова фази не ідентифіковані. Можна припустити, що піротин не міститься у досліджуваних зразках, а гематит міститься у невеликих кількостях. Наявність магнітожорсткого висококоерцетивного мінералу у невеликій кількості підтверджується і параметром  $S$ , який у ряді випадків складає 0,8-0,9. Можна припустити, що це є саме гематитова фаза.

Зауважимо, що для підвищення ефективності магнітних досліджень при вивченні деструкції ґрунтів важливим є комплексування з агрономічною оцінкою ризиків розвитку ерозійних процесів у межах продуктивних земель на основі хімічних та фізичних аналізів.

### **3.2. Інформативність магнетизму ґрунтового покриву при визначенні індексу ерозійної небезпеки на прикладі земель аграрного виробництва Харківської області**

Ерозія є одним із ключових факторів деградації продуктивних аграрних земель. Дослідження таких територій є одним із пріоритетних завдань для країн із слабкою економікою до яких, на жаль, на даному етапі відноситься Україна. Пояснюється дана обставина браком необхідної інформації про розподіли фізичних та хімічних показників у ґрунтах, а також відсутністю оптимальних механізмів збору та обробки матеріалів (найчастіше за рахунок відсутності фінансування проведення відповідних робіт). У той же час акцентується увага на важливості залучення більш ефективних методів для контролю деструкції ґрунтів, зокрема на основі геопросторових технологій. Очевидно, що таким вимогам відповідають і магнітні методи, які характеризуються експресністю, низькою вартісністю та високою роздільною здатністю.

Результати досліджень, які наводяться у даному прикладі отримані нами спільно із фахівцями Національного наукового центру “Інститут

грунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського” під керівництвом с.н.с. О. Круглова, статистичні розрахунки виконані П. Назарком. Консультації щодо геопросторових розподілів даних надані П. Перейрою (Університет Миколаса Ромеріса, Вільнюс, Литва).

Дослідним полігоном було обрано територію с. Черкаські Тишки, Харківська обл., ґрунтовий покрив якої представлений катенарним рядом чорноземів. Центр території досліджень має координати 50.11° N, 36.43° E, 162 м. над рівнем моря. Середньорічна температура складає +7,9 °С, річна кількість опадів становить 460 мм. Місцевість має схил 3-5 градусів та використовується без застосування належних технології збереження родючості ґрунтів.

Окрім польових ґрунтознавчих та магнітних досліджень, було відібрано 77 зразків з верхнього шару ґрунту (0-20 см) для лабораторного вимірювання за схемою, що представлена на рис. 3.7.

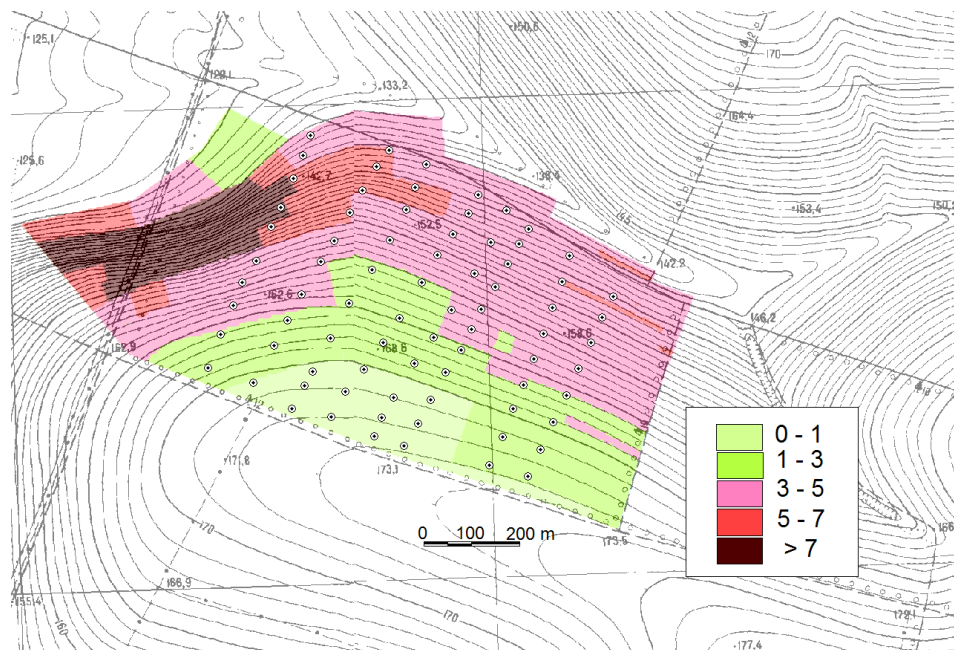


Рис. 3.7. Схема відбору зразків ґрунтів, крутизна схилів у градусах та картограма крутості схилів у градусах дослідного полігону Черкаські Тишки, Харківська обл. [89]

Вміст гумусу визначався згідно до стандартів України ДСТУ 4289:2004. Оксидиметричний метод полягає в окиснюванні органічної

речовини ґрунтів і порід розчином двохромовокислого калію в сірчаній кислоті з подальшим визначенням вмісту органічного вуглецю через визначання двохромовокислого калію після окиснення методами титриметрії. Розраховано індекс ерозійної небезпеки для точок відбору за формулою [41]:

$$I_e = K_p \frac{(kFI)^{0,4} J^{0,3}}{B^{0,4} n^{0,6} V_p}, \quad (3.1)$$

де,  $K_p$  – коефіцієнт впливу рослинного покриву (агрофону) на інтенсивність ерозії;  $k$  – коефіцієнт стоку;  $F$  – площа водозбору даного потоку, м<sup>2</sup>;  $I$  – інтенсивність надходження води, м/с;  $J$  – ухил поверхні;  $n$  – коефіцієнт шорсткості поверхні;  $B$  – ширина потоку, м;  $V_p$  – розмивна швидкість водного потоку для ріллі, м/с; **Шкала оцінки ерозійної небезпеки земель:** 0,0-0,5 – ерозійно-безпечні землі; 0,5-1,0 – умовно ерозійно-безпечні землі; 1,0-1,5 – допустимо ерозійно-небезпечні землі; 1,5-2,0 – ерозійно-небезпечні землі; > 2,0 – надмірно ерозійно-небезпечні землі.

Інформація про геоморфологічні та агрофізичні показники була отримана за допомогою аналізу даних місцевої землевпорядної документації (масштаб карти 1:10000). Інформація про розмивні швидкості водних потоків для чорнозему типового взято з довідкових джерел [40] Ґрунтозахисні коефіцієнти для різних культур аналогічні до тих що використовуються в універсальному рівнянні втрат ґрунту (USLE) [206], проте використовувались уточнені показники, що наведені у роботі [85].

Статистичні розрахунки були основані на кореляційному аналізі, із використанням поліноміальною регресії третього ступеня, рівень ймовірності  $p \geq 0,05$ , метод  $\chi^2$  використовували для перевірки нормальності розподілу, кластерний аналіз був виконаний на основі евклідових відстаней.

Загальний розподіл магнітної сприйнятливості у межах аграрної ділянки Черкаські Тишки, Харківської області наводяться на рис. 3.8. Середнє значення питомої магнітної сприйнятливості ( $\chi$ ) чорноземів даної

ділянки складає  $69 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг, мінімальне:  $\chi = 50 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг, максимальне:  $\chi = 86 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Коефіцієнт варіації становить 12,48%, що вказує на відсутність екстремальних значень даного параметру – зміни типів ґрунтів, техногенного навантаження. Найвищі значення  $\chi$  зафіксовані у південно-західній частині ділянки, а низькі значення характерні для північно-східної частини досліджуваної території. Відповідні тенденції чітко прослідковуються при переході від верхньої частини схилу до нижньої.

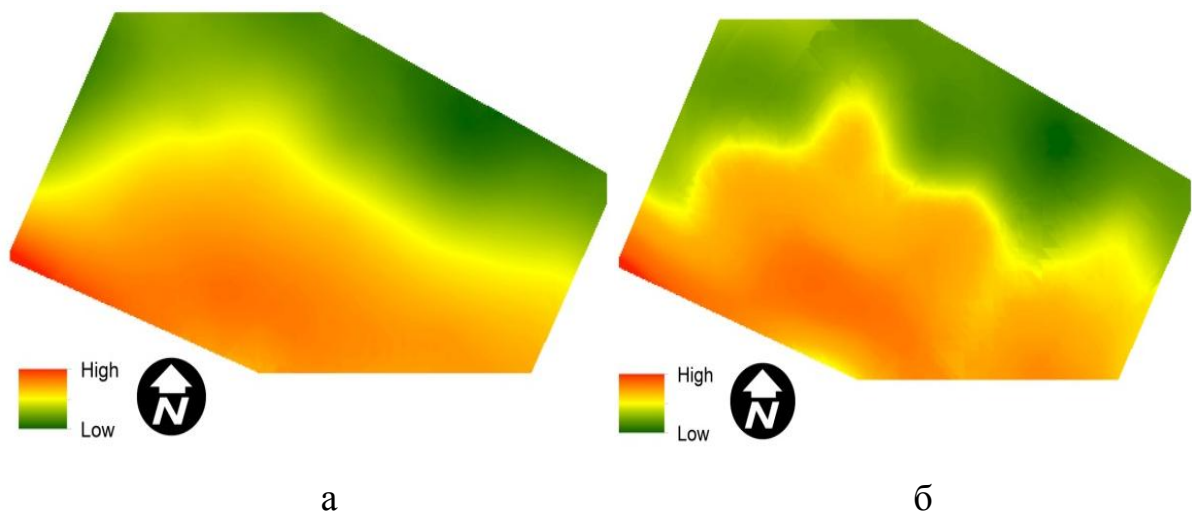


Рис. 3.8. Просторовий розподіл магнітної сприйнятливості аграрної ділянки Черкаські Тишки, Харківська область. Приклади інтерполяції найбільш (а) і найменш точним (б) методом із застосуванням реальних даних та моделювання

Загалом відмічається, що магнітна сприйнятливість у межах даного прикладу має високу просторову залежність. Результати інтерполяції показали, що метод локальної поліноміальної функції є найменш точним у даному випадку, метод звичайного крігінгу найкраще прогнозує розподіл магнітної сприйнятливості еродованих ґрунтів.

Перейдимо до статистичного аналізу отриманих даних. Відмітимо, що результат перевірки нульових гіпотез про закони розподілу показників продемонстрував, що вибірка характеризується складними гістограмами, для

яких неможливо однозначно встановити закони розподілу. У той же час для частини схилу, яка характеризується високою імовірністю виникнення ерозійних процесів вдалося встановити закони розподілу за трьома показниками (рис. 3.9).

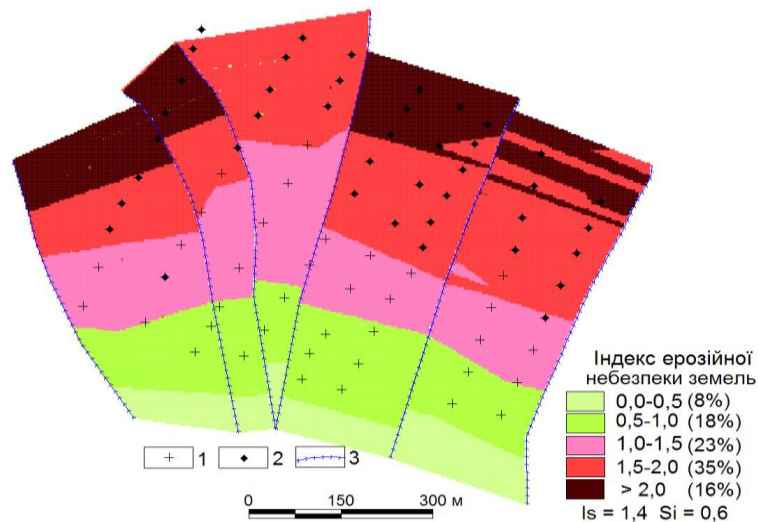


Рис. 3.9. Оцінка ерозійної небезпеки земель та розташування вибіркових точок: 1 – точки відбору зразків ґрунту; 2 – точки, для яких встановлено закони розподілу; 3 – положення ліній стоку;  $I_s$  – середнє значення індексу ерозійної небезпеки;  $S_i$  – його стандартне відхилення [89].

Розглянемо більш детально просторовий розподіл індексів ерозійної небезпеки та зв'язок із магнітню сприйнятливістю ґрунтів. На рис. 3.9 наведені точки, для яких було обраховано закони розподілу. Дані точки характеризуються величинами індексу ерозійної небезпеки вище 1,5. Визначено 41 таку точку. У таблиці 3.1. наведено основні параметри законів розподілу. У ній:  $\chi^2$  - фактичне значення критерію перевірки нульової гіпотези про закон розподілу,  $\chi^2_{\tau}$  – табличне його значення. Для  $N$  наведено середнє значення та стандартне відхилення значень  $\ln N$ .

Таблиця 3.1.

## Параметри законів розподілу показників

Показник	Закон розподілу	$\chi^2$	$\chi^2_{\text{т}}$	Середнє значення	Стандартне відхилення
$\chi \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$	Нормальний	3,6	6,0	617,2	38,2
H, % (вміст гумусу)	Логнормальний	6,6	9,5	1,14	0,08
Ie (ерозійний індекс)	Нормальний	6,9	9,5	2,11	0,22

Основні статистичні показники для розподілів індексу ерозійної небезпеки за групами  $> 1,5$ ;  $1,0 \dots 1,5$  та  $< 1,0$  наводяться у таблиці 3.2. Більша частина досліджуваної території характеризується високим та дуже високим рівнем небезпеки ерозії ( $> 1,5$ ). Закон розподілу, що встановлено для цієї частини схилу підтверджує високу кореляцію між вивченими параметрами для індексу ерозії  $Ie > 1,5$ .

Як видно з результатів кореляційного та регресійного аналізів магнітна сприйнятливість демонструє високу ефективність для картування ерозійних процесів продуктивних земель (рис. 3.10).

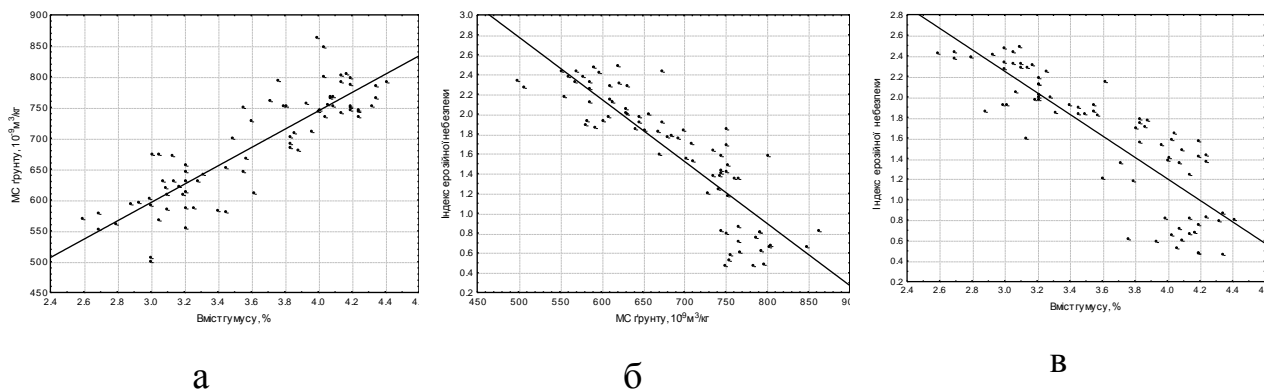


Рис. 3.10. Графіки функціональної залежності між: а – MS ґрунту ( $10^9 \text{ м}^3/\text{кг}$ ) та вмістом гумусу (%); б – індексом ерозійної небезпеки та MS ґрунту, в – індексом ерозійної небезпеки та вмістом гумусу (%) [89].

Таблиця 3.2.

## Статистичні параметри властивостей ґрунтів

Дані	Вибірка	Індекс ерозійної небезпеки		
		>1,5	1,0...1,5	<1,0
Кількість зразків	77	48	11	18
Магнітна сприйнятливість ( $10^{-9}$ м <sup>3</sup> /кг)				
<i>Середнє</i>	686,05	635,13	747,58	784,25
<i>Максимальне</i>	862,28	801,00	766,52	862,28
<i>Мінімальне</i>	499,33	499,33	729,17	745,16
<i>Стандартне відхилення</i>	88,81	69,94	12,04	35,52
<i>Коефіцієнт варіації, %</i>	12,95	11,01	1,61	4,53
<i>Медіана</i>	692,19	630,09	745,11	785,02
Вміст гумусу, %				
<i>Середнє</i>	3,61	3,31	4,00	4,14
<i>Максимальне</i>	4,41	4,19	4,24	4,41
<i>Мінімальне</i>	2,59	2,59	3,6	3,76
<i>Стандартне відхилення</i>	0,51	0,41	0,23	0,18
<i>Коефіцієнт варіації, %</i>	14,22	12,40	5,75	4,38
<i>Медіана</i>	3,62	3,21	4,07	4,16
Індекс ерозійної небезпеки				
<i>Середнє</i>	1,61	2,03	1,35	0,67
<i>Максимальне</i>	2,49	2,49	1,49	0,87
<i>Мінімальне</i>	0,47	1,53	1,18	0,47
<i>Стандартне відхилення</i>	0,63	0,29	0,11	0,14
<i>Коефіцієнт варіації, %</i>	38,93	14,54	7,82	20,35
<i>Медіана</i>	1,77	1,98	1,37	0,67

Досліджуваний показник з високою вірогідністю зв'язаний як з антропогенно-природним розподілом вмісту гумусу ( $r=0.87; R^2=0.76; y=0,3x^3 - 1,8x^2 + 2,4x + 3,26 \pm 0,47; p \geq 0.05$ ), так і з індексом ерозійної небезпеки ( $r=0.87; R^2=0.75; y=88x^3 - 451x^2 + 575x + 580 \pm 72, p \geq 0.05$ ). Індекс ерозійної небезпеки та вміст гумусу також пов'язані між собою ( $r=0.85; R^2=0.72$ ).

Встановлена лінійна залежність (на основі обмеженої вибірки) між вмістом гумусу та його магнітною сприйнятливістю MS, що дозволяє безпосереднє використання схем встановлення змитості на основі зменшення

вмісту гумусу. Лінійна кореляція між зниженням вмісту гумусу і потужністю ґрунтів демонструється у роботі [31], а параболічні схеми були запропоновані у роботі [117]. Відповідні схеми наводяться у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Основні класифікації змитості ґрунту чорноземного типу

Категорія ґрунту за ступенем змитості	Класифікація		
	М.М. Заславський [31]	С.В. Наумов [31]	Г.І. Швєбс [117]
	Зменшення вмісту гумусу, % у шарі 0-30 см	Зменшення вмісту гумусу в шарі 0-25 см (в профілі)	Зменшення вмісту гумусовоному профілі
<i>Слабозмитий</i>	10-20	30 (25)	30
<i>Середньозмитий</i>	20-50	30-60 (25-55)	50
<i>Сильнозмитий</i>	< 50	60-80 (55-75)	< 50
<i>Дуже сильнозмитий</i>		80-100 (75-100)	

Потужність ґрунтового профілю, вміст гумусу та магнітна сприйнятливість ґрунтів обумовлені кількома факторами, які викликають додатну та від'ємну динаміку ґрунтоутворення. Просторове поєднанням чинників, що створюють *додатну динаміку ґрунтоутворення* – гідротермічний режим, материнська та підстилаючі породи.

Розподіл факторів та умов, які обумовлюють направленість та інтенсивність процесів, що викликають *від'ємну динаміку ґрунтоутворення*:

1. *Ерозія та дегуміфікація для вмісту гумусу та його магнітної сприйнятливості.*
2. *Дефлюкція, карст, суфозія, соліфлюкція, агротехнічна ерозія, стихійні дефляція та водна ерозія для потужності ґрунтового профілю.*

У процесі пошуків оптимальної та ефективної схеми для контролю ерозії ґрунтів аграрних земель було розроблено альтернативний підхід до аналізу даних з метою удосконалення та підвищення інформативності використання магнітної сприйнятливості для визначення деградації ґрунтів. Такий підхід включав доведення та визначення ерозійної структури

грунтового покриву схилу на основі просторового розподілу значень магнітної сприйнятливості орного шару [89] (рис. 3.11). Магнітну сприйнятливість розділили на різні класи у середині трьох діапазонів індексу ерозійної небезпеки: 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-2,5 (рис. 3.11 б). 13 класів магнітної сприйнятливості ґрунтів було обрано для індексів ерозійної небезпеки (таблиця 3.4). Було обрано метод кластеризації: міра відстані – евклідова, правило об'єднання – незважене попарне середнє. Було визначено, що індекс ерозії у діапазоні 0,5-1,5 відповідає класам 2-4 MS ґрунтів. Середні значення  $\chi=794-750 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Такі ґрунти є слабо еродованими відповідно до класифікації Заславського [31]. Строката структура діапазону індексу ерозійної небезпеки 1,5-2,0 вказує на існування струмкової ерозії. Середні значення класів (4-8) з  $\chi=750-593 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$  є ділянками, які можна віднести до середньо змитих ґрунтів. Діапазон 2,0-2,5 індексу ерозійної небезпеки характеризує середньо змиті ґрунти з середнім значенням класів (10, 11) та  $\chi=621-503 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Намиті ґрунти (12 клас) характеризуються  $\chi=563 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

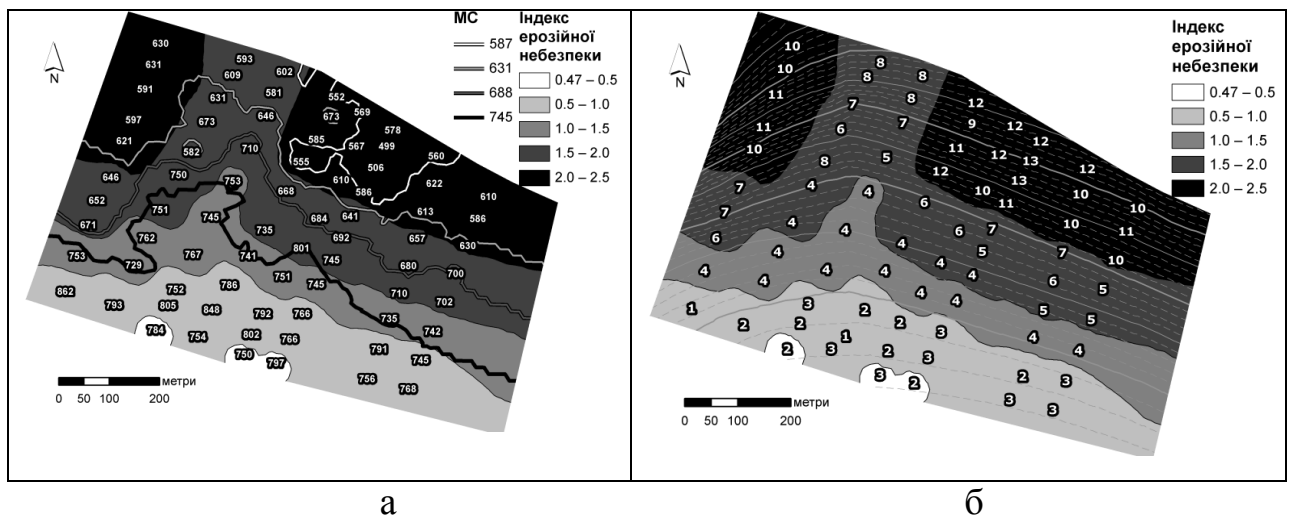


Рис. 3.11. Обґрунтування ерозійної структури на основі просторового розподілу магнітної сприйнятливості ґрунтів: а – значення магнітної сприйнятливості у відповідних точках; б – класи магнітної сприйнятливості ґрунтів відповідно до індексу ерозійної небезпеки. Статистично однакові вибірки позначенні однаковим кольором [89].

Таблиця 3.4.

Розподіл класів значень магнітної сприйнятливості ґрунтів у середині рівнів ерозійної небезпеки

Магнітна сприйнятливість ( $10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$ )	Діапазони рівнів ерозійної небезпеки із кількістю відповідних точок спостережень		
	0...1,0 (нееродовані)	1,0...2,0 (низький рівень ерозії)	>2,0 (середній рівень ерозії)
855±10,4	2		
794 ± 7,4	8		
757 ±8,5	8		
750±16,6		16	
703 ±7,5		5	
675 ±6,7		5	
646 ± 8,8		6	
593 ± 12,1		5	
673 ± 0,0			1
621 ±9,0			8
589 ± 4,8			5
563 ± 9,8			6
503 ± 4,8			6

Максимальні значення вмісту гумусу для досліджених ґрунтів складають 4,41%. Відповідно до класифікації [31] вміст гумусу для нееродованих ґрунтів має перевищувати 4,0%, для ґрунтів з низьким рівнем ерозії – 4,0-3,5%, для ґрунтів з середнім рівнем ерозії – 3,5-2,2%, для ґрунтів з високим рівнем ерозії – менше за 2,2%. Ми не зафіксували високий рівень ерозії ґрунтів у межах дослідної ділянки. Кластерний аналіз підтвердив високий зв'язок між швидкістю ерозії, індексом ерозійної небезпеки та значеннями магнітної сприйнятливості ґрунтів.

Вірне розуміння природи аномалій магнетизму ґрунтів є запорукою розробки нової високоефективної стратегії досліджень ерозії продуктивних аграрних земель. При цьому основним параметром для розрахунку індексу ерозійної небезпеки є вміст гумусу, також слід залучати інформацію про кислотність ґрунтів. Магнітна сприйнятливість зростає із зростанням вмісту гумусу у зразках та падає із зростанням рН [183]. У даній роботі

підтверджується висока кореляція між магнітною сприйнятливістю та вмістом гумусу у чорноземах Німеччини.

Вміст гумусу пов'язаний із формуванням магнітних мінералів під час розвитку ґрунту. Мова йде про педогенний характер магнетизму ґрунтів поза впливом техногенних чинників. Формування магнітних мінералів пояснюється наявністю органічної речовини та сприятливих умов для зміни валентності заліза [256]. Ще однією причиною формування магнітних мінералів у ґрунтах є адсорбція на глинистих фракціях та органічних матеріалах [235]. Існує три типи педогенного процесу: аутогенез, діагенез та розчинення [193]. При цьому верхній гумусний горизонт чорноземів України містить дрібнозернистий окиснений магнетит та магеміт педогенного походження, які також можуть утворюватися під час вивітрювання материнської породи [194].

З метою уточнення магнітомінералогічного складу дослідних ґрунтів, доменного стану та розмірів магнетиків нами було вивчено параметри петлі гістерезису, а також IRM та ARM. Діаграма Дея (рис. 3.12) підтверджує, що наявний у складі ґрунтів магнетит знаходиться більшою мірою у PSD стані. Можна припустити, що магеміт представлений більш дрібнозернистим SP матеріалом.

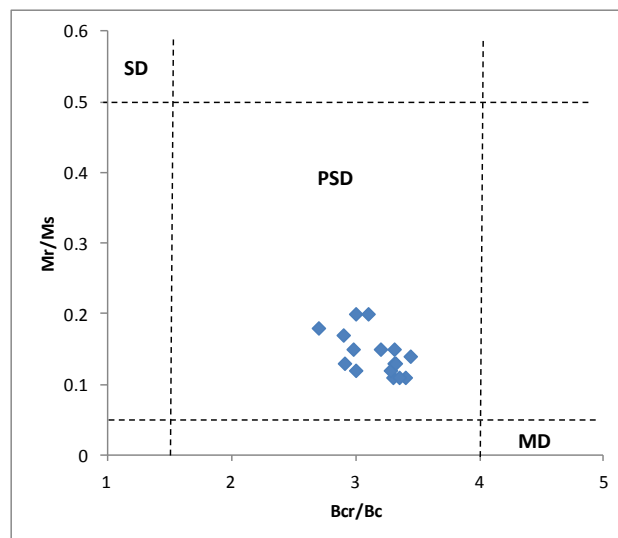


Рис. 3.12. Діаграма Дея для чорноземів дослідної ділянки Черкаські Тишки, Харківська обл.

Відповідні припущення зроблені на основі термомагнітного аналізу. Крім того, визначено, що магнітожорсткі гематит та гетит педогенного походження можуть превалювати над магнітом'яким магнетитом за результати обрахунку параметру  $S_{ratio}=0,69-0,71$  [276].

Отже, за зміни магнітних властивостей незабруднених еродованих ґрунтів відповідають залізовмісні мінерали, найчастіше оксиди заліза [160]. Вплив сульфідів заліза для фонових ґрунтів України незначний. Формування педогенного магнетиту відбувається за рахунок функціонування магнетотактичних бактерій. Серед сприятливих умов для продукування ними заліза є наявність органічного матеріалу, безкисневий режим і нейтральні значення рН [227, 293].

Для підвищення однозначності інтерпретації розподілів ерозійних процесів у ґрунтах на основі вивчення їх магнітних властивостей необхідно комплексно розглядати основну групу факторів [196]:

1. Тип магнітного мінералу.
2. Концентрація магнітного матеріалу.
3. Розмір зерен магнетика та їх стабільність.
4. Дані про площівний розподіл магнітної сприйнятливості.
5. Геопросторовий розподіл магнітних мінералів.

Таким чином, підводячи підсумки комплексних ґрунтознавчих та магнітних досліджень аграрної території Черкаські Тишки, Харківська область зауважимо, що магнітна сприйнятливість є ефективним та низьковартісним параметром для контролю деградації продуктивних земель. Визначення джерел, ступеня та екстраполяції впливів ерозії ґрунту має значущий вплив на процеси, які протікають поза ділянкою безпосередніх досліджень. На основі відповідних аналізів необхідно проводити моніторинг за переміщенням поживних речовин, металів та мікроорганізмів, які приймають участь у процесах деструкції ґрунтів.

### 3.3. Інформативності магнетизму ґрунтового покриву при дослідженні його продуктивності 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. Для визначення продуктивності було обрано вміст гумусу у ґрунтах, як інтегральний показник родючості та висоту рослин у точках спостереження.

Територія відноситься до Лісостепу, характерними є чорноземи та сірі лісові ґрунти. Дослідним полігоном стало сільськогосподарське поле, що відноситься до продуктивних земель фермерського господарства (рис. 3.13).



Рис. 3.13. Загальний вигляд дослідної ділянки «Конони» з топінамбуром. Червоними овалами для візуалізації виділені околиці збільшення висоти рослин, синіми – зменшення висоти топінамбуру.

Дана ділянка знаходиться поза обробітком протягом тривалого часу (10-15 років). Її характерною особливістю є те, що вона повністю вкрита рослинним покривом, що представлений топінамбуром [115]. Топінамбур або земляна груша (*Helianthus tuberosus*, соняшник бульбистий), бульбоносна рослина роду соняшників родини айстрових (*Asteraceae*). У дикому вигляді рослина зустрічається в Північній Америці від штату Мен на захід до Північної Дакоти та на південь до північної Флориди і Техасу. Її бульби їстівні, вона вирощується як кормова, технічна і харчова рослина. Залишені після збирання дрібні бульби і столони здатні утворювати на наступний рік порість, яка ускладнює або зовсім виключає можливість вирощувати після нього інші сільськогосподарські культури. Залишені у землі бульби продовжують рости, потенційно перетворюючись на бур'ян. Описана ситуація склалася на території проведення нашого досліджу.

На рис. 3.14. у збільшеному масштабі наводиться пік висоти топінамбуру (а) та для ілюстрації сірий лісовий ґрунт даної території (б).



а



б

Рис. 3.14. Екстремум висоти топінамбуру (а) та сірий лісовий ґрунт даної території (б)

Зауважимо, що ґрунтовий покрив фактично не змінюється за рахунок локальності території, відсутності гіпсометричної диференціації та техногенних впливів.

Проводився комплекс польових та лабораторних магнітних досліджень. Вміст гумусу у зразках визначався у лабораторії Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» під керівництвом с.н.с. О. Круглова.

Візуалізуються локальні максимуми та мінімуми висоти топінambuру, деякі з них ми виділили на зображенні рис. 3.13 червоним (максимуми) та синім (мінімуми) кольорами. Існування таких розподілів пояснюється тим, що 15 років тому у ґрунтовий покрив даної ділянки було внесено органічні добрива. Проте вони не були розподілені рівномірно, а лишилися насипами. Відповідні насипи й спровокували підвищений ріст топінambuру, а отже збільшили родючість. Протилежна картина спостерігається у точках, де було відсутнє органічне добриво, а рослини характеризуються низькорослістю і загальною кволістю.

На рис. 3.15 наводиться карта розподілу висот топінambuру у межах дослідної ділянки «Конони». Максимуми та мінімуми висоти топінambuру відповідають візуальним екстремумам, що приведені на рис. 3.13. На рис. 3.16 наводиться карта розподілу питомої магнітної сприйнятливості ґрунтів дослідної ділянки «Конони».

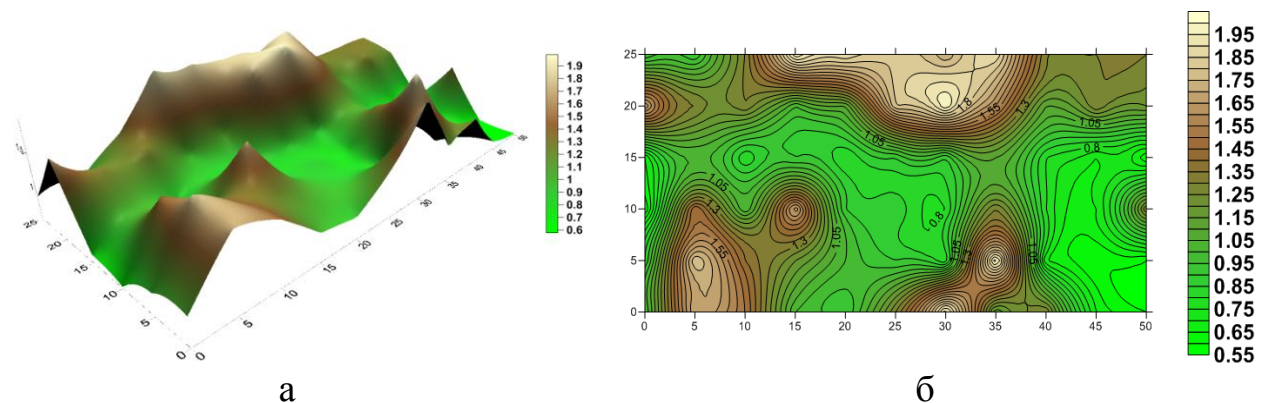


Рис. 3.15. Карта розподілу висот топінambuру (у метрах) у межах дослідної ділянки «Конони»: а – 3D поверхня, б – контурна карта.

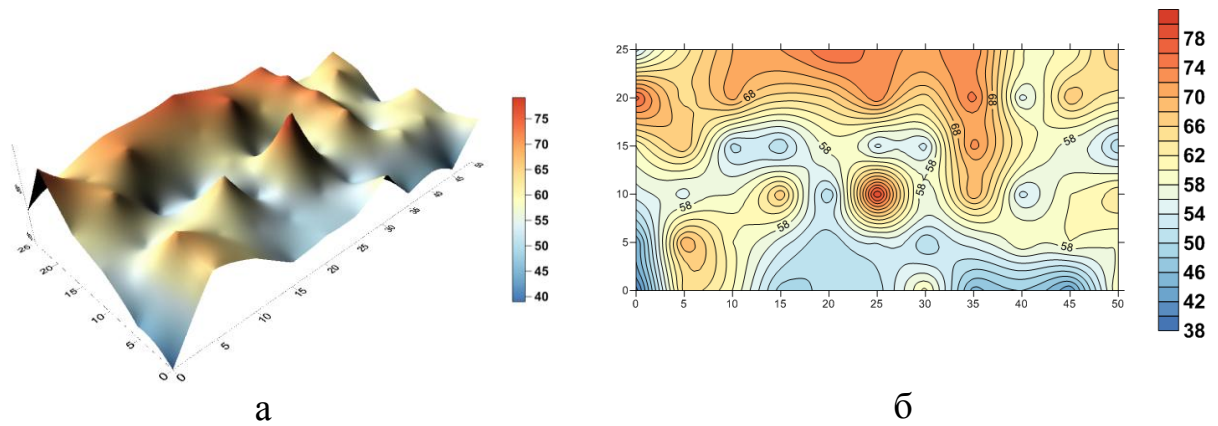


Рис. 3.16. Карта розподілу питомої магнітної сприйнятливості ґрунтів ( $\chi$ ,  $10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг) у межах дослідної ділянки «Конони»: а – 3D поверхня, б – контурна карта.

Аналізуючи результати магнітних досліджень зауважимо, що більшість аномалій магнітної сприйнятливості співпадають із аномаліями висоти топінambuру. При цьому, із збільшенням величини магнітної сприйнятливості зростає і висота рослин. Даний факт підтверджується результатами кореляційного аналізу (рис. 3.17).

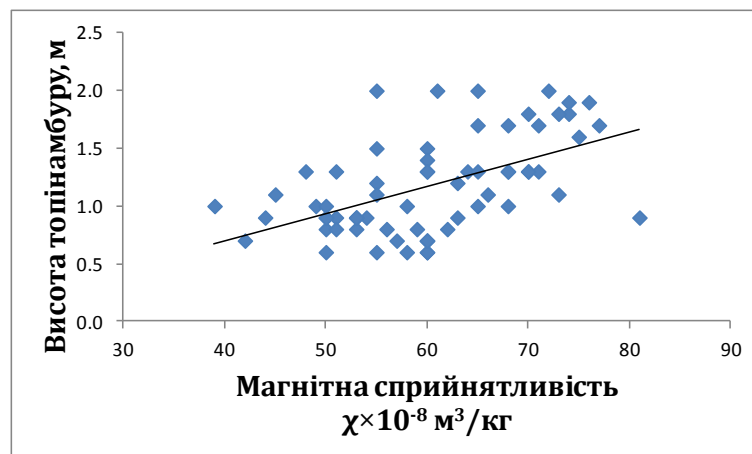


Рис. 3.17. Регресійна залежність між питомою магнітною сприйнятливістю ґрунтів  $\chi$  та висотою рослин топінambuру як індикатора родючості ґрунтів на прикладі дослідної ділянки Конони, Полтавська обл.

Коефіцієнт кореляції Пірсона між MS та висотою топінambuру складає 0,54, що є значимою величиною для вибірки  $N=66$  із імовірністю помилки  $p=0,05$  ( $r \geq 0,1954$ ) [164]. Основні статистичні показники для розподілів магнітної сприйнятливості та висоти рослин топінambuру наводяться у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5.  
Статистичні показники досліджуваних параметрів ділянки «Конони»

	<b>Магнітна сприйнятливість <math>10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}</math></b>	<b>Висота рослин, м</b>
<i>Кількість вимірів</i>	66	66
<i>Середнє</i>	60,2	1,2
<i>Максимальне</i>	81	0,6
<i>Мінімальне</i>	39	2,0
<i>Стандартне відхилення</i>	9,3	0,41
<i>Коефіцієнт варіації</i>	0,15	0,35
<i>Медіана</i>	60	1,1
<i>Кореляція</i>	0,54	

У той же час нами відмічені випадки невідповідностей зазначеним вище тенденціям, що у свою чергу значно зменшує значення коефіцієнту кореляції. Наприклад, у точках 40-50 профілів 10 та 15, а також точках 20-30 профілю 10 нами відмічено 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 даний факт впливом локальних пожеж, які мали місце в околі даних пікетів та знищували потенціал родючості топінambuру [154]. Згідно [259] процес деградації ґрунтів, що зазнали впливу пожежі, продовжується від одного року до десятиліть після пожежі, відбувається скорочення інфільтрації та збільшення стоку. Інтенсивні опіки мають згубний вплив на фізичні властивості ґрунту, знищують органічну речовину ґрунтів, ведуть до втрати структури, збільшення щільності, зниження пористості [147].

Розглянемо носії магнітного сигналу у дослідженому ґрунті. 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 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) або магеміт ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [154], що у роботі [193] визначаються як основні магнетики ґрунтів України. При превалюванні гематиту ґрунти є менш магнітними. У той же час вони можуть набути ознак сильно магнітного матеріалу під час формування магнетиту і магеміту у процесі протікання окисно-відновних реакцій у ґрунтах. Відповідні реакції згідно до [160] відбуваються під впливом пожеж на поверхні та всередині верхніх горизонтів ґрунтів та рослин, що їх вкривають. Зрозуміло, що іншим фактором може виступати антропогенний вплив на перерозподіл органічної речовини у ґрунтах, тобто вплив органічного добрива у нашому випадку. На рис. 3.18 наведено результати низькотемпературного термомагнітного аналізу магнітної сприйнятливості зразка верхнього родючого горизонту А.

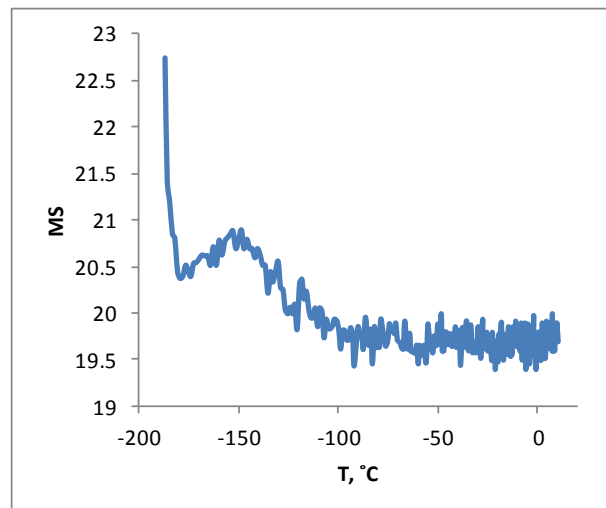


Рис. 3.18. Низькотемпературний аналіз магнітної сприйнятливості зразка верхнього гумусового горизонту А, ділянка Конони, Полтавська обл.

Отримані дані підтверджують зазначені вище закономірності щодо превалювання магнетиту педогенного походження на основі зафіксованого переходу Вервея близько  $150\text{ }^\circ\text{C}$ . На основі даного дослідження наявність

гематиту не зафіксовано. Крім того, низькотемпературний аналіз ізотермальної залишкової намагніченості (рис. 3.19) при 17 Е (а) та 34 Е (б) також ідентифікував лише магнетитову фазу на основі переходів Вервея в околі 125 К.

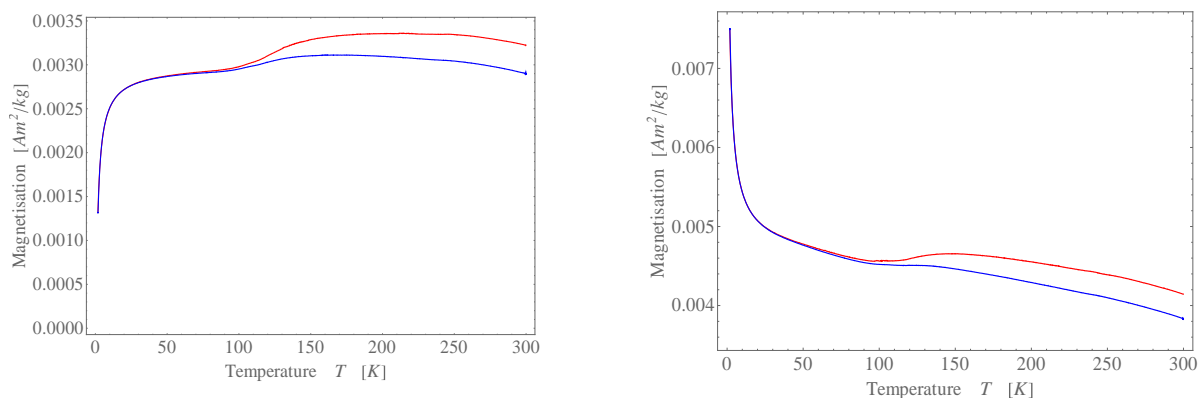


Рис. 3.19. Низькотемпературні залежності ізотермальної залишкової намагніченості горизонту А ґрунтового покриву ділянки Конони: а – крива знята при 17 Е, б – крива знята при 34 Е

Параметри петлі гістерезису та її форма (рис. 3.20) вказують на превалювання псевдооднородних зерен із домішками суперпарамагнітного та однодоменного матеріалу педогенної природи [237].

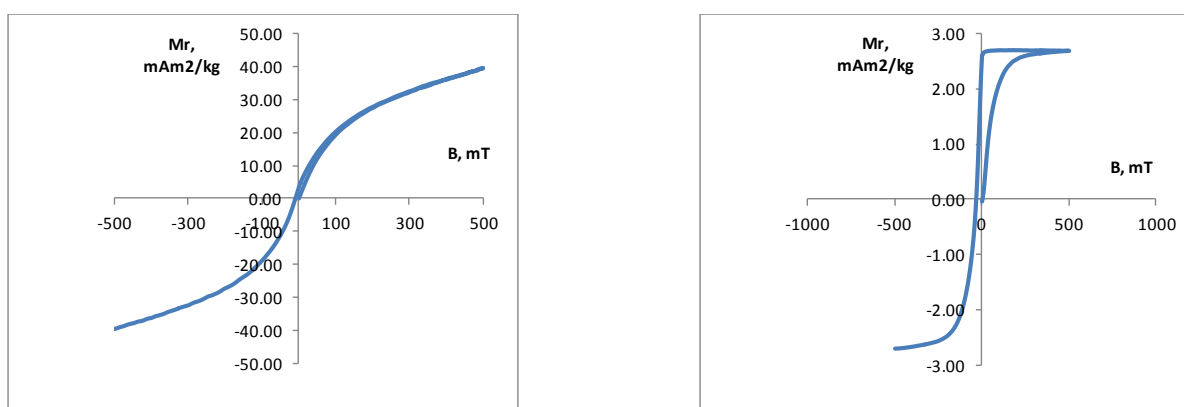


Рис. 3.20. Результати визначення намагніченостей верхнього гумусового горизонту А ділянки Конони, Полтавська обл., Україна: а – петля гістерезису, б – крива ізотермальної залишкової намагніченості.

### **3.4. Інформативність магнетизму ґрунтового покриву при дослідженні 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 ґрунтоутвірних порід, колоїди, кислотність, фізичні властивості та вміст хімічних елементів у ґрунтовому покриві [118].

Деякі із наведених вище 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 показники, а також вимірювалася магнітна сприйнятливість, відбиралися зразки для лабораторних досліджень питомої магнітної сприйнятливості та її частотної залежності. Було сформовано кілька виборок. Вміст рухомого фосфору  $P_2O_5$ , обмінного калію  $K_2O$  та азоту  $N_2O$  визначали за Чіріковим згідно ДСТУ 4115-2002 [91]. Рослинний покрив даної ділянки складений трьома асоціаціями: різнотравний тонконогово-валіськокострицевий лучний степ, наземнокуничникові остепненні луки, монодомінантні безостостоколові мікроасоціації.

Магнітна сприйнятливість сірих лісових ґрунтів дослідженої колекції 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. З метою якісного аналізу даних магнітних досліджень слід брати до уваги можливість техногенного забруднення території. У даному випадку воно відсутнє, що підтверджується значеннями частотної залежності магнітної сприйнятливості, які складають  $\chi_{fd}=6-9$ . Такі

величини згідно [299] характерні для незабруднених ґрунтів, для яких  $\chi_{fd}=3-11$  у більшості випадків. Крім того, **пряма залежність**  $\chi_{fd}$  від низькочастотної магнітної сприйнятливості ( $\chi_{fd}$  зростає, коли зростає і  $\chi_{lf}$ ) означає, що у зразках ґрунтів превалюють ультрадисперсні надтонкі суперпарамагнітні магнетики та одно доменні стабільні зерна, що формуються під час розвитку ґрунту (педогенез) (рис. 3.21).

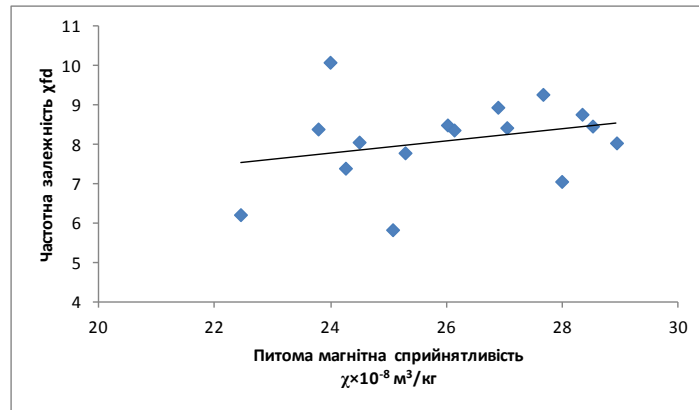


Рис. 3.21. Залежність  $\chi_{fd}$  від низькочастотної магнітної сприйнятливості  $\chi_{lf}$  для колекції незабруднених ґрунтів ділянки «Чабани»

Розглянемо детальніше статистичні зв'язки між магнітною сприйнятливістю та агрономічними показниками ґрунтів даної колекції. У табл. 3.6. наводяться статистичні показники для першої вибірки зразків.

Таблиця 3.6.

Статистичні показники досліджуваних параметрів для вибірки № 1 зразків ділянки «Чабани»

	MS $\chi \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$\chi_{fa}$	Вміст $\text{P}_2\text{O}_5$ мг/100г	Вміст $\text{Na}_2\text{O}$ мг/100г	Вміст $\text{K}_2\text{O}$ мг/100г
<i>Середнє</i>	25,9	7,7	17,7	14,2	20,1
<i>Максимальне</i>	28,9	8,9	24,4	15,5	24,0
<i>Мінімальне</i>	22,4	5,8	13,9	12,3	16,0
<i>Стандартне відхилення</i>	1,8	0,9	3,7	0,8	2,1
<i>Медіана</i>	26,1	8,2	16,5	14,5	20,5
<i>Кореляція з MS</i>	-	0,3	-0,10	-0,01	-0,77

Як видно з таблиці 3.6. значущі величини кореляційного зв'язку зафіксовані між магнітною сприйнятливістю та вмістом обмінного калію  $K_2O$  (-0,77). Такий коефіцієнт кореляції Пірсона є значимою величиною для вибірки  $N=31$  із імовірністю помилки  $p=0,05$  ( $r \geq 0,2960$ ) [164]. На рис. 3.22 наводиться регресійна залежність між питомою магнітною сприйнятливістю ґрунтів та вмістом у них обмінного калію  $K_2O$ . Зауважимо, що дані ґрунти високо забезпечені калієм. Вміст даної сполуки у ґрунтах залежить від режиму використання аграрного поля: пар або оранка. Крім того, залежить від пори року, шарів ґрунту та їх енергетики. У такому випадку магнітні методи можуть суттєво спрощувати та здешевлювати необхідні процедури із моніторингу стану та родючості ґрунтового покриву порівняно із існуючими методиками контролю стану земель [23].

Існування кореляційних зв'язків між магнітними параметрами та саме калійвмісними сполуками можна пояснити наступним чином. Мінерали, що знаходяться в глинистих ґрунтах, володіють дещо більшою розчинністю, ніж мінерали піщаних ґрунтів.

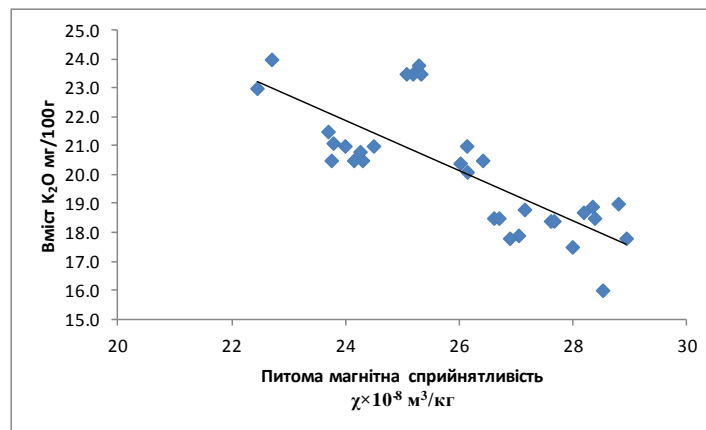


Рис. 3.22. Регресійна залежність між питомою магнітною сприйнятливістю ґрунтів  $\chi$  та вмістом у них обмінного калію  $K_2O$  для вибірки № 1 дослідної ділянки Чабани, Київська обл.

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. [133]. Природа походження глинистих мінералів та магнітної сприйнятливості ґрунтів може залежати одночасно від впливу підстилаючих материнських порід та внесення відповідних добрив. При цьому характерними магнетиками часто виступають магнетит та магеміт. Аналіз таких глинистих мінералів як ілліт, хлорит, каолініт, смектит підтверджує, що їх наявність у складі ґрунтів найчастіше залежить від вмісту магнітних мінералів (у першу чергу магнетиту та магеміту), що може легко фіксуватися магнітними вимірюваннями та завірятися результатами геохімічних аналізів [224]. 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 у більшій мірі смектиту) проявляється у зниженні кількості ферімагнітного магнетиту в ґрунтах з високим вмістом активних глинистих мінералів. У ґрунтах з однорідним складом глинистих мінералів кількість високомагнітного магнетиту знижується по мірі обважнення гранулометричного складу [20].

Далі розглянемо статистичні залежності між магнітною сприйнятливістю та вмістом у ґрунтах важких металів, а також гумусу та кислотно-лужним балансом для вибірки № 2 дослідної ділянки «Чабани» (табл. 3.7).

Таблиця 3.7.  
Статистичні показники досліджуваних параметрів для вибірки №2 зразків ділянки «Чабани»

	MS $\chi \times 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	Гумус %	pH	Mn мг/ кг	Cu мг/ кг	Zn мг/ кг	Cd мг/ кг	Pb мг/ кг
<i>Середнє</i>	42	3,7	6,0	81	3,1	4,5	0,2	5,0
<i>Максимальне</i>	58	4,9	7,2	97	3,4	6,4	0,4	6,2
<i>Мінімальне</i>	31	3,1	4,2	57	2,6	4,0	0,2	0,5
<i>Стандартне відхилення</i>	5,5	0,45	0,6	8,6	0,3	0,6	0,07	1,1
<i>Медіана</i>	41	3,6	6,0	83	3,4	4,6	0,2	5,0
<i>Кореляція з MS</i>	-	0,73	-0,67	0,72	-0,4	-0,1	-0,04	-0,01

Кислотно-лужний баланс визначали за ДСТУ ISO10390:1994, вміст гумусу за ДСТУ 4289:2004, вміст важких металів згідно до ДСТУ 4362:2004. Кореляція між вмістом важких металів у ґрунтах та магнітною сприйнятливістю є визначальним фактором при вивченні забруднених ґрунтів. У нашому випадку ми маємо справу із колекцією незабруднених чистих ґрунтів. Вміст усіх важких металів знаходиться у межах фонових значень. Показовим фактором є фактична відсутність кореляційного зв'язку між магнітною сприйнятливістю та вмістом свинцю (Pb) та цинку (Zn). Зауважимо, що за умови техногенного забруднення кореляція між MS та вмістом Pb та Zn може досягати 0,9 [301]. Наявність кореляційного зв'язку із вмістом міді на нашу думку у даному випадку не є показовим. Мова йде про те, що високі коефіцієнти кореляції між вмістом міді та підвищеними значеннями магнітної сприйнятливості справді добре відомі, проте спостерігаються найчастіше у випадках техногенного забруднення ґрунтів [153], про що йдеться в іншому розділі дисертаційної роботи.

Отже, вміст свинцю є природним фоном і не пов'язаний із техногенним навантаженням. З іншого боку зафіксований значущий коефіцієнт кореляції з марганцем. Зауважимо, що у даному прикладі більше значення мають кореляційні зв'язки, які безпосередньо пов'язані із продуктивністю та родючістю ґрунтів згідно до ДСТУ 4362:2004. Нами відмічаються високі коефіцієнти кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістом гумусу, рН, марганцю та. Усі зазначені закономірності наведені на рис. 3.23. Отримані коефіцієнти кореляції Пірсона є значимими для вибірки N=22 із імовірністю помилки  $p=0,05$  ( $r \geq 0,352$ ) [164].

Магнітна сприйнятливість вибірки змінюється у межах:  $\chi=30-60 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Це середні за ступенем свого магнетизму ґрунти. Розглянемо більш детально залежності магнітної сприйнятливості та деяких агрономічних показників на прикладі вибірки № 2. 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 їх гетерогенність, тобто наявність різних за стадією гуміфікації, молекулярною масою, хімічним складом і властивостями компонентів.

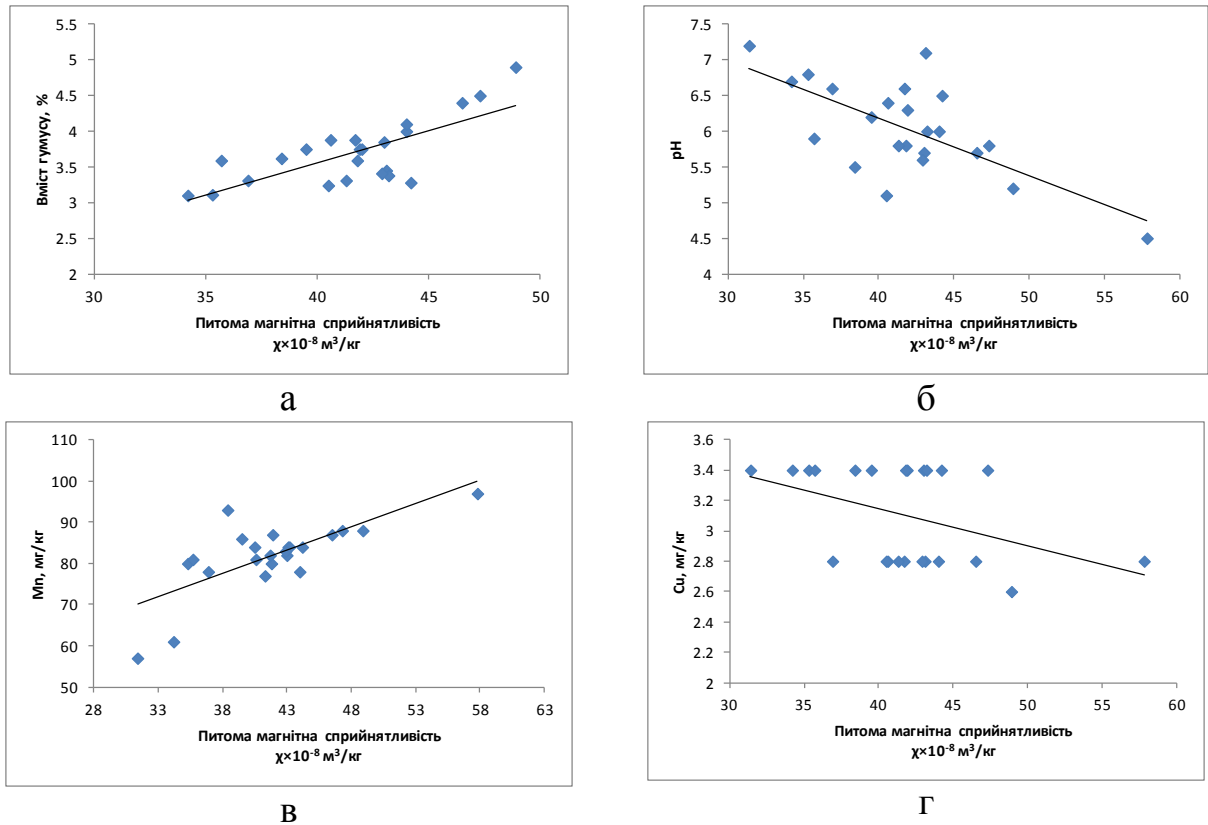


Рис. 3.23. Регресійні залежності між питомою магнітною сприйнятливістю ґрунтів  $\chi$  та показниками родючості ґрунтів (а – вмістом гумусу, б – рН сольової витяжки), а також вмістом важких металів (в – марганцю, г – міді) для вибірки № 2 дослідної ділянки Чабани, Київська обл.

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 [92]. 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 [183]. 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. Коли доступні ресурси елемента обмежені, листки бліднуть і ділянки між жилками набувають жовтого та (або) сірувато-зеленого забарвлення. Для нормального росту та розвитку рослин вміст марганцю в їх тканинах повинен становити 30-50 мг/кг. Нестача елемента часто є тимчасовою через несприятливі погодні та ґрунтові умови. Листкове підживлення є найбільш ефективним заходом для швидкого забезпечення рослин необхідною кількістю елемента. 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). [88]. 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 [20]. У ряді випадків у ґрунтах визначаються не тонкі кристали магнетиту педогенного походження, а дрібні кульки шпінелей розміром 0,05-0,1 мкм. Дані кульки звичайно включають марганець, а з більш великими кульками (атмосферного космічного або техногенного походження) їх поєднує хімічний склад.

### **3.5. Приклад дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву для розв'язання аграрних завдань за межами України.**

Для більш глибокої інтерпретації та верифікації результатів наших досліджень магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні аграрних

завдань, що наведені вище, пропонуємо розглянути декілька прикладів подібних досліджень, що проводилися за межами України.

Перший приклад ілюструє дослід, який виконувався у межах аграрних земель поблизу м. Софія, Болгарія, на північний захід від міста [196]. Особливістю даного прикладу було вивчення інформативності магнетизму ґрунтів при дослідженні ерозійних процесів у сильно магнітних ґрунтах. Дослідний полігон площею 0,84 га являв собою територію сільськогосподарського виробництва. В основу дослідження було покладено ідею, що ерозійні процеси під час обробітки земель мають відобразитися у зміні магнітної мінералогії ґрунтів, а саме морфологічних ознаках, розмірах зерен із врахуванням джерел появи магнетиків у продуктивних сільськогосподарських ґрунтах. Сконцентруємо нашу увагу на дослідженні саме феромагнітного матеріалу у середині еродованих ґрунтів. Загальна карта розподілу магнітної сприйнятливості дослідного полігону наведена на рис. 3.24. Ґрунти представлені чорними глинистими вилугуваними ґрунтами (leached vertisol за класифікацією ФАО), що розвинені на вулканогенних осадових гірських породах. При цьому, у структурі ґрунтів спостерігався уламковий кристалічний матеріал.

Визначальною і важливою особливістю даного дослідження стало те, що картина розподілу магнітної сприйнятливості стала протилежною до українських прикладів. Мова йде про підвищення значень MS у схилій частині ділянки, яка одночасно піддавалася найбільшому аграрному обробітку. Пояснюється даний факт переважанням літогенного (привнесеного) характеру магнетизму ґрунтів від кристалічних гірських порід над ультрадисперсними магнетиками педогенного походження. Відповідні результати підтверджують і вимірювання термомагнітних параметрів, частотної залежності магнітної сприйнятливості та ізотермальної залишкової намагніченості. Так, термомагнітні криві характеризують для усіх зразків (ґрунти та нижні горизонти ґрунтового профілю) наявність

схожих джерел магнітного сигналу. Це свідчить про розподіл літогенних магнетиків уздовж усього профілю ґрунту. Подальші експерименти вказують на присутність у ґрунті титаномегнетиту (табл. 3.7). Результати аналізу одиничних зерен, які приведено у даній таблиці, допомагають фіксувати титан  $Ti^{4+}$  та марганець  $Mn^{4+}$ , що якраз і є твердим розчином ( $Fe_3O_4-FeTiO_3$ ) – титаномангнетит.

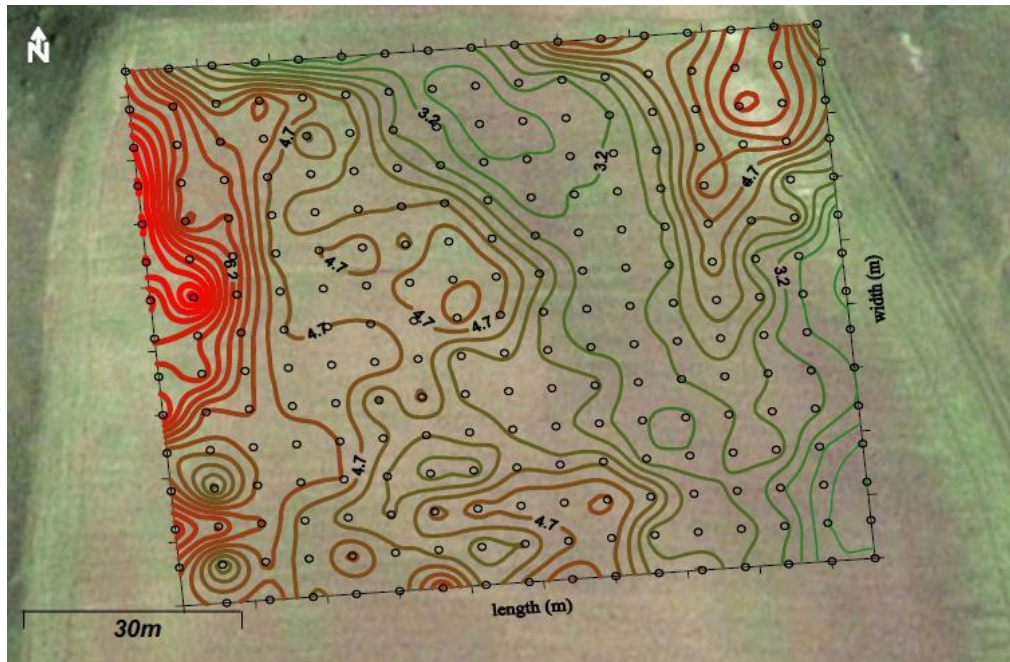


Рис. 3.24. Розподіл магнітної сприйнятливості у межах дослідного полігону поблизу м. Софія, Болгарія. Чорні точки – пункти відбору зразків, червоні ізолінії – максимуми MS, зелені ізолінії – мінімуми MS. Карта ізоліній накладена на кольорове зображення ґрунтового покриву [196].

Зображення результатів дослідження електронним мікроскопом відповідних сильно магнітних зерен у ґрунтах наводиться на рис. 3.25. Вони підтверджують наведені вище дані, а також доповнюють їх наявністю у складі ґрунтів гематиту.

Авторами запропонований новий параметр для оцінки ерозії ґрунтів при превалюванні літогенного характеру магнетизму на основі сильно

магнітних сполук –  $\Delta\chi$  (різниця магнітної сприйнятливості крупно- і дрібнозернистої механічної фракції ґрунтів).

У таблиці 3.7. наведено елементний склад кристалічних зразків з рис. 3.25 за [196], які є основою літогенного харатеру магнетизму еродованих ґрунтів даного прикаду.

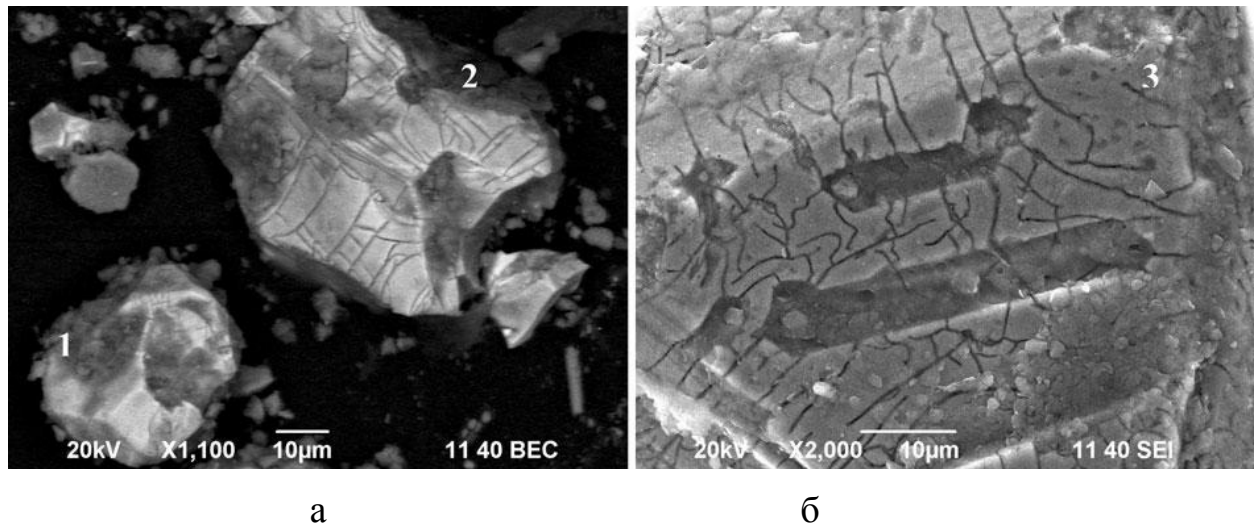


Рис. 3.25. Мікрофотографії електронним мікроскопом сильно магнітних зерен зразків ґрунтів у межах дослідного полігону поблизу м. Софія, Болгарія.: а – первинний, б – вторинний електронний режими [196].

Таблиця 3.7

Елементний склад досліджених кристалічних зразків, що формують літогенний характер магнетизму ґрунтів дослідного полігону поблизу м. Софія, Болгарія за [196]

№ зразка	Вміст елементі у % від загальної ваги зерна			
	<i>Кисень, O</i>	<i>Титан, Ti</i>	<i>Марганець, Mn</i>	<i>Залізо, Fe</i>
1	34,58	2,51	2,42	60,23
2	18,07	4,69	2,36	74,87
3	30,25	2,68	2,59	64,48

Даний приклад вказує на те, що при близькості кристалічного фундаменту до поверхні методологія використання інформативності магнетизму ґрунтового покриву для картування деструктивних явищ у продуктивних аграрних землях має носити кардинально інший характер ніж при вивченні ґрунтів, що розповсюджені над глибокозалягаючим кристалічним фундаментом. Літогенні кристалічні фракції визначають магнітний сигнал у ґрунті, такі фракції можуть накопичуватися як уздовж усього профілю ґрунту, так і у межах схилу, де спостерігається одночасне підвищення магнітної сприйнятливості за рахунок накопичення уламкового матеріалу та підвищення еродованості ґрунту за рахунок деструктивного впливу процесів обробітку землі.

### **Висновки до розділу 3.**

Конкретні приклади застосування магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні ґрунтознавчих та аграрних завдань визначили високу інформативність методу. Доведено тісний генетичний зв'язок між носіями магнітного сигналу у середині ґрунтів та показниками їх родючості, продуктивності, деградації, ерозією, вмістом органічних та неорганічних речовин, фізико-хімічними показниками. На основі вимірювання магнітної сприйнятливості та комплексування з іншими магнітними параметрами стає можливим проводити картування продуктивних аграрних земель та природних ландшафтів із використанням експресної, високоефективно та низьковартісної технології. Підвищення якості магнітних досліджень можливе за рахунок комплексування із ґрунтознавчими та агрономічними процедурами та визначеннями. Висока інформативність магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні ґрунтознавчих та аграрних завдань є базисною основою для використання методу в інших сферах народного господарства, що розглядатиметься нижче. Магнітний метод є ефективним при екосистемному сервісі ґрунтового покриву.

## **РОЗДІЛ 4**

### **ІНФОРМАТИВНІСТЬ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТІВ ТА ПИЛОВИХ ФРАКЦІЙ ПРИ КОНТРОЛІ ТА МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ**

#### **4.1 Інформативність магнітних методів при контролі забруднення атмосфери**

Однією із складових ґрунтів є наявна в їх складі пилова фракція, яка у ряді випадків переноситься у повітряному басейні. До складу такої фракції входить ряд сполук, які визначають з одного боку їх магнітність, а з іншого є індикаторами забруднення атмосфери. При цьому так звані частинки PM10 (розміром менше за 10 мкм) переносяться у повітрі та з легкістю потрапляють у середину організму людини, що спричинює тяжкі захворювання, починаючи від легневих з подальшими ускладненнями в усьому організмі. Накопичений досвід свідчить про високу інформативність магнітних методів при вивченні таких пилових фракцій, що дозволяє локалізувати місця найбільшого техногенного навантаження та картувати райони забруднення мегаполісів та урбанізованих територій. Крім того, існує ряд методичних підходів для відбору пилового матеріалу, що переноситься в атмосфері. Один метод було розроблено нами та запатентовано у ході підготовки дисертаційної роботи [68]. Методологічні особливості та фізичні основи запропонованого підходу детально розглянуто у розділі 2.

Нижче, зупинимося на прикладах вивчення інформативності магнетизму пилових фракцій для контролю забруднення довкілля та проведемо комплексну інтерпретацію отриманих результатів. Зауважимо, що у межах даного підрозділу ми не розглядаємо забруднення власне ґрунтового покриву, а повернемося до неї окремо в іншому підрозділі дисертації.

*Досвід дослідження пилових фракцій атмосферного повітря магнітними методами за межами України.*

Дослідження проводилися у кількох точках в околиці м. Цюрих, Швейцарія, а для оцінки незабруднених фонових територій використовувалися дані з м. Ньюшател, Швейцарія [287]. Для інтерпретації матеріалів усі зображення та матеріали були нам люб'язно надані доктором Сімо Спасовим, завідуючим Лабораторії магнетизму навколишнього середовища Геофізичного Центру Королівського Метеорологічного Інституту, Дурб, Бельгія, з яким кафедра геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка проводить спільні дослідження у галузі магнетизму оточуючого середовища. Зразки пилових фракцій повітря відбиралися за допомогою стаціонарних пунктів спостережень. Інформація з цих станцій у режимі моніторингу надходить у комп'ютерну мережу, де її аналізують фахівці. Власне обладнання (рис. 4.1) представлене системою скловолоконних фільтрів діаметром 15 см (Ederol, MG 227/1/60) та збирачем повітря високого об'єму (до 720 м<sup>3</sup> щодня) з можливістю розбраковки за розмірами фракцій у зразках (Digitel DHA-8). Контролює процес та обробляє матеріали федеральна компанія Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research.

Було вивчено ряд магнітних параметрів, включаючи безгістерезисну (ідеальну) намагніченість (ARM), параметри петлі гістерезису для PM10 зразків з метою пошуку взаємозв'язку із концентрацією специфічного забруднюючого матеріалу. Визначено декілька груп пилових фракцій з носіями магнітного сигналу та забруднювачами різного генезису (рис. 4.2). Магнітний внесок першої частини магнетиків є пропорційним до вмісту PM10 частинок, що визначалося за допомогою хімічних досліджень. Друга група носіїв магнетизму у повітряному басейні домінувала у зразках з менш забруднених територій Швейцарії. Відзначено високий ступінь кореляції між

магнетиками пилових фракцій та вмістом заліза, міді, молібдену, бромю (у ряді випадків коефіцієнт кореляції досягав 0,998).

На рис. 4.3 наведені зображення деяких небезпечних частинок, що переносяться у повітряному просторі, забруднюють навколишнє середовище та призводять до тяжких захворювань людей, особливо дітей, проникаючи через органи дихання в організм.



Рис. 4.1. Стационарное оборудование геофизической обсерватории для контроля загрязнения атмосферного воздуха в Швейцарии

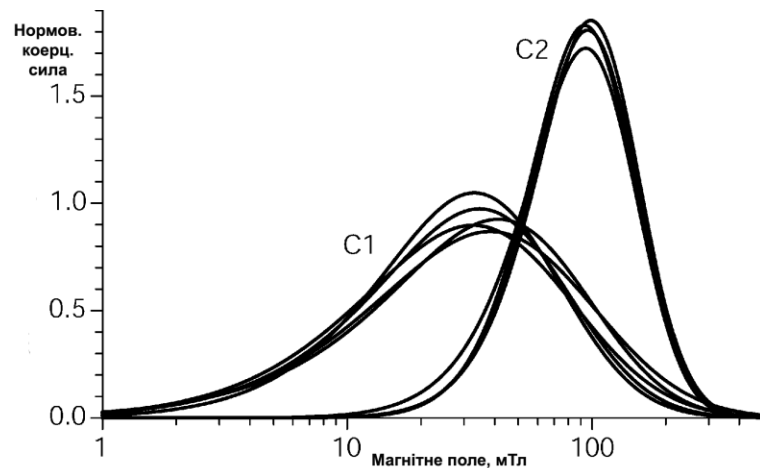


Рис. 4.2. Розподіл коерцитивної сили для двох вибірок магнітного матеріалу пилових фракцій C1 та C2, Цюріх, Швейцарія [287].

Атмосферні частинки розміром менше за 10 мкм проникаючи до легенів викликають запальні процеси на клітинному рівні. При цьому такі важкі метали як залізо, мідь, нікель, ванадій біологічним чином накопичуються в організмі [146].

На прикладі Швейцарії було досліджено дві групи зразків. Концентрація магнетиків у групі C1 показала високу кореляцію з вмістом PM10 частинок, джерелом яких стало спалювання вугілля, газу і т.д., у той час як для групи C2 визначено зв'язок лише із забруднювачами від вихлопів автотранспорту. Дві групи зразків ідентифікують можливість переносу різних магнітних частинок на велику відстань. Тобто, більш тонкі магнітні частинки можуть переноситися далі від власне джерела забруднення і акумулюватися у відносно чистих екосистемах [165].

Таким чином, у межах даного прикладу нами показана висока інформативність магнітного методу для дослідження забруднення атмосфери. Проте, на нашу думку, він містить один суттєвий методологічний недолік, який полягає у складності процесу відбору матеріалу. Мова йде як про громіздку та вартісну систему власне насосного та фільтраційного обладнання, так і про обмеженість мережі спостережень лише стаціонарними

пунктами. З метою уніфікації процесу відбору зразків пилових фракцій нами було розроблено ряд підходів, які проілюструємо далі.

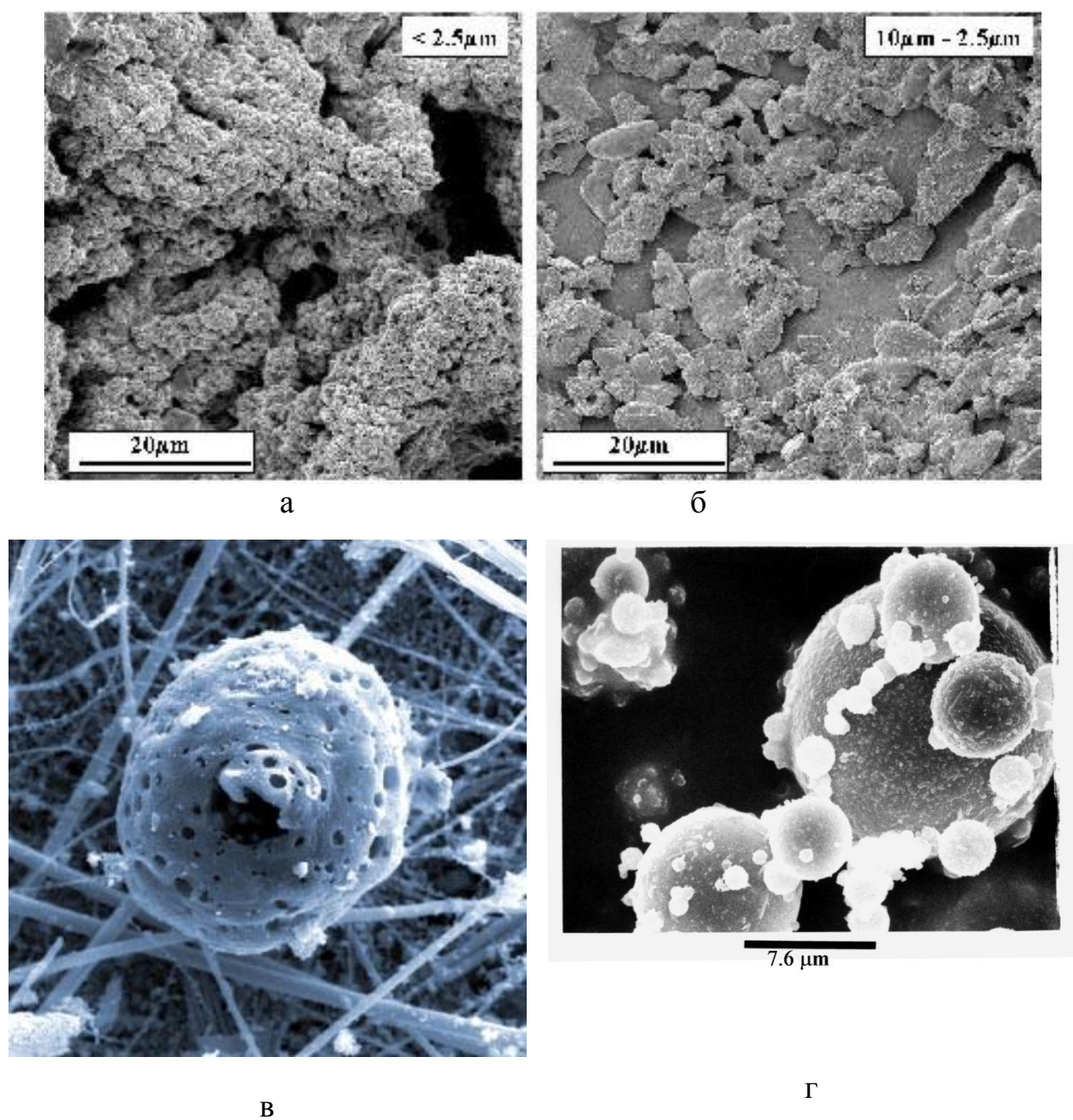


Рис. 4.3. Частинки, що накопичуються у пилових фракціях атмосферного повітря: а – автомобільні вихлопи, б – зерна мінералів та біогенні частинки, в – збільшення частинок у 1000 разів, г – летюча зола

**Спосіб атмомагнітного контролю забруднення повітряного простору на прикладі м. Київ.**

Завдання оптимізації процесу відбору дослідного матеріалу для подальших магнітних досліджень було реалізовано нами шляхом використання у якості накопичувача пилової фракції атмосферного повітря скляної віконної поверхні. На основі даного винаходу отримано патент [68]. 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 магнітної сприйнятливості ґрунтів. Магнітна сприйнятливість природних матеріалів у першому наближенні є показником інтегрального вмісту у зразках феромагнітної, антиферомагнітної, ферімагнітної, парамагнітної та діамагнітної компоненти [294].

Результати дослідження на прикладі шістнадцятиповерхового будинку, що розташований на вул. Миропільській, м. Київ, наведено на рис. 4.4.

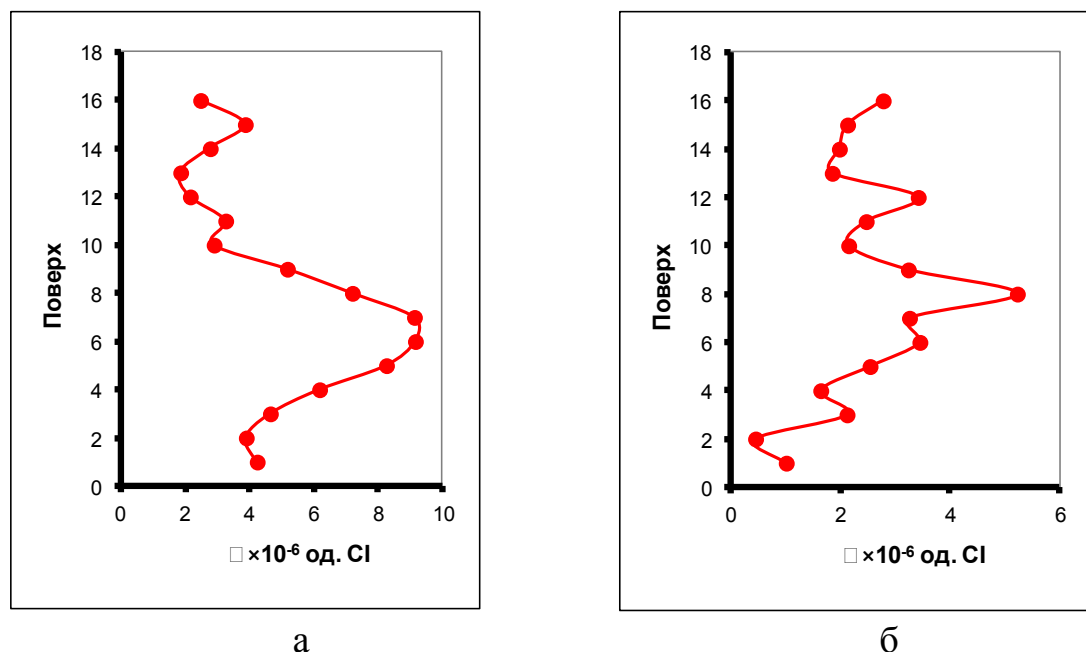


Рис. 4.4. Розподіл магнітної сприйнятливості зразків пилових фракцій атмосферного повітря залежно від висоти житлового будинку по вул. Миропільська, Київ: а – розподіл у бездощовий період, б – розподіл у період впливу дощу

Відбір пилової фракції проводився двічі з віконних поверхонь на кожному поверсі уздовж одного прольоту. Перший відбір виконувався під час тривалого бездошового періоду. Другий відбір було проведено після періоду дощів за такою ж схемою. Дані вікна орієнтовані у бік проїжджої частини з інтенсивним автомобільним трафіком та трамвайною лінією. Крім того, поблизу сконцентровані кілька підприємств хімічної промисловості та теплоелектростанції.

Абсолютні величини об'ємної магнітної сприйнятливості при атмомагнітних дослідженнях є менш показовими у порівнянні із їх відносними змінами. Абсолютні показники засвідчують лише достатність інструментальної чутливості, у даному випадку капаметру KLY-2. Відносні зміни показників несуть більш значущу інформацію, оскільки ілюструють зміни концентрації магнітної речовини у пиловій фракції, яка знаходиться у зв'язку із вмістом важких металів. У нашому випадку зафіксовано підвищення значень об'ємної магнітної сприйнятливості ( $\square$ ) на рівні 5-7 поверхів. При чому відповідна тенденція фіксується як у бездошовий 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 у описі до патенту [68].

У продовження відповідних досліджень було проведено експерименти на вул. Бережанській та пр. Лісовому (рис. 4.5). Схема досліду була подібною до описаної вище. Як видно з рисунку, на дисперсію магнітної сприйнятливості впливають опади, що знижують і абсолютні значення  $\square$ . Висота найбільшого переносу небезпечних матеріалів за магнітною

сприйнятливість зафіксована нами на висоті близько 15 м. для вул. Бережанської та 20 м. для пр. Лісового.

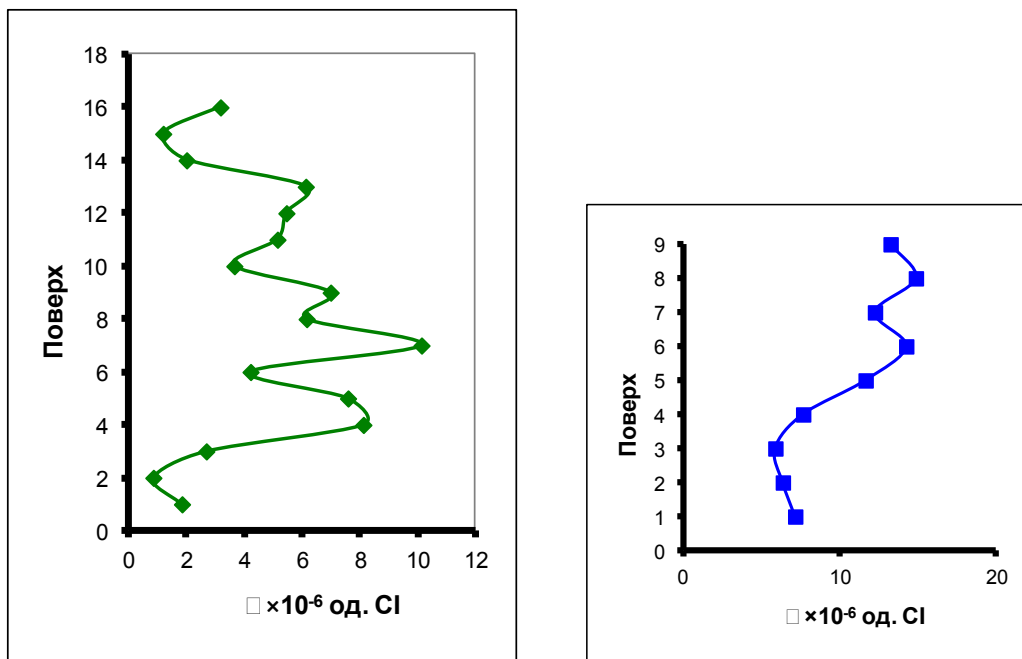


Рис. 4.5. Розподіл магнітної сприйнятливості зразків пилових фракції атмосферного повітря залежно від висоти житлового дому у м. Київ: а – розподіл у період впливу дощу, вул. Бережанська, б – розподіл у бездощовий період, пр. Лісовий.

Для більш детального аналізу інформативності магнітних методів при вивченні атмосферного забруднення залежно від географічних координат розглянемо рис. 4.6. Дослід було проведено у трьох пунктах спостережень: поблизу станції метро Либідська, с. Плесецьке та ДВРЗ, Київ. Для дослід було обрано приватні будинки з виходом вікон у різних напрямках. Зафіксовано залежність магнітної індикації загального забруднення атмосфери у кожному випадку окремо від географічної орієнтації. Так, для будівлі поблизу станції метро Либідська найвищі значення зафіксовані у західному напрямку, що відповідає автодорозі, у той час як мінімальне значення фіксується у північному напрямку, де вікна виходять у бік

приватного сектору. Подібні тенденції фіксуються і для ДВРЗ, проте спостерігається підвищення абсолютних величин □.

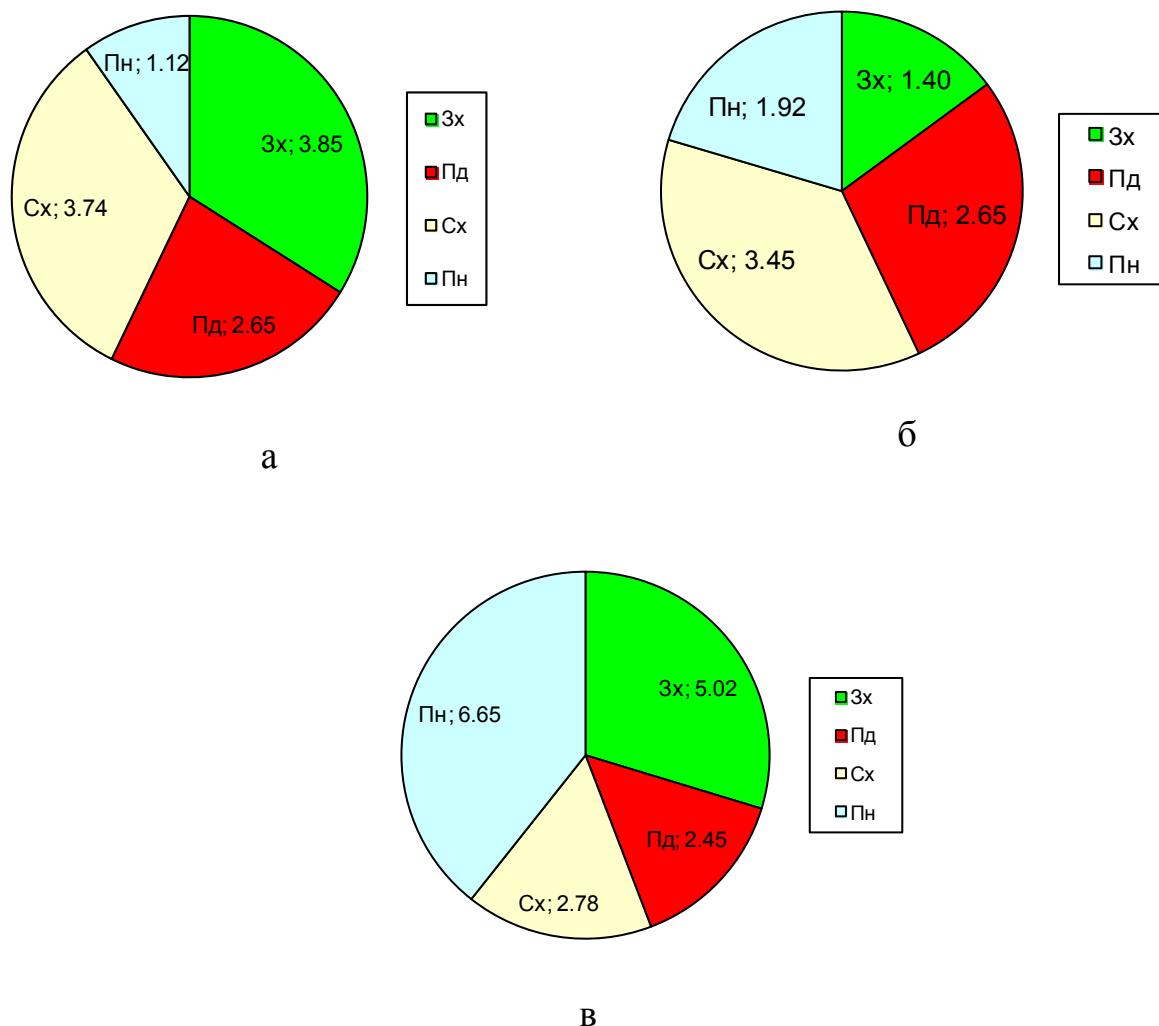


Рис. 4.6. Залежність магнітної сприйнятливості пилових фракцій атмосферного повітря від географічних координат: а – станція метро Либідська, Київ, б – с. Плесецьке, в – ДВРЗ, Київ

Загалом у межах Києва та його околиць було опробовано близько 40 точок. Навіть такі рекогносцирувальні дослідження, що не мали на меті забезпечення виробничих об'ємів спостережень перевищили за розгалуженістю мережі кількість стаціонарних постів Центральної Геофізичної Обсерваторії у м. Києві, що вказує на високий потенціал моніторингу забруднення повітряних басейнів урбанізованих територій на основі магнітних вимірювань.

На рис. 4.7. наведена гістограма розподілу значень магнітної сприйнятливості пилових фракцій для усіх точок досліджень у місті Києві та околицях. Розподіл логнормальний, ліва асиметрія найбільш імовірних значень лежить у межах:  $\bar{x}=1-4 \times 10^{-6}$  од. СІ. Права асиметрія розподілу з найбільш екстремально високими значеннями ( $\bar{x}$  досягає  $12-16 \times 10^{-6}$  од. СІ) відноситься до Куренівки, поруч із трамвайною лінією.

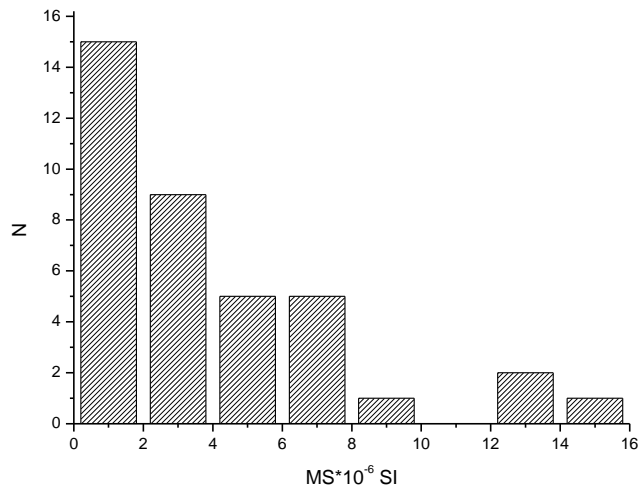


Рис. 4.7. Гістограма розподілу значень магнітної сприйнятливості пилових фракцій для усіх точок досліджень у місті Києві та околицях

Загальним чином у більшості точок м. Києва загальне забруднення перевищує норму і відповідна тенденція спостерігається у режимі моніторингу [6], що несе значущу небезпеку для усього столичного населення [17]. Для ілюстрації наводимо діаграму розподілу індексу загального забруднення атмосфери Києва (рис. 4.8.) у точках стаціонарних постів Центральної Геофізичної обсерваторії у липні 2010 р. Фактично для усіх точок спостерігається перевищення гранично допустимих норм, окрім паркової та приватної зони (Експоцентр, Гідропарк, Лазо, Науки).

Основними магнетиками досліджених зразків пилових фракцій можуть бути магнетит, магеміт, а також у деяких випадках гематит у псевдооднодоменній (PSD) та мультидоменній (MD) фазі, що свідчить про їх

техногенне походження і високу імовірність генетичного зв'язку із важкими металами у PM10 стані [303].

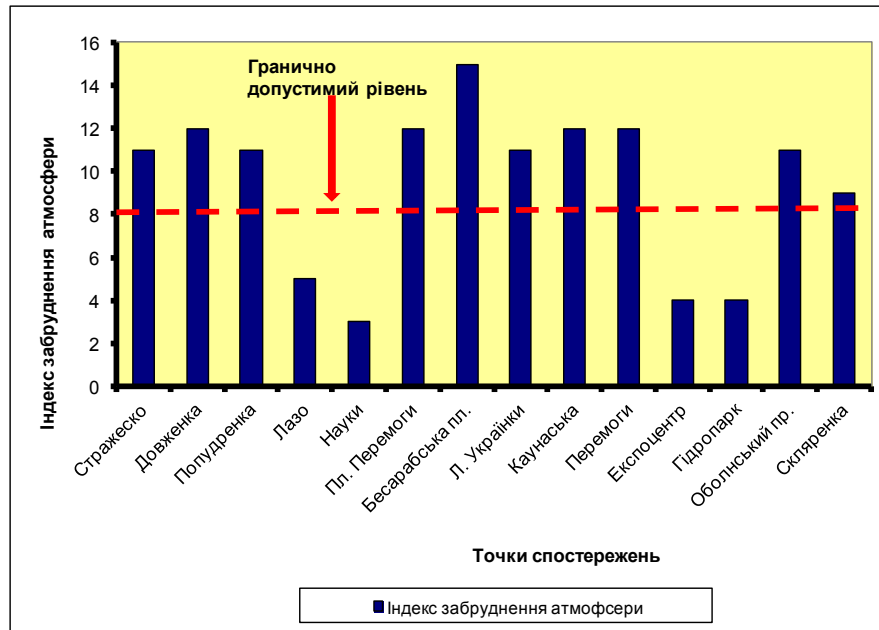


Рис. 4.8. Діаграма розподілу індексу загального забруднення атмосфери Києва у точках стаціонарних постів Центральної Геофізичної Обсерваторії (за її даними) у липні 2010 р.

Для підвищення якості інтерпретації даних, що наведені вище для міста Києва скористаємося закордонним досвідом аитмормагнітних досліджень. Частинки, що викидаються автомобільним транспортом та генеровані під час згорання палива можуть бути діаметром від 2 до 20 мкм. При чому, магнетит та магеміт превалюють у магнітом'якій фазі, а гематит є магнітожорстким матеріалом. За таких умов коефіцієнти кореляції магнітної сприйнятливості із вмістом важких металів найчастіше перевищують: 0,8 – для заліза, цинку та хрому, 0,7 – для марганцю та міді, 0,6 – для свинцю та нікелю [172]. Пиліві фракції атмосферного повітря складаються з двох морфологічно відмінних магнітних фракцій: ідіоморфні частинки неправильної форми літогенного походження; магнітні сферули техногенного походження. Їх зображення наведене на рис. 4.9 за даними [172]. Зауважимо, що при дослідженні магнітного сигналу в зразках пилових фракцій атмосферного

повітря окрім техногенного навантаження на урбанізовані території слід враховувати й привнесений літогенний магнітний матеріал, що характеризується кардинально іншим генезисом.

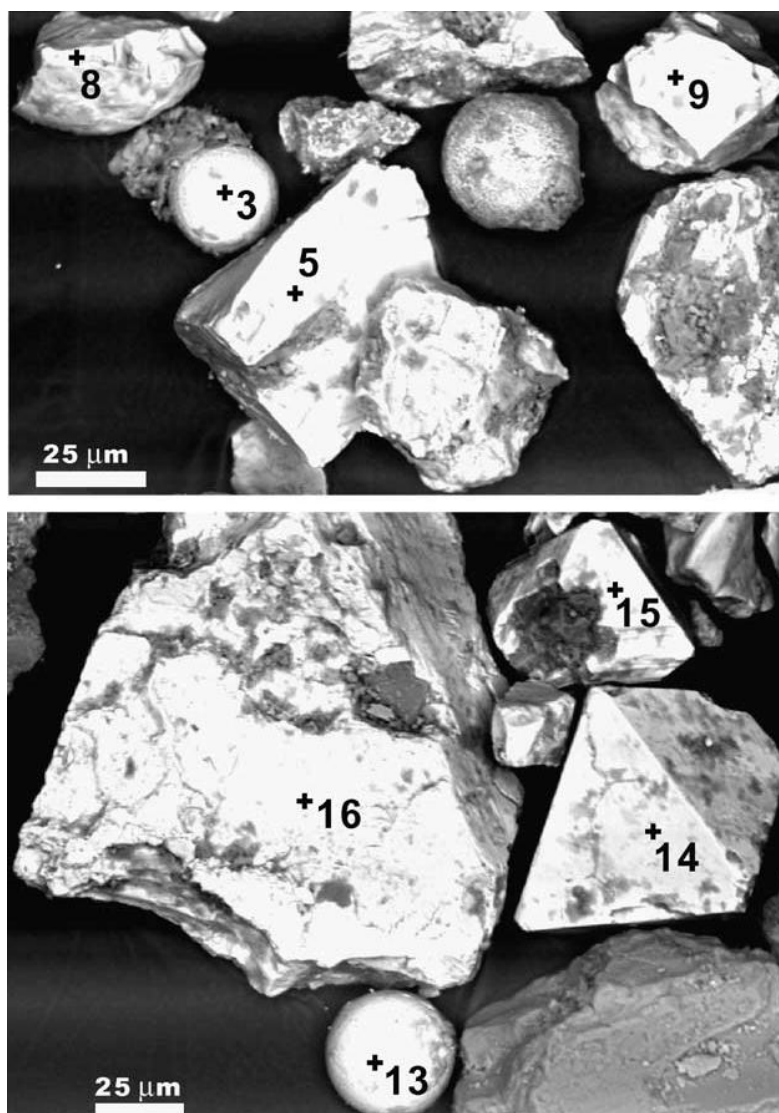


Рис. 4.9. Зерна магнетиків за результатами дослідження електронним мікроскопом пилових фракцій атмосферного повітря отримані [172]. 3 та 13 – магнітні сферули техногенного походження, 5, 8, 9, 14, 15, 16 – ідіоморфні частинки неправильної форми літогенного походження

Вважається, що саме з вмістом PM<sub>10</sub> (10 мкм) частинок пов'язується збільшення рівня смертності серед людей від серцево-судинних та респіраторних захворювань. Рівень летальних випадків зростає на 0,5-0,6 % при зростанні вмісту PM<sub>10</sub> частинок на 10 мкг на кубічний метр повітря.

Отже, запропонований атмомагнітний метод дослідження пилових фракцій атмосферного повітря техногенно навантажених територій міських агломерацій із врахуванням запатентованого нами підходу до відбору зразків містить ряд переваг перед існуючими технологіями, що у першу чергу проявляється у значному здешевленні та інтенсифікації моніторингових робіт. Прикладом, класичних технологій (над якими демонструє явну перевагу магнітний метод) може бути система THOR, що використовується для контролю якості повітря у містах Копенгаген та Ольборг у Данії [129]. Система модельного прогнозу дозволяє робити передбачення про забруднення атмосфери на три дні уперед. Включає велику кількість вхідних даних про метеорологічний, антропогенний стан міста, фонові концентрації небезпечних речовин у мегаполісі та на регіональному рівні, потоки автотранспорту, локалізацію важкої промисловості, пору року і т.д. Все це призводить, на нашу думку, до значного ускладнення інтерпретації модельних даних та значно підвищує вартість відповідних робіт.

***Спосіб атмомагнітного контролю забруднення повітряного простору при відборі пилових фракцій з різних частин дерев.***

Розглянемо ще один приклад дослідження інформативності магнітних методів при контролі забруднення повітряних басейнів міських агломерацій. Сьогодні існують підходи для розв'язання поставленої задачі на основі використання у якості накопичувача пилової фракції кори дерев, голок, листя, власне деревини. При цьому проводиться зрізання, обривання, скобління зазначених пасток, що веде до руйнування цілісності живих організмів, значно ускладнює та затягує час на відбір зразків, а також підготовку до магнітних вимірювань зібраного матеріалу.

Розглянемо детальніше кілька існуючих способів відбору зразків. Наприклад, у дослідженні [138] використовувалося листя дерев (*Ficus bengalensis* та *Ficus religiosa*) у якості пасток пилових фракцій, що містили

найбільш небезпечні частки PM10, про які неодноразово згадувалося у дисертаційній роботі. Методика робіт включала відбір власне листя із осілим на них матеріалом. Подібні дослідження широко розповсюджені у світі, проводяться і в Україні нашими колегами [5].

Іншим дослідним матеріалом може виступати осереддя деревини, наприклад верби (*Salix matsudana*). Як продемонстровано у роботі [303] магнітні частинки можуть накопичуватися в корі та стовбурі. Вони представлені магнетитом у мультидоменному стані, концентрація складає від 5 до 300 мкг/г у річних кільцях деревини. Як і у наших дослідах величина магнітних параметрів пилових фракцій дуже залежать від висоти відбору зразків та географічної орієнтації. Пилові фракції спочатку накопичуються на поверхні кори, а потім під час процесів вегетації через тканини рослини осідають у річних кільцях деревини. Це дозволяє спостерігати динаміку накопичення забруднення протягом тривалих періодів. Інформативним індикатором при цьому виступає залишкова намагніченість насичення (SIRM). Першоджерелами викидів в атмосферу відповідного матеріалу у даному випадку визначається діяльність металоплавильного заводу. На рис 4.10. наводиться залежність даного магнітного показника від інтенсивності викидів сталепрокатного заводу. Як видно з даного рисунка підвищенні значення намагніченості зразків деревини відповідають збільшенню виробництва сталі.

Подібні результати отримані й в інших прикладах, але без річного моніторингу, тобто на основі вимірювання магнітних параметрів лише кори дерев [207]. Звідси випливає припущення, що на поверхнях накопичуються у більшій мірі сучасні відкладення.

Нижче розглянемо матеріали, що були отримані нами для м. Києва. Слід відмітити, що ми застосували, на нашу думку, більш ефективну методику, яка включала відбір лише пилових фракцій з поверхні кори дерев без забору власне кори. Було відібрано зразки пилових фракцій з кори дерев

у різних частинах м. Києва, які характеризуються неоднорідним ступенем техногенного навантаження із врахуванням рекомендованої нами висоти забору дослідного матеріалу та географічної орієнтації.

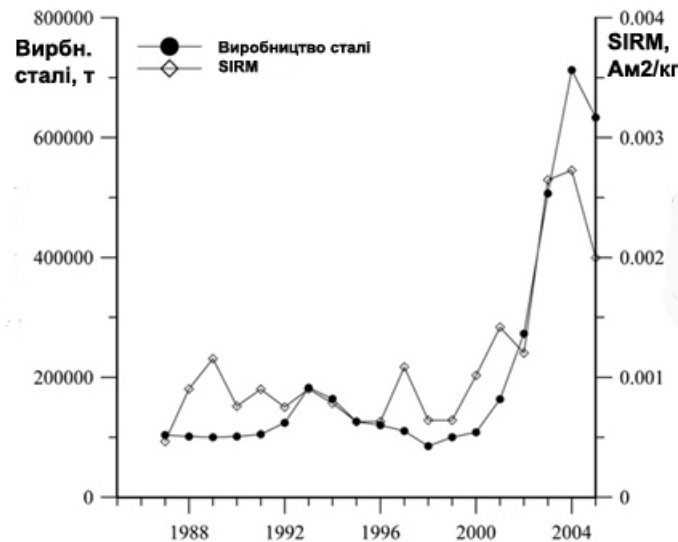


Рис. 4.10. Залежність між інтенсивністю виробництва сталі та залишковою намагніченість насичення зразків деревини річних кілець [303].

Для визначення найбільшої концентрації забруднюючих речовин у повітрі залежно від відстані до об'єкта, що є джерелом відповідного забруднення, було використано автошлях у м. Києві по вул. Васильківський. Відзначається [301], що на сьогодні одним із найбільших забруднювачів довкілля стає рух автомобільного транспорту та спричинені ним викиди в атмосферне повітря небезпечних речовин. Вони є джерелом концентрації у повітряних басейнах важких металів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів і т.д. Крім того, слід враховувати й накопичення у повітрі стороннього матеріалу за рахунок стирання дорожнього покриття, яке представлене асфальтами, джерела від гальмівних колодок, автомобільних шин, корозії металічних частин транспортних засобів [236].

Таким чином, для вивчення забруднення атмосфери поблизу автошляхів, нами було відібрано дослідні зразки з кори дерев. Для досліду

було обрано клен гостролистий (*Acer platanoides*), дерева приблизно одного віку та розмірів діаметру стовбуру. Відбір зразків проводився протягом одного дня у бездошову погоду, на рівні 60 см над поверхнею Землі із поступовим віддаленням від автошляху ортогонально до нього. Зразки відбиралися зі сторони стовбуру, що орієнтована у бік до автошляху та у протилежний бік на 180°. Територія досліджень обиралася із врахуванням факторів інтенсивного автомобільного руху, розташування у частині міста, де сконцентровані освітні заклади і щодня знаходиться велика кількість людей, зокрема молоді, яка піддається негативному впливу забрудненої атмосфери. Отримані результати представлені на рис. 4.11, де показано залежність величини магнітної сприйнятливості дослідних зразків від відстані до автошляху при двох різних орієнтаціях поверхонь відбору зразків.

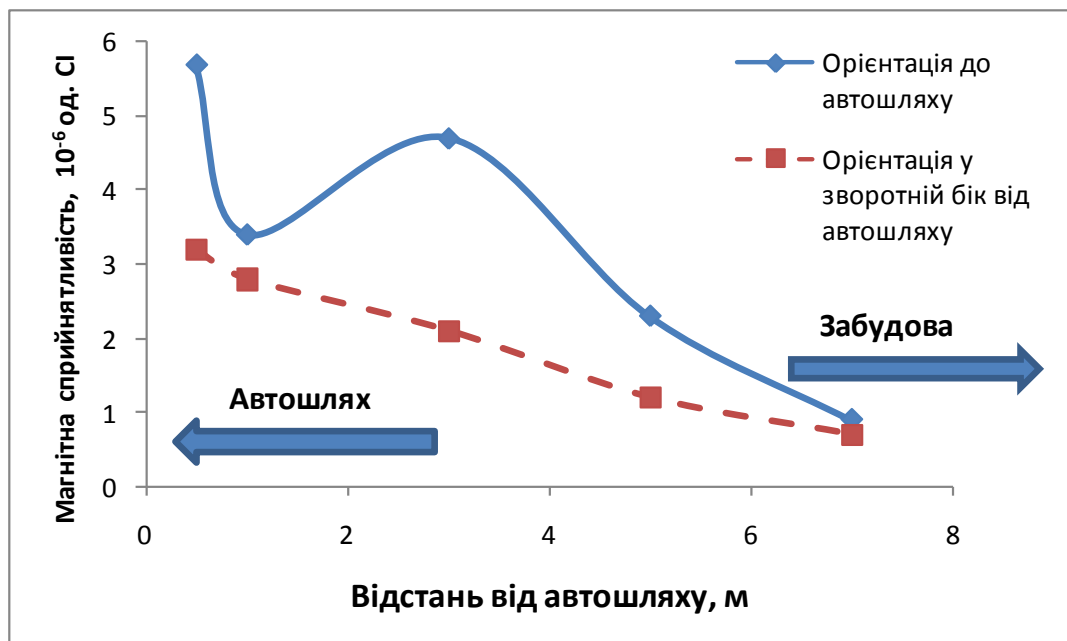


Рис. 4.11. Залежність магнітної сприйнятливості пилових фракцій атмосферного повітря залежно від відстані до автошляху на прикладі вул. Васильківської, м. Київ

За величиною магнітної сприйнятливості спостерігається чітка диференціація магнітного сигналу, а отже й ступеня забрудненості атмосфери залежно від відстані до автошляху. У даному прикладі

максимальні значення зафіксовані у безпосередній близькості до автошляху. Відзначаються нижчі значення магнітної сприйнятливості при орієнтації поверхонь відбору на корі дерев у зворотній бік від автошляху. У той же час тенденція спадання абсолютних величин при віддалені від автошляху зберігаються. Дана обставина ілюструє основні принципи накопичування небезпечних речовин залежно від відстані до джерел забруднення (у нашому випадку автошляху).

Далі результати досліджень, що наведені вище було розширено такими додатковими умовами. Було проведено відбір зразків з кори дерев на двох висотах: 60 см та 170 см. Обрано декілька пунктів спостережень: вул. Васильківська, м. Київ; бул. Т. Шевченка, Ботанічний сад ім. акад. О.В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Київ; вул. Київська, с. Софіївська Борщагівка (поблизу кільцевої дороги Києва). Результати дослідів наведені на гістограмі (рис. 4.12).

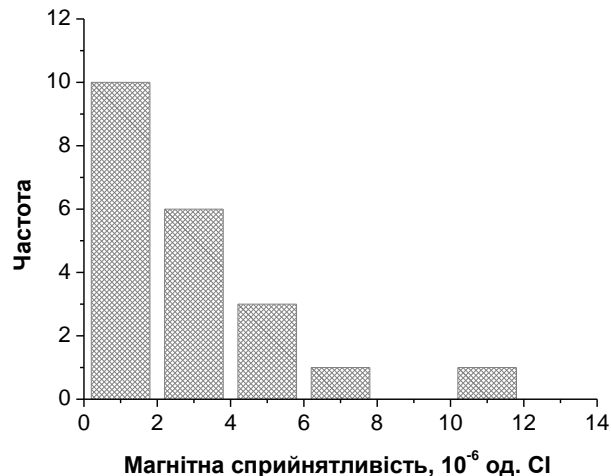


Рис. 4.12. Гістограма розподілу значень магнітної сприйнятливості пилових фракцій атмосферного повітря для різних пунктів спостережень у м. Київ

Розподіл логнормальний. Права асиметрія розподілу складена більш магнітними зразками, що відносяться до точок відбору у безпосередній

близькості до автошляхів (1-3 м). Крім того, точки відбору знаходяться на висоті 60 см. Найбільш імовірні значення із більш низькими величинами магнітної сприйнятливості відносяться до зразків з бул. Т. Шевченка, Ботанічний сад ім. акад. О.В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Дана обставина пояснюється знаходженням точок відбору у парковій зоні, а отже мінімізації впливу автомобільного трафіку та інших техногенних впливів центральної частини міста. Також зафіксовано, що на висоті 170 см магнітний сигнал знижується. Це визначає оптимальність висоти відбору зразків на рівні 60 см для фіксації найбільшого сигналу забруднюючих джерел.

***Спосіб атмомагнітного контролю забруднення повітряного простору при відборі пилових фракцій, що накопичуються у сніговому покриві.***

Ще одним об'єктом, що фіксує у своїй структурі пилові фракції, які переміщуються у атмосферному повітрі є сніговий покрив.

Нами було проведено експеримент із вимірювання магнітної сприйнятливості зразків на прикладі снігу м. Києва. Зразки відбиралися у склотару, нормувалися за об'ємом снігу, сніг танув, відфільтровувався пиловий матеріал, проводилися вимірювання магнітної сприйнятливості на лабораторному капамістку KLY-2. Результати наведені на рис. 4.13. Дослід проводився у режимі моніторингу тричі у п'ятих пунктах спостережень. Перший відбір (сині стовпчики) було виконано зразу після випадання снігу. Як видно з рисунку забруднювачі не встигли суттєво накопичитися у сніговому покриву. Тому, значення магнітної сприйнятливості є мінімальними для усіх точок спостережень. Другий відбір проведено через 7 діб для того самого снігового покриву (червоні стовпчики). Як бачимо зафіксовано найвищий рівень магнітного сигналу, що свідчить про інтенсивне накопичення пилових фракцій атмосфери у сніговому покриві.

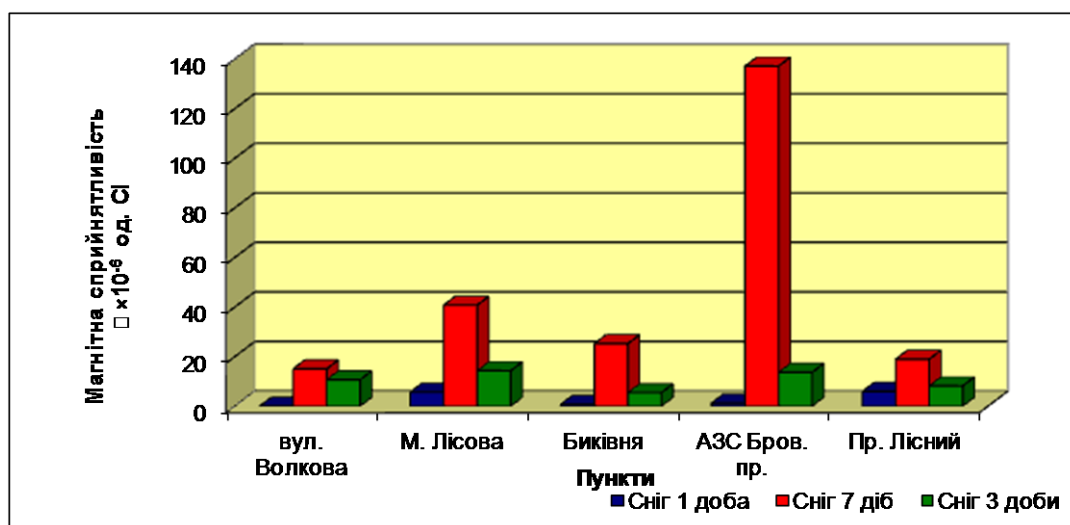


Рис. 4.13. Результати вимірювання магнітної сприйнятливості пилових фракцій снігового покриву на прикладі м. Києва

Третій відбір було проведено після танення снігу та формування нового снігового покриву через 3 доби після опадів (зелений стовпчик). Спостерігається проміжна стадія накопичення пилової фракції та формування магнітного сигналу.

Аналізуючи величини магнітної сприйнятливості зразків снігу залежно від пункту спостереження слід відзначити, що найбільше омагнічування відзначене поблизу автомобільної заправки на Броварському проспекті та поблизу станції метро Лісова. Обидва пункти знаходилися у місцях інтенсивного автомобільного руху та впливу промислових об'єктів. При цьому інші три пункти по вул. Волкова, пр. Лісному та у Биківні знаходилися у відносному віддаленні від джерел забруднення, були захищені лісопарковими насадженнями, що відбилося у значеннях магнітної сприйнятливості.

Слід зауважити ще одну важливу деталь, яка полягає у тому, що незалежно від дня відбору зразків загальна картина розподілу відносно пунктів спостереження зберігається. Це дозволяє нам припустити, що для моніторингу зміни у часі забруднення атмосфери на основі магнітних

вимірювань пилових фракцій, що накопичуються у сніговому покриві є важливою дато випадання снігу, проте для відносного географічного картування найбільш техногенно навантажених територій міста день формування снігового покриву не відіграє визначального значення.

Далі більш детальної інтерпретації матеріалів магнітних досліджень снігового покриву розглянемо магнітні сполуки та небезпечні речовини, що накопичуються у пилових фракціях атмосфери. Для цього використаємо результати, що були отримані у Фінляндії [132]. Їх метою також було вивчення інформативності застосування снігового покриву у якості накопичувача пилових та магнітних фракцій, що викидаються у повітря автотранспортом. Було обрано пункт спостережень з інтенсивним рухом та для врахування фонових показників автомобільну дорогу із слабкою інтенсивністю руху у сільській місцевості. В обох випадках на основі магнітних хімічних та мікроморфологічних досліджень було виявлено диференціацію досліджуваних параметрів по латералі із тенденцією до зменшення магнітного сигналу із віддаленням від автошляхів.

Основним магнетиком, що генерує магнітний сигнал у пиловій фракції було визначено магнетит у мультидоменній фазі (MD). Власне пилові фракції представлені гостроформеними частинками діаметром близько 300 мкм, які складаються із заліза, хрому та нікелю. Найбільш імовірно, що джерелом їх викиду став автотранспорт. Крім того, фіксуються й залізні сферули діаметром 2-70 мкм техногенного походження. Як було нами розглянуто вище, саме такі частинки є одними із найбільш небезпечних для здоров'я людини. Серед інших фракцій необхідно відмітити наявність вольфрамвмісних частинок діаметром <2 мкм. Їх джерелом є автомобільні шини.

Отже, сніговий покрив відзначається здатністю до накопичення пилових фракцій, які ідентифікуються на основі вимірювання магнітних параметрів, у першу чергу найбільш експресного параметру магнітної

сприйнятливості. У той же час сніговий покрив на нашу думку не є оптимальним матеріалом для проведення картування забруднення повітряних басейнів міських агломерацій та інших урбанізованих територій за рахунок сезонної доступності даного об'єкту. Крім того, процес підготовки відібраних зразків додає до алгоритму вимірювання магнітних показників кілька кроків, що веде до підвищення вартості робіт та витрати більшого часу.

***Узагальнення результатів магнітних досліджень атмосферних пилових фракцій.***

Далі більш комплексно розглянемо усі вивчені нами пастки пилових фракцій, загальні тенденції та взаємозв'язки між власне магнітними параметрами та вмістом у пилових фракціях найбільш розповсюджених небезпечних для людини елементів та сполук.

На рис. 4.14. наводиться гістограма розподілу параметру  $S_{ratio}$ , що вказує на співвідношення у зразках магнітомагнітної низькокоерцетивної фази та магнітожорсткої висококоерцетивної фази.

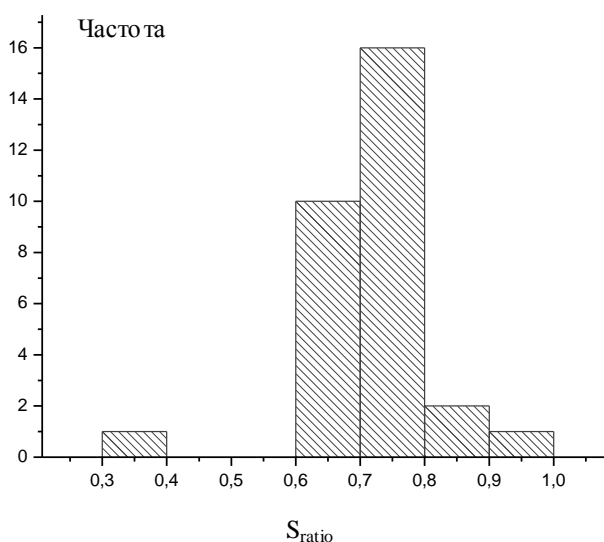


Рис. 4.14. Частотна діаграма розподілу параметру  $S_{ratio}$  для різних зразків пилових фракцій атмосферного повітря України.

Найбільш імовірні значення вказують на превалювання магнітом'якого магнетиту. Ліва асиметрія розподілу відноситься до найбільш екстремально забруднених дослідних ділянок. Права асиметрія розподілу складена зразками, що відбиралися в умовно чистих місцях, що відбивається у незначній концентрації техногенного магнетиту.

Для визначення доменного стану техногенного магнетиту пилових фракцій нами було визначено параметри петлі гістерезису та кривої ізотермальної залишкової намагніченості. Для візуалізації використаємо діаграму Дея (рис 4.15).

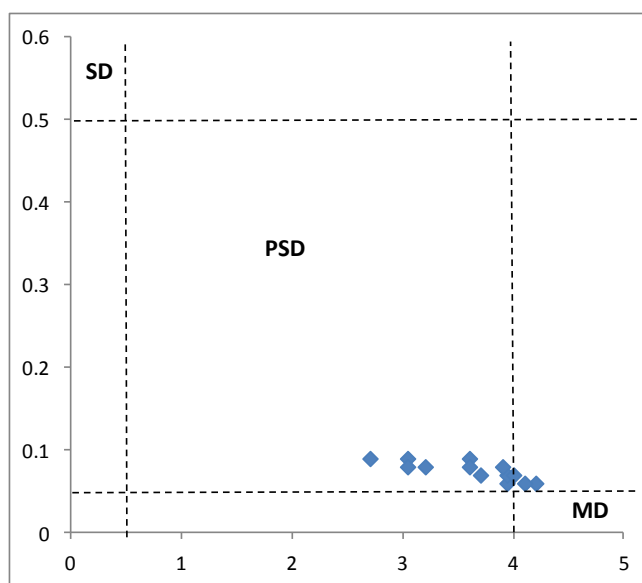


Рис. 4.15. Діаграма Дея для різних зразків пилових фракцій атмосферного повітря України.

Залучено зразки, що відібрані з гладкої кори уздовж автомобільного шляху та залізничної колії м. Трускавець, а також із віконної поверхні вікон ННІ «Інститут геології», вул. Васильківська, 90, м. Ктїв. Як видно з рис. 4.15. більшість техногенних пилових фракцій атмосферного повітря включає мікстури магнетитових частинок, які знаходяться на межі псевдоодномоменного та мультидоменого стану, що є ознакою забрудненого повітряного простору. Частина зразків, що знаходиться лише у псевдоодномоменному стані відноситься до менш забруднених локацій,

наприклад, лісопарков зона Трускавця, або ННІ «Інституту геології», вікна що орієнтовані у двір.

Для узагальнення тенденцій зв'язків між магнітними параметрами та вмістом різних елементів у пилових фракціях звернемося до таблиці 4.1. [301]. У даній таблиці наведені узагальнені показники для різних точок світу: Польща, Таджикистан, Німеччина, Індія, Китай. Високі коефіцієнти кореляції зафіксовані між магнітною сприйнятливістю та вмістом заліза (0,8-0,9). Це підтверджує, що у випадку техногенного забруднення, у першу чергу, викидами від автомобільного транспорту, у відповідних зразках містяться феромагнітні частинки. Важливим є той факт, що у випадку природного формування заліза та марганцю у ґрунтах та можливості привнесення даного матеріалу у повітря, відповідні сполуки знаходяться у антиферомагнітному стані, що меншим чином відображається у змінах магнітної сприйнятливості. Титан та молібден потрапляють у атмосферу найчастіше від зношування тормозних колодок автотранспорту. У ряді випадків вони також характеризуються наявністю середнього ступеню кореляційного зв'язку із магнітними параметрами (коефіцієнт кореляції 0,4-0,6). Важливою обставиною є кореляційний зв'язок між магнітними параметрами та вмістом хрому, нікелю та кобальту, а також їх висока кореляція між собою. Це також підтверджує їх походження від джерел важкої промисловості. Неоднозначною є матриця кореляційних зв'язків між магнітною сприйнятливістю та вмістом свинцю, цинку, міді, де власне відповідні коефіцієнти є часто низькими. У той же час дана група металів ідентифікується як показник антропогенного забруднення [136].

Крім того, для території України були отримані більш високі кореляційні зв'язки між магнітною сприйнятливістю та вмістом цинку, міді та свинцю у ґрунтах за результатами наших власних досліджень [72] та наведені у роботі К. Бондар для м. Запоріжжя як високо урбанізованої

території [8]. Більш детально інформативність магнетизму ґрунтів при розв'язанні природоохоронних завдань розглянемо у наступних розділах.

Таблиця 4.1.

Коефіцієнти кореляції між магнітними індикаторами забруднення атмосфери та концентрацією у повітрі деяких небезпечних елементів та сполук

	$\chi$	$\chi_{fd}$	$H_{cr}$	$M_s$	PAH	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co	Ti	Mo
$\chi$	1															
$\chi_{fd}$	0,53	1														
$H_{cr}$	0,06	-0,3	1													
$M_s$	0,98	0,57	0,09	1												
PAH	-0,1	-0,1	0,68	-0,1	1											
Fe	0,87	0,56	0,18	0,85	-0,01	1										
Mn	0,92	0,32	0,27	0,88	-0,03	0,85	1									
Zn	0,21	-0,2	-0,3	0,08	-0,1	0,08	0,35	1								
Pb	0,12	-0,3	-0,3	0,05	-0,4	0,03	0,33	0,84	1							
Cd	-0,2	0,04	-0,6	-0,2	-0,5	-0,3	-0,3	-0,1	0,02	1						
Cu	0,2	0,42	-0,1	0,13	0,16	0,34	0,33	0,58	0,46	-0,3	1					
Cr	0,65	0,4	0,04	0,58	0,22	0,71	0,74	0,63	0,41	-0,3	0,79	1				
Ni	0,79	0,61	0,31	0,81	0,07	0,90	0,85	0,09	0,12	-0,5	0,53	0,75	1			
Co	0,74	0,70	0,28	0,80	-0,05	0,83	0,68	-0,4	-0,3	-0,2	0,14	0,38	0,84	1		
Ti	0,16	-0,4	-0,3	0,14	-0,2	-0,1	0,00	0,13	0,00	0,14	-0,6	-0,2	-0,3	-0,3	1	
Mo	0,53	-0,1	-0,1	0,5	-0,3	0,24	0,41	0,51	0,36	0,02	-0,2	0,26	0,04	-0,1	0,83	1

**Примітка:**  $\chi$  – питома магнітна сприйнятливість,  $\chi_{fd}$  – частотна залежність магнітної сприйнятливості,  $H_{cr}$  – залишкова коерцетивність,  $M_s$  – намагніченість насичення, PAH – сумарний вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів, Fe і т.д – вміст металів згідно до позначень таблиці Менделєєва. Коефіцієнти кореляції між магнітними параметрами та вмістом речовин виділено жирним шрифтом. Значущі коефіцієнти кореляції між магнітними параметрами та вмістом речовин виділено сірим кольором, значущі коефіцієнти кореляції між різними речовинами виділено рожевим кольором, значущі коефіцієнти кореляції між різними магнітними параметрами виділено зеленим кольором.

Таким чином, на нашу думку найбільш оптимальним підходом є використання плоских поверхонь типу віконного скла та кори дерев без її зрізання. Такі накопичувачі атмосферного пилю забезпечують безкінечно широку мережу спостережень, яка не може бути забезпечена на основі пунктів спостережень геофізичних та метеорологічних обсерваторій. При цьому, власне магнітні параметри продемонстрували високу інформативність та можуть рекомендуватися у якості додаткової експресної методики поряд із більш вартісними хімічними аналізами, або повністю їх замінювати для оцінки загального забруднення територій.

#### **4.2 Магнетизм ґрунтів при контролі техногенного забруднення урбанізованих територій**

Одним із найбільш інформативних об'єктів при магнітних дослідженнях з метою визначення техногенного та антропогенного забруднення урбанізованих територій є ґрунтовий покрив. Усередині ґрунтів осідає більшість небезпечних речовин, що циркулюють в атмосфері. Паралельно відбувається привнесене техногенне омагнічування, що з високою достовірністю фіксується засобами магнетизму оточуючого середовища. Більш детально методологічні питання застосування магнітного методу при вивченні забруднення довкілля розглядалися у попередніх розділах. Тому, перейдемо до аналізу конкретних прикладів магнітних досліджень ґрунтів в екології.

##### ***Магнітні дослідження ґрунтового покриття на прикладі міської агломерації міста Дніпро.***

У якості ілюстративного прикладу нами було обрано міську агломерацію міста Дніпро, як територію високої концентрації урбанізованого середовища. Найбільш розвинені сфери: чорна металургія,

машинобудування, металообробка, хімічна промисловість. Крім того, у центральній частині міста спостерігається інтенсивний автомобільний трафік. Підприємствами агломерації вироблялося станом на 2014 рік 100% марганцевої товарної руди, приблизно 80% залізної руди, 75% труб, 35% прокату, 37% чавуну, 32% сталі, 28% коксу від загального обсягу виробленого в цілому в Україні. Серед найбільших підприємств міста відзначимо ВАТ «ДМЗ ім.Петровського», ВАТ «Дніпропетровський трубний завод», ВО «Південмаш». Хімічна промисловість концентрувала 4,9% загального обсягу виробництва, включала 38 підприємств, на яких вироблялося майже 12% аміаку синтетичного, 16% сірчаної кислоти, 32% соди каустичної, 16% мінеральних добрив, 9% синтетичних смол і пластичних мас, 38% шин від обсягів їх виробництва в Україні. Більше 50% від загального обсягу товарної продукції усіх підприємств хімічної галузі виробляється на ВАТ «Дніпрошина», яке є одним із найбільших виробників шин в Україні. Всі зазначені підприємства викидають в атмосферу найбільш типові небезпечні для людини хімічні сполуки та елементи [24].

Залежно від форми і розмірів техногенний магнітний матеріал, що викидається в атмосферу підприємствами та автотранспортом у вигляді пилу або аерозолів розповсюджується на різні відстані, а потім осідає у ґрунтах – основному накопичувачі твердих повітряних фракцій [144].

Нами було проведено ряд магнітних досліджень ґрунтів у межах центрального проспекту Карла Маркса та його околиць. Розподіл магнітної сприйнятливості для загальної вибірки зразків ґрунтів наведено на рис. 4.16а. У таблиці 4.2. наведено основні статистичні показники для вмісту PM10 частинок та магнітної сприйнятливості дослідної колекції.

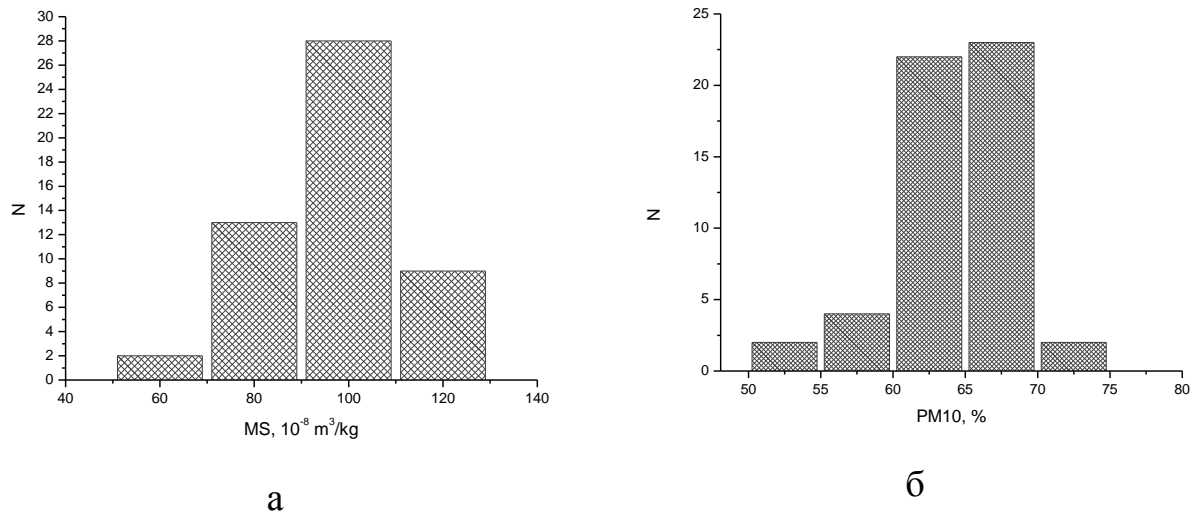


Рис. 4.16. Гістограма розподілу досліджених параметрів для забруднених ґрунтів міста Дніпро: а – магнітної сприйнятливості, б – вмісту PM10 у % від загальної маси

Таблиця 4.2.

Статистичні показники магнітної сприйнятливості та вмісту PM10 частинок у забруднених ґрунтах Дніпра

	Питом а магнітна сприйнятливість $\chi \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	Вміст PM10 частинок %
<i>Середнє</i>	96	63
<i>Максимальне</i>	115	70
<i>Мінімальне</i>	58	51
<i>Стандартне відхилення</i>	13,6	3,79
<i>Медіана</i>	98	64
<i>Кореляція з MS</i>	-	<b>0,6</b>

Розподіл магнітної сприйнятливості на гістограмі нормальний, абсолютні значення магнітної сприйнятливості перевищують фонові значення, що характерні для чорноземів звичайних Степової зони України у 2-3 рази [65]. При цьому найбільш імовірні значення складають:  $\chi=80-120 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , що є перевищенням фону у 1,5-2 рази.

На рис. 4.16б. наводиться гістограма розподілу вмісту PM10 пилових фракцій у зразках ґрунтів. Розподіл як і для магнітної сприйнятливості нормальний і в цілому повторює її закономірності, що говорить про взаємозв'язок між величинами магнітної сприйнятливості та вмістом небезпечних для людини пилових фракцій менших за 10 мкм у ґрунтах. Останнє є очевидним підтвердженням високої інформативності магнітного методу у природоохороній справі.

Крім того, на рис 4.17. наводиться регресійна залежність між магнітною сприйнятливостю та вмістом PM10. Коефіцієнт кореляції складає 0,6, що є високим показником [134]. Справді, кореляції Пірсона є значимою для вибірки N=52 із імовірністю помилки  $p=0,05$  ( $r \geq 0,2306$ ) [164].

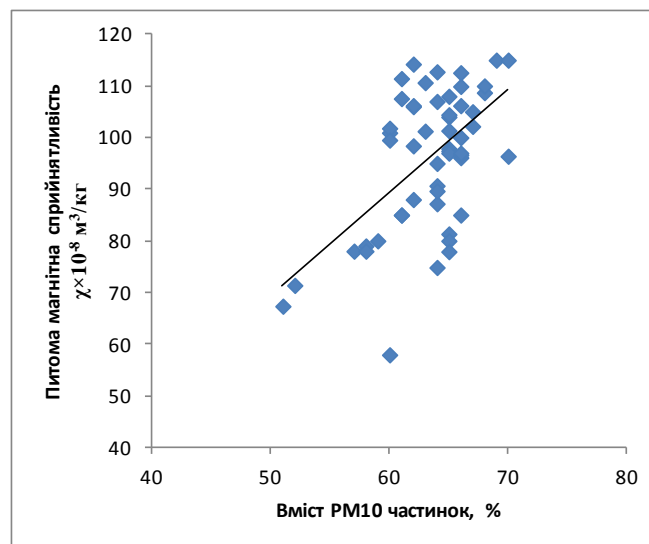


Рис. 4.17. Кореляційна залежність між питомою магнітною сприйнятливостю та вмістом PM10 в урбоземах Дніпропетровська, коефіцієнт кореляції  $r=0,6$

PM10 частинки (пилові фракції менші за 10 мкм) є надзвичайно важливими індикаторами забруднення атмосфери. Відповідні фракції легко потрапляють до дихальних шляхів людини. Більш того, частинки розміром менше за 2,5 мкм (PM2.5) та менше за 1 мкм (PM1) здатні розповсюджуватися глибше по організму людини в легені та альвеолі [273]. Тому, для завірки техногенного навантаження на атмосферу Дніпра на основі вимірювання магнітної сприйнятливості ґрунтів нами було обрано та

обраховано концентрацію PM10 пилових фракцій (менших за 10 мкм) у тих самих зразках.

Одночасний вплив на магнітні властивості техногенного заражених ґрунтів у даному випадку (як і у більшості прикладів, що наводяться у дисертаційній роботі при розгляді інформативності магнетизму ґрунтового покриву при вирішенні природоохоронних завдань) чинить залізо. Фактично, це один із найбільш концентрованих у земній корі елементів, який рідко знаходиться у чистому стані. При цьому такі магнітні мінерали заліза як магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), магеміт ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) і гематит ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) цілком розповсюджені оксиди. У навколишнє природне середовище вони можуть потрапляти під час природних процесів, таких як ерозія, вулканічні виверження, пожежі, а також під час техногенних та антропогенних впливів, у першу чергу, спалювання вугілля та вуглеводнів, автомобільних вихлопів та зношення металічних частин автотранспорту, роботи потужних промислових підприємств. Феромагнітні властивості зазначених оксидів заліза формують високу інформативність простих у своєму застосуванні магнітних методів. Такі важкі метали як свинець, цинк та мідь легко адсорбуються на зовнішній поверхні летючого попелу і аерозолів, які є продуктами промислових викидів в атмосферу і найчастіше містять значну кількість магнітних оксидів заліза [135].

Для розбравки сигналу магнітних частинок природного та техногенного походження, що потрапили в атмосферу використовується параметр частотної залежності магнітної сприйнятливості. PM10 частинки техногенного походження часто є магнітними сферулами (кульки сферичної форми) [270]. У той же час, суперпарамагнітні частинки (SP) визначають величину частотної залежності. Превалювання багатодомених частинок (MD) веде до зниження частотної залежності, у той же час переважання ультрадисперсних SP зерен призводить до зростання частотної залежності. Вважається, що при значеннях  $\chi_{fd} \leq 2-3$  % у складі ґрунтів SP частинки

складють  $\leq 10\%$ . При  $\chi_{fd}=3-10\%$  наявні домішки як SP частинок, так і більш грубоуламкових зерен у однодоменому (SD) та MD стані. При  $\chi_{fd}=10-14\%$  превалюють суперпарамагнітні зерна, а їх вміст  $>75\%$ . Подальше зростання коефіцієнту частотної залежності магнітної сприйнятливості може свідчити про слабо магнітні зразки, похибки вимірювання та зараження зразків залізом. SD частинки асоціюються із педогенним походженням ферімагнітного матеріалу. Це можуть бути ультрадисперсні магнетит або магеміт, що сформувалися у процесі ґрунтоутворення. У той же час PSD (псевдооднодоменні) та інші частинки найчастіше є ознакою привнесеного у структуру ґрунту техногенного матеріалу.

Коефіцієнт частотної залежності магнітної сприйнятливості розраховувався за допомогою вимірювання на двочастотному магнітометрі MS2 на частотах 470 та 4700 Гц. Пропонується приймати за порогові значення наступні: якщо коефіцієнт частотної залежності магнітної сприйнятливості  $\chi_{fd} \leq 3-4\%$ , тоді магнітний матеріал ідентифікується як техногенного походження [299]. Зауважимо, що порогові значення можуть дещо відрізняються за різними авторами [160].

На рис. 4.18. наведено розподіл значень низькочастотної магнітної сприйнятливості та частотної залежності з глибиною для урбоземів Дніпра. Як видно з рисунку зараження ґрунтів спостерігається до глибини 30 см. На глибині 0-30 см магнітна сприйнятливість досягає екстремально високих значень:  $\chi=300-400 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (рис. 4.18 а). На глибині більше за 40 см спостерігається вирівнювання кривої, абсолютні значення спадають до величин, що притаманні незабрудненим фоновим ґрунтам, де магнітна сприйнятливість становить  $40-50 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , а з переходом до ґрунтоутворюючих порід на глибині 100 см спадає до  $20-30 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Це свідчить про те, що техногенні антропогенні фракції накопичуються переважно на денній поверхні ґрунтів і проникають у їх структуру не глибше за горизонт В. Проаналізовані матеріали підтверджуються інтерпретацією

частотної залежності магнітної сприйнятливості ґрунтів (рис. 4.18 б). На глибині 0-30 см  $\chi_{fd} \leq 3-4\%$ , у верхньому шарі ґрунту лише 1,5%. Із глибиною її значення зростають і досягають 8-10 на глибині 100 см.

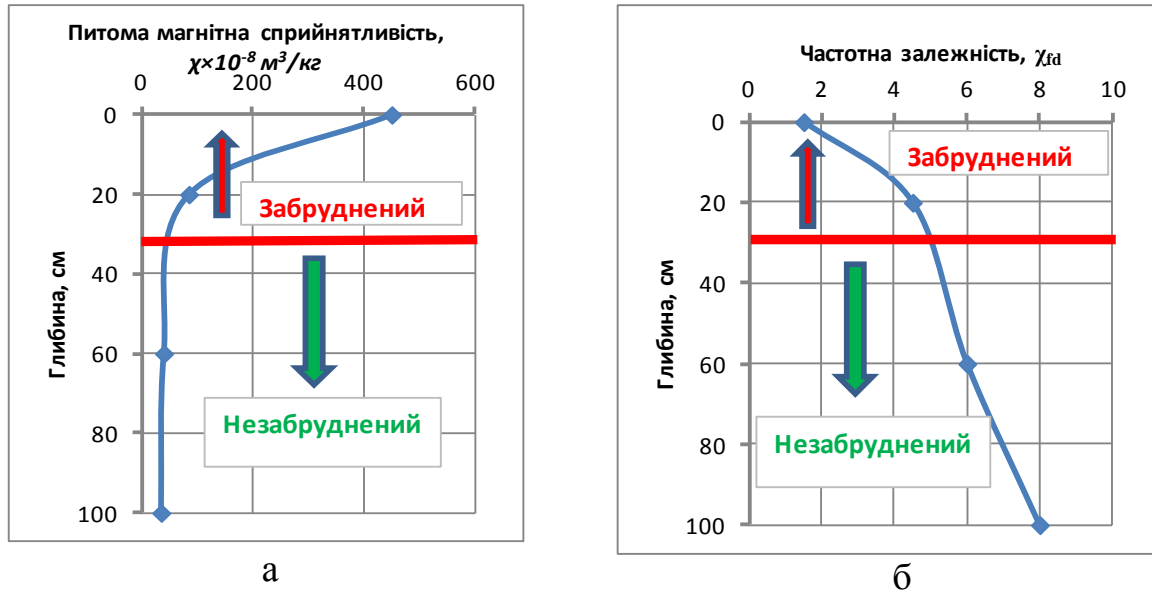


Рис. 4.18. Розподіл з глибиною питомої магнітної сприйнятливості (а) та її частотної залежності (б) для урбоземів міста Дніпро

Проілюстровані матеріали на практиці підтверджують фізичні основи магнітного методу, що описані у методологічному розділі дисертаційної роботи. Зрозуміло, що експресне вимірювання магнітної сприйнятливості за своєю вартістю та легкістю реалізації значно випереджують геохімічне обстеження. На рівні загальної оцінки забруднення навколишнього середовища магнітні методи можуть замінювати геохімічні вишукування, а при більш глибокому дослідженні техногенного забруднення урбанізованих територій доповнювати комплекс робіт.

***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.***

Для дослідження інформативності магнетизму ґрунтового покриву в екології нами було обрано об'єкт, який знаходиться у центральній частині

столиці України міста Києва, але одночасно розміщений у парковій зоні. Тобто, мова йде про територію, що з одного боку розташована в урбанізованій зоні міської агломерації, а з іншого боку захищена лісопарковою рослинністю. Опис загального забруднення Києва широко висвітлено у геофізичних роботах [7, 30, 93, 102]. Зауважимо, що як і більшість міських агломерацій м. Київ зазнає високого ступеню урбанізації та техногенного навантаження, що носить загрозливий стан для існування людей підвищуючи ризики захворювання легенево-судинної системи та усього організму більш небезпечними захворюваннями.

На рис. 4.19. наводиться загальна схема Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна із розташуванням колекційних ділянок та експозицій.

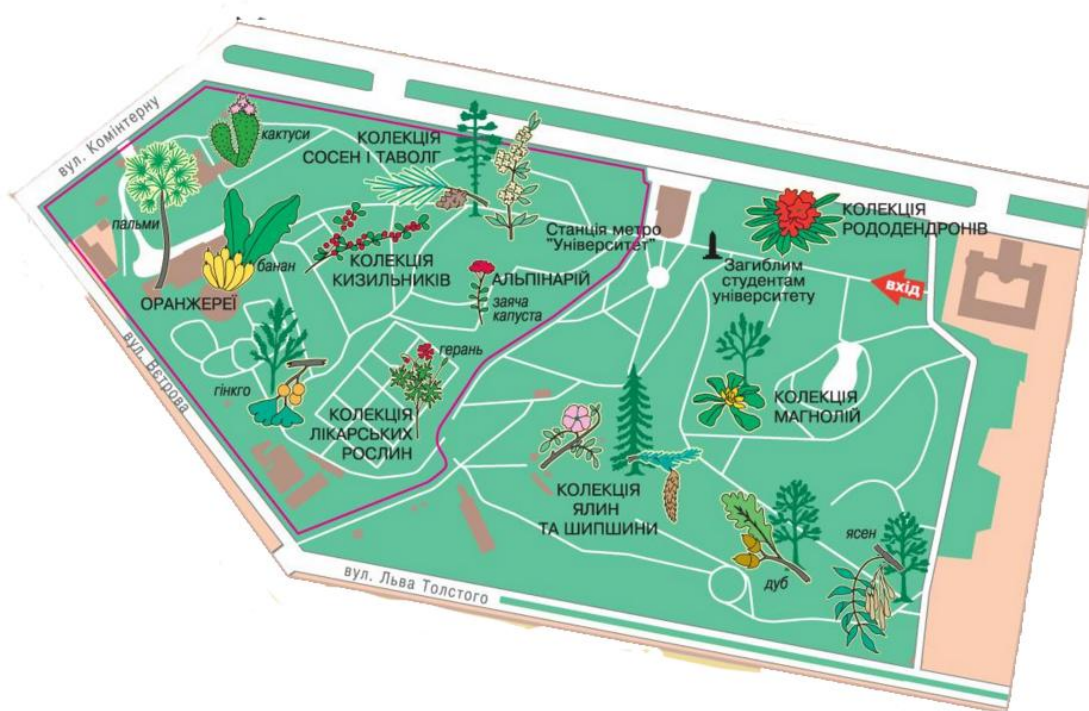


Рис. 4.19. Схема Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна

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. Основним магнітним параметром для визначення головних закономірностей забруднення території Ботанічного саду став комплексний та найбільш

експресний і ефективний параметр магнітної сприйнятливості. На рис. 4.20 наводиться гістограма розподілу значень для усієї колекції ґрунтів даного об'єкту досліджень.

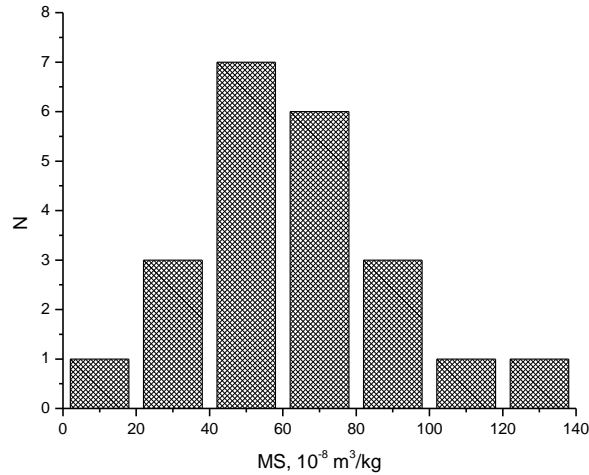


Рис. 4.20. Гістограма розподілу магнітної сприйнятливості для ґрунтів Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна

Як видно з гістограми розподіл магнітної сприйнятливості нормальний. Статистичні показники наведені в таблиці 4.3. Порівнюючи значення із фоновими, що характерні для ґрунтового покриву незабруднених ґрунтів Лісостепу України, нами відмічено підвищення медіанних значень питомої магнітної сприйнятливості у 1,5-2 рази. Фонові значення магнітної сприйнятливості деяких характерних для Лісостепу України ґрунтів та вмісту важких металів у ґрунтах за [86] наведено у таблиці 4.4. Права асиметрія розподілу гістограми (рис. 4.20) складена наявною у колекції частиною зразків із точок відбору, які зазнали найбільшого впливу забруднення. У цьому випадку  $\chi=80-140 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , що є суттєвими аномаліями. Це експозиція «Альпінарію»: верх альпінарію біля басейну, експозиція ділянки «Спорових рослин»: в околі каштану та дубу, «Квіткова» експозиція: іриси. Ліва асиметрія розподілу включає зразки ґрунтів, значення магнітної сприйнятливості яких знаходиться у межах фону. Такі зони у межах Ботанічного саду фіксуються у межах експозиції «Кам'яна гірка», експозиції

«Лікарських рослин». Як ішлося вище, модальні значення магнітної сприйнятливості фіксують перевищення фону у 1,5-2 рази і є характерними для більшості територій Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна.

Таблиця 4.3.

Статистичні показники досліджених параметрів ґрунтів Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна.

	$\chi \times 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	$\chi_{\text{гб}}$ %	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Fe	Mn
<i>Середнє</i>	64	3	10	31,5	27	3,7	0,5	62	61
<i>Максимальне</i>	192	9	26	70,5	50	7,4	1,5	94	186
<i>Мінімальне</i>	17	0,5	3	9	5	1,5	0,3	23	5
<i>Стандартне відхилення</i>	37	2	5	16	11	1,4	0,2	16	34
<i>Медіана</i>	57	3	9	25	19	3,1	0,4	61	56
<i>Кореляція з MS</i>	-	0,67	0,81	0,81	0,9	-0,21	-0,16	-0,74	0,05
<i>Фонові значення за ДСТУ 4362:2004</i>	30-40	-	3-5	5-10	2-3	4-6	<0,1		100-150
<i>Підвищені значення за ДСТУ 4362:2004 (для металів)</i>	40-60	-	7-42	16-100	5-30	8-48	0,2-3		200-1200
<i>Гранично допустимі норми за [Мотузова]</i>	-	-	3	23	6	4			300-700

*Примітка: концентрація важких металів наведена у мг/кг*

Таблиця 4.4.

Магнітна сприйнятливість ґрунтів України та фонові значення валового вмісту важких металів у ґрунтах (мг/кг) за [86]

Тип ґрунту	$\chi \times 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Co	Ni
Дерново-підзолисті піщані і супіщані	10-20	28	0,05	6	0,05	8	3	6
Дерново-підзолисті суглинисті і глинисті	10-20	45	0,12	15	0,10	15	10	30
Сірі лісові	30-40	60	0,20	16	0,15	18	12	35
Чорноземи	40-100	68	0,24	20	0,20	25	15	45
Каштанові	30-80	54	0,16	16	0,15	20	12	35

Для ідентифікації доменного стану магнетиків у ґрунтах та розбравки їх генезису ми використали параметр частотної залежності магнітної сприйнятливості. Медіанне значення  $\chi_{fd}=3\%$ , що свідчить про превалювання мультидоменної магнітної фази у ґрунтах та наявність техногенного зараження. Зворотна кореляція між низькочастотною магнітною сприйнятливістю та коефіцієнтом частотної залежності (рис. 4.21) підтверджує наявність антропогенного та техногенного впливу на ґрунтовий покрив Ботанічного саду.

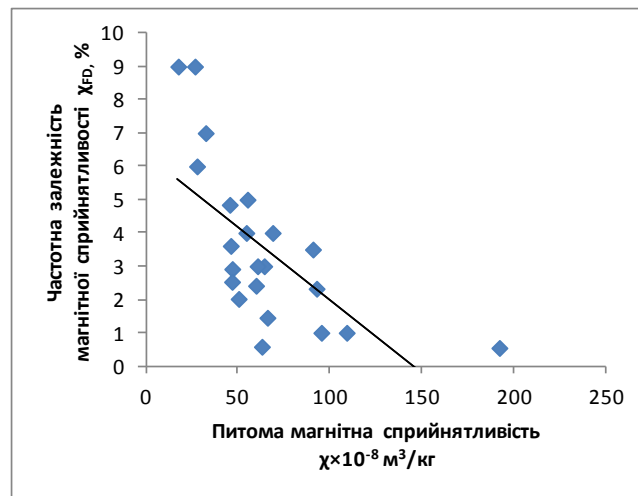


Рис. 4.21. Регресійна залежність між низькочастотною магнітною сприйнятливістю та її частотною залежністю ґрунтів Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна. Коефіцієнт кореляції 0,52

Важливою особливістю стало те, що вміст більшості важких металів у даній колекції ґрунтів загалом перевищує фон за ДСТУ 4362:2004, але подібно до параметру магнітної сприйнятливості знаходиться у межах підвищених значень, тобто не є екстремально високими (табл. 4.3). Дана обставина ще раз наявно демонструє і підтверджує високу інформативність магнетизму ґрунтів при розв'язанні екологічних завдань та припускає можливість використання параметру магнітної сприйнятливості для оцінки забруднення територій на першому етапі без додаткових геохімічних аналізів.

На рис. 4.22 наводяться регресійні залежності між низькочастотною магнітною сприйнятливістю та вмістом міді, свинцю, цинку та заліза у ґрунтах Ботанічного саду, які складають: Cu 0,81; Pb 0,9; Fe -0,74, Zn 0,81. Це високі коефіцієнти кореляції, що підтверджує спільний генезис під час техногенних процесів та одночасне накопичення у ґрунтах небезпечних для людини речовин, а також магнітних частинок, що підвищують його магнітну сприйнятливість. Наведені коефіцієнт кореляції Пірсона є значимими для вибірки  $N=21$  із імовірністю помилки  $p=0,05$  ( $r \geq 0,352$ ) [164].

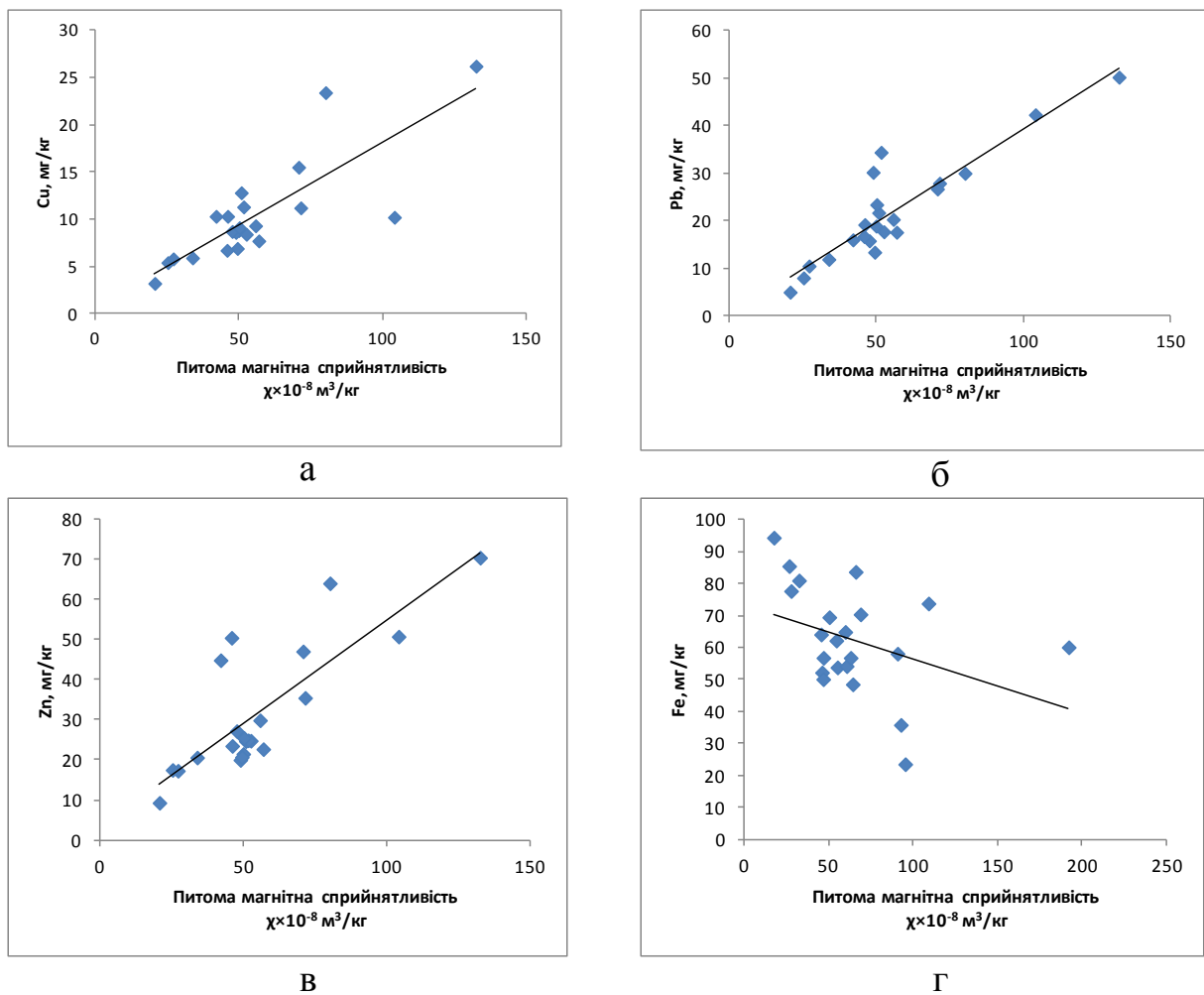


Рис. 4.22. Регресійні залежності між магнітною сприйнятливістю та вмістом деяких важких металів у ґрунтах Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна: а – мідь, б – свинець, в – цинк, г - залізо. Коефіцієнти кореляції наведені у таблиці 4.3.

*Магнітні дослідження ґрунтового покриву слабкоурбанізованого міста Трускавець.*

Розглянемо інформативність застосування магнітних методів у практиці екологічних досліджень на прикладі міста Трускавець. Метою запропонованих досліджень є оцінка його загального забруднення та визначення магнітних фаз, що відповідають за зміни магнітності ґрунту спричинених техногенними процесами. В основу ідеї вибору даної території для проведення магнітних оцінок екологічного навантаження було покладено відносно слабкий рівень урбанізації Трускавця. У той же час місто є рекреаційною зоною та прикладом величезної кількості інших подібних регіонів в Україні та за її межами. У першу чергу, мова йде про переважну 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.

Місто Трускавець є відомим бальнеологічним курортом України та входить до Дрогобицько-Бориславської агломерації. Неподалік розташоване місто Стебник з величезною кількістю законсервованих шахт, з яких протягом століття вівся видобуток озокериту, калійних солей і т.д. У результаті функціонування стебницьких шахт утворилися пустоти та карстові зони, що є небезпечним для забруднення вод Трускавця. Іншими основними джерелами забруднення міста є автомобільний трафік та залізниця. Рекогносцирувальні роботи проводилися уздовж залізничної колії та кільцевої дороги Трускавця (рис. 4.23). Досліджувався верхній горизонт забруднених ґрунтів та відбиралися зразки пилових фракцій з дерев із гладкою поверхнею кори уздовж зазначених маршрутів. Фонові значення пилових фракцій та ґрунтів досліджувалися у межах лісу. Незабруднені

грунти представлені сірими лісовими, глеюватими слабкомагнітними відмінами. Забруднені ґрунти набули ознак класичних урбаноземів.

Магнітна сприйнятливість була виміряна для близько 100 зразків ґрунтів. Узагальнені дані магнітних параметрів природних об'єктів Трускавця, що нами досліджувалися наводяться у таблиці 4.5. Питома магнітна сприйнятливість ( $\chi$ ) 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  $\chi=36-155 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

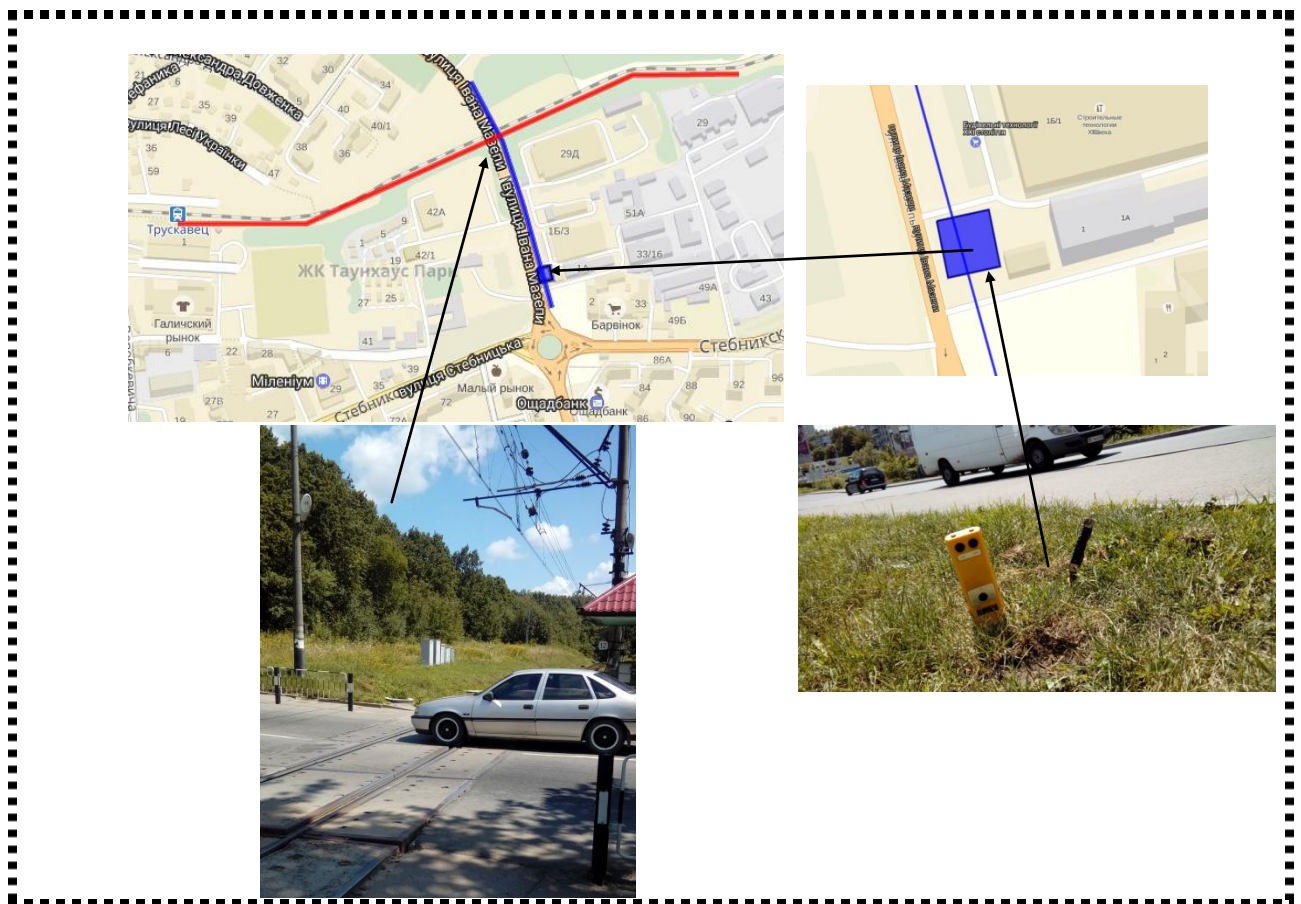


Рис. 4.23. Схема магнітних досліджень ґрунтів та пилових фракцій м. Трускавець. Червона та синя лінії – профілі №1 та №2. Синій прямокутник – місце площадного вивчення MS ґрунтів

Додатково було проведено площадне вивчення магнітної сприйнятливості поруч із найбільш навантаженим автомобільним трафіком місцем Трускавця – Стебницьким кільцем (рис. 4.24). Максимальні значення MS зафіксовані на відстані 0-8 м від автошляху ( $\chi=95-155 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг). Із віддаленням у бік лісу на відстані 20-25 м від дороги магнітна сприйнятливість спадає ( $\chi=35-25 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг), проте ще не досягає фонових значень, які наведені вище. Для завірки апріорного 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 співпадає із результатами роботи [143].

Таблиця 4.5.

## Магнітні параметри ґрунтів та пилових фракцій Трускавця

Об'єкт	$\chi \times 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг ( $\square \times 10^{-6}$ од. СІ для пилу)	$\chi_{fd}$ , %	ARM, Ам <sup>2</sup> /кг	$\chi_{ARM} \times 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	S <sub>ratio</sub>	Bc, mT	Bcr, mT	Mr мАм <sup>2</sup> /кг	Ms мАм <sup>2</sup> /кг
Фоновий ґрунт	9	-	1,62E-05	2,03E-07	0,71	11,5	40	0,701	6,497
Забруднений ґрунт, автошлях	109	2,2	1,36E-04	1,71E-06	0,99	9	29	10,362	135,288
Забруднений ґрунт, автошлях та залізниця	92	2,0	1,47E-04	1,85E-06	0,75	8	29,5	7,504	116,902
Фоновий пил	6	-	3,35E-06	4,21E-08	0,69	12,5	38	0,831	8,871
Пил, автошлях	18	-	1,24E-05	1,56E-07	0,79	8	33,5	1,635	26,810
Пил, автошлях та залізниця	27	-	2,10E-05	2,64E-07	0,80	8	33	2,502	37,227

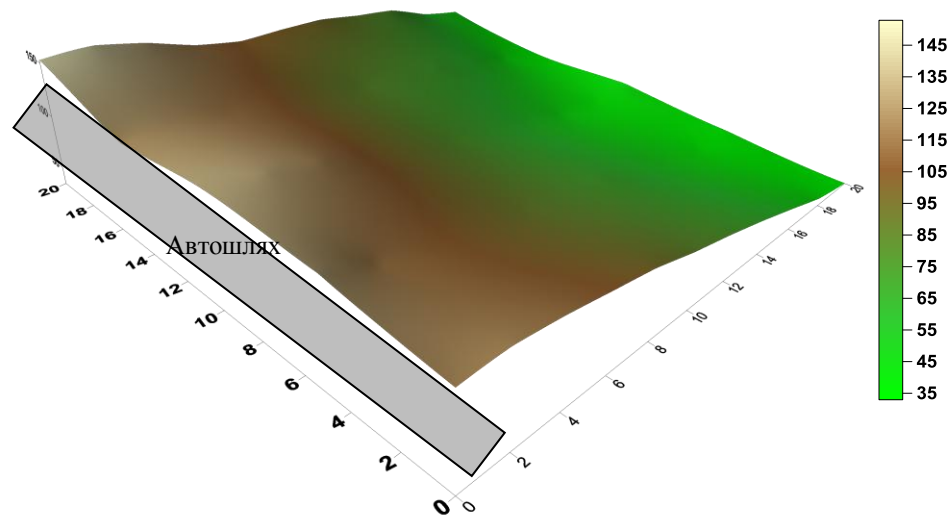


Рис. 4.24. Площадне вивчення магнітної сприйнятливості поруч із Стебницьким кільцем, Трускавець

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

Для ідентифікація магнітного матеріалу, що викликає описані вище екстремуми магнітної сприйнятливості нами було проведено термомагнітний аналіз зразків забруднених ґрунтів. Форма кривих двох циклів нагрівання та охолодження (рис. 4.25) вказує на основну магнетитову фазу із точкою Кюрі близько до  $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Пік поруч із відміткою у  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  може свідчити про неоформування магнетиту із домішків сульфідів заліза. На їх наявність також вказує незначний злам у кривій нагрівання близько  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 4.25a). У той же час існування переходів при температурі  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  може інтерпретуватися не лише як наявність піротинової фази, але й вмістом невеликої кількості однодомених зерен [306]. Даний факт дозволяє 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. Другий цикл нагріву (рис. 4.25б) вказує на повне заміщення усіх магнітних фаз на магнетит.

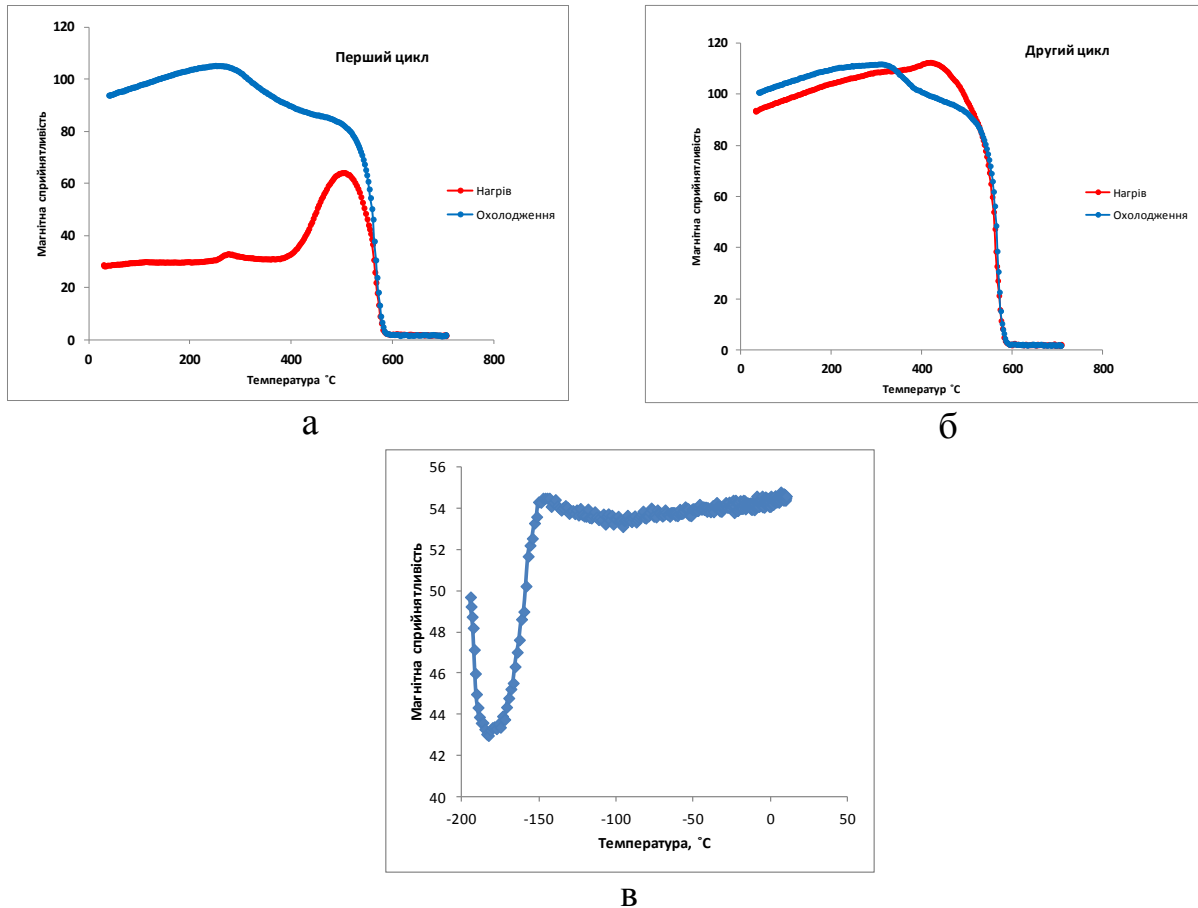


Рис. 4.25. Результати термомагнітного аналізу забруднених ґрунтів Трускавця: а – перший цикл нагріву-охолодження, б – другий цикл нагріву-охолодження, в – низькотемпературний аналіз.

Високоінформативним стало низькотемпературне дослідження магнітної сприйнятливості (рис. 4.25в). Зафіксований перехід Вервея на відмітці у  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $123.15\text{ K}$ ) є однозначним підтвердженням превалювання магнетиту як основного магнетика забруднених ґрунтів Трускавця.

Температурні дослідження змін магнітної сприйнятливості є доволі складними з точки зору інтерпретації отриманих результатів за рахунок існування фазових переходів магнетиків при їх нагріванні чи охолодженні.

Тому, для підвищення однозначності інтерпретації результатів ми виконали серію вимірювань температурних змін залишкової намагніченості за допомогою магнітометричної системи Quantum Design's MPMS 3. На рис. 4.26а наводяться 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. Таким чином термомагнітний аналіз  $IRM_{7T}$  реалізовується у безперервному режимі при швидкості охолодження/нагрівання 5 К/хв (1800 точок на кривій). У результаті отримані криві ZFC і ZFW включають багато стороннього шуму, що затрудняє ідентифікацію переходів Вервея та Моріна. Тому, було обчислено перші похідну різниці ZFC- ZFW із використанням фільтру (рис 4.26б). Із рис. 4.26а видно, що криві нагріву та охолодження розходяться на позначці близько 90 К. При цьому залишкова намагніченість після циклу охолодження нижче за початкову. Незважаючи на численні піки, що добре видні на рис. 4.26б, глобальний максимум ідентифікований при 127 К, що є близьким до переходу Вервея (110-125 К) та ізотропної точки магнетиту (130 К) [263].

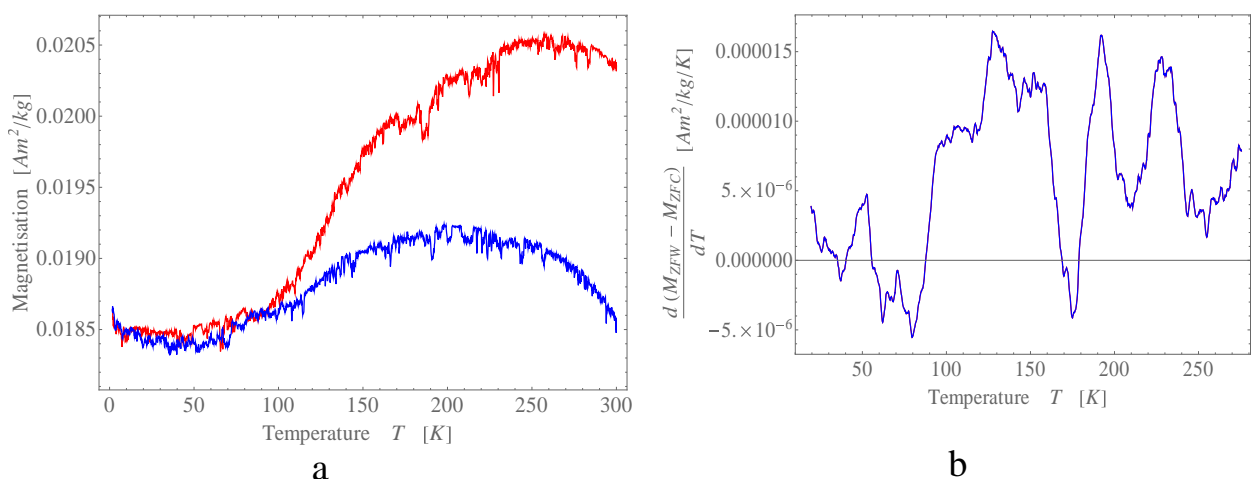


Рис. 4.26. Температурний аналіз залишкової намагніченості забрудненого ґрунту Трускавця: а – криві нагріву ZFW (синя) та охолодження ZFC (червона), б – перша похідна різниці ZFC- ZFW

Дані характеристики показують, що зразок включає головним чином багатодоменний (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 [263]. Той факт, що жодних різких змін величини залишкової намагніченості не ідентифіковано в околі ізотропної точки можна пояснити ступенем окислення, тобто зразок, може містити і магеміт. Таке припущення робилося нами й вище для термомагнітного аналізу магнітної сприйнятливості. Доказів наявності інших магнітних фаз (наприклад, гематиту) не виявлено.

З метою ідентифікації доменного стану магнітних мінералів, які спричиняють підвищення магнітної сприйнятливості у забрудненому ґрунті Трускавця ми провели визначення параметрів петлі Гістерезису та дослідили криву ізотермальної намагніченості насичення за допомогою оберտального магнітометра. Для зручності візуалізації відповідні матеріали наводяться у вигляді діаграми Дея (рис. 4.27).

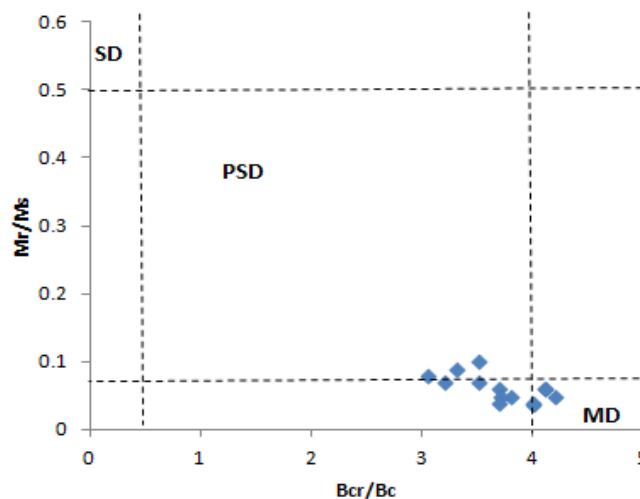


Рис. 4.27. Діаграма Дея для зразків забруднених ґрунтів Трускавця, Україна.

Дана діаграма ілюструє відношення залишкової намагніченості насичення до намагніченості насичення ( $M_r/M_s$ ) та залишкової

коерцитивності до коерцитивної сили ( $B_{cr}/B_c$ ). Діаграма дозволяє розбракувати стабільні однодоменні (SD) зерна (найчастіше педогенного походження), псевдооднодоменні (PSD) зерна (найбільш розповсюджені магнітні зерна ґрунтів) та мультидоменні (MD) зерна (найчастіше техногенного походження). Як видно з рис. 4.27 техногенний вплив підтверджується наявною у складі колекції частиною зразків зі превалюванням крупних мультидоменних або близьких до них псевдооднодоменних магнетитових фаз.

З метою підвищення однозначності інтерпретації результатів визначення параметрів петлі гістерезису ми провели додаткові дослідження за допомогою магнітометричної системи Quantum Design's MPMS 3. На рис. 4.28 наводяться результати вимірювання гістерезису при 30 (а) та 300 (б) К.

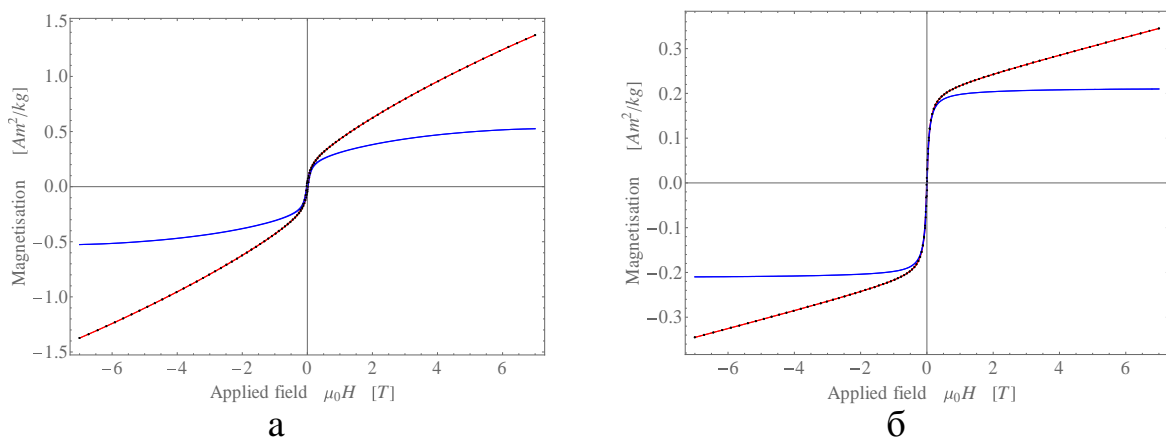


Рис. 4.28. Петлі гістерезису для забрудненого ґрунту Трускавця: а – виміряна при 30 К, б – виміряна при 300 К. Червона крива – виміряні дані без корекції, синя крива – із врахуванням корекції нахилу при високому полі

Виміряні дані були скориговані для зменшення впливу надпровідного магніту перед застосуванням корекції нахилу високого поля (червоні криві). Для цього використали спосіб насичення [161]. До корекції нахилу високого поля дані показують лінійне збільшення в діапазоні від 1 до 7 Т при кімнатній температурі. У той час при низьких температурах спостерігається асимптотична поведінка. Характер кривих при кімнатній та низькій

температурі вказує на наявність парамагнітних мінералів у складі ґрунту. Зростання значень в області слабого поля вказує на виникнення феромагнітних мінералів з низькою коерцитивністю. Тобто, величини  $V_s$  і  $V_{sr}$  зазвичай лежать в околі 10 та 30-40 мТл відповідно. Відношення  $M_r/M_s$  близьке до 0,1. Отже, параметри гістерезису підтверджують результати термомагнітних аналізів і вказують на присутність крупнозернистих псевдоододоменних (PSD) та мультидоменних (MD) зерен.

Результати визначення параметру  $S_{ratio}$ , яке є відношенням вимірної нами ізотермальної залишкової намагніченості при напруженості магнітного поля у 1,2 Тл та 0,1 Тл, дозволило розбракувати магнітом'яку та магнітожорстку компоненти. У випадку забруднених ґрунтів параметр  $S$  наближається до 1, що свідчить про превалювання магнітом'якого магнетиту. У той же час значно нижчі величини параметру  $S$  у випадку фонових сірих-лісових, глесвих ґрунтів свідчить про внесок магнітожорсткого висококоерцетивного мінералу, яким можуть бути у даному випадку педогенні гематит або гетит [276].

Як неодноразово показувалося вище, при розгляді магнетизму ґрунтів та пилових фракцій слабоурбанізованих територій основним вважається внесок викидів автомобільного транспорту, залізниці, мережі трамвайних ліній. Справді, для Трускавця залізниця та рух автотранспорту підвищує значення магнітної сприйнятливості ґрунтів та пилових фракцій атмосфери у десятки разів. Можна припустити [131], що до складу забруднених ґрунтів входять сферули  $PM_{10}$  частинок техногенного походження. Результати вивчення доменного стану магнетиків зразків ґрунтів підтверджують матеріали наведені у публікації [270]. Отже справді, крупнозернистий магнетит є основним магнітним мінералом забруднених ґрунтів та знаходиться у межах псевдоододоменного-мультидоменного стану. Крім того, у такому випадку ми можемо стверджувати, що концентрація міді,

цинку та свинцю у забруднених ґрунтах та пилових фракціях є вищою у порівнянні із ґрунтами лісової території Трускавця.

### *Узагальнення матеріалів магнітних досліджень забруднених ґрунтів в Україні та світі*

З метою більш глибокої інтерпретації та підтвердження отриманих нами результатів порівнюємо результати отримані нами для забруднених ґрунтів України із результатами дослідження взаємозв'язків між магнітними властивостями техногенно забруднених ґрунтів та вмістом у їх структурі важких металів, які було отримано за межами України.

Як підтверджено багатьма прикладами та власним фактичним матеріалом найчастіше змінені техногенні ґрунти характеризуються підвищеними значеннями магнітної сприйнятливості, характерними значеннями інших магнітних параметрів, коефіцієнтом частотної залежності магнітної сприйнятливості нижчими за 3-4 % із одночасним підвищеним вмістом деяких важких металів. При цьому у ряді випадків спостерігається значуща кореляційна залежність між магнітними та хімічними параметрами ґрунтів. У таблиці 4.6. наведена узагальнена інформація щодо магнетизму ґрунтів та атмосферних пилових фракцій, аналізи яких проводилися у різний час у різних частинах світу. Як видно з таблиці у модель покладено забруднені об'єкти, а отже фіксуються значення магнітної сприйнятливості, що у десятки і навіть сотні разів перевищують гранично допустимі для фонових природних ґрунтів, коефіцієнти частотної залежності не перевищують 4-5 із динамікою наближення до нуля, що підтверджує наявність у досліджених фракціях техногенних мультидоменних частинок. Найбільш забрудненими є урбанізовані території промислових підприємства та теплоелектростанцій, дещо нижче техногенне навантаження в околі автошляхів.

Таблиця 4.6.

Узагальнені дані щодо характерних значень низькочастотної магнітної сприйнятливості  $\chi_{df}$  та коефіцієнта частотної залежності  $\chi_{fd}$  техногенно заражених ґрунтів – урбоземів та атмосферних пилових фракцій різного походження для деяких частин світу

Автори колекції	Країна, місто	Характеристика дослідних зразків	$\chi_{df}, 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}$		$\chi_{fd}, \%$	
			Діапазон	Сер.	Діапазон	Сер.
Меньшов О.І.	Україна, Київ	Урбоземи, Ботанічний сад ім. акад. О.В. Фоміна	17-192	64	0,5-10	3
Меньшов О.І.	Україна, Дніпропетровськ	Урбоземи	12-184	97	3-4	3,5
Бондар К.М.	Україна, Кривий Ріг	Урбоземи	99-7173	1340	0,1-12,2	2,2
Бондар К.М.	Україна, Запоріжжя	Урбоземи	60-4086	680	0-13,3	3,3
Бондар К.М.	Україна, Маріуполь	Урбоземи	218-7963	1863	0,6-2,9	1,7
Woolnough, 1993	Англія, Ковентрі	Урбоземи	-	-	-	2,71
Lees, 1994	Англія	Урбоземи	-	-	-	1,93
Yang, 2007	Китай, Вухан	Урбоземи, сталевий комбінат	135-1384	534	0,6-3,8	1,7
Yang, 2007	Китай, Вухан	Урбоземи, сталевий комбінат, відстань 2-4 км	56-583	204	0,4-5,5	2,5
Yang, 2007	Китай, Вухан	Урбоземи, окіл автошляху	29-293	106	0,5-6,1	2,9
Fialova, 2006	Австрія, Лінц	Урбоземи, урбанізована територія	0-28	8	0-3	1,8
Fialova, 2006	Чехія, Острава	Урбоземи	2-575	325	0-3	2
Lu ma Bai, 2006	Китай, Ганжоу	Урбоземи, урбанізована територія	53-914	321	0,7-5,2	2,3
Lu ma Bai, 2006	Китай, Ганжоу	Урбоземи, окіл автошляху	40-597	179	0,7-5,6	2,5
Lu ma Bai, 2006	Китай, Ганжоу	Урбоземи, житлова зона	35-218	101	1,2-6,8	3,3
Lu ma Bai, 2006	Китай, Ганжоу	Урбоземи, паркова зона	9-140	61	0,8-6,2	4,5
Ні, 2007	Китай, Шанхай	Урбоземи	127-1959	450	0,5-2,7	1,5
Xie, 2001	Англія, Ліверпуль	Пилові фракції, урбанізована територія	169-1166	503	0,1-2,3	1,2
Лу, 2005	Китай	Автомобільні вихлопи	0-1073	180	0-0,12	0,01
Hunt, 1988	Англія	Летюча зола	-	-	-	3,45
Карічка, 2000	Чехія	Летюча зола, теплова електростанція	-	1149	-	1,3
Magiera ma Strzyszcz, 2000	Польща	Кам'яне вугілля, окіл 6 теплових електростанцій	1485-3360	2219	1,1-1,8	1,55
Magiera ma Strzyszcz, 2000	Польща	Буре вугілля, окіл 3 теплових електростанцій	150-760	645	1-5,3	2,33
Shan ma Lu, 2005	Китай	Летюча зола	494-1680	-	-	2,5
Wawer ma Magiera 2015	Польща, Забже	Урбоземи, окіл автошляху	679-709	691	2,5-3,1	2,8
Wawer ma Magiera 2015	Польща, Глівіце	Урбоземи, окіл автошляху	31-33	31	4,5-5,2	4,8
Wawer ma Magiera 2015	Польща, Ополе	Урбоземи, окіл автошляху	113-120	116	4,3-4,7	4,45
Ojha ma Appel, 2015	Німеччина, Тюбінген	Урбоземи, окіл автошляху	92-106	100	3,6-4,2	3,9
Ojha ma Appel, 2015	Німеччина, Ульм	Урбоземи, окіл автошляху	226-237	230	4,7-5,1	4,9
Ojha ma Appel, 2015	Німеччина, Бобінген	Урбоземи, окіл автошляху	286-295	282	2,1-5,8	4,0
Basavaiah, 2015	Таджикистан, Душанбе	Урбоземи, окіл автошляху	51-52	50	5,7-6,1	5,9
Kusza, 2015	Індія, Мумбаї	Урбоземи, окіл автошляху	1055-1069	1061	6,8-7,7	4,05
Ні, 2015	Китай, Ланжоу	Урбоземи, окіл автошляху	292-299	294	3,8-4,3	4,1

Паркові та рекреаційні зони міських агломерацій характеризуються підвищеними значеннями магнітної сприйнятливості, але не є екстремальними показниками. Також, зафіксовано, що спалювання бурого вугілля у порівнянні із кам'яним вугіллям на прикладі теплоелектростанцій Польщі веде до меншого забруднення довкілля.

Більшість магнітних частинок техногенного походження є мофрологічно відмінними за розміром зерен, а отже характеризуються особливою поведінкою магнітних параметрів. Наприклад, летюча зола (табл. 4.6) знаходиться у діапазоні 20-50 мкм, що відповідає стабільному однодоменному (SD) та мультидоменному стану (MD) із значенням  $\chi_{fd} < 2\%$  [128]. Ґрунтовий покрив поглинає летючу золу різного техногенного походження, а його магнітна сприйнятливість суттєво зростає. Слід зауважити, що причиною низьких значенню  $\chi_{fd}$  ґрунтів може бути й вплив парамагнітного або антиферомагнітного матеріалу, що генетично пов'язані, наприклад, із процесами заболочування, які викликають відновлення і розчинення феромагнітних зерен. Крім того, при інтерпретації отриманих результатів слід враховувати й забруднення органічними матеріалами, наприклад поліциклічними ароматичними вуглеводнями, особливо у точках спостережень поблизу автомобільних автошляхів [301].

У таблиці 4.7. наведені коефіцієнти кореляції магнітних параметрів та важких металів для декількох різних територій Китаю та Німеччини. Цікавою особливістю є те, що у цілому для Німеччини кореляційний зв'язок вищий, у ряді випадків становить 0,8-0,9. У той же час для Китаю лише для нікелю, міді та хрому спостерігаються високі коефіцієнти кореляції. Така картина фіксується нами не уперше, що говорить про необхідність у кожному окремому випадку ретельно аналізувати локацію досліджень, джерела забруднення, фонові допустимі значення магнітних та хімічних параметрів, структуру магнетиків, що власне викликають аномалії магнетизму ґрунтів.

Таблиця 4.7

Порівняльна таблиця коефіцієнтів кореляції між вмістом важких металів у ґрунтах та значеннями їх магнітних параметрів для міст Чібі, провінція Хубей, Китай [221] та Лаузиц, Східна Німеччина [288].

Параметр, локація	Zn	V	Ti	Pb	Ni	Mn	Cr	Cu	Ba
$\chi$ , Німеччина, Спремберг 1	0,79	-	-	0,98	0,94	0,8	0,95	0,83	-
$\chi$ , Німеччина, Спремберг 2	0,98	-	-	0,97	0,9	0,94	0,8	0,73	-
$\chi$ , Німеччина, Вейштрасер	0,95	-	-	0,71	0,31	0,51	0,92	0,97	-
$\chi$ , Китай, Чібі	-0,3	0,1	0,06	-0,2	0,2	-0,44	0,36	0,54	-0,52
$\chi_{fd}$ , Китай, Чібі	0,09	0,2	0,34	0,16	-0,02	0,11	0,19	-0,22	0,06
ARM, Китай, Чібі	-0,24	0,2	0,16	-0,18	0,3	-0,42	0,47	0,64	-0,55
SIRM, Китай, Чібі	-0,23	0,3	0,4	-0,16	0,45	-0,36	0,62	0,79	-0,55

*Примітка: ARM – безгістерезисна (ідеальна) залишкова намагніченість, SIRM – залишкова намагніченість насичення.*

Розглядаючи магнітну мінералогію урбоземів Китаю та Німеччини (із табл. 4.7) зауважимо, що за результатами вивчення параметрів петлі гістерезису для частини зразків міста Чібі [221] було ідентифіковано домінування схожої до магнетитової фази із низькою коерцетивністю та наближенням до насичення при магнітному полі у 300 мТл. При цьому накопичення поллютантів у ґрунтовому покриві відбувається у верхніх генетичних горизонтах (горизонт А), найчастіше до глибини у 20-40 см.

Отже, серед магнітних фаз, які найчастіше присутні у структурі техногенних ґрунтів – урбоземів, завжди ідентифікується магнетит, який виявляється дослідженням параметрів петлі гістерезису, термомагнітим аналізом та підтверджується електронною мікроскопією. Залучаючи дані про коефіцієнт частотної залежної магнітної сприйнятливості ( $\chi_{fd}$ ) у вуличному пилу найчастіше фіксується домінування грубозернистого матеріалу (псевдооднодоменний або мультидоменний) саме антропогенного

походження. Зауважимо, що природні магнетики (педогенного походження, які відповідають за фоновий магнетизм незабруднених ґрунтів) найчастіше представлені суперпарамагнітними (SP) та однодоменними (SD) зернами із вищими значеннями  $\chi_{fd}$ . Основними джерелами техногенного забруднення, які можна з високою інформативністю ідентифікувати за допомогою магнітних вимірювань є вихлопні гази автомобільного транспорту, теплові електростанції, металургійні, цементні, хімічні комбінати, котельні із вугільним паливом.

### **4.3 Інформативність магнетизму ґрунтів при забрудненні довкілля вуглеводнями**

Забруднення вуглеводнями ґрунтового покриву, підстилаючих гірських порід, палеопедосфери та ґрунтових вод є однією із глобальних проблем дослідження навколишнього природного середовища та його сталого розвитку. При цьому йде пошук оптимальних методик виявлення відповідних забруднень та відновлення заражених при цьому природних об'єктів.

Одним із джерел забруднення довкілля є вуглеводні, які проникають та накопичуються у ґрунтовому покриві, підстилаючих горизонтах та ґрунтових водах. Відбувається такий процес під час видобування, переробки, транспортування та зберігання вуглеводнів та нафтопродуктів. У підсумку негативного впливу можуть зазнавати величезні площі продуктивних аграрних земель, знижується якість вод, відбувається вплив на навколишню біоту, відбувається зміна хімічних та фізичних властивостей геологічного середовища. У той же час існують дієві схеми контролю та відновлення забруднених нафтопродуктами ґрунтових покривів. Будуються відповідні математичні моделі міграції легких вуглеводнів, проводиться кількісна оцінка їх вмісту, біодеградація, розчинення, сорбція та випаровування [94].

При цьому класичною та універсальною технологією очистки ґрунтів є мікробіологічні методи. Вони засновані на розкладанні нафтопродуктів мікроорганізмами, що присутні у ґрунтах, або спеціально додаються у процесі очистки ґрунтів. Відповідні методи забезпечують деградацію нафти, не створюють негативного впливу на ґрунтову екосистему. При цьому найбільш ефективною є методика комплексування сорбційних та мікробіологічних методів [34].

Оцінка ступеню деградації ґрунтів під впливом вуглеводнів здійснюється шляхом порівняння між виміряною концентрацією та гранично допустимими нормами. При цьому важливим є національне законодавство щодо допустимих норм сумарної концентрації нафтопродуктів у ґрунтовому покриві, яке є суттєво різним для країн світу [271].

Найбільш небезпечними для ґрунтового покриву є незв'язані вуглеводневі сполуки [108], які проникають у ґрунти і можуть легко мігрувати. Рідкі вуглеводні зазвичай проникають у ґрунти під дією капілярних та гравітаційних сил. При цьому основна частина рідини за рахунок сорбції та капілярних сил з часом стає малорухливою і залишається в зоні аерації [3]. Основними об'єктами багаторічних забруднень високотоксичними органічними рідинами є території нафтогазоконденсатних родовищ, екологічно недосконалі продуктопроводи, застарілі нафтогазопереробні заводи, бази зберігання паливномастільних матеріалів, ракетні та військові бази, аеродроми [94].

При дослідженні забруднення верхньої частини геолічного розрізу вуглеводнями слід враховувати, що легкі вуглеводні за рахунок своєї рухомості можуть мігрувати та значно розширювати ареали своєї первинної локалізації. Під час даного процесу спостерігається зменшення фракції легких вуглеводнів, зменшується токсичність, проте зростає вміст та токсичність більш небезпечних для людини ароматичних вуглеводнів.

Зазначені вище підходи є доволі громіздкими та вартісними на усіх етапах від виявлення та картування зон забруднення вуглеводнями ґрунтів та підстилаючи горизонтів до застосування процедур ремідації ґрунтів. У той же час доволі інформативними та ефективними виступають магнітні методи дослідження ґрунтів та виявлення ділянок найбільшого забруднення нафтопродуктами [274]. Мікроорганізми у ґрунтовому покриві за присутності вуглеводнів призводять до біодеградаційних процесів, що у свою чергу супроводжується відновленням тривалентного заліза  $Fe^{+3}$ , формуванням аутогенних магнітних мінералів (наприклад, магнетиту), переходом залізовмісних сполук з однієї фази в іншу. При цьому вимірювання магнітної сприйнятливості та інших магнітних параметрів ґрунтів дозволяє визначати локалізацію та джерела вуглеводневого забруднення [272].

Розглянемо декілька прикладів магнітних досліджень територій забруднення нафтопродуктами.

### ***Територія колишнього військового аеродрому у місті Прилуки, Україна.***

Дослідження проводилися нами у рамках гранту Міністерства Освіти і Науки України згідно указу Президент України «Про Цільовий план Україна - НАТО на 2008 рік у рамках Плану дій Україна – НАТО», який передбачав, зокрема, проведення екологічних досліджень на колишньому військовому аеродромі у м. Прилуки з метою визначення ефективної технології очищення ґрунтів, забруднених внаслідок військово-господарської діяльності [108].

Дослідний полігон розташований у південно-західному передмісті Прилук, у районі базування військового підрозділу Повітряних сил (в/ч 4245). Власне база представляє собою аеродром зі злітною смугою, місцями стоянки літаків та іншими елементами інфраструктури, в тому числі і двома колишніми складами паливно-мастильних матеріалів. Слід відзначити вражаючу руйнацію більшості елементів інфраструктури.

За узагальненими результатами ландшафтних досліджень України вивчена територія знаходиться в межах лесової низовини і представлена прохідною долиною низько- і слабкогорбистою. Сучасний зональний ґрунтовий покрив навколишніх ландшафтів представлений чорноземом опідзоленим, його потужність складає 0,7-1,4 м. Узагальнена будова генетичних горизонтів представлена в таблиці 4.8 [13].

Таблиця 4.8

Узагальнена будова генетичних горизонтів чорнозему опідзоленого природних ландшафтів околиці колишнього військового аеродрому у м. Прилуки

<i>Генетичний горизонт</i>	<i>Глибина, м</i>	<i>Характеристика</i>
<b>H(e)</b> <b>(A)</b>	0-0,5	Темно-сірий, супісчаний, рихлий, трохи комкуватий, безкарбонатний, перехід поступовий
<b>Hp(i)</b> <b>(B)</b>	0,5-0,9	Бурувато-сірий, злегка ущільнений, з неясно вираженою комкувато-горіховою структурою, закипає на глибині 0,85 м, перехід поступовий, язиками.
<b>Phk</b> <b>(C)</b>	0,9-1,15	Сірувато-палевий з буруватим відтінком, карбонатний

Узагальнений валовий хімічний склад чорнозему опідзоленого дослідної ділянки представлено у таблиці 4.9 [13]. Верхня частина ґрунтового розрізу вміщує невелику кількість гумусу, розподіл з глибиною слабоамплітудний.

У той же час відмічається значна диференціація карбонатів та валових форм оксидів металів за рахунок елювіально-ілювіальної будови чорнозему опідзоленого. Дані сполуки переважають в перехідних та підстилаючих горизонтах порівняно з верхніми гумусними.

Таблиця 4.9

Узагальнений валовий хімічний склад чорнозему опідзоленого природних ландшафтів околиці колишнього військового аеродрому у м.

## Прилуки

Генетичний горизонт	Глибина, м	H <sub>2</sub> O %	Гумус %	CaCO <sub>3</sub> %	У % до безводного, безгумусного, безкарбонатного ґрунту				
					SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
H(e) дерн	0,2-0,3	0,88	1,28	0,27	87,41	1,83	1,62	0,77	0,49
H(e)	0,35-0,4	0,71	1,03	0,54	87,47	1,73	2,03	1,13	1,05
Hp(i)	0,5-0,6	0,69	0,92	0,70	88,09	4,93	2,44	1,04	1,21
Hpk(i)	0,7-0,8	0,65	0,77	8,23	88,78	3,96	2,19	-	1,01
Phk	1,0-1,1	0,53	0,63	9,70	88,32	4,08	2,23	2,13	0,99

У таблиці 4.10 [13] приводиться узагальнений механічний склад чорнозему опідзоленого природних ландшафтів околиці колишнього військового аеродрому у м. Прилуки. Збіднення верхнього ґрунтового горизонту на луги та окисли не супроводжується збільшенням вмісту SiO<sub>2</sub> та зменшенням мулистості. Незначне зменшення вмісту мулистих фракцій спостерігається лише в горизонті H(e).

Таблиця 4.9

Узагальнений механічний склад чорнозему опідзоленого природних ландшафтів околиці колишнього військового аеродрому у м. Прилуки

Генетичний горизонт	Глибина, м	Сухі солі %	Фракційний склад у %, розміри, мм					
			>0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
H(e) дерн	0,2-0,3	1,39	12,84	34,45	35,45	2,82	1,47	13,04
H(e)	0,35-0,4	1,41	12,04	38,15	33,76	2,91	1,56	11,58
Hp(i)	0,5-0,6	1,45	11,36	37,85	34,64	2,13	2,01	12,01
Hpk(i)	0,7-0,8	7,62	12,57	34,87	34,76	2,60	2,26	12,94
Phk	1,0-1,1	10,34	11,71	38,16	34,46	3,12	1,63	10,92

Виходячи з наведених даних відзначимо, що процес руйнування торкнувся мінеральної частини досліджуваних ґрунтів незначною мірою.

Частково він компенсувався процесами глиноутворення та гумусонакопичення. В той же час значна частина ґрунтового покриву території колишнього військового аеродрому Прилуки зазнала техногенних змін і набула рис урбанозему або за класифікацією ФАО – група Anthrosols [25]. Зазначені зміни є неоднорідними. Більшість території характеризується звичайною степовою рослинністю. Найбільш забруднені ґрунти, в яких відзначаються видимі ознаки зараження нафтопродуктами розповсюджені безпосередньо поблизу місць сховищ авіаційного палива та інших вуглеводневих резервуарів.

Основним джерелом забруднення є трубопровід, що з'єднує склади, проходить по схилу прохідної долини з південно-західним нахилом в сторону р. Удай. На рис. 4.29 наведена схематична ґрунтово-геологічна модель зони вуглеводневого забруднення авіаційним паливом ТС-1.

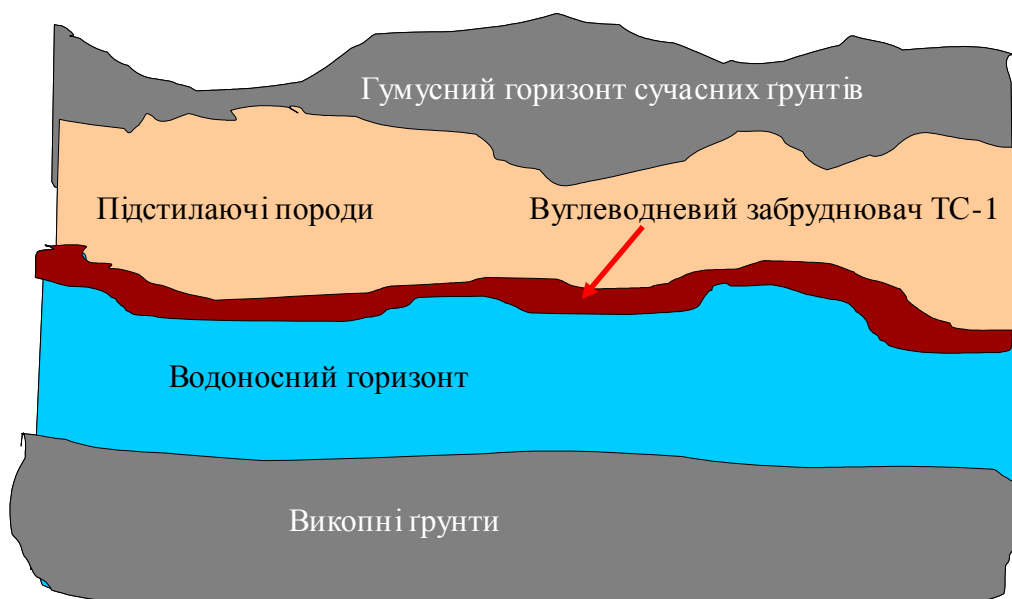
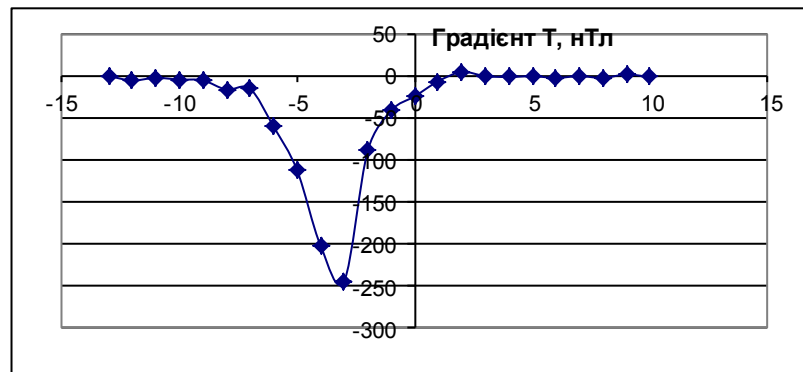


Рис. 4.29. Ґрунтово-геологічна модель зони вуглеводневого забруднення території колишнього військового аеродрому у м. Прилуки, Україна

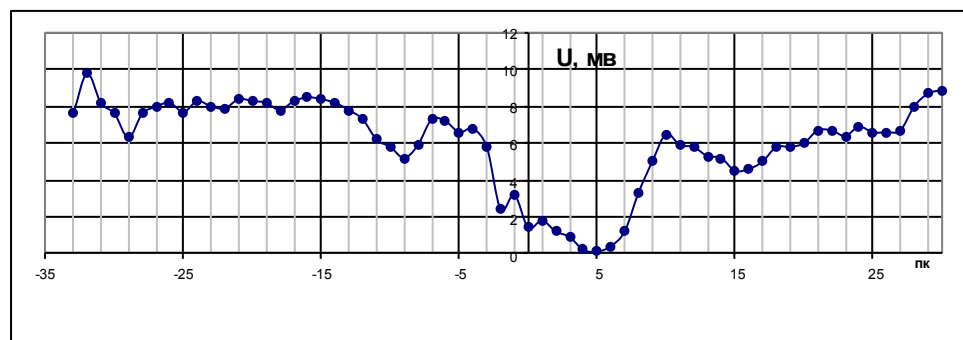
Найбільші витoki палива фіксуються в околі технологічного колодязя. Вони відбувались в процесі перекачки авіаційного палива розгалуженою мережею трубопроводів, що створювалась ще в часи будівництва інфраструктури аеродрому. Геофізичні та ґрунтознавчі дослідження території колишнього військового аеродрому у місті Прилуки, Україна носили комплексний характер. Було проведено ландшафтний опис дослідної ділянки, районування території військового аеродрому. Як зазначалося вище інформативність магнітних методів у комплексі з іншими петрофізичними та геофізичними вишукуваннями досліджували у частині найбільшого впливу забруднюючої вуглеводневої речовини, безпосередньо біля технологічного колодязя та системи трубопроводів. Характерною особливістю даної території є пригніченість рослинності в місцях наочно зафіксованого забруднення ґрунтів вуглеводнями. Однією із першочергових задач було дослідити ефективність геофізичної технології при вивченні точної просторової характеристики згаданої мережі продуктопроводів. Окрім магнітометрії в околі технологічного колодязя проведені біометричні та електрометричні (методом природного поля) дослідження. На рис. 4.30 наводяться результати магнітометрії (вертикальний градієнт повного вектора магнітного поля  $T$ ) електрометрії (потенціал  $U$ , мВ методом природного електричного поля). В результаті проведених магнітометричних досліджень встановлено, що орієнтація вісі простягання трубопроводу має азимут близько  $305^\circ$ . Крім того, зафіксовано зміну орієнтації вектору намагнічування по зміні полярності локального магнітного поля на відстані біля 60 м від колодязя, що може бути пояснене можливою наявністю місця з'єднання ланок трубопроводу, а отже й витоків авіаційного палива [57].

Інтерпретуючи результати спостереженого аномального електричного природного поля відмітимо наявність трьох зближених однознакових аномалій потенціального поля, що можна пояснити суперпозицією двох зближених (аж до перекриття) різнознакових аномалій. Вивчення

електричного природного поля по інтерпретаційному профілю виконувалось кілька разів для контролю залежності зареєстрованого аномального поля від стану ґрунту (сухий, зволожений після дощу різної інтенсивності, зволожений після танення снігового покриву). Отримані результати при цьому практично співпадали. Ця обставина спонукає вважати єдиною реальною причиною збурення природного поля електрохімічні процеси, що зараз відбуваються у верхній частині літосфери та ґрунтовому покриві.



а



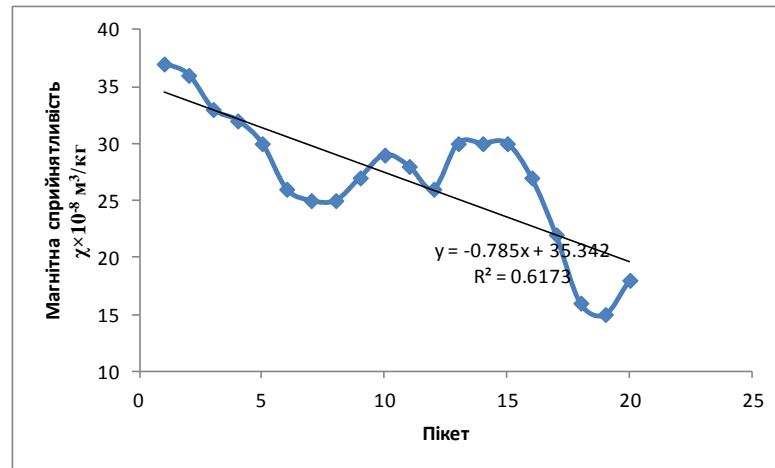
б

Рис. 4.30. Результати комплексних магнітометричних та електрометричних досліджень по інтерпретаційному профілю в межах технологічного колодязя полігону Прилуки: а – графік градієнту магнітного поля  $T$ , нТл; б – графік значень потенціалу  $U$ , мВ методом природного електричного поля.

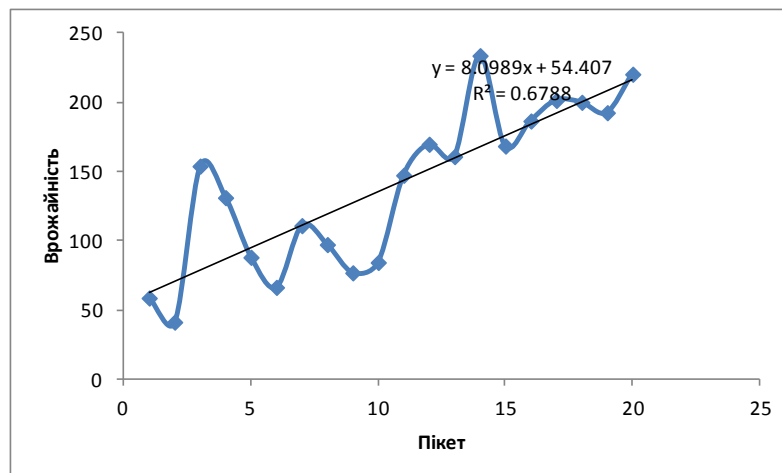
Оскільки найбільша за амплітудою аномалія електричного природного поля просторово практично співпадає з магнітною, їх слід вважати генетично спорідненими (такими, що викликаються одним джерелом, в нашому випадку феромагнітною сталлю трубопроводу, що кородується). Відтак інші електричні аномалії (симетричні відносно центральної) мають своїм джерелом відмінні від продуктопроводу аномальні об'єкти. В межах технологічного колодзя найбільш ймовірним джерелом є забруднений авіапаливом ґрунтовий покрив, що поглинається біотою, а відтак маркується електрохімічними процесами [108].

Розглянемо більш детально зміни уздовж описаного вище інтерпретаційного профілю магнітної сприйнятливості ґрунтів та показників родючості кукурудзи, а також впливи на них витоків нафтопродуктів і відповідні взаємозв'язки. Результати наведені на рис. 4.31. Як видно з рис. 4.31а значення магнітної сприйнятливості знижується із віддаленням від осередків витоків нафтопродуктів у ґрунтовий покрив. Абсолютні величини магнітної сприйнятливості у цілому знаходяться у межах фонових:  $\chi=20-40 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . При вивченні забруднення вуглеводневими продуктами слід враховувати, що у даному випадку ми не спостерігатимемо підвищень у рази, як у випадках техногенного зараження важкими металами та іншими викидами промисловості. Магнітні мінерали не є привнесеними у наслідок техногенних процесів. Вони формуються безпосередньо у процесі аутогенетичних змін та при ґрунтоутворенні. Відмінною рисою є лише інтенсифікація мінералоутворення під впливом органічної вуглеводневої речовини та мікроорганізмів. У той же час відмічено пригнічення рослинності поблизу технологічного колодзя і трубопроводів. Графік зміни врожайності кукурудзи (рис. 4.31 б) ілюструє у цілому протилежну картину до магнітної сприйнятливості. Це говорить про те, що органічна речовина, яка встигла сформувати аутогенні магнітні мінерали та підвищити магнетизм ґрунту не знаходиться у корисних для рослин формах, а навпаки пригнічує їх

розвиток. Дане твердження є протилежним до картини, що фіксується найчастіше у випадку незабруднених ґрунтів, коли збільшення органічної речовини веде до росту магнітних показників [107].



а



б

Рис. 4.31. Результати комплексних магнітних досліджень по інтерпретаційному профілю в межах технологічного колодязя: а – графік зміни значень питомої магнітної сприйнятливості верхнього гумусового горизонту ґрунтів із віддаленням від технологічного колодязя і системи трубопроводів, б – графік зміни урожайності кукурудзи уздовж даного профілю

Загальна латеральна мінливість магнітної сприйнятливості орного шару ґрунтів із віддаленням від технологічного колодязя має хвилеподібний характер. Це свідчить, що процес формування магнітних мінералів

біогенного походження триває з різним ступенем інтенсивності у реальному режимі часу. У той же час нами була виявлена дуже інформативна особливість при вивченні розподілу магнітної сприйнятливості по вертикалі у ґрунтовому розрізі (рис. 4.32). Абсолютні величини і характер зміни кривої магнітної сприйнятливості з глибиною залишаються подібними до фонових ґрунтів, що вивчалися у інших пунктах спостереження полігону Прилуки. Розріз розподілений на верхній гумусний горизонт А, перехідний горизонт В та підстилаючий горизонт С. Магнітна сприйнятливості у цілому спадає з глибиною. У той же час фіксується значне збільшення потужності гумусового горизонту, який у даному випадку є доволі молодим утворенням і не фіксується у зростанні величини магнітної сприйнятливості.

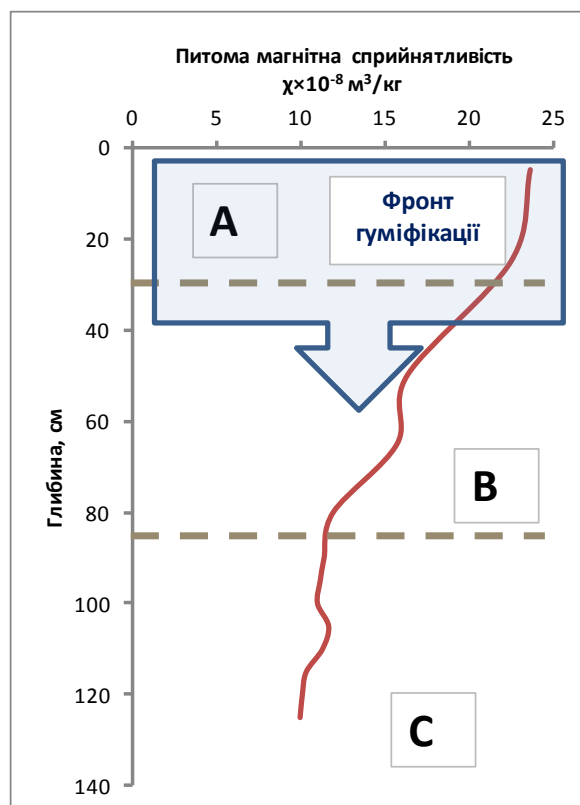


Рис. 4.32. Розподіл магнітної сприйнятливості по вертикалі у ґрунтовому розрізі із наявним фронтом гуміфікації, полігон Прилуки, Україна

Описане явище за А.В. Сухорадою запропоновано віднести до нової концепції еволюції ґрунтового покриву на тих його ділянках, які контактують

з вуглеводневими сполуками в достатньо окисних умовах. Він вважає, що контактова поверхня первинного ґрунту (навіть в інженерно-геологічному сенсі цього терміну) при наявності достатнього для існування специфічної біоти повинна сприйматись на основі уявлення про фронт гуміфікації [108]. Під цим терміном розуміється своєрідний ореал перетворення забруднених (особливо в умовах техногенного тиску на екосистему) вуглеводнями ґрунтів у відносно збагачену гумусом субстанцію. В нашому випадку відбувається збагачення гумусом ґрунтового покриву з нарощуванням гумусового шару.

Факт того, що магнітна сприйнятливість у даному випадку не демонструє суттєвого зростання у межах фронту гуміфікації може пояснюватися тим, що надходження нафтопродуктів неоднозначно впливає на активність ферментів у короткому проміжку часу і може як посилювати, так і послаблювати вплив на магнітність ґрунту залежно від інтенсивності забруднення, типу ґрунтів, часових проміжків впливів. Згідно [116], важливе значення для оцінки ступеня забруднення довкілля нафтопродуктами має гумусний стан ґрунтів. Оскільки основним компонентом вуглеводнів є вуглець С, питомий вміст якого складає 83-87 %, то вміст органічної речовини у розрахунку на загальний вуглець і гумус у забрудненому ґрунті зростає якраз за рахунок вуглецю нафтопродуктів. У той же час із збільшенням привнесеного у ґрунти вуглецю відбувається якісна зміна бігумінозних речовин та групового складу гумусу. Ці зміни залежать від фізико-хімічних властивостей вуглеводнів та складу власної органічної речовини ґрунтів. Це пояснює зовсім іншу картину взаємозв'язків між магнітними властивостями ґрунтів та вмістом у них органічних сполук природного педогенного походження у порівнянні із забрудненням земель вуглеводнями.

### *Дослідження полігону Градкани, Чехія.*

Для більш глибокого аналізу інформативності магнетизму ґрунтів при дослідженні територій забруднених нафтопродуктами та підвищення якості інтерпретації розглянемо приклад закордонного досвіду. Полігон Градкани, Чехія – це колишня радянська база повітряних збройних сил. Даний об'єкт досліджувався в рамках виконання спільного німецько-чеського проекту нашими колегами, що частково фінансувався DFG (Німецьке науково-дослідницьке товариство) [274].

Об'єкт розташований у 100 км на північ від Праги. Ґрунтовий покрив суттєво забруднений вуглеводнями за рахунок витоків із резервуарів та трубопроводів протягом 25 років. Дана територія є однією із найбільш важливих для Чехії як джерело якісної води ґрунтового походження. На території бази проводилися відновлювальні роботи, які включали повітряне барботування, яке змивало забруднювачі у осадовий прошарок під час зростання рівня ґрунтових вод. При цьому відбувається ряд біохімічних процесів. Мікроорганізми *Comamonas acidovorans*, які знайдені в осадових породах, активно взаємодіяли із вуглеводнями разом із додаванням поживних речовин типу азоту та фосфору. Мікроорганізми відіграють визначальну роль у формуванні та переміщенні залізистих мінералів у забруднених вуглеводнями ґрунтах [225]. При цьому можуть одночасно відбуватися процеси як окиснення заліза, так і його відновлення, що залежить від функціональних властивостей мікроорганізмів продукувати магнітні мінерали заліза або знижувати їх вміст шляхом розчинення та розпаду за відповідних фізико-хімічних умов [203, 226].

Магнітні дослідження, що виконувалися у межах полігону Градкани, Чехії, включали ряд аналізів, що спрямовані на виявлення носіїв магнетизму, їх розмірів, магнітних фаз, розмірів магнітних зерен. Вивчалися безгістерезисна (ідеальна) залишкова намагніченість (ARM), ізотермальна залишкова намагніченість насичення (SIRM), безгістерезисна магнітна

сприйнятливість ( $\chi_{ARM}$ ), температурні та частотні залежності магнітної сприйнятливості.

На рис. 4.33 наведено характер зміни залежних від концентрації магнетиків у зразках магнітних параметрів з глибиною.

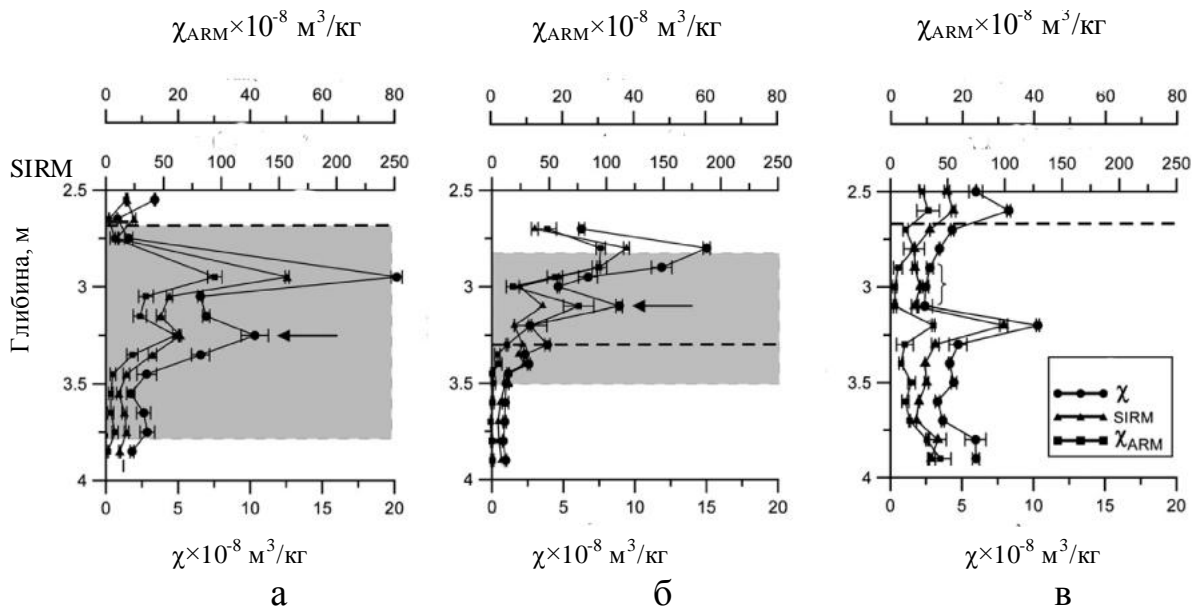


Рис. 4.33. Вертикальні зміни  $\chi$ , SIRM,  $\chi_{ARM}$  трьох дослідних секцій дослідного полігону Градкани, Чехія [274]. Затемнена частина графіків – зона флуктуацій рівня підземних вод, горизонтальна пунктирна лінія – рівень підземних вод під час відбору зразків.

Для секцій **а** та **б** відзначається близько 5 максимумів досліджуваних величин, головним чином у зоні флуктуацій рівня ґрунтових вод. В той же час для секції **в** такі максимуми менш помітні, що може свідчити про нижчий рівень забрудненості даної частини дослідної території. Таким чином, формування нових ферімагнітних мінералів відбувається за рахунок змін рівня ґрунтових вод. Крім того, криві магнітних параметрів вказують на те, що магнітний ефект підвищується з наближенням до верхньої частини рівня ґрунтових вод. Нижче, де вода є постійно, вміст ферімагнітної фази значно падає, оскільки водний горизонт стає певним бар'єром.

На рис. 4.34 наведено кореляційний зв'язок між питомою магнітною сприйнятливістю  $\chi$  та ізотермальною залишковою намагніченістю насичення SIRM, ідеальною залишковою намагніченістю ARM. Усі параметри є індикаторами магнітних фаз у зразках. В той час як SIRM та ARM контролюються лише феро (фері) магнітною фазою, то  $\chi$  залежить також від вмісту парамагнетиків. Як видно з рисунку  $\chi$  головним чином формується феромагнетиками, а отже вони справляють основний вплив на магнітні властивості дослідних зразків полігону Градкани, Чехія.

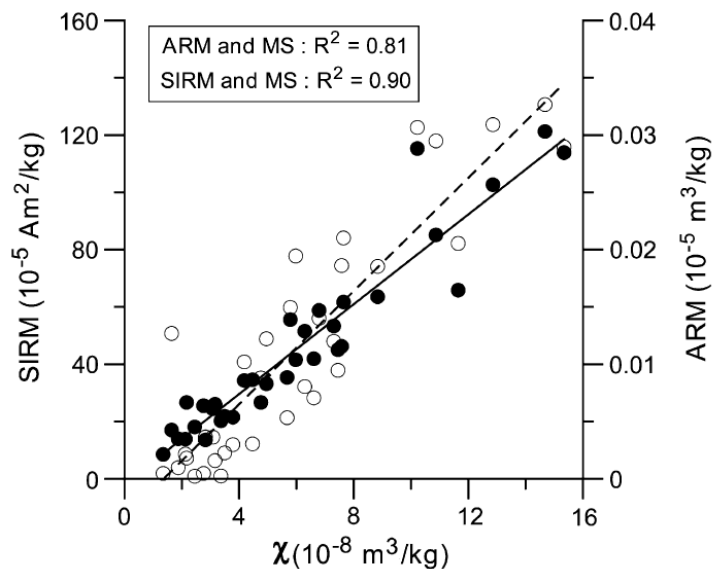


Рис. 4.34. Лінійна залежність між  $\chi$  та SIRM (чорні точки),  $\chi$  та ARM (світлі точки) зразків ґрунтів та підстилаючого горизонту дослідного полігону Градкани, Чехія [274].

Для визначення типу та розмірів новоутворених магнітних мінералів проводився ряд додаткових досліджень. На рис. 4.35 представлено результати термомагнітного аналізу двох зразків із зони флуктуацій підземних вод секцій **а** та **б**. Температура Кюрі вказує на присутність магнетитової (або близької до неї) магнітної фази. Для розділення високо на низькокоерцитивних фаз використовувався аналіз кривих ізотермальної

залишкової намагніченості (IRM). Результати показали, що висококоерцитивні компоненти (гематит та гетит) домінують у зразках із низькою концентрацією феромагнетиків (секція **в**). Це підтверджує, що дані мінерали природного походження, а їх вміст значно падає у зонах флуктуацій ґрунтових вод (а отже і забруднення вуглеводнями), де росте вміст феро (фері) магнітної фази вторинного походження (аутогенні магнетики). Відношення  $S_{ratio}$  (використовується для визначення магнітожорсткої компоненти – гематит до магнітом'якої компоненти – магнетит) для IRM при  $-0,3$  Тл складає  $>0,9$ , що також вказує на формування магнітом'якого вторинного магнетиту у зонах активності, яка викликається вуглеводневими речовинами. Дослідження частотно-залежної магнітної сприйнятливості показало, що у більшості зразків присутня суперпарамагнітна фаза  $<30$  нм ( $\chi_{fd}=4-8$  %).

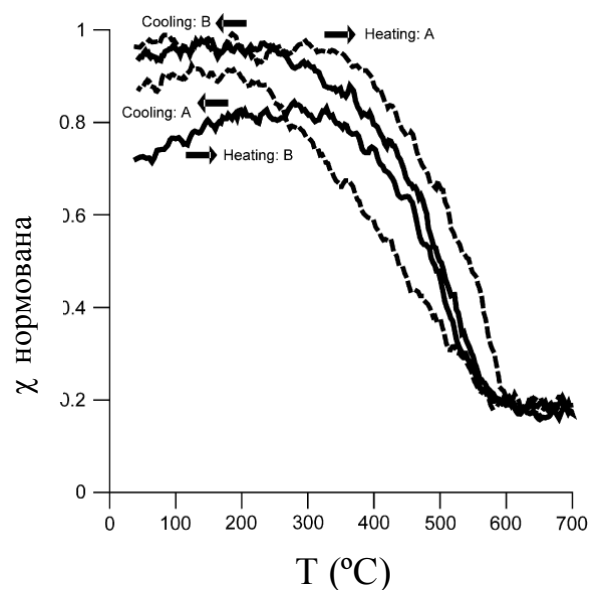


Рис. 4.35. Температурна залежність (нагрівання та охолодження) магнітної сприйнятливості (нормована) двох зразків із зони флуктуацій підземних вод секцій **а** та **б** дослідного полігону Градкани, Чехія [274]

Порівняємо результати магнітних досліджень двох генетично схожих територій Прилуки, Україна та Градкани, Чехія стосовно забруднення вуглеводнями ґрунтового покриву та підстилаючих горизонтів. Результати показали, що процес забруднення нафтопродуктами ґрунтового покриву, підстилаючих порід та ґрунтових вод характеризується рядом спільних рис. Перша з них – це флуктуація рівня ґрунтових вод, що призводить до інтенсифікації забруднення вуглеводнями верхніх шарів геологічного розрізу. При цьому формується так званий фронт гуміфікації, який характеризується зміною магнітних властивостей досліджуваних об'єктів. Найбільш хімічно враженими виявляються горизонти, що залягають нижче сучасного ґрунтового покриву.

В процесі флуктуацій ґрунтових вод та при внесенні відповідних біоактивних речовин формуються вторинні магнітні мінерали. Одним із них може виступати магнетит, що представлений однодоменною фазою. Сумарний вміст новоутвореного магнетиту зростає із підвищенням вмісту вуглеводнів.

Контроль та побудова схем відновлення забруднених вуглеводнями ґрунтів і підстилаючих порід з успіхом може реалізовуватися на основі комплексного ландшафтно-геофізичного аналізу та вивчення магнітної мінералогії. Результати є важливими для розробки нових технологій виявлення витоків нафти із використанням простих та швидкісних магнітних вимірювань, а також можуть використовуватися при дослідженні зв'язків між міграцією вуглеводнів та магнітними властивостями відповідних горизонтів.

#### **Висновки до розділу 4.**

Таким чином, магнітні дослідження забруднених ґрунтів урбанізованих територій та пилових фракцій атмосферного повітря, які накопичуються як у структурі ґрунтового покриву, так і на плоских скляних віконних поверхнях, а також на поверхні кори дерев, на конкретних прикладах продемонстрували

свою високу інформативність та ефективність при оцінці загального забруднення територій. У процесі магнітних досліджень стає можливим визначати ареали забруднення, залежності від географічних напрямків, висоти над поверхнею Землі, проводити розбраковку магнітного сигналу залежно від джерела викидів небезпечних речовин. Визначено, що доменний стан магнітного матеріалу, його розміри та форма залежать від його походження та знаходяться у тісному генетичному зв'язку із важкими металами та іншими небезпечними для живих організмів сполуками. У ряді випадків коефіцієнти кореляції між магнітною сприйнятливістю та вмістом міді, цинку, свинцю складують 0,8-0,9. Магнітні частинки забруднених ґрунтів та пилових фракцій найчастіше перебувають у мультидоменному стані та є крупнозернистими. Магнітні сфери представлені магнетитом техногенного походження. Частотна залежність магнітної сприйнятливості при цьому не перевищує  $\chi_{fd}=3-4$  %. Серед найбільш небезпечних магнітних пилових фракцій визначено так звані PM10 – частинки розміром менше за 10 мкм, що легко переносяться у повітряному просторі, а під час дихання потрапляють в організм людини і спричиняють небезпечні захворювання. Магнітні дослідження ґрунтів та пилових фракцій атмосферного повітря довели, що є експресною, високоефективною та ресурсозберігаючою технологією для розв'язання природоохоронних завдань. Спосіб відбору пилових фракцій виявився патентоспроможним і рекомендується для визначення локального та регіонального забруднення довкілля, а також включення до системи моніторингу за повітряними басейнами міських агломерацій, які проводяться геофізичними обсерваторіями та метеорологічними службами країни.

## **РОЗДІЛ 5**

### **ІНФОРМАТИВНІСТЬ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТІВ ПРИ ПОШУКАХ ВУГЛЕВОДНІВ ТА РОЗВ'ЯЗАННІ ДЕЯКИХ ІНШИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ**

З метою визначення інформативності магнетизму ґрунтового покриву при розв'язанні геологічних завдань розглянемо декілька прикладів практичної реалізації відповідних робіт в Україні та порівняємо отримані результати із закордонним досвідом.

#### **5.1. Комплексні магнітні дослідження території покладів вуглеводнів у межах Передкарпатського прогину України, Орховицьке нафтогазове родовище.**

З метою вивчення особливостей аномального магнітного поля та магнітних властивостей ґрунтового покриву над родовищами вуглеводнів було проведено магнітні дослідження на Орховицькому нафтогазовому родовищі, яке розташоване у Більче-Волицькій зоні Передкарпатського прогину (рис.5.1). Результати, що наводяться нижче, були отримані нами спільно з фахівцями Карпатського відділення Інституту геофізики НАН України ім. С.І. Субботіна Р.С. Кудеравцем та І.О. Чоботком за підтримки директора інституту В.Ю. Максимчука.

В будові родовища приймають участь юрські (переважно карбонатні) відклади, континентальні теригенні утворення карпатію, баденські та нижньосарматські (представлені піщано-глинистими горизонтами) відклади. На родовищі встановлено промислову газоносність нижньосарматських відкладів міоцену у літологічно-обмежених та тектонічно-екранованих пастках (горизонти НД-12–НД-15, на глибинах 1600-1800 м) у надгіпсовому комплексі порід та виявлено поклад нафтового бітуму у складнобудованих

тектонічно порушених ерозійних карбонатних виступах у підгіпсовому (карпатій-юрському) комплексі порід, на глибинах біля 1950 м.

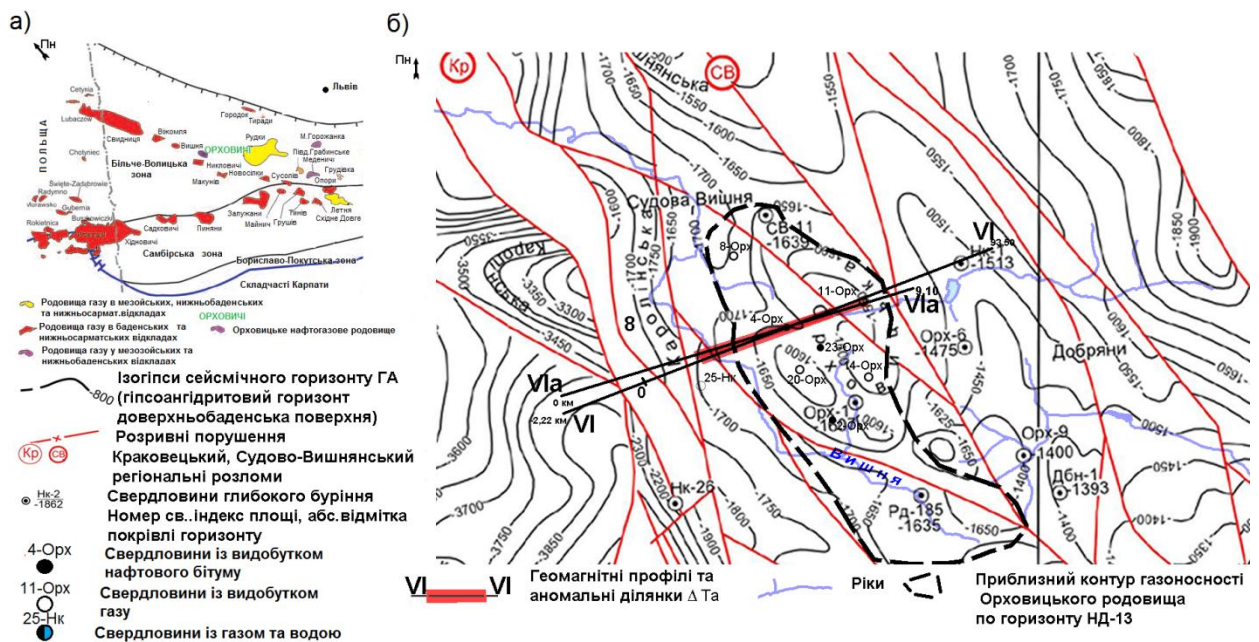


Рис.5.1. Модифікована із [212] оглядова схема: а – розташування родовищ вуглеводнів у північно-західній частині Передкарпатського прогину, б – магнітні профілі VI-VI і VIa-VIa на сейсмічній карті гіпсоангідритового горизонту у межах Орховецького нафтогазового родовища. Сейсмічні матеріали ЗУГРЕ

У межах даної ділянки (Краковецький розлом та Орховецьке родовища) магнітні дослідження проводилися у кілька етапів. На останній стадії робіт нами виконані вимірювання магнітного поля та дослідження магнітної сприйнятливості ґрунтів вздовж профілю VIIa-VIIa, який є дещо зміщеним під невеликим кутом відносно профіля VI-VI (рис. 5.1б). Для зняття варіацій змінного магнітного поля, а також зменшення впливу техногенних завад від електрифікованої залізниці, розташовувався додатковий пункт варіаційних спостережень із магнітоваріаційною станцією

МВ-01 (чутливість 0,1 нТл) поблизу ділянки спостережень. Похибка магнітної зйомки не перевищує  $\pm 1,5$  нТл.

Для більш однозначного розуміння природи магнітних аномалій Орховицького родовища та підвищення однозначності інтерпретації результатів вимірювання магнітних властивостей ґрунтового покриву звернемося до раніше отриманої інформації про розподіли магнітного поля вздовж інших перетинів над нафтогазовими родовищами у Передкарпатському прогині (за результатами спостережень Р. Кудеравця та інших з Карпатського відділення Інституту геофізики НАН України ім. С.І. Субботіна). Проводилися роботи у межах таких родовищ: Макунівське, Нікловицьке, Орховицьке, Добрянське, Віжомлянське, Свидницьке, Ретичинське, Коханівське) та перспективних структур (Чижевицька, Каролінська), які розташовані у північно-західній частині Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину [238]. Виконана наземна профільна магнітна зйомка. У відповідності до геологічної будови структури, особливостей регіонального магнітного поля розбивалась серія профілів, на яких проводились виміри модуля повного вектора магнітного поля  $T$  із кроком спостереження 50 м.

Аналіз особливостей морфології локального аномального магнітного поля (АМП) над вибраними геологічними структурами дає підстави виділяти декілька типів аномалій  $\Delta T_a$  (рис. 5.2). Це додатня, шириною біля 3 км та інтенсивністю до 10 нТл (рис. 5.2а), від'ємна із амплітудою 4-8 нТл та просторовими розмірами 4-5 км (рис. 5.2б), знакозмінна високочастотна аномалія, шириною біля 2 км, з амплітудами 15-20 нТл, яка зосереджується, як правило, у краєвих частинах структур (рис. 5.2в) та від'ємна шириною біля 3 км, амплітудою 6-7 нТл, яка ускладнена на флангах додатніми аномаліями шириною 0,5-1 км (рис. 5.2г).

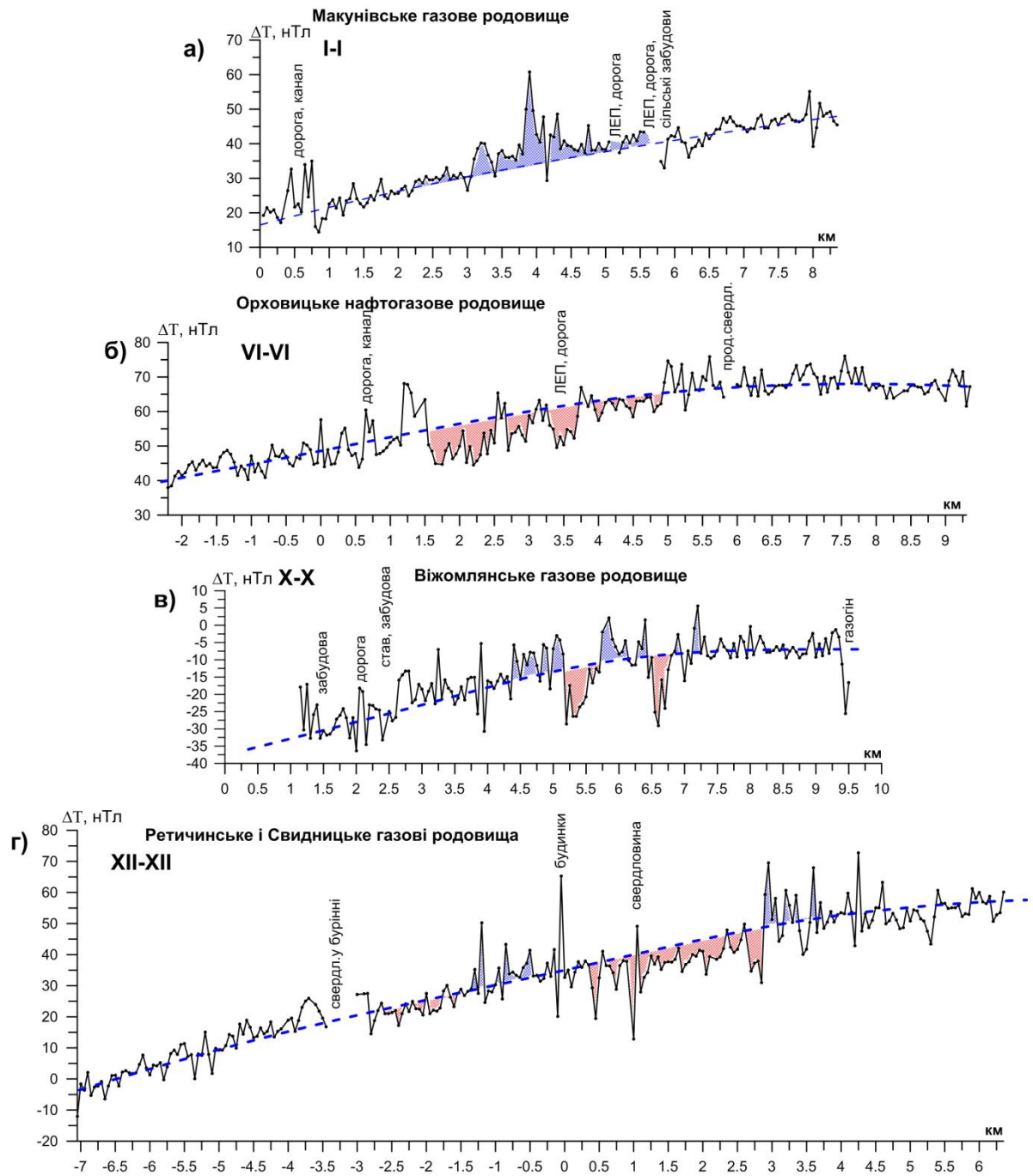


Рис. 5.2. Магнітне поле  $\Delta T$  та основні типи локальних магнітних аномалій  $\Delta T_a$  (виділено червоним та синім кольором) в зонах родовищ вуглеводнів Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину

Повернемося до розгляду магнітометричних аномалій у межах Орховицького родовища, результати яких представлені на рис.5.3. На фоні регіональної магнітної аномалії (синя пунктирна крива  $\Delta T$ ), інтенсивність

якої поступово зростає у північно-східному напрямку, на обох профілях досить виразно спостерігаються її від'ємні локальні складові  $\Delta T_a$  з інтенсивністю біля 6-8 нТл. На профілі VI-VI локальна аномалія  $\Delta T_a$  шириною близько 4 км між ПК15 та ПК50 характеризується значною дисперсією, ускладнена як у флангових частинах так і в екстремумі кількома високоамплітудними максимумами. Внаслідок експлуатації Орховицького родовища, прокладанням локальних газо- та нафтогонів, профіль VIa-VIa має значну кількість завад.

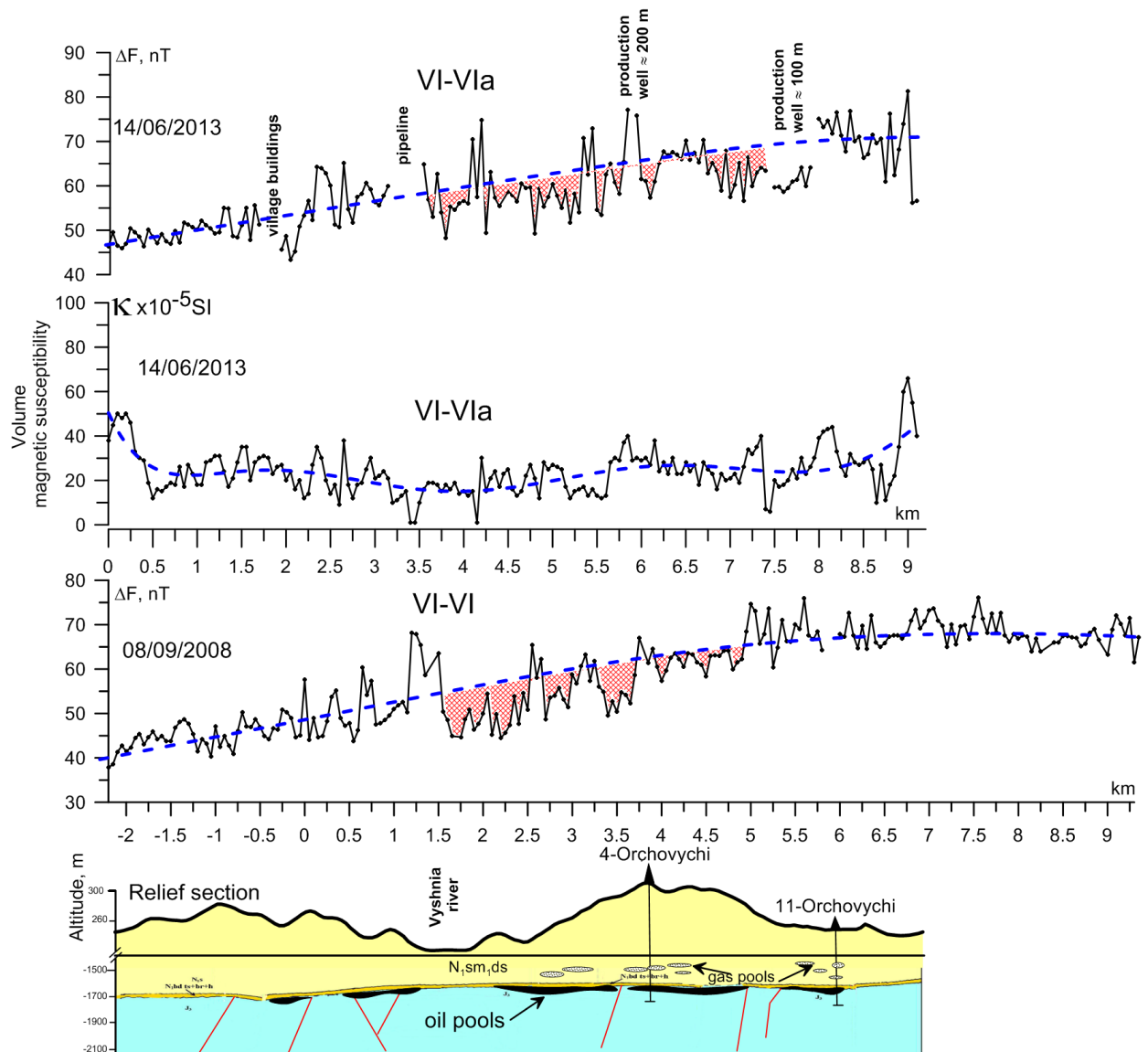


Рис. 5.3. Аномальне магнітне поле  $\Delta T$ , ділянки локальних аномалії  $\Delta T_a$  (виділено червоним кольором), об'ємна магнітна сприйнятливість, профіль рельєфу на Орховицькій структурі

У той же час на ньому чітко виділяється від'ємна локальна магнітна аномалія протяжністю біля 4 км у межах пунктів спостереження ПК35-ПК75. Північно-східне закінчення цієї аномальної ділянки нечітке, внаслідок наявності поблизу свердловини Орховичі-11. По своїй морфології та амплітудно-частотним характеристикам вона є доволі подібною до аномалії  $\Delta T_a$  на профілі VI-VI.

Співставлення виділених локальних аномалій  $\Delta T_a$  із структурними побудовами по горизонту ГА дозволяє констатувати їх приуроченість до склепінної частини Орховицької структури та контуру газоносності по горизонту НД-13. В межах аномалій та на їхньому фланзі знаходяться продуктивні свердловини Орховичі-4 та Орховичі-11. Беручи до уваги тектоніку, спостережувані аномальні ділянки  $\Delta T_a$  проектуються між двома регіональними розломами: Краковецьким та Судово-Вишнянським.

Розглянемо магнетизм ґрунтового покриву Орховицького родовища та його інформативності у комплексі магніторозвідувальних нафтогазопошукових робіт. Ґрунтовий покрив даної території представлений середньо- та слабо магнітними ґрунтами. Залежно від положення у ландшафті та геоморфологічних умов виділяються дерново-підзолисті, дернові та лучні ґрунти, які характеризуються як найменш магнітні для усієї території України. У той же час в окремих випадках уздовж перетину виокремлюються різновиди сірих лісових ґрунтів, інколи окультурені внаслідок сільськогосподарської діяльності.

Аналізуючи усю криву зміни магнітної сприйнятливості уздовж профілю VIa-VIa (рис. 5.3) відзначаємо чітке відбивання у її структурі ландшафтних умов. Мінімальні значення характерні болотистим територіям, річковим долинам, низовинам з лучним та часто болотним типом ґрунтового покриву. При переході через схили до вододільних точок спостереження з'являються локальні максимуми, що відповідає дерново-підзолистим, а інколи і сірим лісовим ґрунтам. Зауважимо, що дослідна ділянка

характеризуються горбистим рельєфом, локальні катени часто представляють дуже незначні відстані. Фактично, у складі усього профілю таких мікрокатен зустрічаємо десятки і всі вони чітко прослідковуються у картині розподілу магнітної сприйнятливості.

В той же час нами відмічені характерні особливості поведінки магнітної сприйнятливості верхнього шару ґрунтового покриву при наближенні та перетині власне покладів вуглеводнів, де йде їх безпосереднє видобування (качалки і т.д.). Ефективніше аналізувати розподіл магнітної сприйнятливості ґрунтів поблизу зазначених ділянок допоможе виокремлення із загального графіку конкретних проміжків. Один з них проаналізуємо на основі рис. 5.4.

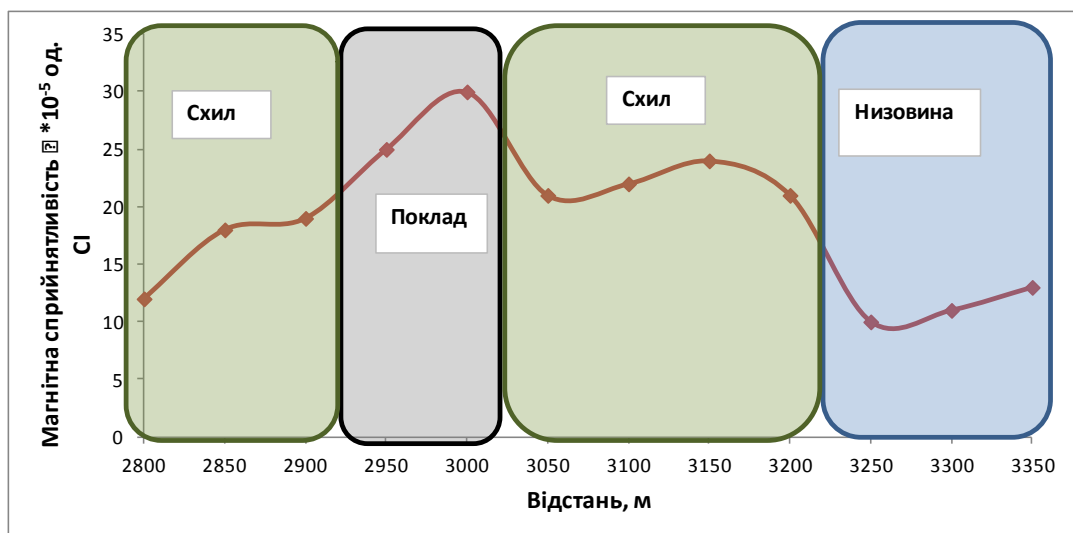


Рис. 5.4. Розподіл об'ємної магнітної сприйнятливості  $\square$  на частині профілю VIa-VIa, що розташована в околі продуктивної свердловини

Зміни MS уздовж даної катени можуть бути проінтерпретовані у два способи. Перший, як ландшафтні аномалії викликані зміною характеру рельєфу та типів ґрунтового покриву. Виділяються ділянки схилів, де відзначається поступове підвищення і відповідно спадання значень MS. Мінімуми фіксуються у низовинній частині катени з лучно-болотним типом ґрунту. Максимум фіксується на вододілі, де розповсюджений сірий лісовий

тип ґрунтів. Даний розподіл підтверджує залежність покладів вуглеводнів від тектонічної будови, яка у свою чергу відбивається у структурі поверхневих ландшафтів, які знаходяться у тісному генетичному зв'язку з типом ґрунтового покриву. Останнє є однією із причин високої інформативності магнетизму ґрунтів при пошуках та розвідці нафти і газу.

У той же час, можна вести мову про зміни магнітних показників, що ймовірно спричинені наявністю поруч розвіданих покладів вуглеводнів та діючим їх видобутком. Фактично, пік інтенсивності магнетизму співпадає з продуктивною свердловиною. Згідно теоретичних напрацювань та низки геомагнітних моделей аномальних магнітних полів над покладами вуглеводнів [2] джерело спостережених від'ємних аномалій  $\Delta T_a$  можна інтерпретувати як результат утворення епігенетичного піриту у глинисто-алевритистих породах покришки над покладами газу та нафти і яке розміщене на невеликих глибинах: 0,5-1 км. Поряд із піритом, можливо, присутнім є первинний гематит у відновній зоні, або новоутворені магнетитові чи піротинові вкраплення у зоні окислення, що веде до збільшення намагніченості товщі і ускладнення кривої  $\Delta T_a$  окремими максимумами. Це також пояснює і збільшення магнітної сприйнятливості ґрунтів над покладами вуглеводнів.

На рис. 5.5. наводяться результати термомагнітного аналізу магнітної сприйнятливості зразка ґрунту, відібраного поруч із свердловиною із частковим насиченням вуглеводневою речовиною. Проведно три (а, б, в) цикли нагріву та охолоджень. Крива першого нагріву (а) є найбільш інформативною. У підтвердження припущень наведених абзацем вище, вона чітко ідентифікує піротинову фазу, як основний ферімагнітний мінерал. Подальші нагриви також ідентифікують піротинові фази, але ускладнюються формуванням магнетиту та магеміту під час фазових температурних переходів.

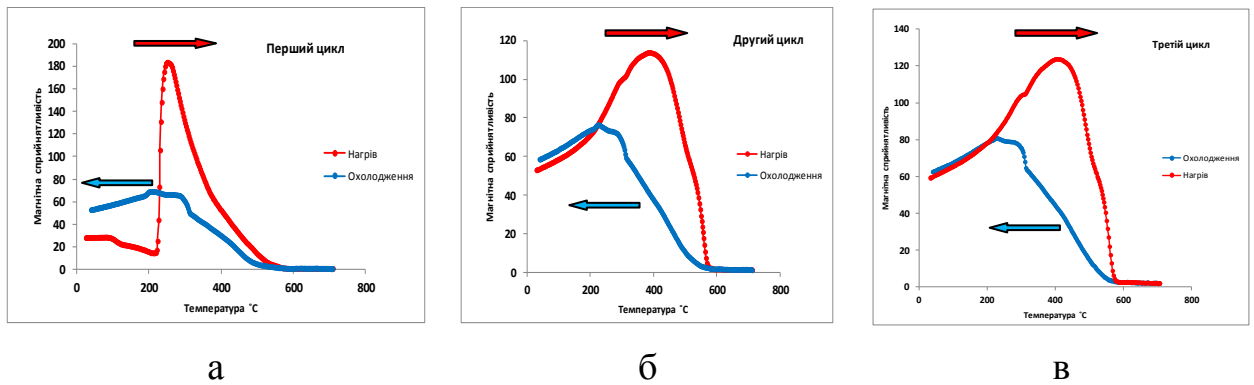


Рис.5.5. Температурна залежність магнітної сприйнятливості для зразка ґрунту з горизонту А з видимими ознаками насичення вуглеводнями: а, б, в – перший, другий та третій цикли нагріву та охолодження.

На рис. 5.6 наводиться крива визначення низькотемпературної залежності магнітної сприйнятливості. Як видно переходи Вервея та Моріна, а також ізотропна точка магнетиту не ідентифікуються. Це підтверджує можливість домінування піротинової фази як основного магнетика території покладів вуглеводнів.

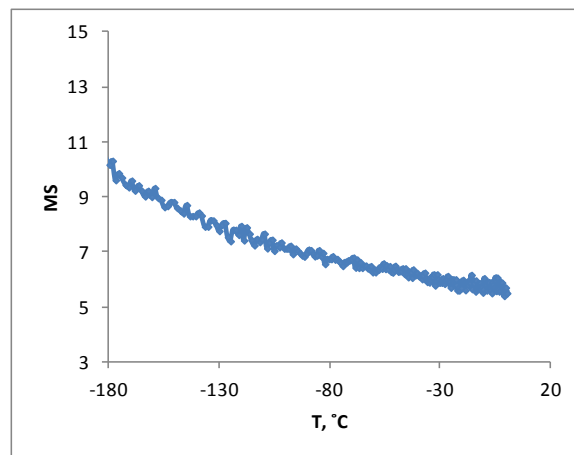


Рис. 5.6. Результати низькотемпературного аналізу магнітної сприйнятливості ґрунту родовища Орховичі

На рис. 5.7 наводяться результати вивчення низькотемпературних характеристик залишкової намагніченості, що отримані за допомогою магнітометричної системи Quantum Design's MPMS 3.

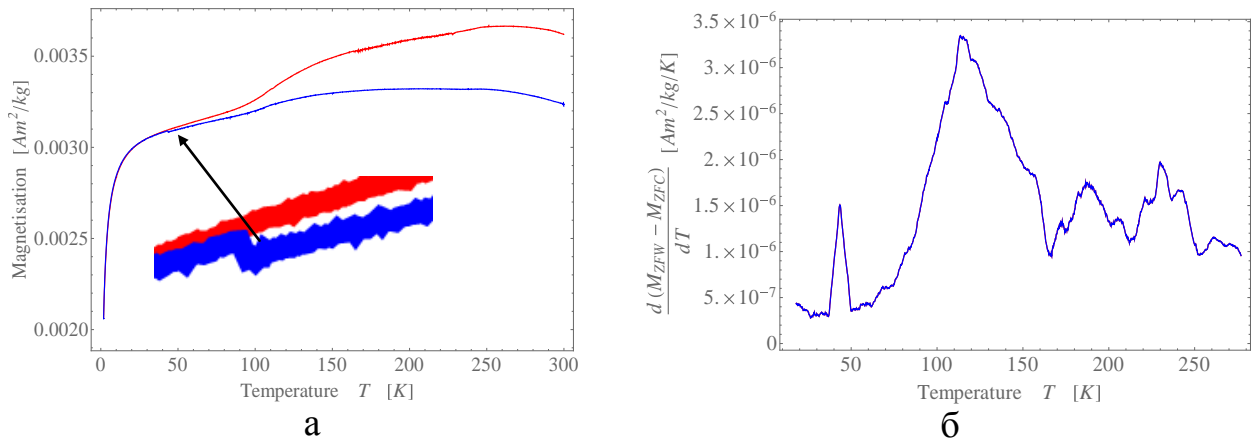


Рис. 5.7. Температурний аналіз залишкової намагніченості родовища Орховичі: а – криві нагріву ZFW (синя) та охолодження ZFC (червона), б – перша похідна різниці ZFC- ZFW

Вимірювання проводилися у нульовому магнітному полі. Залишкова намагніченість отримана у полі 7 Тл ( $IRM_{7T}$ ) при кімнатній температурі. На рис. 5.7а 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 однодомного (SD) педогенного походження. Даний факт не суперечить загальній картині, так як ґрунтовий покрив родовища Орховичі над покладами вуглеводнів не містить видимих ознак насичення. Тобто, у структурі ґрунту одночасно можуть знаходитися магнетики ґрунотвірного походження та аутогенного, що формуються під впливом вуглеводнів. Свідченням наявності аутогенного піротину вуглеводневого походження може бути помітний при збільшеному масштабі на рис. 5.7а, а також видимий на рис 5.7б перехід Беснуса в діапазоні 30-40 К.

Результати аналізу параметрів петлі гістерезису (рис. 5.8) за допомогою магнітометричної системи Quantum Design's MPMS 3 свідчать про превалювання парамагнітних зерен у ґрунті. Дослід проводився за температури 30 К (рис. 5.8а) та кімнатної температури 300 К (рис. 5.8б). При

низькій температурі спостерігається асимптотична поведінка кривої намагнічування після корегування нахилу високого поля (синя крива). Серед ферімагнітних фаз домінує магнітом'який мінерал, скоріше за все магнетит або магеміт педогенного походження.

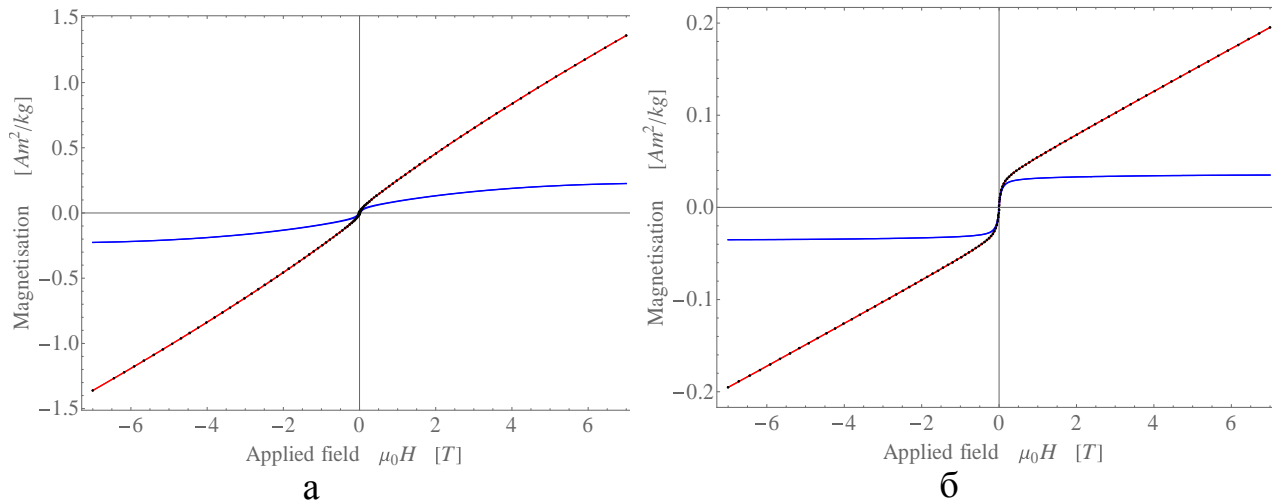


Рис. 5.8. Петля гістерезису для ґрунтів родовища Орховичі: а – виміряна при 30 К, б – виміряна при 300 К. Червона крива – виміряні дані без корекції, синя крива – із врахуванням корекції нахилу при високому полі

При дослідженні магнітного сигналу ґрунтового покриву важливим є розуміння його генезису. Для виключення можливості техногенного впливу ми дослідили частотну залежність магнітної сприйнятливості. Ефективність такого підходу підтверджується чисельною кількістю дослідів, наприклад, наведених у роботі [150]. При прямій залежності між низькочастотною магнітною сприйнятливістю на коефіцієнтом частотної залежності техногенний вплив відсутній, при зворотній залежності – наявне забруднення ґрунту. Результати такої побудови наводяться на рис. 5.9. Як видно – залежність пряма. Для усіх зразків  $\chi_{lf} \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг складає:  $7 \leq \chi_{lf} \leq 68$ , найбільш імовірне значення  $21 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг 1,  $\chi_{fd}$ :  $3 \leq \chi_{fd} \leq 34$ , найбільш імовірне значення 8.

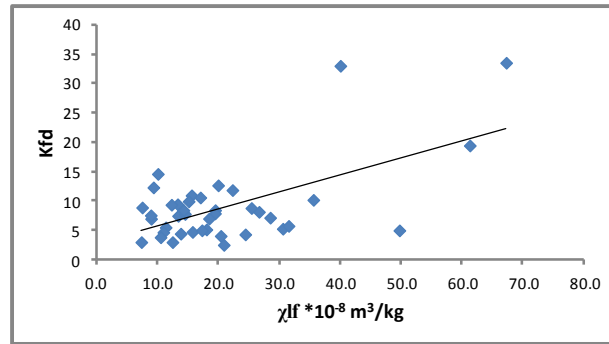


Рис. 5.9. Залежності магнітної сприйнятливості  $\chi_{lf}$  від коефіцієнта частотної залежності магнітної сприйнятливості  $\chi_{fd}$  повної вибірки зразків ґрунтів родовища Орховичі.

Згідно до роботи [299] при прямій залежності  $\chi_{lf}$  від  $\chi_{fd}$  – відсутнє техногенне забруднення, а магнетизм ґрунтів формується за рахунок суперпарамагнітних наддрібних частинок педогенного походження та однодоменних стабільних зерен (SD).

Таким, чином у структурі аномального магнітного поля над Орховицьким нафтогазовим родовищем виявлені від'ємні локальні магнітні аномалії амплітудою 6-8 нТл та шириною біля 4 км складної морфології. Зміни ґрунтового покриву та рельєфу корелюються зі зміною магнітної сприйнятливості. Зафіксовані аномалії MS ґрунтів у безпосередній близькості до територій видобування вуглеводневої сировини. Ґрунтовий покрив незабруднений, а його магнетизм визначається педогенним характером утворення із частковим впливом вуглеводневих флюїдів. Основними магнітними мінералами визначено дрібнозернистий магнетит або магеміт педогенного походження, а також невеликі домішки вторинного аутогенного піротину вуглеводневого походження.

## **5.2. Комплексування магнітних методів з іншими геофізичними, геохімічними та геологічними дослідженнями у межах полігону Старуня.**

Об'єктом досліджень було обрано територію покладів вуглеводнів у межах палеонтологічного 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. Спочатку у 1907 році були знайдені залишки мамонта і шерстистого носорога, а пізніше у 1929 році наукова експедиція Польської академії мистецтв і наук виявили повністю збережену тушу шерстистого носорога на глибині 12,5 метрів. Ідеальному збереженню експонату сприяла наявність унікального поєднання вуглеводневих фракцій: нафти, розсолів, глинистого мулу Плейстоцену, у яких тварина затонула і законсервувалася. Нижче більш детально розглянемо дану територію у контексті впливу вуглеводнів, що широко розповсюджені в усіх прошарках порід та ґрунтів, на їх магнітні властивості як ідеального прикладу вивчення інформативності магнетизму ґрунтового покриву у контексті дослідження вуглеводнів.

За рахунок інтенсивного видобутку нафти та озокериту на шахті Старуні у період 1868-1960 рр та тектонічній 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. Крім того, за рахунок неотектонічної активності відбуваються періодичні зміни русла та берегів розташованої у межах дослідної території річки Великий Лукавець.

У межах даної території було проведено кілька етапів міждисциплінарних геолого-геофізичних та геохімічних досліджень. Перший

їх етап детально описується у роботі [210]. Ці дослідження включали розгляд геологічних та історично-геологічних етапів розвитку видобування нафти та озокериту у межах Саруні, геоморфологічні та неотектонічні дослідження, вивчення процесів осадко накопичення у Голоцені на терасах річки Великий Лукавець, геофізичні вимірювання: електричного опору, гравіметрія, термометрія, приповерхневі геохімічні дослідження, мікробіологічні дослідження, вивчення органічної речовини вуглеводневмісних порід, вивчення власне нафти, природного газу у т.ч. верхніх шарів геологічного розрізу та ґрунтів, ізотопний аналіз і т.д. Продовження зазначених вище робіт відбувалося у 2006-2009 рр. [211].

Незважаючи на суттєвий масив інформації, що була зібрана у межах полігону Старуня, дані про аномальне магнітне поле та магнітні властивості гірських порід та ґрунтів, а також розуміння впливу на них вуглеводнів були відсутні. У той же час Старуня є надзвичайно всеохоплюючим об'єктом для побудови закономірностей та моделей взаємозв'язків між рок-магнетизмом, педомагнетизмом та процесами мікропросочування нафти і газу, міграції флюїдів, насичення дослідних матеріалів мінеральними розчинами і т.д. Фактично на основі приведених нижче результатів ми бачимо прямий вплив вуглеводнів на магнетизм ґрунтів.

Нафто-озокеритове родовище Старуня відноситься до Борислав-Покутської зони Передкарпатського прогину, що є основною нафтогазоносною територією Українських Карпат (рис. 5.10). Передкарпатський прогин розділяється на три тектонічні блоки різної будови: Більче-Волицький, Самбірський та Борислав-Покутський. На рис. 5.11 наведено розташування блоків та флішового поясу. У тектонічному відношенні Борислав-Покутський блок включає низку насувів, що вкриті флішем. Над флішем залягає менілітова світа, що відноситься до олігоцену та раннього міоцену та являє собою послідовність товщ чорних сланців,

алевролітів і пісковиків, а також включає нафтовмісні гірські породи та резервуари.

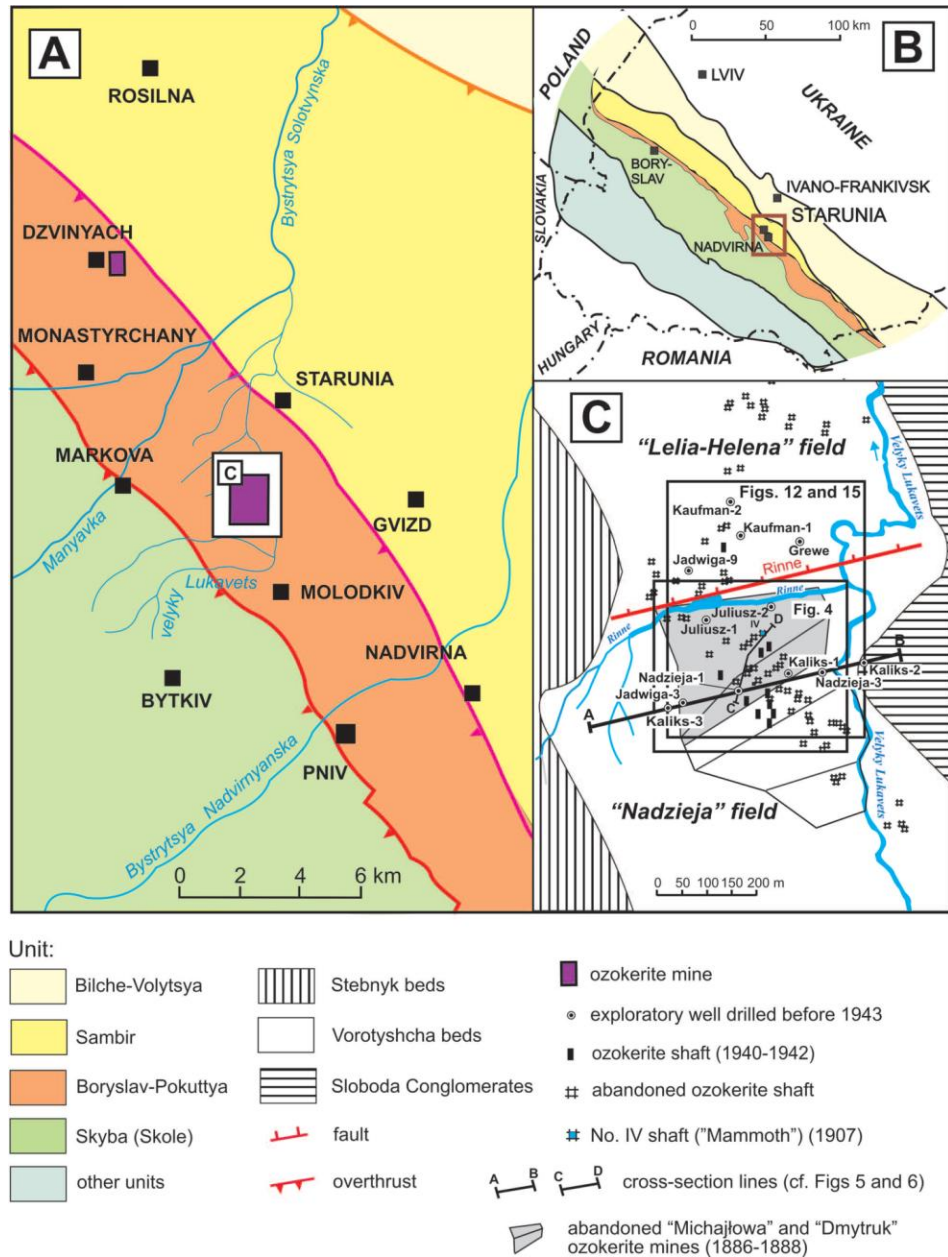


Рис. 5.10. Карта-схема основних блоків Українських зовнішніх Карпат та Пердкарпатського прогину та схема озокеритового родовища Старуня основа за [211]

Нафтові поклади представлені пісковиками середнього еоцену, які залягають на різних рівнях та стратиграфічних прошарках. Серед низки

нафтогазових родовищ знаходиться і нафтово-озокеритове родовище Старуня.

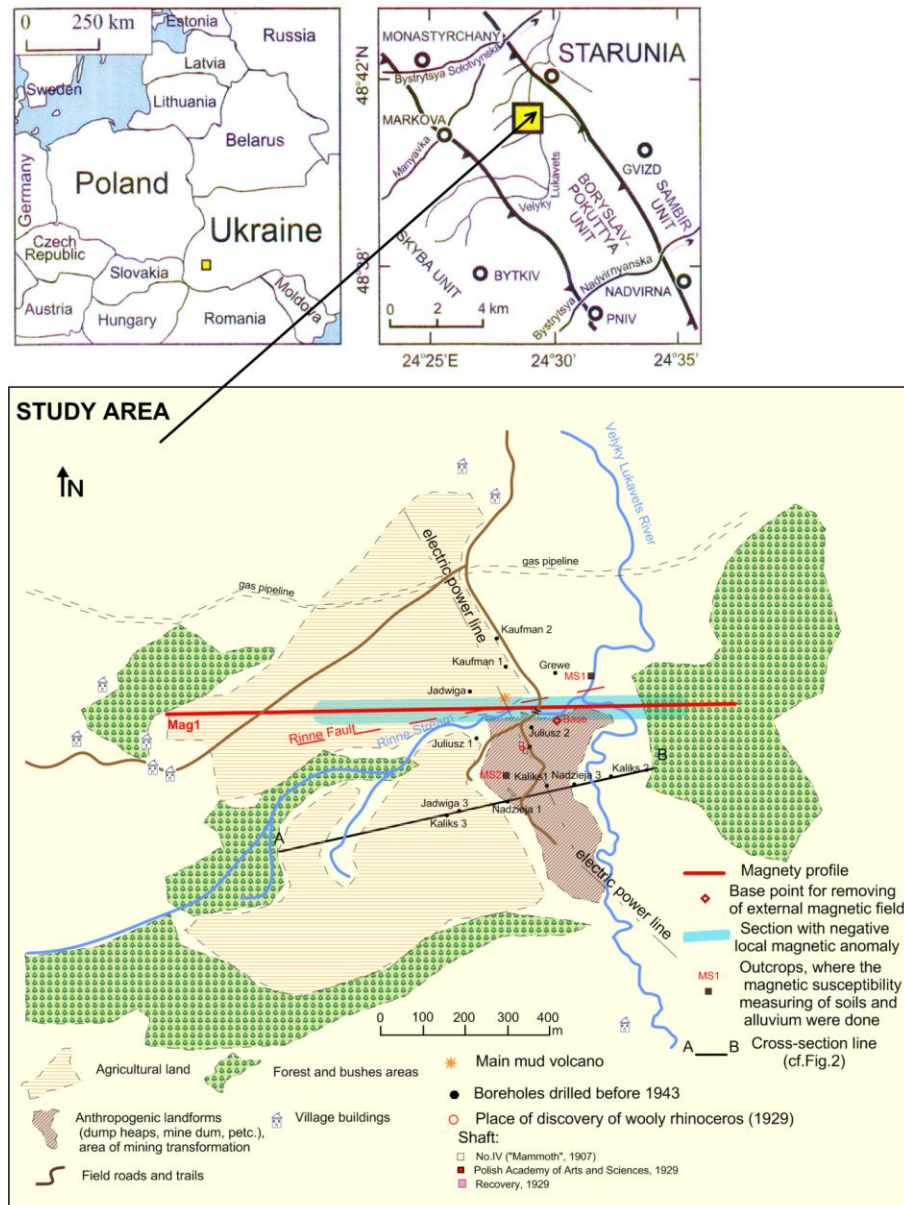


Рис. 5.11. Схематична карта палеонтологічного полігону та нафто-озокеритового родовища Старуня та околиць з тектонічними блоками та розташуванням магнітних профілів, основа за [211]

Озокеритове родовище Старуня лежить у межах соляновмісних структур Воротищенської світи. Ця частина характеризується високим вмістом органічної речовини олігоцен-мелнітових покладів. Озокеритове родовище обмежене поперечним розломом, який сприяв міграції

озокеритових фракцій до поверхні, а також міграції газу, нафти і сильно мінералізованих ґрунтових вод.

У контексті дослідження ґрунтового покриву найбільший інтерес представляє верхня частина геологічного розрізу, що представлена трьома метрами глинистих порід, у які вклинюються прожилки глинисто-піщаних брекчій, у яких у свою чергу фіксуються поклади вуглеводнів.

Максимальний річний видобуток озокериту у межах Старуні відбувався у 1952 році і складав 560 тонн.

Ландшафтні умови дослідної ділянки більше подібні до сусіднього Полісся. Гірський масив розташовується на відстані 10-20 км від дослідної ділянки. Ландшафтний перетин включав локальні катени без значущих перепадів висот та мережу дрібних річок та струмків. Кінцева частина профілю розташована у межах лісу, де відзначається суттєве зростання абсолютних висот. Геморфологічно дослідна ділянка Старуня містить рівнинні місцевості, зсуви, місця ерозійної активності (як річкової, так і ґрунтової), болота. У низовинах превалюють болотні та лучні ґрунти, а у межах лісу – сірі лісові відміни.

Комплексні магнітні дослідження проводилися уздовж латерального профілю MAG1 (рис. 5.12). Вони включали вимірювання повного вектору магнітного поля з кроком 20 м. протоним магнітометром ММП-2013 з чутливістю 0,1 нТл. Похибка магнітометричних вимірювань не перевищувала  $\pm 1,5$  нТл. Варіації магнітного поля фіксувалися магнітоваріаційною станцією МВ-01 (чутливість 0,1 нТл). Магніторозвідувальна частина досліджень реалізовувалася спільно із фахівцями Карпатського відділення Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України Р.С. Кудеравцем та І.О. Чоботком при підтримці директора інституту В.Ю. Максимчука.

Магнітні дослідження ґрунтів включали польовий та лабораторний етапи. У польових умовах вивчали ґрунтознавчі особливості, ландшафтні

умови, ґрунтові відміни, катени та геоморфологічні ситуації. Досліджені ґрунти та підстилаючі породи у ряді випадків поблизу свердловини Надія-1, грязьового вулкану та у руслі річки Великий Лукавець були насичені вуглеводневою речовиною. Відбір зразків виконувався через 50 м, а у деталізованих випадках через 10-20 м. Було досліджено вертикальний розподіл магнітної сприйнятливості для двох розрізів: у руслі р. Великий Лукавець та біля свердловини Надія-1 і грязьового вулкану. Результати комплексних магнітних досліджень наводяться на рис. 5.12.

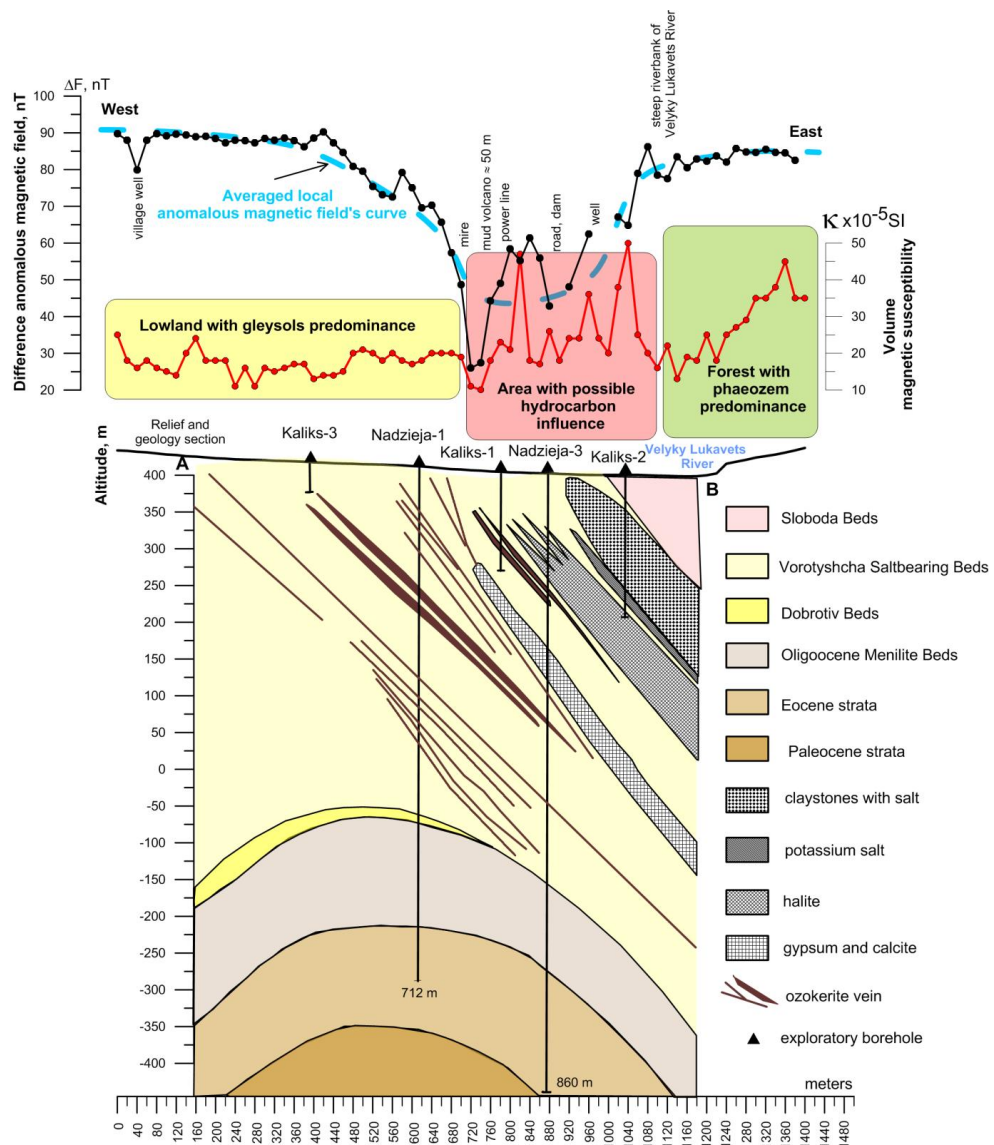


Рис.5.12. Розподіл аномального магнітного поля та питомої магнітної сприйнятливості верхнього шару ґрунтів уздовж профілю MAG1 та геологічного розрізу уздовж лінії А-В у межах полігону Старуня, геологічна основа за [211]

Довжина магнітного профілю склала 1400 м із Зх на Сх. Інтерпретація магніторозвідувальних робіт дещо ускладнювалася наявністю у межах полігону значної кількості шламу, затоплених водою старих озокеритових шахт та нафтових свердловин, технологічних витоків на поверхню вуглеводнів, що інколи хаотично локалізувалися. У той же час за рахунок наявності беззаперечних аномалій природного походження зазначені вище фактори фактично нівелювалися. 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 (рис. 5.12). Просторове положення цієї аномалії також зіставне із розломом Рінне, за рахунок якого на поверхню йде інтенсивний виток нафти, глинистих фракцій просяклих вуглеводнями та солями різного складу.

Дослідження магнітної сприйнятливості ґрунтів проводилося уздовж профілю MAG1 паралельно із магніторозвідкою, а результати представлені на рис. 5.12. У ландшафтному перетині виділяється 3 секції. Перша секція складається лісовим ландшафтом із сірими-лісовими природними незміненими ґрунтами (пикети спостереження 140-440 м). Магнітна сприйнятливість залежить більше від альтитуди точок спостереження і складає  $\chi=20-45 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг для поверхневого шару ґрунту. Результати ідентифікованих типів ґрунтів у межах полігону Старуня (природних та насичених вуглеводнями) наводяться у таблиці 5.1.

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 підстилаючи породи піддалися найбільшому впливу процесів мікропросочування.

Незмінені 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, так як 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  $\chi=10-20 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1.

Магнітна сприйнятливість деяких ідентифікованих у межах полігону Старуня незмінених та насичених вуглеводнями ґрунтів та глин

<b>Ідентифіковані ґрунти та глини</b>	<b>Питома магнітна сприйнятливість, <math>\chi \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}</math></b>
Незмінені лучні ґрунти, верхній горизонт	10-25
Незмінені сірі-лісові ґрунти, верхній горизонт	20-45
Насичені вуглеводнями верхні шари ґрунтів	42-197
Насичений вуглеводнями горизонт В ґрунтів	40-250
Незмінені глинисті фракції	10-17
Насичені вуглеводнями глинисті фракції	160-440

Отже, територія досліджень розподіляється на три секції: ліс, територія суттєвого впливу вуглеводнів та лука.

Для підвищення однозначності інтерпретації матеріалів ми заклали ґрунтовий розріз на основі відслонення у межах русла річки Великий Лукавець на території другої секції (під впливом вуглеводнів). Результати наведені на рис. 5.13.

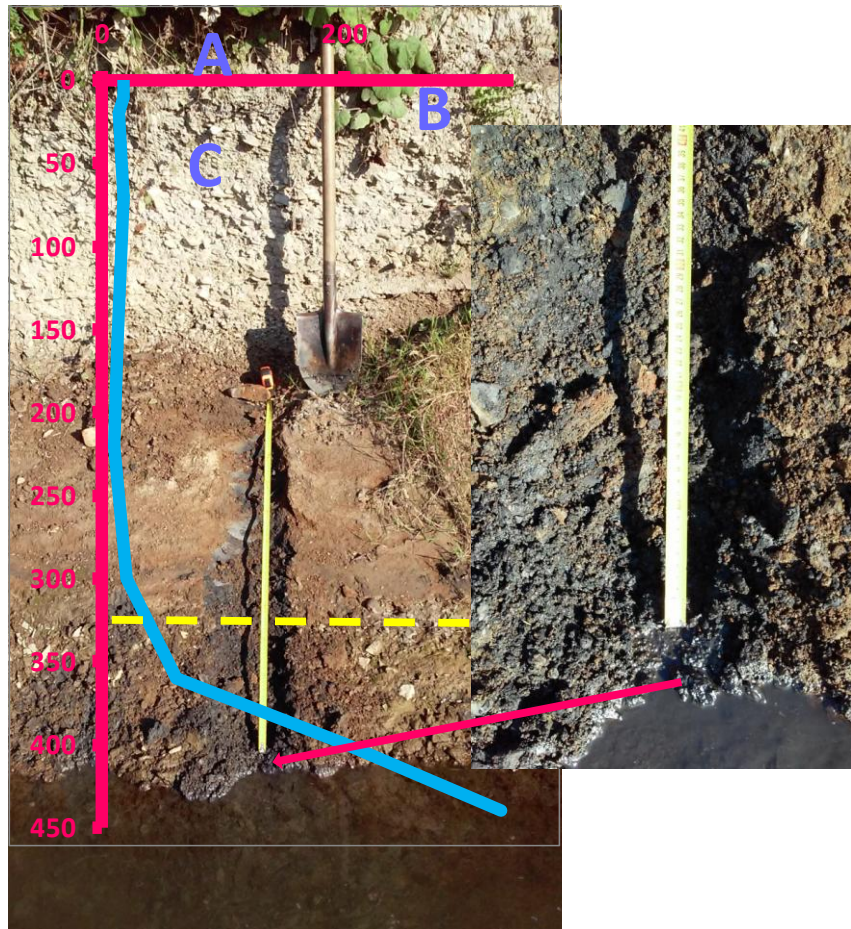


Рис. 5.13. Ґрунтовий покрив із візуалізацією природного насичення вуглеводнями прошарків ґрунтів та глин з розподілом магнітної сприйнятливості по вертикалі у межах полігону Старуня у відслоненні р. Великий Лукавець

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  $\chi=25 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Горизонти В та С є слабомагнітними з  $\chi=5-20 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Набагато більш інформативними стали вивчення глибших глинистих горизонтів. На глибині 250 см реєструється надзвичайно інтенсивне підвищення значень магнітної сприйнятливості, яка досягає значень  $\chi=160-$

$440 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Такі глини бітумінізовані та насичені озокеритом, який власне і видобувався на даній території у попередні роки.

З метою більш детального вивчення саме насичених процесами просочування вуглеводнів ґрунтів ми заклали спеціальний ґрунтовий розріз поблизу свердловини Надія-1, в околі якої фактично усі геологічні горизонти та ґрунти є просякними вуглеводнями, розсолами та газами (рис. 5.14).

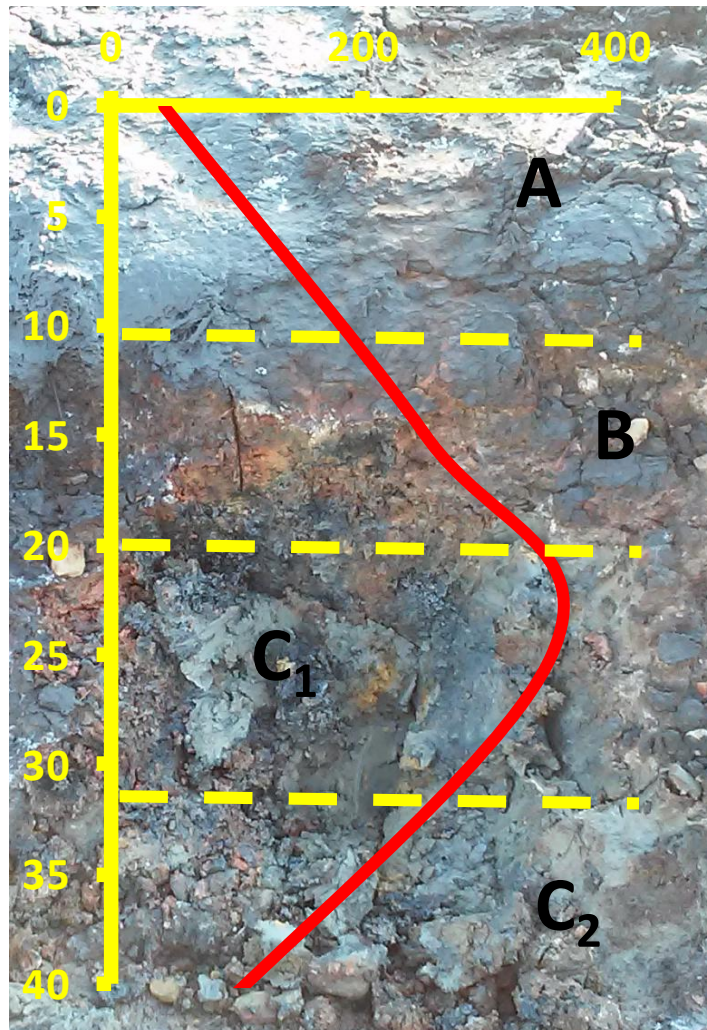


Рис. 5.14. Ґрунтовий розріз із візуалізацією насичених вуглеводнями прошарків ґрунтів та глин з розподілом магнітної сприйнятливості по вертикалі у межах полігону Старуня в околі свердловини Надія-1

Глибина розрізу склала 40 см. У його межах було ідентифіковано горизонти А, В, С<sub>1</sub> та С<sub>2</sub>. Потужність горизонту А склала 10 см,  $\chi=42-197 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (див. табл. 5.1). Верхній шар ґрунтів під впливом інтенсивного

мікропросочування вуглеводнів фактично трансформувався у кірку. Більш високий магнітний сигнал був зафіксований нами у межах перехідного горизонту В, що залягав на глибині 10-20 см із магнітною сприйнятливістю до  $250 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Підстилаючі породи горизонту С<sub>1</sub> характеризуються екстремально високими величинами магнітної сприйнятливості до  $440 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. У глибшому горизонті С<sub>2</sub> фіксується пониження магнітної сприйнятливості, хоча абсолютні значення залишаються високими до  $250 \times 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг (див. табл. 5.1). Необхідно ще раз зауважити, що усі описані горизонти включають бітуми, озокерити та інші ефекти міграції вуглеводнів.

З метою більш глибокого дослідження магнітних фаз та їх переходів було виконано термомагнітний аналіз магнітної сприйнятливості зразків території полігону «Старуня». Результати наведено на рис. 5.15. На ньому представлені криві нагріву та охолодження зразка верхнього шару ґрунту, що насичений вуглеводнями та відібраний поруч із свердловиною Надія-1 (а), зразка із горизонту В, що насичений вуглеводнями (б), фонового зразка верхнього шару лучного ґрунту (в) та окремо крива його нагріву у більшому масштабі для зручнішої візуалізації (г). Криві нагріву (а, в, г) демонструють подібну форму, але відрізняються за абсолютними значеннями магнітної сприйнятливості. Насичені вуглеводнями зразки є набагато магнітнішими. Відзначається пік магнітної сприйнятливості поблизу 200 °С із подальшим спаданням значень до 400 °С. Така закономірність може свідчити про присутність сульфідів заліза або магемітової фази [240]. Крім того, зазначена диференціація може викликатися наявністю ультрадисперсних однодоменних (SD) магнітних частинок за кімнатної температури із подальшим переходом у суперпарамагнітний стан (SP) при зростанні температури у діапазоні температур, що обговорюється [275]. Формування максимумів при наближенні до позначки у 500 °С є індикатором формування нових мінералів магнетиту. Даний процес може бути викликаним окисненням піриту або інших сульфідів вуглеводневого походження до фази магнетиту згідно до

механізму запропонованого у роботі [99]. Припускається, що ґрунтовий покрив є потужним біогеохімічним бар'єром на шляху міграції вуглеводнів, які спричиняють потужну аутогенну сульфідну мінералізацію генетичних горизонтів. При цьому відбувається активний процес окиснення вуглеводнів із утворенням  $\text{CO}_2$  та біогенного  $\text{H}_2\text{S}$ . Останнє призводить до реакцій із залізом та накопичення у ґрунтах ультрадисперсних піриту та сидериту. Можна припустити, що під час нагрівання у нашому випадку у процесі термомагнітного аналізу до 450-500 °С пірит та сидерит переходять у магнетитову фазу згідно до реакцій:



Наведені фазові переходи можуть пояснювати формування піків у діапазоні 500 °С. Подальший нагрів однозначно ідентифікує наявність магнетитової фази за точкою Кюрі, що наближаються до 580 °С. Слід зауважити, що ґрунти є складними магнітними системами, які часто містять перехідні магнітні фази, яке можуть зміщувати точки Кюрі.

У той же час зразок, що аналізується на рис. 5.15б не проявляє максимумів при наближенні до 500 °С, що є ознакою значно меншого вмісту магнетитової фази. У той же час диференціація у діапазоні 200-400 °С вказує на основні магнітні фази даного зразка – сульфідів та магеміту. При цьому перший пік на позначці у 200 °С може бути проінтерпретований як згорання органічної речовини, а помітний мінімум біля 400 °С вказує на зв'язок із фазовими температурними переходами магеміт-гематит [199].

Криві охолодження ідентифікують, що після нагріву формуються більш сильно магнітні фази, наприклад магнетит, що у подальшому може окислюватися до магеміту.

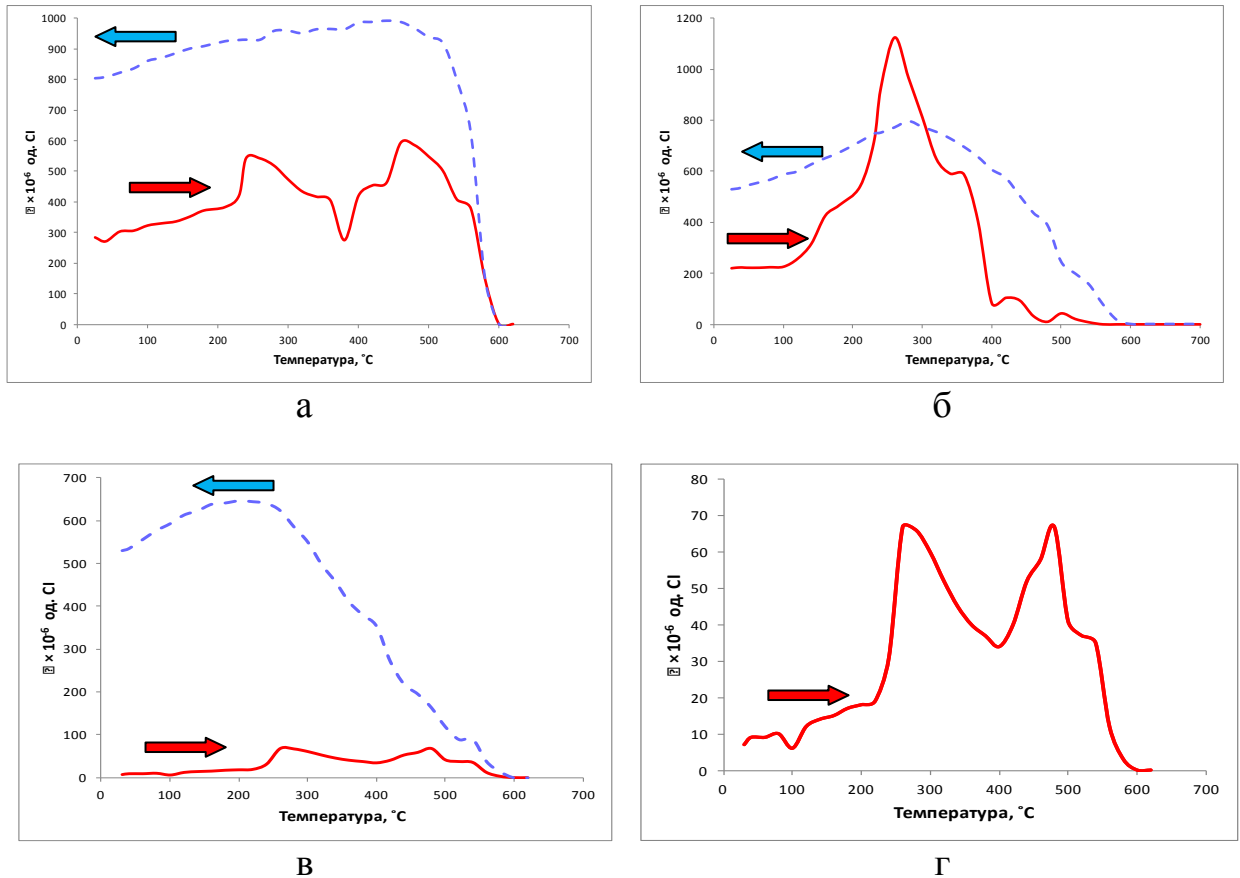


Рис. 5.15. Результати термомагнітного аналізу зразків полігону «Старуня»: а – зразок насичений вуглеводнями та відібраний поруч із свердловиною Надія-1, б – зразок із генетичного горизонту В, що насичений вуглеводнями, в – фоновий зразок верхнього шару лучного ґрунту, г – крива нагріву зразка (в) у більшому масштабі. Червона суцільна лінія – крива нагріву, пунктирна синя лінія – крива охолодження.

Низькотемпературний аналіз магнітної сприйнятливості насиченого вуглеводнями ґрунту полігону Старуня (рис. 5.16) не ідентифікував магнетитової та гематитової фази, тобто переходи Вервея та Моріна відсутні.

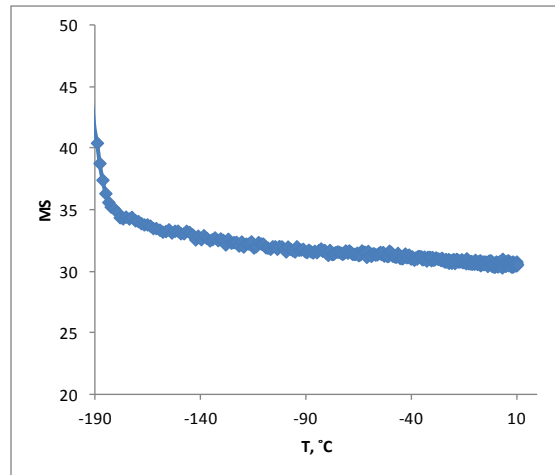


Рис. 5.16. Результати низькотемпературного аналізу магнітної сприйнятливості насиченого вуглеводнями ґрунту полігону Старуня

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. 5.17 наведено криві для насиченого вуглеводнями ґрунту з околу свердловини Надія-1.

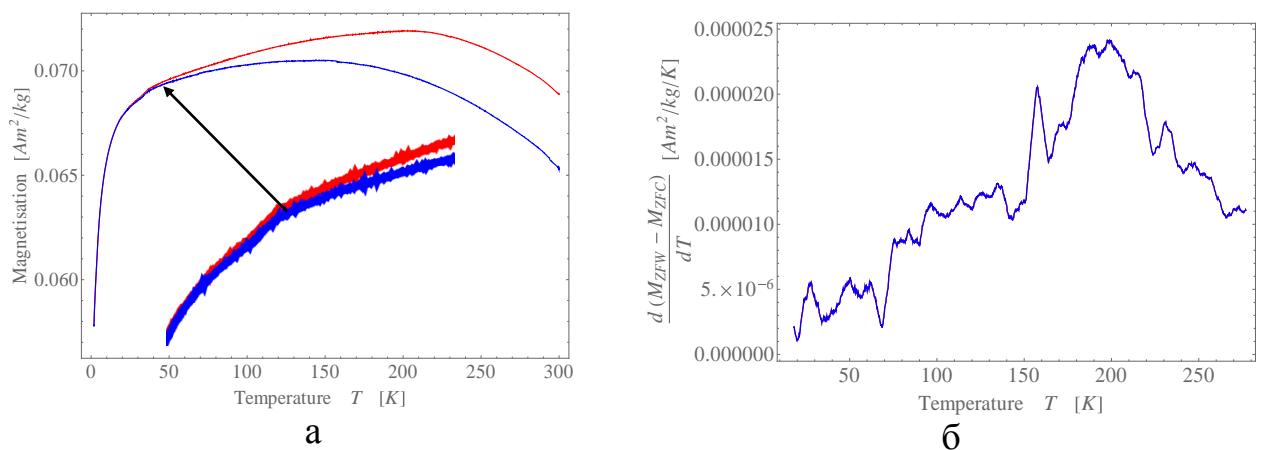


Рис. 5.17. Температурний аналіз залишкової намагніченості родовища Старуня: а – криві нагріву ZFW (синя) та охолодження ZFC (червона), б – перша похідна різниці ZFC- ZFW

Намагніченість отримана у полі 7 Тл за кімнатної температури. Термомагнітні криві знімалися у нульовому магнітному полі. У даному випадку не ідентифікується перехід Вервея, що свідчить про відсутність первинної магнетитової фази у зразках. У той же час при детальному аналізі кривих можна виокремити незначний злам кривих в околі 30-40 К, що свідчить про наявність піротинової фази за переходом Беснуса. Глобальний максимум на позначці 197 К проінтерпретувати не вдалося.

Інша картина спостережена при дослідженні низькотемпературних характеристик залишкової намагніченості (рис. 5.18) для двох зразків ґрунтів із домішками бігуму, що відібрані у розрізі р. Великий Лукавець на глибинах 260 та 300 см.

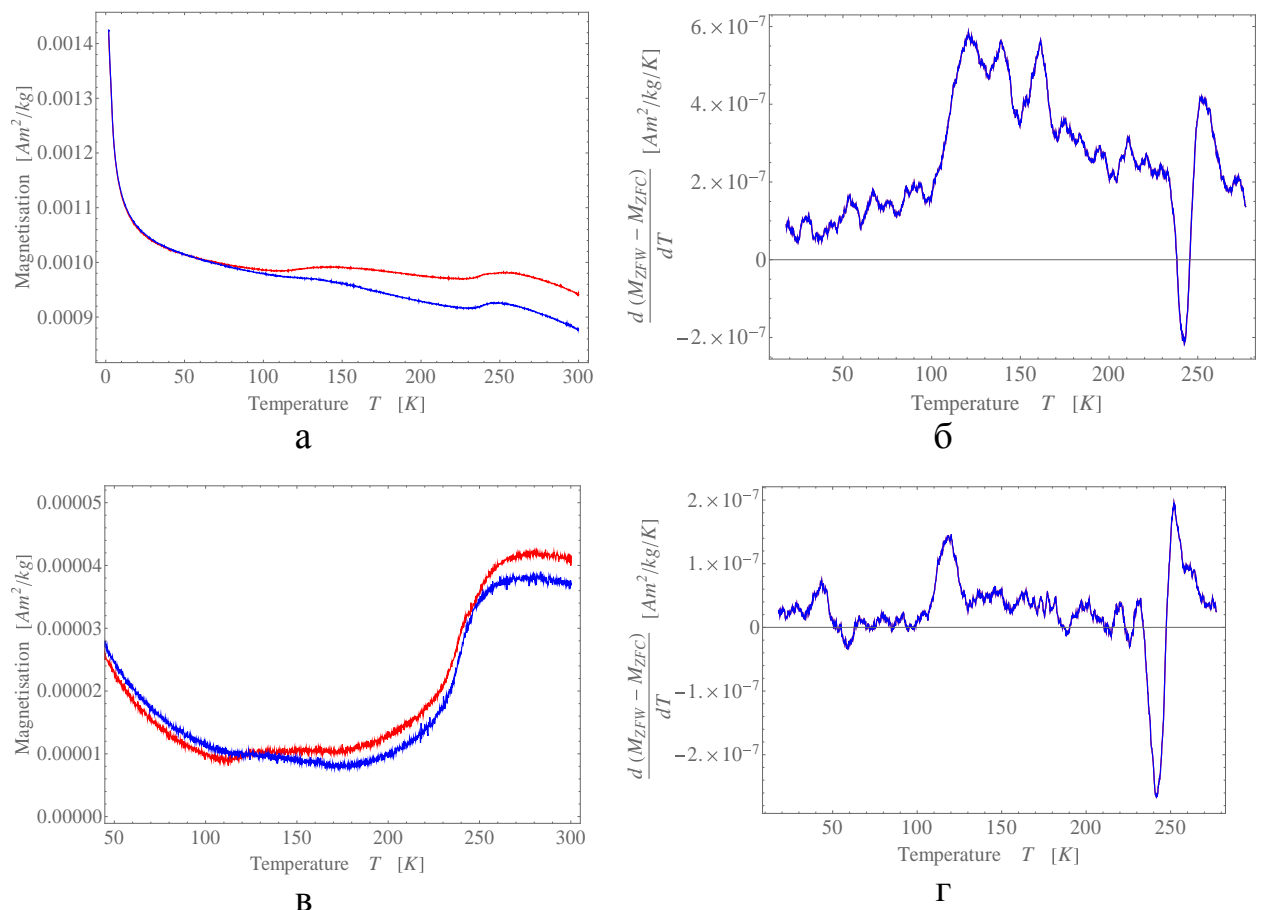


Рис. 5.18. Температурний аналіз залишкової намагніченості родовища Старуня: а, в – криві нагріву ZFW (синя) та охолодження ZFC (червона) зразків з глибини 260 та 300 см відповідно, б, г – перша похідна різниці ZFC-ZFW зразків з глибини 260 та 300 см відповідно

Глинисті породи даних обводнених горизонтів мають підвищені значення магнітної сприйнятливості у порівнянні із подібними породами без вмісту бітумів (озокериту) (див. табл. 5.1). На відміну від прикладу, розглянутого на рис. 5.17, у даному випадку не ідентифіковано піротинові фази. Вміст магнетиту незначний, що підтверджено невеликим переломом кривої в околі температури Вервея на позначці близько 120 К для обох зразків. У той же час, в обох випадках ідентифіковано переходи Моріна в околі 260 К, що свідчить про наявність гематиту.

Для з'ясування доменної будови зразків ґрунтів з території покладів вуглеводнів нами було використано діаграму Дея (рис. 5.19). Більшість зразків знаходяться у псевдодоменому стані (PSD).

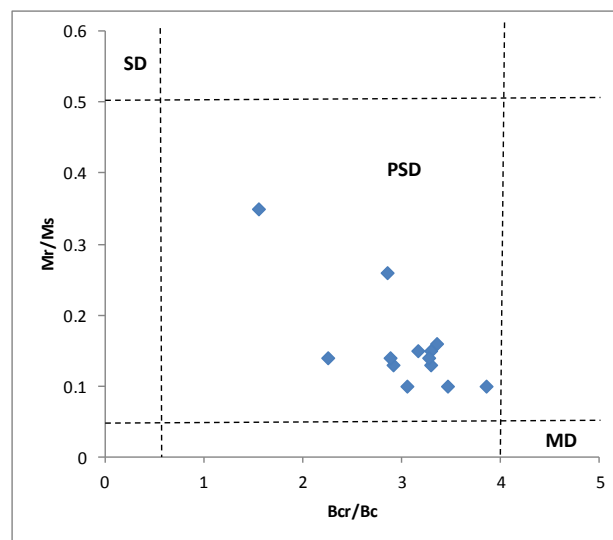


Рис. 5.19. Діаграма Дея для зразків ґрунтів та підстилаючі глинисті породи території покладів вуглеводнів

Насичені вуглеводнями зразки глин та ґрунтів демонструють екстремально високі значення магнітної сприйнятливості, що можна пов'язувати з формування вторинних магнітних мінералів. Дана теорія підтверджується результатами геохімічних приповерхневих досліджень території полігону Старуня [210-212]. Результати дослідження вмісту метану у ґрунтах наводиться на рис. 5.20.

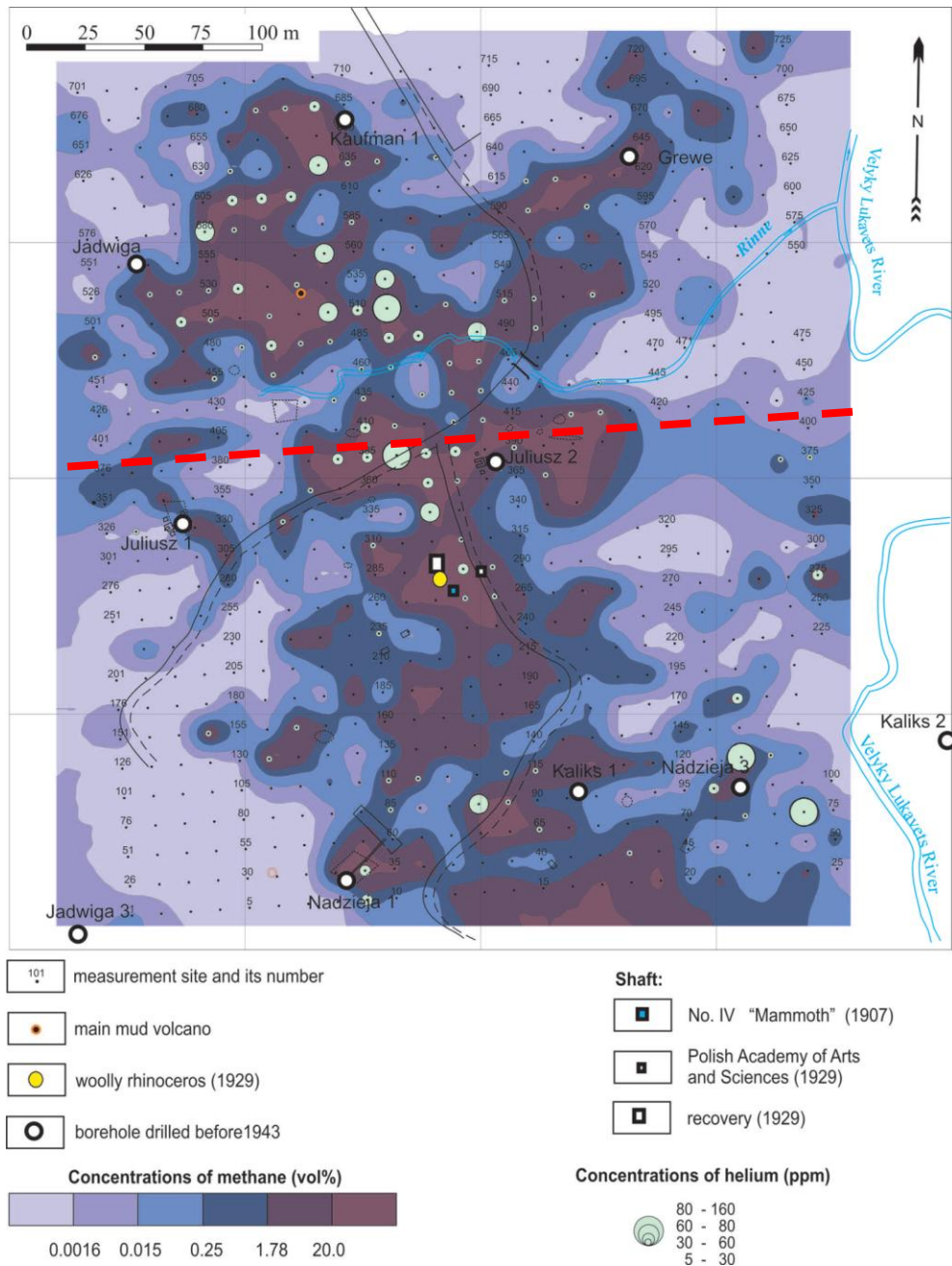


Рис. 5.20. Концентрація метану у зразках ґрунтового газу полігону старуня [210-212]. Червона лінія – магнітний профіль MAG1

Найвищі значення вмісту метану у ґрунтах відповідають аномально високим значенням магнітної сприйнятливості ґрунтів (ландшафтна секція 2) та від'ємним аномаліям магнітного поля (див. рис. 5.12). Ґрунтові гази відрізняються молекулярним складом та ізотопами карбону. У більшості випадків метан є термального генезису та мігрує у приповерхневі горизонти і ґруновий покрив із глибинних структур.

На рис. 5.21. наводиться розподіл вмісту алканів  $C_2-C_5$  у ґрунтових газах.

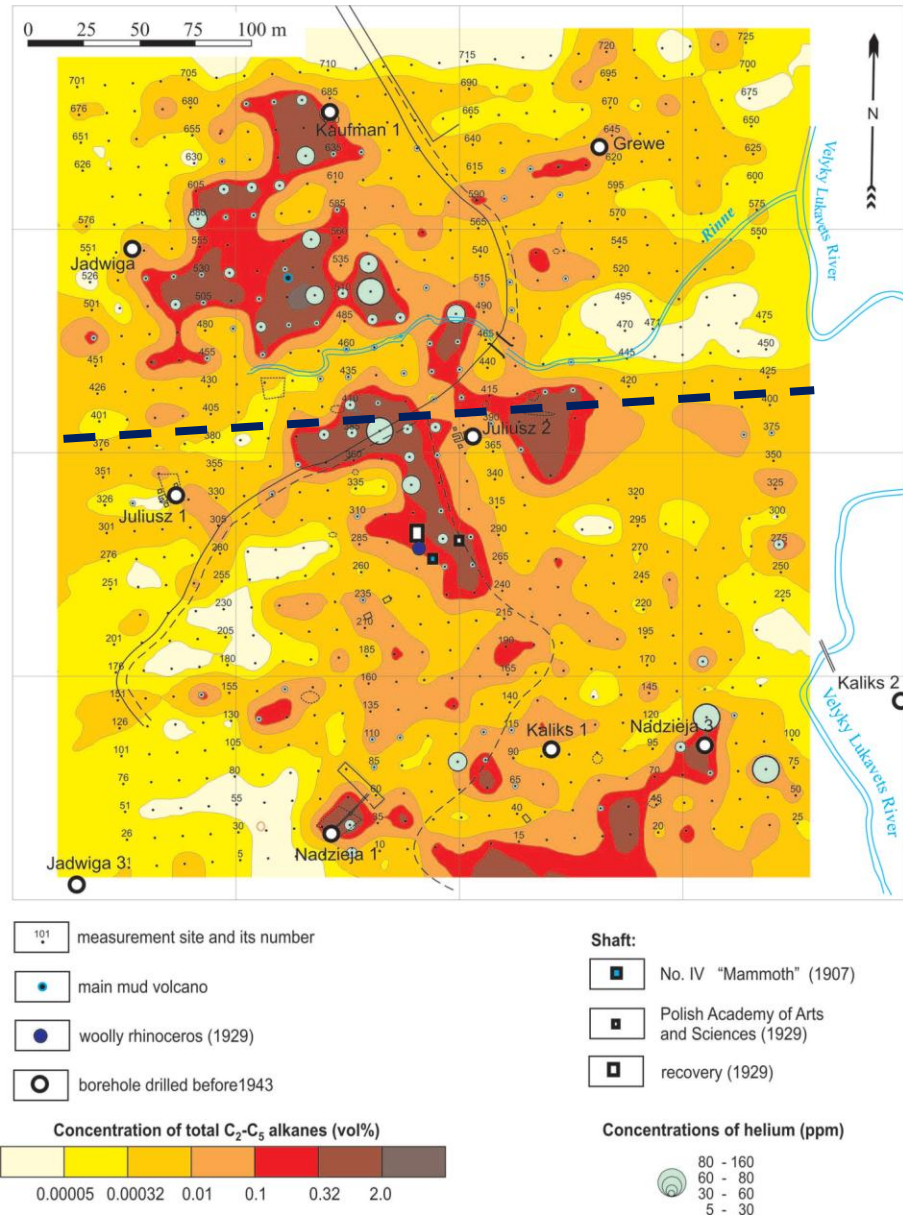


Рис. 5.21. Концентрація алканів  $C_2-C_5$  у зразках ґрунтового газу полігону старуня [210-212]. Синя лінія – магнітний профіль MAG1

Найвищі значення вмісту алканів  $C_2-C_5$  у ґрунтах відповідають аномально високим значенням магнітної сприйнятливості ґрунтів (ландшафтна секція 2) та від'ємним аномаліям магнітного поля (див. рис. 5.12). Аномально високі концентрації метану та сумарних алканів  $C_2-C_5$  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.

Наведені вище результати комплексних геолого-геофізичних, геохімічних та педомагнітних досліджень на прикладі полігону Старуня підтверджують теорію міграції вуглеводнів [220] та їх вплив на формування вторинних магнітних мінералів у гірських породах та ґрунтах. Згідно до висновків, що наводяться у роботі [211] водень та алкани приповерхневих газових фракцій є похідними нещодавніх мікробіологічних процесів. У той же час для підвищення однозначності інтерпретації формування вторинних магнітних мінералів у присутності вуглеводнів ми повинні враховувати мікробіологічний метаболізм як важливий фактор трансформації магнітних мінералів [272] та роль динаміки кисневих та безкисневих процесів [200].

Результати вивчення молекулярного складу газів вказують на насиченість приповерхневих відкладів та ґрунтів вуглеводневими сполуками у межах полігону Старуня [210, 211], що ідентифікується магнітними методами. Міграція вуглеводнів з глибинних покладів до поверхні відбувалася відносно швидко, особливо уздовж розломів і тріщин. У приповерхневих зонах вуглеводні піддавалися впливу окиснення. Наприклад, за даними [90] епігенетичний магнетит може бути результатом трансформації гематиту під впливом сірководню, мікроорганізмів і атмосферних вод. Даний процес є характерним для структур, що мають місце у межах полігону Старуня. Взаємозв'язок між бітумінізованими породами на магнітними мінералами розглядається не лише в Україні [166]. Отримані дані, що магнетит присутній найчастіше у вигляді сферичних агрегатів кристалів. Органічні геохімічні аналізи твердих бітумів підтверджують їх походження

за рахунок впливу мікроорганізмів на сиру нафту. Виникнення вторинного магнетиту у вигляді включень усередині твердих бітумів передбачає взаємозв'язок між біодеградацією сирової нафти та розвитком у відповідних зразках аутогенних магнітних мінералів.

### **5.3. Приклади використання інформативності магнітних досліджень при пошуках вуглеводнів за межами України.**

З метою верифікації отриманих нами результатів звернемося до найбільш показових закордонних даних. Для формування цілісної картини інформативності магнетизму ґрунтів при пошуках вуглеводнів поряд із наземними дослідженнями необхідними є дані про розподіл магнітних параметрів у гірських породах у свердловинах для продуктивних і непродуктивних прошарків. З цією метою звернемося до результатів досліджень китайських фахівців [220]. Досліджено магнітні параметри зразків, які відібрані з продуктивної свердловини (М36) та сухої свердловини (М46), які розташовані на *Мавангміао, нафтоносна провінція Цзянхань, Китай*. Зразки відбиралися зі свердловини М36 (продуктивна) у інтервалі 4,6-1433,5 м (частина 1349-1414 м характеризується як нафтоносна) та зі свердловини М46 (суха) у інтервалі 5,7-1506 м та 1617 м. Поряд з магнітними вимірюваннями залучалася мікроскопія для визначення важких металів та відповідних мінералів. На рис. 5.22 представлено результати магнітних досліджень. Для свердловини М36 відзначаються помітні аномалії у продуктивному інтервалі.

Мінералогічний аналіз показав, що більшість залізистих мінералів у зразках з обох свердловин представлені магемітом, сидеритом, піритом, менша частина зразків – гематит, ільменіт, піротин. Вміст магеміту вищий у зразках зі свердловини М36, особливо з нафтопродуктивних горизонтів

порівняно зі свердловиною М46. Вміст сидериту та піриту дещо вищий у М46

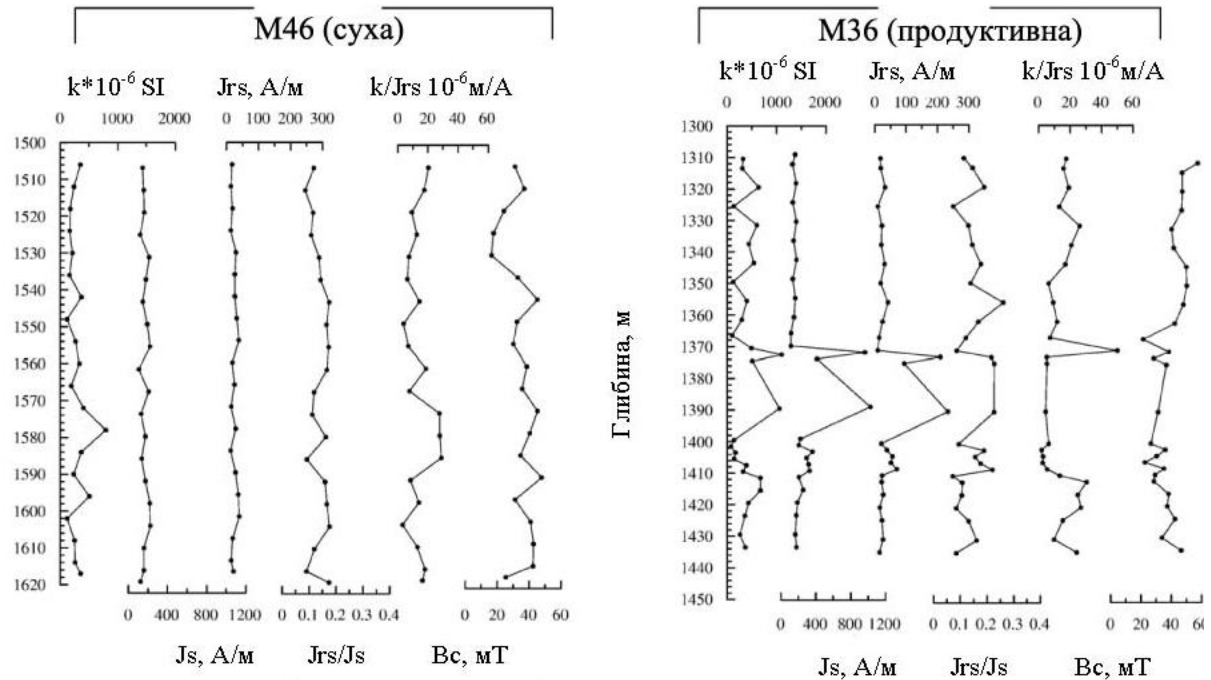


Рис. 5.22. Зміна з глибиною магнітних параметрів у сухій свердловині М46 та продуктивній свердловині М36, родовище нафти Мавангміао (Mawangmiao), нафтоносна провінція Цзянхань, Китай [220]

Територія розташування обох свердловин характеризується схожою літологією. При цьому магнетизм зразків з М46 дещо нижчий ніж з М36 та носить доволі однорідний характер, натомість для М36 вищий, особливо це помітно у продуктивних горизонтах. Це може свідчити про вплив вуглеводнів на формування магнітного сигналу в околі свердловини М36. Важливим фактором для розуміння природи магнітних носіїв у продуктивній свердловині є те, що вміст сидериту у ній значно нижчий ніж у М46. Це свідчить про можливе заміщення сидериту магемітом у присутності вуглеводнів. Дане твердження підкріплюється й тим фактом, що сидерит не може бути техногенного походження, а отже діє лише вуглеводневий фактор.

Аналіз параметрів петлі гістерезису надав змогу зрозуміти у якій фазі знаходяться магнітні мінерали для їх ідентифікації та виявлення їх походження. Виявлено, що аутогенний магеміт з нафтоносних прошарків свердловини МЗ6 сформувався за рахунок заміщення сидериту під час комплексних геохімічних процесів. Сформовані при цьому магнітні мінерали представлені зернами розміром дещо вищими за суперпарамагнітно-однодоменний поріг (близько 25 нм). Дані феромагнетики утворилися в процесі окиснення первинного сидериту. Виявлення ділянок з підвищеними магнітними властивостями та концентрацією тонкозернистих частинок може стати важливим інструментом при пошуках нафти і газу. Дані висновки підтверджують результати, що отримані нами у межах Передкарпатського прогину та полігону Старуня. Магнітна сприйнятливість та вміст вуглеводнів добре корелюються не лише для ґрунтів, але й для зразків із продуктивних горизонтів свердловини МЗ6.

Далі розглянемо ще один приклад дослідження магнетизму ґрунтів та концентрації у них вуглеводнів у *Венесуелі (південна частина Venezuelan Andean Range)* [177]. Проведено дослідження магнітної сприйнятливості, термомагнітний аналіз, розраховано відношення  $S_{ratio} = IRM_{0,3T} / IRM_{+2T}$  для колекції зразків ґрунтів з перспективної на поклади вуглеводнів площі. Також розраховано концентрацію вільних радикалів органічного походження у зразках ґрунтів за допомогою електронного парамагнітного резонансу.

Основним магнітним мінералом для більшості зразків визначено магнетит. Більшість зразків показує високі значення частотно залежної магнітної сприйнятливості при значеннях відношення  $S_{ratio}$  близькому до одиниці (майже відсутня гематитова фаза). Це свідчить про наявність магнітного мінералу, якому характерна висока магнітна сприйнятливість та низька коерцетивність ( $<0,3T$ ). Таким мінералом може бути магнетит.

На рис. 5.23 представлено два приклади вивчення температурної залежності зразків ґрунтів з території перспективної на поклади нафти та

газу. Наведені графіки вказують на суттєве падіння магнітності у діапазоні близькому до 580 °С, що відповідає наявності магнетитової фази у зразках. На нашу думку, слід виділяти і фракцію сульфідів заліза за рахунок зростання кривої при нагріві у діапазоні 200-300 °С. Дане твердження базується на основі спостережень у межах Західної України, які обговорювалися вище.

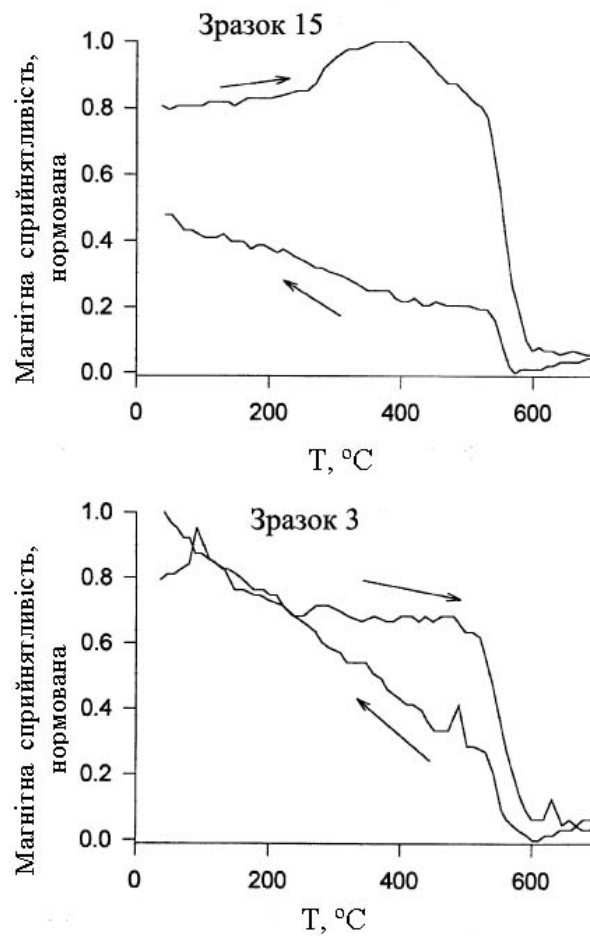


Рис. 5.23. Нормовані криві температурної залежності магнітної сприйнятливості (нагрів та охолодження) для двох репрезентативних ділянок покладів вуглеводнів Венесуели (південна частина Venezuelan Andean Range) [177]

На рис. 5.24 представлено порівняльні графіки зміни концентрації етану, магнітної сприйнятливості зразків ґрунту та концентрації вільних

радикалів органічного походження вздовж профілю, що прокладений з півночі на південь в межах дослідної ділянки.

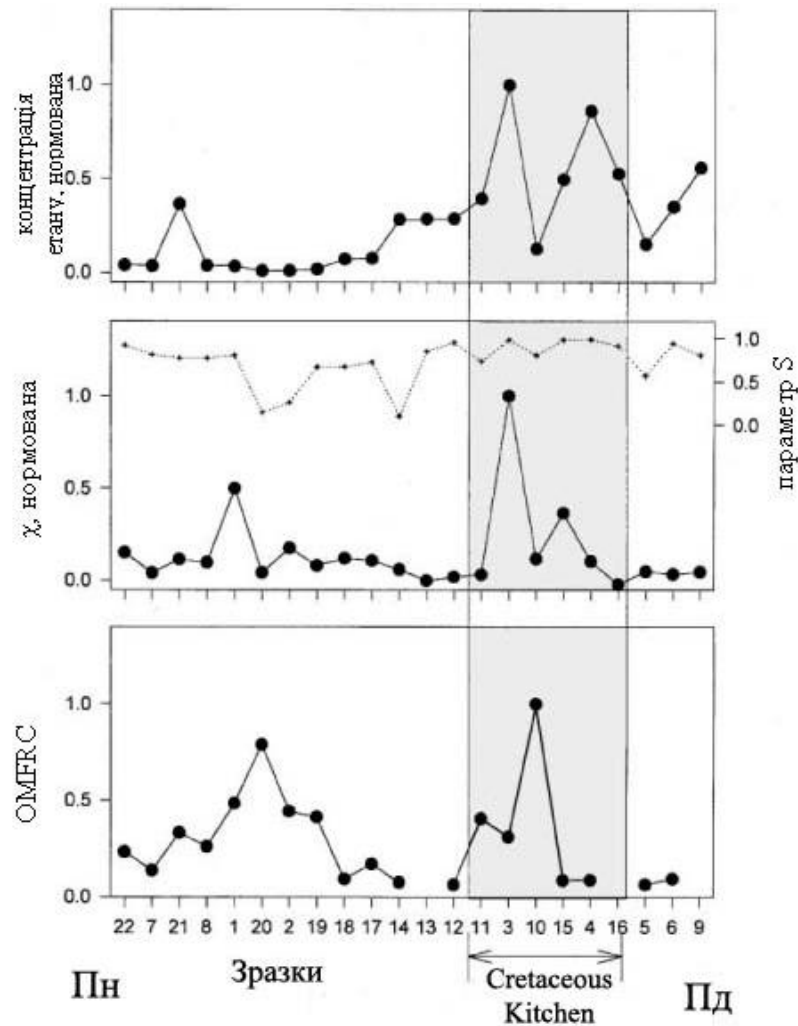


Рис. 5.24. Нормовані графіки вздовж профілю Пн-Пд: концентрація етану, магнітна сприйнятливості, параметр  $S$ , концентрація вільних радикалів органічного походження (OMFRC). Затемнена частина – точки із найбільшою концентрацією етану (територія Cretaceous Kitchen) [177]

Частина графіків, де фіксується підвищення значень усіх показників (територія Cretaceous Kitchen) відповідає зоні з неглибоко залягаючими продуктивними горизонтами. При цьому термохімічні кондиції сприятливі для утворення осадового аутогенного магнетиту. Ділянки із підвищеними значеннями магнітної сприйнятливості, близькими до 1 значеннями відношення  $S_{ratio}$  часто відповідають збільшенню вмісту органічних речовин у

зразках ґрунтів, формування вторинного магнетиту, що може свідчити про вертикальну міграцію вуглеводнів. В свою чергу даний підхід може бути покладений у основу теорії використання магнітного та магнітометричного методу при пошуках вуглеводнів.

Для з'ясування форми та розмірів аутогенних магнітних мінералів, що формуються під впливом вуглеводнів, розглянемо результати, які отримані над резервуарами нафти та газу у регіоні *Туоко, північний Тарім Басейн, Китай*. Вивчалися [218] дві свердловини, які пробурені на ключовій території з точки зору нафтогазовидобувної галузі Китаю. Свердловини характеризуються схожими стратиграфічними, літологічними, структурними показниками. Рис. 5.25 дозволяє з високою достовірністю проінтерпретувати наявність сферичних зерен магнетиту у зразках з продуктивної свердловини С7. За допомогою електронного мікроскопа визначено три типи мікротекстур поверхонь сферичного магнетиту: а, б – міжкристалічні структури порового простору, с, д – округлі текстури (притаманні космічному пилу). Зображення е, ф – агрегати ультрадисперсних зерен з діаметром менше за 1 мкм. Такі зерна схожі на знайдені на територіях газового басейну Ордос Басейн, Китай та покладів нафти у пісковиках поблизу Денвера, США. Проводився аналіз наявності у відповідних зразках супутніх сполук. Виявилося, що магнітні сфериuli ультрадисперсних зерен, що представлені аутогенним магнетитом, асоціюються із міграцією вуглеводнів у низькотемпературних умовах.

Сферичний магнетит, що складається із ультрадисперсних частинок найімовірніше є аутогенним, який формується під час низькотемпературних процесів у межах вуглеводневих ареалів.

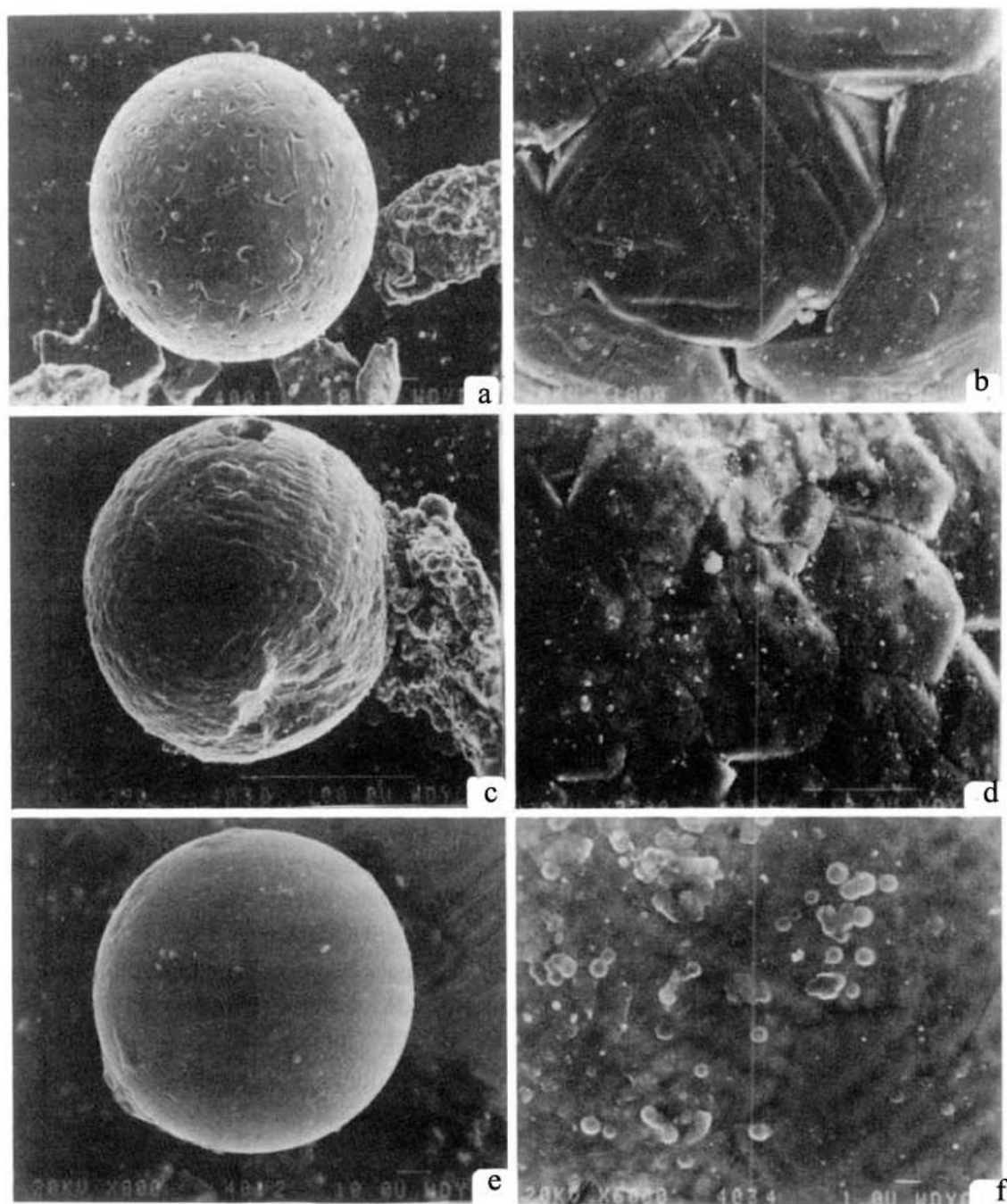


Рис. 5. 24. Результати сканування електронним мікроскопом сферичних магнітних зерен зі свердловини С7. Ліва та права частини – магнітний матеріал із різним збільшенням: а, б – міжкристалічні структури порового простору, с, d – округлі текстури, е, f – агрегати ультрадисперсних зерен [218]

### **Висновки до розділу 5.**

Проаналізовані у розділі матеріали дослідження магнетизму ґрунтів при розв'язанні геологічних завдань на прикладі пошуків та розвідки вуглеводнів визначають високу інформативність та перспективність впровадження методу у комплекс геологорозвідувальних робіт на різних етапах. Міграція вуглеводного флюїду у верхні частини геологічного розрізу та ґрунтовий покрив, а також природне та антропогенне накопичення вуглеводневих продуктів у ґрунтах, спричинює зміну магнітної мінералогії. Сформовані таким чином аутогенні (діагенетичні) магнетики можуть підвищувати або понижувати величини магнітних параметрів ґрунтів у межах ареалів розсіювання вуглеводнів. Зафіксовано підвищення магнітної сприйнятливості у насичених вуглеводнями ґрунтах та підстилаючи глинах полігону Старуня та родовища Орховичі. Магнітні аномалії ґрунтів знаходяться у тісному зв'язку з аномаліями магнітного поля (6-8 нТл), геохімічними аномаліями ґрунтів та підстилаючих горизонтів. Ідентифіковано аутогенні сульфідні заліза, що формуються у ґрунтах під впливом вуглеводнів. Паралельно присутні ультрадисперсні оксиди заліза ґрунотвірного походження. Усі магнетики не перевищують псевдоднодоменний стан (PSD). Магнітні методи на даний момент є невикористаним резервом важливої інформації у комплексі нафтогазопошукових робіт.

## 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 магнітомінералогічних 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 вказаного 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 однодоменних стабільних та суперпарамагнітних дрібнодисперсних зерен магнетиту, магеміту, гетиту та гематиту ґрунотвірного походження розміром від кількох нм до перших мкм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексеев, А.О., Ковалевская И.С., Моргун, Е.Г. Самойлова, Е.М. (1988). Магнитная восприимчивость почв сопряженных ландшафтов. *Почвоведение*, 8, 27-35.
2. Березкин, В.М., Лощаков, А.М., Николаев, М.И. (1982). Применение магниторазведки для поисков месторождений нефти и газа. *Прикладная геофизика*, 103, 127-136.
3. Бодачівська, Л.Ю., Коробко, Н.В. (2007). Моделювання очистки ґрунтів, забруднених вуглеводневими рідинами. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*, 5, 69-72.
4. Бондарь, К.М., Сухорада, А.В. (2003). Естественная остаточная намагниченность почвенного покрова. *Науковий вісник НГАУ*, 8, 77-80.
5. Бондар, К., Самчук, А., Стахів, І., Слободяник, І. (2010). Нагромадження магнітного забруднення і важких металів у ґрунтах і рослинному покриві міста Києва. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 50, 26-30.
6. Бондар, К.М., Віршило, І.В., Стахів, І.Р., Слободяник, І.В. (2011). Моніторинг забрудненості повітряного басейну Києва за магнітною сприйнятливістю ґрунтів і рослинності. *Геоінформатика*, 3, 83-87.
7. Бондар, К.М., Макієнко, О.О., Кузь, Ю.В. (2015). Про магнітне забруднення та підкислення ґрунтів у приміській зоні Києва порівняно з фоновими аналогами. *Геоінформатика*, 2, 71-78.
8. Бондар, К., Цюпа, І., Король, А. (2015). Магнітний метод при оцінці забруднення ґрунтового покриву Запоріжжя. Еколого-геохімічне обґрунтування. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 71(4), 43-48.
9. Бондар, К., Цюпа, І., Стахів, І. (2015). Характеристика розподілів магнітної сприйнятливості ґрунтів українських міст та оцінка рівнів їх техногенного забруднення. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 70(3), 54-60.

10. Вадюнина, А.Ф., Бабанин, В.Ф., Ковжун, В.Я. (1974). Магнитная восприимчивость фракций некоторых почв. *Почвоведение*, 1, 116-120.
11. Вадюнина, А.Ф., Бабанин, В.Ф. (1981). Магнитная восприимчивость некоторых почв Грузии. *6 делегатский съезд Всесоюзного общества почвоведов: тезисы докладов, Тбилиси*, 1, 41-42.
12. Васильев, А.В., Семенов, А.С. (1960). Магнитная восприимчивость почв. *Уч. зап. Ленинг. ун-та. Сер. физ. и геол. наук*, 12(286), 110-113.
13. Веклич, М.Ф., Сиренко, Н.А., Дубняк, В.А., Мельничук, И.В., Паришкура, С.И., Артюнова, Н.З. (1969). *Опорные геологические разрезы антропогена Украины*. Киев: Наукова думка.
14. Вернандер, Н.Б., Годлин, М.М., Самбур, Г.Н., Скорина С.А. (1951). *Почвы УССР*. Киев: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы УССР.
15. Вижва, С.А. (2003). Геофізичний моніторинг небезпечних природних та техногенних процесів на початку ХХІ століття. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 27, 73-80.
16. Вижва, С.А. (2004). Теорія і методологія комплексної геодинамічної інтерпретації даних геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів. *Матеріали V міжнар. конф. «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища»*, 9-11.
17. Вижва, С.А., Жуков М.Н. (2007). Стан природного та історичного середовища Києва. До концепції розвитку столиці. *Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: VIII міжнародна наукова конференція*, 14-16.
18. Водяницкий, Ю.Н. (1979). Опыт составления картограмм магнитной восприимчивости дерново-подзолистой почвы. *Почвоведение*, 11, 85-87.

19. Водяницкий, Ю.Н. (1981). Образование ферромагнетиков в дерново-подзолистой почве. *Почвоведение*, 5, 114-122.
20. Водяницкий, Ю.Н. (2010). *Соединения железа и их роль в охране почв*. Москва: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россельхозакадемии.
21. 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.
22. Гузій, М.І., Тяміна, К.М. (2002). *Комплексні магнітометричні дослідження найважливіших родючих ґрунтів України для визначення раціонального комплексу агрогеофізичних робіт*. Звіт: Балаклія.
23. Дмитренко, П.О., Носко, Б.С. (1987). *Довідник по удобренню сільськогосподарських культур*. К.: Урожай.
24. Дніпропетровщина у цифрах у 2014 році. Головне управління статистики у Дніпропетровській області (<http://www.dneprstat.gov.ua/>).
25. Добровольский, Г.В. (Ред.). 1997. *Почва, город, экология*. Москва: Фонд «За экономическую грамотность».
26. Добровольский, Г.В. (Ред.). 2002. *Деградація и охрана почв*. Москва: Из-во МГУ.
27. Жадан, А.М., Сухорада, А.В., Тютюнник, Д.А. (1997). Магнітні властивості ґрунтів України та деякі аспекти їх інтерпретації. *Актуальні проблеми екогеології України*, 48.
28. Жадан, А.М., Тяміна, К.М. (2001). *Дослідження петромагнітних особливостей орного шару деяких характерних ґрунтів України в зв'язку із визначенням їх агрогеофізичної інформативності*. Звіт: Балаклія.
29. Жоголев, С.Л., Микляев, Ю.В. (1989). Магнитная восприимчивость некоторых почв Ленинградской области. *Труды Ленингр. об-ва*

- естествоиспытателей «Прикладная геохимия в геологии и экологии», 80(2), 146-151.*
30. Жуков, М.Н., Вижва, С.А. (2008). Критичний стан повітряного середовища Києва. Прогнозні оцінки впливу на 2012 рік. *Геоінформатика*, 4, 69-78.
31. Заславский, М.Н. (1983). *Эрозиоведение: учебник*. Москва: Высшая школа.
32. Керимова, Д.Н. (1975). Магнитные свойства почв Малого Кавказа. *Доклады АН АзССР*, 31(1), 57-60.
33. Ковда, В.А., Розанова, Б.Г. (Ред.). 1988. *Почвоведение: Учебник для ун-тов в 2 частях, Ч. 1, Почва и почвообразование*. Москва: Высш. шк.
34. Королев, В.А. (2001). *Очистка грунтов от загрязнений*. Москва: МАИК «Наука /Интерпериодика».
35. Корсунов, В.М., Красеха, Е.Н. (2010). *Педосфера Земли*. Улан-Удэ: Изд. БНЦ СО РАН.
36. Круглов, О. В. (2007). *Магнітна сприйнятливість верхнього горизонту ґрунтів Лівобережжя України* (Автореф на здоб. вч. ст. канд. геол. наук: спец. 04.00.22 «Геофізика»).
37. 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.
38. Кудеравец, Р.С., Максимчук, В.Ю., Городиський, Ю.М. (2009). Геомагнітні моделі родовищ вуглеводнів та перспективних структур центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. *Науковий вісник ІФНТУНГ*, 1(19), 73-81.
39. Кудеравец, 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.
40. Кузнецов, М.С., Гендугов, В.М. (1997). Критические скорости и касательные напряжения потоков талых вод для основных почв земледельческих территорий России. *Почвоведение*, 5, 625-628.
41. Куценко, М.В. (2012). *Геосистемні основи регулювання ерозійно-аккумулятивних процесів: геоморфосистемний аспект*. Харків: КП «Міська друкарня».
42. Левашов, С.П., Якимчук, Н.А., Корчагин, И.Н., Таскинбаев, К.М. (2002). Технология прямых поисков залежей углеводородов геоэлектрическими методами и результаты ее применения на нефтегазовых месторождениях Западного Казахстана. *Геоинформатика*, 3, 15-25.
43. Лісовий, С.Ф. (1998). *Аналіз стану використання та доцільності застосування комплексу геофізичних методів досліджень ґрунтів*. Балаклія: Звіт про дослідно-методичні роботи ДГП «Агрогеофізика».
44. Ломов, С.П., Пеньков, А.В. (1979). Магнитная восприимчивость некоторых современных и ископаемых почв Таджикистана. *Почвоведение*, 6, 100-109.
45. Лукшин, А.А., Румянцева, Т.И. (1964). Изменение удельной магнитной восприимчивости по почвенному разрезу. *Труды Ижевского сельскохозяйственного ин-та*, 10, 126-127.
46. Лукшин, А.А., Румянцева, Т.И., Ковриго В.П. (1974). Результаты измерения магнитной восприимчивости почв в зависимости от режима влажности. *Вопросы почвоведения и применения удобрений в Удмуртской АССР*, 138-143.
47. Майорова, Л.П., Садыков, А.И., Сыч, Ю.И. (2013). Воздействие лесных пожаров на экосистемы и компоненты природной среды (на примере Хабаровского края). *Электронное научное издание «Ученые заметки*

- ТОГУ»*, 4(4), 1-8.
48. Максимчук, В.Ю., Орлюк, М.І. (2004). Застосування магніторозвідки при пошуках родовищ нафти та газу. *Нафта і газ: 8 міжнародна науково-практична конференція України, Судак*, 1, 45-47.
49. Макунина, Г.С. (2011). Геофизические системы ландшафтов. *География и природные ресурсы*, 4, 5-11.
50. Малиновская, И.М. (2012). Влияние пожара на состояние микробиоциноза почвы восьми- и двадцатилетних залежей. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 20-24.
51. Матвіїшина, Ж.М., Сухорада, А.В., Меньшов, О.І., Бондар, К.М. (2005). Про педомагнітні дослідження ґрунтів голоцену. *Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: VI міжнародна наукова конференція*, 190-192.
52. Меньшов, О.І., Сухорада, А.В. (2006). Дослідження магнітних властивостей ґрунтового покриву східного лісостепового агрогеофізичного стаціонару. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 38, 39-42.
53. Меньшов, О.І., Сухорада, А.В., Буковський, В.П. (2008). До питання про використання методів магнітометрії при вивченні властивостей покладів вуглеводнів. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики.*, 33-38.
54. Меньшов О.І. (2008). *Намагніченість типоморфних ґрунтів України* (Автореф. на здоб. вч. ст. канд. геол. наук: спец. 04.00.22 «Геофізика»).
55. 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.
56. Меньшов, О.І., Сухорада, А.В., Буковський, В.П. (2009).

- Педомагнетизм нафтогазоперспективних територій (на прикладі ДДЗ). *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 6, 163-170.
57. Меньшов, О., Сухорада, А., Круглов, О., Хоменко, Р. (2009). Грунтовий покрив військових аеродромів України та їх можлива екологічна санацій (на прикладі аеродрому в м. Прилуки). *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 47, 36-38.
58. Меньшов, О.І. (2010). Перший досвід застосування атмомагнітометрії в Україні (на прикладі Київського мегаполісу). *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 7, 343-348.
59. 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.
60. Меньшов, О.І., Сухорада, А.В. (2011). Геологічна інформативність магнітних досліджень при пошуках вуглеводнів. Стан проблеми. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 8, 59-70.
61. Меньшов, О.І., Сухорада, А.В. (2011). Інформативність ультрадетаљних магнітних та магнітометричних досліджень при прогнозуванні та моніторингу геологічного середовища. *Геодинаміка*, 2(11), 202-204.
62. Меньшов, О.І. Інформативність магнетизму ґрунтового покриву. Розвиток досліджень 2012. (2012). *Матеріали X Міжнародної наукової конференції "Моніторинг геологічних процесів". Київ*, 101-104.
63. 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.
64. Меньшов, О., Круглов, О., Сухорада, А., Хоменко, Р. (2012). Ультрадетаљна магнітометрія природних систем. Економічні та

- аграрні аспекти. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 56, 24-26.
- 65.Меньшов, А.И., Сухорада, А.В. (2012). Магнетизм почв України. *Науковий Вісник НГУ*, 1(127), 15-22.
- 66.Меньшов, О.І., Сухорада, А.В., Хоменко, Р.В., Круглов, О.В. (2012). Архітектура педомагнітної бази даних. *Геоінформатика. Київ*, Диск CD.
- 67.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.
- 68.Меньшов, О.І., Сухорада, А.В. (2013). Спосіб атмомагнітного контролю стану довкілля. *Патент на винахід*, № 102735 від 12.08.2013.
- 69.Меньшов, О. (2013). Магнетизм верхньої частини розрізу земної кори: природна та техногенна складові. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 1(60), 28-32.
- 70.Меньшов, О., Сухорада, А. (2013). Геофізика педосфери та природознавство В.І. Вернадського. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 3(62), 29-32.
- 71.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.
- 72.Меньшов, А. (2013). Информативность показателей магнетизма почвенного покрова при решении экологических задач. *Науковий Вісник НГУ*, 6(138), С. 92-98.
- 73.Меньшов О.І. (2014). Перші результати атмомагнітного контролю стану довкілля на прикладі міста Київ. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 11, 178-184.
- 74.Меньшов, О., Карпенко, О. (2014). Магнітні дослідження при пошуках покладів вуглеводнів нетрадиційного типу. Постановка задачі. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 4(67), 55-58.
- 75.Меньшов, А., Сухорада, А. (2014). Геомагнитные исследования в

- Киевском Университете. История и перспективы развития. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 3(66), 68-70.
- 76.Меньшов, О. (2015). Магнітна сприйнятливість південних чорноземів України на прикладі Одеської області. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 2(69), 70-74.
- 77.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.
- 78.Меньшов, О.І., Кудеравец, Р.С., Чоботок, І.О. (2015). Магнітна сприйнятливість ґрунтів Карпат у долині річки Манявки. *Геодинаміка*, 2, 94-99.
- 79.Меньшов, О.І. (2016). Застосування магнітних методів для контролю деградації продуктивних земель. *Геофізичний журнал*, 4(38), 130-137.
- 80.Меньшов, А.И. (2016). Информативность магнетизма почвенного покрова при поисках углеводородов на примере Западной Украины. *Вестник ВКГТУ*, 2, 36-41.
- 81.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.
- 82.Меньшов, А.И., Круглов, А.В. (2016). Магнитные методы при изучении деградации аграрных земель Украины. *Вестник ВКГТУ*, 3, 9-14.
- 83.Меньшов, О., Кампс, П. (2017). Перші результати екомагнітних досліджень слабоурбанізованих міст на прикладі Трускавця (Україна) та Монпельє (Франція). *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 1(76), 27-32.
- 84.Михайлов, В.А. (Ред.). (2014). *Нетрадиційні джерела вуглеводнів України: монографія*. Київ: Ніка-Центр.
- 85.Моргун, Ф.Т., Шикуча, Н.К., Тарарико, А.Г. (1988). *Почвозащитное*

- земледелие*. Київ: Урожай.
86. Мотузова, Г.В., Безуглова, О.С. (2007). *Экологический мониторинг почв*. Москва: Академический Проект, Гаудеамус.
87. Нагата Т. (1965). *Магнетизм горных пород*. Москва: Мир.
88. Назаренко, І.І. (Ред.). (2004). *Ґрунтознавство: підручник*. Київ: Вища освіта.
89. Назарок, П.Г., Круглов, О.В., Куценко, М.В., Меньшов, О.І., Сухорада, А.В. (2015). До проблеми картографування ерозійних процесів. *Вісник аграрної науки*, 9, 63-68.
90. Никитский, В. Е., Глебовской, Ю.С. (Ред.). (1990). *Магниторазведка: справочник геофизика*. Москва: Недра.
91. Носко, Б.С., Христенко, А.О., Лобода, М.В. (1994). *Зміни вмісту поживних речовин у ґрунтах за даними агрохімічного обстеження. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України*. Київ: Урожай.
92. Обыденова, Л.А. (2003). *Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель агроэкологической оценки их свойств генетический и диагностический их показатель* (Автореферат на соиск. уч. ст. канд. биол. наук: спец. 03.00.07 «Почвоведение»).
93. Огляд про стан забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2014 році ([http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1)).
94. Огняник, Н.С., Парамонова, Н.К., Брикс, А.Л., Пашковский, И.С., Коннов, Д.В. (2006). *Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами : моногр.* Ин-т геолог. наук НАН Украины, Киев: А.П.Н.
95. Орлюк, М.И., Максимчук, В.Е., Вакарчук, Г.И., Чепиль, П.М. (1998). *Магнитометрические исследования при региональном и локальном*

- прогнозе нефтегазоносности земной коры Днепровско-Донецкой впадины. *Геофизический журнал*, 20(3), 92-101.
96. Полупан, М.І. (Ред.). (2005). *Класифікація ґрунтів України*. Київ: Аграрна наука.
97. Попов, С.А., Меньшов О.І. (2006). *Створення раціональної методики вимірювання магнітних властивостей ґрунтового покриву, осадового чохла та кристалічного фундаменту нафтогазоперспективних районів ДДЗ для оптимізації їх комплексних геофізичних досліджень*. Звіт: Балаклія.
98. Решетников, М.В. (2011). *Геоэкологическая оценка урбанизированных территорий на основе магнитной индикации почв (на примере г. Саратова)*. (Автореферат на соиск. уч. ст. канд. географ. наук: спец. 25.00.36 «Геоэкология (науки о Земле)»).
99. Решетников, М.В. (2011). *Магнитная индикация почв городских территорий (на примере г. Саратова): монография*. Саратов: Саратов. гос. тех. ун-т.
100. Савичев, Ю.В., Меньшов О.І. (2006). *Комплексні петропедомагнітні дослідження деяких характерних перспективних покладів вуглеводнів в межах центральної частини ДДЗ для визначення геологічної інформативності прикладної магнітометрії при пошуках і розвідці родовищ нафти і газу в Україні. Створення обслуговуючої інфраструктури*. Звіт: Балаклія..
101. Старостенко, В., Лукин, А., Русаков, О., Пашкевич, И., Лебедь, Т. (2015). Углеводородный сквозьформационный флюидоподводящий канал на северо-западном шельфе Черного моря по данным трехмерного магнитного моделирования. *Геология и полезные ископаемые мирового океана*, 2(40), 147-158.
102. Стахів І.В. (2013). Вплив забруднення повітряного середовища на стан здоров'я населення за 2001-2010 рр. *Зб. наук. праць «Теоретичні*

- та прикладні аспекти геоінформатики», 126-132.*
103. Сурмін, Ю.П. (2006). *Майстерня вченого: Підручник для науковця*. Київ: Навчально-методичний центр «Консорціум з удосконалення менеджмент-освіти в Україні».
  104. Сухорада, А.В. (1986). Предмет и задачи динамической геофизики. *Системный подход в геологии*, 31-32.
  105. Сухорада, А.В. (1995). Динамічна геофізика. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 13, 88-92.
  106. Сухорада, А.В. (2001). Агрогеофізика – ідеологія, концептуальна основа, стан та перспективи розвитку. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 19, 58-64.
  107. Сухорада, А.В. (2002). Магнітометрія і ґрунтознавство. Досвід досліджень в Україні. *Міжвідомчий збірник «Ґрунтознавство та агрономія на шляху сталого розвитку України», 174.*
  108. Сухорада, А.В. (2008). *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*. Звіт: Київ.
  109. Сухорада, А.В., Круглов, О.В., Жадан, А.М., Меньшов О.І. (2000). Попередні результати дослідження педомагнітних особливостей ґрунтового покриву державного агрогеофізичного полігону. *Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: міжнародна наукова конференція, Київ, 57-58.*
  110. Сухорада, А.В., Меньшов, А.И. (2005). Суммарная и эффективная намагниченность почвенного покрова Украины и ее роль в магнитных съемках будущего. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 278-280.

111. Сухорада, А.В., Сухорада М.А. (2003). Геофизика педосферы – проблемы и методология их решения. *Тез. Доп. IV міжнар. конф. «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища»*, Київ, 128-129.
112. Сухорада, А.В., Сухорада М.А. (2004). Геофизика педосферы – от идиологии к технологии. *Матеріали V міжнар. конф. «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища»*, Київ, 140-141.
113. Сухорада, А.В., Тяміна, К.М., Меньшов, О.І. (2002). Про намагніченість деяких ґрунтів України. *Вісник КНУ Тараса Шевченка. Геологія*, 24, 104-105.
114. Таргульян, В.О., Герасимова, М.И. (2007). *Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов: основа для международной классификации и корреляции почв*. Москва: Товарищество научных изданий КМК.
115. Утеуш, Ю.А., Лобас, М.Г. (1996). *Кормові ресурси флори України. (Інтродукція, біологія, використання, основи вирощування, економічна доцільність впровадження в культуру)*. Київ: Наукова думка.
116. Шамраев, А.В., Шорина, Т.С. (2009). Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды. *Вестник ОГУ*, 6(100), 642-645.
117. Швевс, Г.И. (1981). *Теоретические основы эрозиоведения*. Киев: Вища школа.
118. Шкварук, Н.М., Делемчук, Н.И. (1976). *Почвоведение*. Вища школа.
119. Abd-Elmabod, S.K., Jordán, A., Fleskens, L., Van der Ploeg, P., Muñoz-Rojas, M., Anaya-Romero, M., Van der Salm, R.J., De la Rosa, D. (2015). Modelling agricultural suitability along soil transects under current

- conditions and improved scenario of soil factors. *Geophysical Research Abstracts*, 17, EGU2015-1012-2.
120. Aifa, T., Zerrouki, A., Baddari, K., Geraud, Y. (2014). Magnetic susceptibility and its relation with fractures and petrophysical parameters in the tight sand oil reservoir of Hamra quartzites, southwest of the Hassi Messaoud oil field, Algeria. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 123, 120-137.
121. Aldana, M., Costanzo-Alvarez, V., Vitiello, D., Colmenares, L., Gómez G. (1999). Framboidal magnetic minerals and their possible association to hydrocarbons: La Victoria oil field, southwestern Venezuela. *Geofisica Internacional*, 38(3), 137-152.
122. Aldana, M., Costanzo-Álvarez, V., Góme, L., González, C., Díaz, M., Silva, P., Rada, M. (2011). Identification of magnetic minerals related to hydrocarbon authigenesis in venezuelan oil fields using an alternative decomposition of isothermal remanence curves. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 55(2), 343-358.
123. Ameen, N., Klueglein, N., Appel, E., Petrovský, E., Kappler, A., Leven, C. (2014). Effect of hydrocarbon-contaminated fluctuating groundwater on magnetic properties of shallow sediments. *Stud. Geophys. Geod.*, 58, 442-460.
124. Baco, S., Chik, A., Musta, B., Yassin, F.M., Halim, S.A. (2010). Study on magnetic properties, mineralogy and heavy metal content of soil and concretion. *Borneo Science*, 27, 25-34.
125. Blaha, U., Appel, E., Stanjek, H. (2008). Determination of anthropogenic boundary depth in industrially polluted soil and semi-quantification of heavy metal loads using magnetic susceptibility. *Environmental Pollution*, 156(2), 278-289.
126. Blake, W.H., Wallbrink, P.J., Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Humphreys, G.S. (2006). Magnetic enhancement in wildfire-affected soil

- and its potential for sediment-source ascription. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(2), 249-264.
127. Blakemore, R.P. (1982). Magnetotactic bacteria. *Annual Reviews in Microbiology*, 36(1), 217-238.
128. Blundell, A., Hannam, J.A., Dearing, J.A., Boyle, J.F. (2009). Detecting atmospheric pollution in surface soils using magnetic measurements: A reappraisal using an England and Wales database. *Environmental Pollution*, 157, 2878-2890
129. Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Berkowicz, R. (2003). Air pollution forecasting from regional to urban street scale – implementation and validation for two cities in Denmark. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(8), 335-344.
130. Breivik, E., Baumgarten, A., Calzolari, C., Miller, B., Pereira, P., Kabala, C., Jordán, A. (2016). Soil mapping, classification, and modelling: history and future directions. *Geoderma*, 264, Part B, 256-274.
131. Bućko, M.S., Magiera, T., Pesonen, L.J., Janus, B. (2010). Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes – case study from Finland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 209, 1-4, 295-306.
132. Bucko, M.S., Magiera, T., Johanson, B., Petrovsky, E., Pesonen, L.J. (2011). Identification of magnetic particulates in road dust accumulated on roadside snow using magnetic, geochemical and micro-morphological analyses. *Environmental Pollution*, 159, 1266-1276.
133. Camargo, L.A., Júnior, J.M., Pereira, G.T. Rabelo de Souza, A.S. (2014). Bahia Clay mineralogy and magnetic susceptibility of Oxisols in geomorphic surfaces. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, 71(3).
134. Canbay, M., Aydin, A., Kurtulus, C. (2010). Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 70(1), 46-57.

135. Chan, L.S., Yeung, C.H., Yim, W.W.S., Or, O.L. (1997). Correlation between magnetic susceptibility and distribution of heavy metals in contaminated sea-floor sediments of Hongkong Harbour. *Environ. Geol*, 36, 77-86.
136. Chaparro, M.A.E., Marie, D.C., Gogorza, C.S.G., Navas, A., Sinito, A.M. (2010). Magnetic studies and scanning electron microscopy-X-ray energy dispersive spectroscopy analyses of road sediments, soils and vehicle-derived emissions. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 54(4), 633-650.
137. Chen, L.M., Zhang, G.L., Rossiter, D.G., Cao, Z.H. (2015). Magnetic depletion and enhancement in the evolution of paddy and non-paddy soil chronosequences. *European Journal of Soil Science*, 66(5), 886-897.
138. Chutia, B.M., Prabhat, K.R., Patil, S.K. (2014). Biomonitoring of atmospheric particulate matter pollution in Aizawl, Mizoram, North-East India using magnetic properties of *Ficus bengalensis* and *Ficus religiosa* tree leaves. *Issues and Trends of Wildlife Conservation in Northeast India*, 77-85, 2014.
139. Civan, F., Rai, C.S., Sondergeld, C.H. (2011). Shale-Gas and Transport Mechanisms Permeability and Diffusivity Inferred by Improved Formulation of Relevant Retention. *Transp Porous Med*, 925-944.
140. Costanzo-Álvarez, V., Aldana, M., Bayona, G., López-Rodríguez, D., Blanco J.M. (2012). Rock magnetic characterization of early and late diagenesis in a stratigraphic well from the Llanos foreland basin (Eastern Colombia). *Geological Society Special Publication*, 371(1), 199-216.
141. Day, R., Fuller, M., Schmidt, V.A. (1977). Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 13, 260-267.
142. Dearing, J.A., Hannam, J.A., Anderson, A.S., Wellington, E.M.H. (2001). Magnetic, geochemical and DNA properties of highly magnetic soils

- in England. *Geophysical Journal International*, 144(1), 183-196.
143. Dearing, J.A., Hay, K.L., Baban, S.M.J., Huddleston, A.S., Wellington, E.M.H., Loveland, P. (1996). Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. *Geophysical Journal International*, 127(3), 728-734.
144. Dedik, A.N., Hoffmann, P., Enslin, J. (1992). Chemical characterization of iron in atmospheric aerosols. *Atmos Environ.*, 26A, 2545-2548.
145. Depellegrin, D., Blažauskas, B. (2013). Integrating Ecosystem Service Values into Oil Spill Impact Assessment. *Journal of Coastal Research*, 29, 836-846.
146. Diabate, S., Mulhopt, S., Paur, H.R., Wottrich, R., Krug, H.F. (2002). In vitro effects of incinerator fly ash on pulmonary macrophages and epithelial cells. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 204, 323-326.
147. DeByle, N. V. (1981). *Clear cutting and fire in the larsh Douglas fire forests of Montana multi-faceted research summary*. Department of Agriculture, Forest survice, Intermountain forest and range Experiment station.
148. De Jong, E. (2002). Magnetic susceptibility of Gleysolic and Chernozemic soils in Saskatchewan. *Canadian journal of soil science*, 82(2), 191-199.
149. Díaz, M., Aldana, M., Costanzo-Alvarez, V., Silva, P., Pérez, A. (2000). EPR and magnetic susceptibility studies in well samples from some Venezuelan oil fields. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 25(5), 447-453.
150. Dlouhá, Š., Petrovský, E., Kapička, A., Borůvka, L., Ash, C., Drábek, O. (2013). Investigations of polluted soils by magnetic susceptibility methods: a case study of the Litavka River. *Soil and Water Res.*, 8, 151-157.
151. Donovan, T.J., Forgey, R.L., Roberts, A.A. (1979). Aeromagnetic

- detection of diagenetic magnetite over oil fields. *AAPG Bull*, 63, 245-248.
152. Dunlop, D.J., Ozdemir, O. (1997). *Rock magnetism*. New York: Cambridge Univ. Press.
153. El Baghdadi, M., Jakani, K., Barakat, A., Bay, Y. (2011). Magnetic susceptibility and heavy metal contamination in agricultural soil of Tadla plain. *J. Mater. Environ. Sci.*, 2(S1), 513-519.
154. Eldiabani, G.S., Hale, W.H.G., Heron, C.P. (2014). The Effect of Forest Fires on Physical Properties and Magnetic Susceptibility of Semi-Arid Soils in North-Eastern, Libya. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 8(1),54-60.
155. Ellwood, B.B. Burkart, B. (1996). A test of hydrocarbon-induced magnetic patterns in soils: the sanitary landfill as laboratory. *In D. Schumacher and M.A. Abrams, eds., Hydrocarbon migration and its near-surface expression*, AAPG Memoir 66, 91-98.
156. Elmore, R.D., Engel, M.H., Crawford, L., Nick, K., Imbus, S., Sofer, Z. (1987). Evidence for a relationship between hydrocarbons and authigenic magnetite. *Nature*, 325(6103), 428-430.
157. Elmore, R.D., Crawford, L. (1990). Remanence in authigenic magnetite: testing the hydrocarbon-magnetite hypothesis. *Journal Geophys. Res.*, 95(B), 4539-4549.
158. Emmerton, S., Muxworthy, A.R., Sephton, M.A. (2012). Magnetic characterization of oil sands at Osmington mills and Mupe bay, Wessex Basin. *UK Geological Society Special Publication*, 371(1), 189-198.
159. Emmerton, S., Muxworthy, A.R., Sephton, M.A., Aldana, M., Costanzo-Alvarez, V., Bayona, G., Williams, W. (2013). Correlating biodegradation to magnetization in oil bearing sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 112, 146-165.
160. Evans, M.E., Heller, F. (2003). *Environmental magnetism. Principles and applications of enviromagnetics*, San Diego: Academic Press.

161. Fabian, K. (2006). Approach to saturation analysis of hysteresis measurements in rock magnetism and evidence for stress dominated magnetic anisotropy in young mid-ocean ridge basalt. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 154(3), 299-307.
162. Fassbinder, J. W., Stanjek, H., Vali, H. (1990). Occurrence of magnetic bacteria in soil. *Nature*, 343(6254), 161-163.
163. Fialová, H., Maier, G., Petrovský, E., Kapička, A., Boyko, T., Scholger, R., & MAGPROX Team. (2006). Magnetic properties of soils from sites with different geological and environmental settings. *Journal of Applied Geophysics*, 59(4), 273-283.
164. Fisher, R.A., Frank, Y. (1961). *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, 6th ed. London: Longman Group, Ltd.
165. Flanders, P.J., (1994). Collection, measurement, and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment. *Journal appl. Phys.*, 75, 5931-5936.
166. Font, E., Trindade, R.I.F., Nédélec, A. (2006). Remagnetization in bituminous limestones of the Neoproterozoic Araras Group (Amazon craton): Hydrocarbon maturation, burial diagenesis, or both? *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(6), B06204.
167. Foote, R.S. (1996). Relationship of near-surface magnetic anomalies to oil- and gas-producing areas. *AAPG Memoir*, 66, 111-126.
168. Foote, R.S. (2007). Method helps find hydrocarbon areas aids optimum seismic survey planning. *Oil and Gas Journal*, 105(5), 35-40.
169. Francos, M., Pereira, P., Alcañiz, M., Úbeda, X. (2016). Impact of the post fire management in some soil chemical properties. First results. *Geophysical Research Abstracts*, 18, EGU2016-407.
170. Gadirov, V.G., Eppelbaum, L.V. (2012). Detailed gravity, magnetic successful in exploring Azerbaijan onshore areas. *Oil&Gas Journal*, 5, 60-73.

171. Gargiulo, J.D., Kumar, R.S., Chaparro, M.A., Chaparro, M.A., Natal, M., Rajkumar, P. (2016). Magnetic properties of air suspended particles in thirty eight cities from south India. *Atmospheric Pollution Research*, 7(4), 626-637.
172. Gautam, P., Blaha, U., Appel, E. (2005). Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal. *Atmospheric Environment*, 39(12), 2201-2211
173. Gennadiev, A.N., Zhidkin, A.P., Olson, K.R., Kachinskii, V.L. (2010). Soil erosion under different land uses: assessment by the magnetic tracer method. *Eurasian Soil Science*, 43(9), 1047-1054.
174. Georgeaud, V.M., Rochette, P., Ambrosi, J.P. (1997). Relationship between Heavy Metals and Magnetic Properties in a Large Polluted Catchment: The Etang de Berre (South of France). *Physics and Chemistry of the Earth*, 22, 211-214
175. Giovannini, G., Lucchasi, S., Giachetti, M. (1988). Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146, 255-261.
176. Goldhaber, M.B., Reynolds, R.L. (1991). Relations among hydrocarbon reservoirs, epigenetic sulfidization, and rock magnetization: examples from the South Texas Coastal Plain. *Geophysics*, 56, 748-757.
177. Gonzalez, F., Aldana, M., Constanzo-Alvarez, V., Diaz, M., Romero, I. (2002). An integrated rock magnetic and EPR study in soil samples from a hydrocarbon prospective area. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27, 1311-1317.
178. González-Pérez, J.A., González-Vila, F.J., Almendros, G., Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment international*, 30(6), 855-870.
179. Górka-Kostrubiec, B., Teisseyre-Jeleńska, M., Dytłow, S.K. (2016). Magnetic properties as indicators of Chernozem soil development. *Catena*,

- 138, 91-102.
180. Gubbins, D., Herrerobervera, E. (2007). *Encyclopedia of Earth Sciences Series, Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism*. Springer.
181. Guo, Y., Luo, Z., Meng, X., Yu, Q., Xu, S., Chen, B., Sun, A. (2001). Magnetic Prospecting For Petroleum and Natural Gas. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59(4), 614-627.
182. Guzmán, O., Costanzo-Álvarez, V., Aldana, M., Díaz, M. (2011). Study of magnetic contrasts applied to hydrocarbon exploration in the Maturín Sub-Basin (eastern Venezuela). *Stud. Geophys. et Geod.*, 55(2), 359-376.
183. Hanesch, M., Scholger, R. (2005). The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. *Geophys. J. Int.*, 161, 50-56.
184. Hanesch, M., Stanjek, H., Petersen, N. (2006). Thermomagnetic measurements of soil iron minerals: the role of organic carbon. *Geophysical Journal International*, 165(1), 53-61.
185. Hanesch, M., Rantitsch, G., Hemetsberger, S., Scholger, R. (2007). Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping. *Science of the Total Environment*, 382(2), 351-363.
186. Hauck, J., Görg, C., Varjopuro, R., Ratamáki, O., Jax K. (2013). Benefits and limitations of the ecosystem services concept in environmental policy and decision making: Some stakeholder perspectives. *Environmental Science & Policy*, 25, 13-21.
187. Helming, K., Diehl, K., Geneletti, D., Wiggering, H. (2013). Mainstreaming ecosystem services in European policy impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 40, 82-87.
188. Hendriks, C. Stoorvogel, J., Claessens, L. (2015). Lots of legacy soil

- data are available, but which data do we need to collect for regional land use analysis? *Geophysical Research Abstracts*, 17, EGU 2015-905.
189. Horng, C.S., Huh, C.A., Chen, K.H., Huang, P.R., Hsiung, K.H., Lin, H.L. (2009). Air pollution history elucidated from anthropogenic spherules and their magnetic signatures in marine sediments offshore of Southwestern Taiwan. *Journal of Marine Systems*, 76(4), 468-478.
190. Hunt, C.P, Moskowitz, B.M Banerjee, S.K. (1995). Magnetic Properties of Rocks and Minerals. *In Rock Physics & Phase Relations: A Handbook of Physical Constants American Geophysical Union*, 189-204.
191. Jakšík, O., Kodešová, R., Kubiš, A., Stehlíková, I., Drábek, O., & Kapička, A. (2015). Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. *Catena*, 127, 287-299.
192. Jakšík, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fér, M., Nikodem, A. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*, 11(2), 105-113.
193. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kaździałko-Hofmokl, M., Sukhorada, A., Bondar, K. (2008). Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicators of pedogenic processes. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 52, 255-270.
194. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Tyamina, K., Kaździałko-Hofmokl M., Matviishina Z. (2004). Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophys. J. Int.*, 159, 104-116.
195. Jordanova, D., Hoffmann, V., Fehr, K.T. (2004). Mineral magnetic characterization of anthropogenic magnetic phases in the Danube river sediments (Bulgarian part). *Earth and Planetary Science Letters*, 221(1), 71-89.
196. Jordanova, D., Jordanova, N., Atanasova, A., Tsacheva, T., Petrov, P.

- (2011). Soil tillage erosion by using magnetism of soils – a case study from Bulgaria. *Environ. Monit. Assess*, 183, 381-394.
197. Jordanova, D., Jordanova, N., Werban, U. (2013). Environmental significance of magnetic properties of Gley soils near Rosslau (Germany). *Environ Earth Sci.*, 69, 1719-1732
198. Jordanova, D., Jordanova, N., Petrov, P. (2014). Pattern of cumulative soil erosion and redistribution pinpointed through magnetic signature of Chernozem soils. *Catena*, 120, 46-56.
199. Jordanova, D., Jordanova, N. (2016). Thermomagnetic behavior of magnetic susceptibility – heating rate and sample size effects. *Front. Earth Sci.*, 3, 90.
200. IUSS Working Group WRB. (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports*, 106.
201. Kapička, A., Dlouha, S., Grison, H., Jaksik, O., Petrovsky, E., Kodesova R. (2013). Magnetic properties of soils - A basis for erosion study at agricultural land in Southern Moravia. *13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, 577-584.
202. Kapička, A., Jordanova, N., Petrovský, E., Podrázský, V. (2003). Magnetic study of weakly contaminated forest soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 148(1-4), 31-44.
203. Kappler, A., Straub, K.L. (2005). Geomicrobiological cycling of iron. *In Molecular Geomicrobiology*, 59 (eds. J. F. Banfield, J. Cervini-Silva, and K. M. Nealson), *The Mineralogical Society of America*, 85-108.
204. Karchegani, P.M., Ayoubi, S., Lu, S.G., Honarju, N. (2011). Use of magnetic measures to assess soil redistribution following deforestation in hilly region. *Journal of Applied Geophysics*, 75(2), 227-236.

205. Kersten, M., Smedes, F. (2002). Normalization procedures for sediment contaminants in spatial and temporal trend monitoring. *Journal of Environmental Monitoring*, 4(1), 109-115.
206. Kirkby, M.J., Morgan, R.P.C. (Eds.). (1980). *Soil erosion*. Chichester: John Wiley.
207. Kletetschka, G., Vojtech, Z., Wasilewski, P.J. (2003). Magnetic anomalies on the tree trunks. *Stud. Geophys. Geod.*, 47, 371-379.
208. Klueglein, N., Sekann-Behrens, T., Obst, M., Behrens, S., Appel, E., Kappler, A. (2013). Magnetite Formation by the Novel Fe(III)-reducing *Geothrix fermentans* Strain HradG1 Isolated from a Hydrocarbon-Contaminated Sediment with Increased Magnetic Susceptibility. *Geomicrobiol. J.*, 30, 863-873.
209. Komeili, A., Li, Z, Newman, D.K. (2006). Magnetosomes Are Cell Membrane Invaginations Organized by the Actin-Like Protein MamK. *Science*, 311, 242-245.
210. Kotarba, M.J. (Ed.). (2005). *Polish and Ukrainian geological studies (2004-2005) at Starunia – the area of discoveries of woolly rhinoceroses*. Polish Geological Institute and Society of Research on Environmental Changes “Geosphere”, Warszawa-Kraków.
211. Kotarba, M.J. (2009). Interdisciplinary studies at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine) in the years 2006-2009: previous discoveries and researchers, purposes, results and perspectives. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 219-241.
212. Kotarba, M.J., Peryt, T.M., Koltun, Y.V. (2011). Microbial gas system and perspectives of hydrocarbon exploration in Miocene strata of the Polish and Ukrainian Carpathian Foredeep. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 81, 523-548.
213. 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.

214. Le Borgne, E. (1955). Susceptibilite magnetique anormale du sol superficial. *Ann. Geophys*, 11, 399-419.
215. Leborgne, E. (1960). Influence of fire on the magnetic properties of soil, of schist, and of granite. *Annales de Geographie*, 16, 159-195.
216. Liu, Q., Barrón, V., Torrent, J., Eeckhout, S.G., Deng, C. (2008). Magnetism of intermediate hydromaghemite in the transformation of 2-line ferrihydrite into hematite and its paleoenvironmental implications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B1), B001103.
217. Liu, Q., Cheng, T., Liu, S. (1998). Comprehensive evaluation of mechanism of “chimney effect” using principles of magnetism, geochemistry and mineralogy. *Chinese Science Bulletin*, 43(9), 743-748.
218. Liu, Q., Liu, S., Qu, Z., Xu, Z., Xu, Zh., Hou, W. (1998). Magnetic and mineralogical characteristics of hydrocarbon microseepage above oil/gas reservoirs of Tuoku region, northern Tarim Basin, China. *Science in China (Series D)*, 41(2), 121-129.
219. Liu, Q., Liu, S. (1999). Magnetic and mineralogical characteristics of reservoir rocks in the Yakela oil field, northern Ta rim Basin and their implications for magnetic detection of oil and gas accumulations. *Chinese science bulletin*, 44(2), 174-177.
220. Liu, Q., Liu, Q., Chan, L., Yang, T., Xia, X., Cheng, T. (2006). Magnetic enhancement caused by hydrocarbon migration in the Mawangmiao Oil Field., Jiangnan Basin China. *Journal of Petroleum Science and Engeneering*, 53, 25-33.
221. Liu, Q. Zeng, Q., Yang, T. Qiu, N., Chan, L. (2009). Magnetic Properties of Street Dust from Chibi City, Hubei Province, China: Its Implications for Urban Environment. *Journal of Earth Science*, 20(5), 848-857.
222. Lourenço, A.M., Gomes, C.R. (2016). Integration of magnetic

- measurements, chemical and statistical analysis in characterizing agricultural soils (central Portugal). *Environmental Earth Sciences*, 75(11), 1-17.
223. Lourenço, A., Esteves, I., Rocha, A., Abrantes, I., Gomes, C. (2015). Relation between magnetic parameters and nematode bundance in agricultural soils of Portugal – a multidisciplinary study in the scope of environmental magnetism. *Environ. Monit. Assess*, 187, 162.
224. Lourenço, A.M., Rocha, F., Gomes, C.R. (2012). Relationships between magnetic parameters, chemical composition and clay minerals of topsoils near Coimbra, central Portugal. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(8), 2545-2555.
225. Lovley, D.R., Baedeker M.J., Lonergan, D.J., Cozzarelli, J.M., Phillips, E.J.P., Siegel, D.J. (1989). Oxidation of aromatic contaminants coupled to microbial iron reduction. *Nature*, 339, 297-300.
226. Lovley, D.R., Holmes, D.E., Nevin, K.P. (2004). Dissimilatory Fe(III) and Mn(IV) reduction. *Adv Microb Physiol*, 49, 219-286.
227. Lovley, D.R., Philips, E.J.P. (1986). Organic matter mineralization with reduction of ferric iron in anaerobic sediments. *Appl. Environ. Microbiol.*, 51, 683-689.
228. Lu, S.G., Bai, S.Q., Cai, J.B. (2005). Magnetic Properties and Heavy Metal Contents of Automobile Emission Particulates. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 6(8), 731-735.
229. Lu, S.G., Bai, S. Q., Fr, L. X. (2008). Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*, 18(4), 479-485.
230. Lu, S., Yu, X., Chen, Y. (2016). Magnetic properties, microstructure and mineralogical phases of technogenic magnetic particles (TMPs) in urban soils: Their source identification and environmental implications. *Science of the Total Environment*, 543, 239-247.
231. Machel, H.G. (1995). Magnetic mineral assemblages and magnetic contrasts in diagenetic environments – with implications for studies of

- palaeomagnetism, hydrocarbon migration and exploration. *Palaeomagnetic applications in hydrocarbon exploration and production*, 9-27.
232. Machel, H.G. (2001). Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic settings – old and new insights. *Sediment. Geol.*, 14, 143-175.
233. Magiera, T., Parzentny, H., Łukasik, A. (2016). The influence of the wind direction and plants on the variability of topsoil magnetic susceptibility in industrial and urban areas of southern Poland. *Environmental Earth Sciences*, 75(3), 1-11.
234. Maher, B.A. (1986). Characterisation of soils by mineral magnetic measurements. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 42(1), 76-92.
235. Maher, B.A. (1998). Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeog. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 137, 25-54.
236. Maher, B.A., Moore, C., Matzka, J. (2008). Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment*, 33, 2967-2977.
237. Maher, B.A., Thompson, R. (Eds.). (1999). *Quaternary climates, environments and magnetism*. Cambridge University Press.
238. Maksymchuk, V., Kuderavets, R., Chobotok, I., Tymoschuk, V. (2013). Peculiarities of Anomalous Magnetic Field Related to Oil-gas Deposits in NW Part of the Carpathian Foredeep. *EAGE Conference Tyumen 2013 – New Geotechnology for the Old Oil Provinces*, 25-29.
239. Marié, D.C., Chaparro, M.A., Irurzun, M.A., Lavornia, J.M., Marinelli, C., Cepeda, R., Sinito, A.M. (2016). Magnetic mapping of air pollution in Tandil city (Argentina) using the lichen *Parmotrema pilosum* as biomonitor. *Atmospheric Pollution Research*, 7(3), 513-520.
240. Mathé, V., Lévêque, F. (2005). Trace magnetic minerals to detect redox boundaries and drainage effects in a marshland soil in western France. *European journal of soil science*, 56(6), 737-751.

241. Mefteh, S., Essefi, E., Yaich, C., Jamoussi, F., Medhioub, M. (2015). Correlation between magnetic susceptibility and mineral species along NWA-1 well, southern Tunisia: An overlap of the depositional environment, the climate, and the diagenesis. *Journal of African Earth Sciences*, 103, 89-101.
242. 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.
243. Menshov, O. (2017). Magnetic measurements of soil pollution in low urbanized environment. *16th EAGE International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects*, Диск CD.
244. Menshov, O., Sukhorada, A. (2008). Urban Geophysical Investigations in Ukraine. *70<sup>th</sup> EAGE Conference & Exhibition, Rome, Italy*.
245. Menshov, O., Sukhorada, A., Homenko, R., Kruglov, O. (2012). Ultradetailed Environmental Magnetic Investigations in Ukraine. *EarthDoc. Near Surface Geoscience 2012 – Paris, France*, Диск CD.
246. 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 13<sup>th</sup> Castle Meeting, Special issue*, 87-88.
247. 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.
248. Menshov, O., Kuderavets, R., Chobotok, I. (2014). Magnetic investigations in Carpathian foredeep of Ukraine. *Book of Abstracts, 13<sup>th</sup> Castle Meeting New trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism*, 115-116.
249. 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.*
250. 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.
251. 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.
252. Menshov, O., Kuderavets, R., Chobotok, I. (2016). Magnetic studies at Starunia hydrocarbon site in Ukraine. *Book of Abstracts, 15<sup>th</sup> Castle Meeting New trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism*, 2016, 101-102.
253. 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.
254. 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.
255. Michel, F.M., Barrón, V., Torrent, J., Morales, M.P., Serna, C.J., Boily, J.F., ... Brown, G.E. (2010). Ordered ferrimagnetic form of ferrihydrite reveals links among structure, composition, and magnetism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(7), 2787-2792.
256. Mullins, C.E. (1977). Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science – a review. *J. Soil Sci.*, 28, 223-246.
257. Nachtergaele, F.O. (1995). From the FAO-Unesco Soil Map of the World to the digital global soil and terrain database. *Proceedings ESB*

- meeting Athens. AGL Working paper. FAO.*
258. Nagata, T, Kobayashi, K. (1958). Experimental studies on the generation of remanent magnetization of ferromagnetic minerals by chemical reactions. *Proc. Japan Acad. Sci*, 34(5), 269-273.
259. Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Journal of Forest Ecology and Management*, 122, 66-74.
260. Nishita, H. Hang, R.M. (1972). Some physical and chemical characteristics of heated soil. *Soil Science*, 113, 422-430.
261. Ojha, G., Appel, E., Wawer, M., Magiera, T., Hu, S. (2016). Toward a Cost-Efficient Method for Monitoring of Traffic-Derived Pollutants with Quartz Sand Boxes. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(6), 1-17.
262. Özdemir, Ö., Banerjee, S.K. (1982). A preliminary magnetic study of soil samples from west-central Minnesota. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 2, 393-403.
263. Özdemir, Ö., Dunlop, D.J. (1999). Low-temperature properties of a single crystal of magnetite oriented along principal magnetic axes. *Earth and planetary science letters*, 165(2), 229-239.
264. Pereira, P. (2016). Management of fire affected areas. Beyond the environmental question. *Geophysical Research Abstracts*, 18, EGU2016-17997.
265. Pereira, P., Cerdà, A., Úbeda, X., Mataix-Solera, J. Arcenegui, V., Zavala, L. (2015). Modelling the impacts of wildfire on ash thickness in a short-term period. *Land Degradation and Development*, 26, 180-192.
266. Pereira, P., Brevik, E., Oliva, M., Estebarez, 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.
267. 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.
268. Perez-Perez, A., D'Onofrio, L., Bosch, M., Zapata, E. (2011). Association between magnetic susceptibilities and hydrocarbon deposits in the Barinas-Apure Basin, Venezuela. *Geophysics*, 76(6), 35-41.
269. Pérez-Pérez, A.R., Romero, H.E., D'Onofrio, L. (2016). A statistical and graphical workflow for the analysis of magnetic susceptibility data from drill cuttings in a hydrocarbon exploration setting. *Geophysics*, 81(2), 35-46.
270. Petrovský, E., Zbořil, R., Grygar, T.M., Kotlík, B., Novák, J., Kapička, A., Grison, H. (2013). Magnetic particles in atmospheric particulate matter collected at sites with different level of air pollution. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 57(4), 755-770.
271. Pinedo, J., Ibáñez R., Lijzen J.P.A., Irabien Á. (2013). Assessment of soil pollution based on total petroleum hydrocarbons and individual oil substances. *Journal of Environmental Management*, 130(30), 72-79.
272. Porsch, K., Rijal, M., Borch, T., Troyer, L., Behrens, S., Wehland, F., Appel, E., Kappler, A. (2014). Impact of organic carbon and iron bioavailability on the magnetic susceptibility of soils. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 128, 44-57.
273. Revuelta, M.A., McIntosh, G., Pey, J., Pérez, N., Querol, X., Alastuey, A. (2014). Partitioning of magnetic particles in PM10, PM2.5 and PM1 aerosols in the urban atmosphere of Barcelona (Spain). *Environmental Pollution*, 188. 109-117.
274. Rijal, M., Appel, E., Petrovský, E., Blaha, U. (2010). Change of

- magnetic properties due to fluctuations of hydrocarbon contaminated groundwater in unconsolidated sediments. *Environ. Pollut.*, 158, 1756-1762.
275. Rijal, M., Porsch, K., Appel, E., Kappler, A. (2012). Magnetic signature of hydrocarbon-contaminated soils and sediments at the former oil field Hänigsen, Germany. *Stud. Geophys. Geod.*, 56, 889-908.
276. Robertson, D.J., Taylor, K.G., Hoon, S.R. (2003). Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK. *Applied Geochemistry*, 18(2), 269-282.
277. Rochette, P., Fillion, G., Mattéi, J.L., Dekkers, M.J. (1990). Magnetic transition at 30–34 Kelvin in pyrrhotite: insight into a widespread occurrence of this mineral in rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 98(3-4), 319-328.
278. Royall, D. (2001). Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. *Catena*, 46(1), 15-34.
279. Sadiki, A., Faleh, A., Navas, A., Bouhlassa, S. (2009). Using magnetic susceptibility to assess soil degradation in the Eastern Rif, Morocco. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(15), 2057-2069.
280. Sagnotti, L., Macrì, P., Egli, R., Mondino, M. (2006). Magnetic properties of atmospheric particulate matter from automatic air sampler stations in Latium (Italy): Toward a definition of magnetic fingerprints for natural and anthropogenic PM10 sources. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B12).
281. Samet, J. M., Dominici, F., Curriero, D.C., Coursac, I., Zeger, S. (2000). Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987-1994. *The New England J. Med.*, 343, 1742-1749.
282. Schüler, D. (1999). Formation of magnetosomes in magnetotactic bacteria. *Journal of molecular microbiology and biotechnology*, 1(1), 79-86.
283. Schumacher, D. (1996). Hydrocarbon-induced alteration of soils and

- sediments. In D. Schumacher and M. A. Abrams, eds., *Hydrocarbon migration and its nearsurface expression: AAPG Memoir*, 66, 71-89.
284. Schwertmann, U. (1985). The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Adv. Soil Sci.*, 1, 171-200.
285. Shao, G., Liang, Z., Wang, Z., Liu, G., Wang, W. (2005). Surface Loess Susceptibility Anomalies Directly Indicating Oil and Gas Reservoirs. *Applied Geophysics*, 1-2(4), 197-203.
286. Shi, R., Cioppa, M.T. (2006). Magnetic survey of topsoils in Windsor-Essex County, Canada. *Journal of Applied Geophysics*, 60(3), 201-212.
287. Spassov, S., Egli, R., Heller, F., Nourgaliev, D.K., Nannam, J. (2004). Magnetic quantification of urban pollution sources in atmospheric particulate matter. *Geoph. J. Int.*, 159, 555-564.
288. Spiteri, C., Kalinski, V., Rosler, W., Hoffmann, V., Appel, E. (2005). Magnetic screening of a pollution hotspot in the Lausitz area, Eastern Germany: correlation analysis between magnetic proxies and heavy metal contamination in soils. *Environ Geol*, 49, 1-9.
289. Stroganova, M., Prokofieva, T. (2002). Urban soils classification for Russian cities of the taiga zone arina and atiana. *European soil bureau, Research reporter*, 7, 153-156,
290. Sun, Z, Yang, Z., Mei, H., Qin, A., Zhang, F., Zhou, Y., Zhang, S., Mei, B. (2014). Geochemical characteristics of the shallow soil above the Muli gas hydrate reservoir in the permafrost region of the Qilian Mountains. *China Journal of Geochemical Exploration*, 139, 160-169.
291. Sukhorada, A., Menshov A. (2004). Summary magnetization of the typical Ukraine soils. *Contributions to Geophysics and Geodesy, Paleo, Rock and Environmental Magnetism 9<sup>th</sup> Castle Meeting*, 34, 147.
292. Sutherland, R.A. (1989). Quantification of accelerated soil erosion using the environmental tracer caesium-137. *Land Degradation and Development*, 1(3), 199-208.

293. Taylor, R.M., Maher, B.A., Self, P.G. (1987). Magnetite in soils: I. The synthesis of single-domain and superparamagnetic magnetite. *Clay Miner.*, 22, 411-422.
294. Thompson, R., Oldfield, F. (1986). *Environmental Magnetism*. London: Allen Unwin.
295. Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffney, D.W. (1980). Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgol. Wiss. Meeresunters*, 33, 566-572.
296. Torrent, J., Barrón, V., Liu, Q. (2006). Magnetic enhancement is linked to and precedes hematite formation in aerobic soil. *Geophysical Research Letters*, 33(2), L02401.
297. Tucker, P.M. (1952). High magnetic effect of lateritic soil in Cuba. *Geophysics*, 17, 753-755.
298. Venkatachalapathy, R., Veerasingam, S., Basavaiah, N., Ramkumar, T. (2010). Comparison between petroleum hydrocarbon concentrations and magnetic properties in Chennai coastal sediments, Bay of Bengal, India. *Marine and Petroleum Geology*, 27, 1927-1935
299. Wang, L., Liu, D., Lu, H. (2000). Magnetic susceptibility properties of polluted soils. *Chinese Science Bulletin*, 45, 1723-1726.
300. Wang, B., Xia, D., Yu, Y., Jia, J., Nie, Y., Wang, X. (2015). Detecting the sensitivity of magnetic response on different pollution sources – A case study from typical mining cities in northwestern China. *Environmental Pollution*, 207, 288-298.
301. Wawer, M., Magiera, T., Ojha, G., Appel, E., Kusza, G., Hu, S., Basavaiah, N. (2015). Traffic-Related Pollutants in Roadside Soils of Different Countries in Europe and Asia. *Water Air Soil Pollut*, 226:216, DOI 10.1007/s11270-015-2483-6
302. Wells, C.G., Campbell, J., DeBano, L.F. (1979). *Effects of fire on soil: a state-of-knowledge review*. US Department of Agriculture, Forest service.

Washington, DC., USA.

303. Xia, D., Yang, L., Ma, J., Yu, Y., Wang, G., Chen, F. (2007). Magnetic characteristics of dustfall in urban area of north China and its environmental significance. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 50(11), 1724-1732.
304. Yang, H., Xiong, H., Chen, X., Wang, Y., Zhang, F. (2015). Identifying the influence of urbanization on soil organic matter content and pH from soil magnetic characteristics. *Journal Arid Land*, 7(6), 820-830.
305. Yang, P.G., Yang, M., Mao, R.Z., Byrne, J.M. (2015). Impact of Long-Term Irrigation with Treated Sewage on Soil Magnetic Susceptibility and Organic Matter Content in North China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 95(1), 102-107.
306. Yang, P., Byrne, J.M., Li, H., Shao, H.B. (2016). Evaluation of semi-arid arable soil heavy metal pollution by magnetic susceptibility in the Linfen basin of China. *Arid Land Research and Management*, 30(3), 258-268.
307. Yeremin, V.N., Molosovskiy, E.A., Pervushova, Y.V. (1986). Magnetic zonation of sedimentary rocks and the spatial distribution of authigenic iron minerals in hydrocarbon halo. *International Geology Review*, 28(734).
308. Yurtseven-Sandker, A., Cioppa, M.T. (2016). Magnetic susceptibility mapping of the Sudbury area, Ontario, Canada: evaluating pollution distributions decades later. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53(5), 466-484.

## ДОДАТОК

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ

#### *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 санацій (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). Граві-магніторозвідка 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., Кудеравець, 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 слабоурбанізованих 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. *Ґеоінформатика.* Київ, Диск CD.

37. Меньшов, О.І. Інформативність 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.

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.*

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 13<sup>th</sup> 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, 13<sup>th</sup> 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, 15<sup>th</sup> 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.

*Відомості про апробацію результатів дисертації*

- Щорічні конференції та виставки EAGE – Європейської Асоціації Геовчених та Інженерів (Барселона, Іспанія – 2010 р., Амстердам, Нідерланди – 2014 р.), форма участі очна, доповідь.

- Конференції та виставки EAGE – Європейської Асоціації Геовчених та Інженерів «Приповерхнева геофізика» (Париж, Франція, 2012 р.), форма участі очна, доповідь.
- Генеральна асамблея EGU – Європейського Геологічного Союзу (Відень, Австрія, 2014-2017 рр.), форма участі очна, доповідь.
- 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.), форма участі очна, доповідь.
- Щорічні конференції EAGE – Європейської Асоціації Геовчених та Інженерів «Геоінформатика» (Київ, 2009-2017 рр.), форма участі очна, доповідь.
- Моніторинг геологічного середовища (Київ – 2009, 2012 рр., Львів – 2011, 2013, 2016 рр.), форма участі очна, доповідь.
- Всеукраїнська (молодіжна) конференція-школа «Сучасні проблеми геологічних наук» (Київ, 2009-2013 рр.), форма участі очна, доповідь.
- Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів» (Дніпропетровськ, 2009, 2011, 2013 рр.), форма участі очна, доповідь.
- Наукова міжнародна конференція «Наукові засади геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази України та світу» (Київ, 2011), форма участі очна, доповідь.
- Міжнародна наукова конференція «Нетрадиційні джерела вуглеводнів в Україні: пошуки, розвідка, перспективи» (Київ, 2013, 2015), форма участі очна, доповідь.
- Міжнародна наукова конференція «Роль вищих навчальних закладів у розвитку геології» (Київ, 2014), форма участі очна, доповідь.