

УДК 550.382.3

О. Меньшов, канд. геол. наук, докторант
E-mail: menshov.o@ukr.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут Геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна,

П. Кампс, д-р філософії, наук. директор лабораторії
Національного центру наукових досліджень
E-mail: pierre.camps@umontpellier.fr
Факультет Наук про Землю, Університет Монпельє
Case 060, 34095 Montpellier, Cedex 05, France

ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКОМАГНІТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СЛАБКОУРБАНІЗОВАНИХ МІСТ НА ПРИКЛАДІ ТРУСКАВЦЯ (УКРАЇНА) ТА МОНПЕЛЬЄ (ФРАНЦІЯ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Однією із найбільших загроз для сталого функціонування сучасного європейського міста є його забруднення важкими металами та іншими небезпечними для здоров'я людини хімічними сполуками. Формування та накопичення небезпечних для людини речовин та важких металів є результатом функціонування промислових підприємств, теплоелектростанцій, сміттєспалювальних комбінатів, хімічних підприємств, руху автомобільного транспорту, залізниць і т.д. При цьому сполуки-забруднювачі накопичуються у атмосферному повітрі міст та ґрунтового покриву. У межах запропонованої статті застосування магнітних методів у практиці екологічних досліджень розглядається на прикладі двох європейських міст – Трускавець (Україна) та Монпельє (Франція). У межах Трускавця питома магнітна сприйнятливість (MS) незабруднених глейових ґрунтів $\chi=8\text{--}10 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Забруднені ґрунти, що були відібрані уздовж залізниць характеризуються $\chi=29\text{--}162 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Ґрунти прилеглої до автомобільної дорожньої території характеризуються $\chi=36\text{--}155 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Частотна залежність магнітної сприйнятливості забруднених ґрунтів складає $\chi_{fd}=2\text{--}3$, що є ознакою техногенного впливу та мультидоменного (MD) стану магнітних мінералів. У межах Монпельє підвищені значення ізотермальної залишкової намагніченості (IRM) зразків лисця у порівнянні із фоновими значеннями зафіксовані вздовж автомобільних шляхів та ліній трамваю. Магнітні мінералогічні аналізи на основі термомагнітних вивчень, дослідження параметрів петлі гістерезису, визначення кривих ізотермальної залишкової намагніченості, безгістерезисної (ідеальної) намагніченості (ARM), параметру S підтверджують, що основним магнітним мінералом забруднених ґрунтів є магнетит. У той же час, у незабруднених фонових ґрунтах додатково ідентифікуються висококоерцетивні фази, наприклад, гематит та гетит у однодоменому (SD) стані. Магнітні методи є високоефективними, низьковартісними та швидкісними для загальної оцінки забруднення території і рекомендуються до включення у комплекс робіт при моніторингу небезпечних геологічних процесів та контролі стану довкілля.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, ґрунти, забруднення, магнетизм природних об'єктів.

Вступ.

Однією із найбільших загроз для сталого функціонування сучасного європейського міста є його забруднення важкими металами та іншими небезпечними для здоров'я людини хімічними сполуками. За останніми даними Всесвітньої Організації Здоров'я (ВОЗ) тверді частинки, що переносяться у повітряному просторі та накопичуються у ґрунтового покриву призводять щорічно до 3 млн. додаткових смертей від легеневих, онкологічних та інших захворювань. Дослідження можливості застосування магнітних методів для контролю забруднення атмосфери та ґрунтів, зокрема, частинками розміром близько 10 мкм (PM10), проводяться у світ вже протягом тривалого часу. Магнітні методи демонструють високу ефективність та потенціал, є низько вартісними та швидкісними для оцінки загального забруднення урбанізованих територій [12, 13, 16]. У той же час, значна частина проблеми залишається нерозв'язаною.

Формування та накопичення небезпечних для людини речовин та важких металів є результатом функціонування промислових підприємств, теплоелектростанцій, сміттєспалювальних комбінатів, хімічних підприємств, руху автомобільного транспорту, залізниць і т.д. При цьому сполуки-забруднювачі накопичуються у атмосферному повітрі міст у вигляді пилових фракцій та ґрунтового покриву. Магнітні вимірювання є частковою альтернативою геохімічним методам визначення вмісту важких металів та їх сполук. Мова йде про визначення магнітних властивостей ґрунтів та пилових фракцій атмосферного повітря, що осідають на гладких поверхнях. Розроблені нами методики відбору дослідного матеріалу, з метою подальших магнітних аналізів, запатентовані або знаходяться у режимі патентування [3, 4]. У результаті на основі енергозберігаючої технології можна проводити оцінку загального забруднення урбанізованого середовища міст та промислових регіонів.

У межах запропонованої статті застосування магнітних методів у практиці екологічних досліджень пропонується розглянути на прикладі двох європейських міст – Трускавець (Україна) та Монпельє (Франція). Одержані результати є попередніми, вони були покладені в основу співробітництва між кафедрою геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка та факультетом Наук про Землю Університету Монпельє, Франція. На даний момент заплановані подальші спільні дослідження українських та французьких агломерацій у рамках спільних заявок на фінансування від CNRS (Національний центр наукових досліджень Франції), Європейського Союзу (наприклад, Горизонт 2020), програми НАТО Наука заради миру та безпеки. У подальшому передбачається виробити оптимальну схему проведення магнітних досліджень забруднення довкілля та оцінити загальні тенденції забруднення мегаполісів. Отримані результати можуть бути використані природоохоронними компаніями, центрами моніторингу стану природного середовища міст, геофізичними обсерваторіями.

Метою, запропонованих у даній публікації досліджень, є оцінка загального забруднення Трускавця (Україна) та порівняння даних із отриманими рекогносцирувальними результатами магнітних досліджень у Монпельє (Франція) [6]. В основу ідеї вибору даних територій для проведення магнітних оцінок екологічного навантаження було покладено відносно слабкий рівень урбанізації двох міст. У той же час, ці міста є рекреаційними зонами та вдалим прикладом величезної кількості подібних регіонів в Україні та Франції. Крім того, території навколо даних міст характеризуються подібними особливостями. У першу чергу, мова йде про переважну роль автомобільного транспорту та залізниць (трамвайної мережі) у внеску до загального забруднення території. По-друге, навкруги обох міст концентрується величезна кількість законсервованих шахт, які можуть бути суттєвим джерелом забруднення довкілля, зокрема ґрунтових вод.

Стан проблеми екомагнітних досліджень.

За рахунок відносної простоти та низької вартості реалізації робіт, магнітні методи останнім часом стають ефективним доповненням існуючим традиційним геохімічним опробуванням ґрунтів на вміст важких металів, вивчення кислотності, фізико-хімічних властивостей, їх родючості і т.д. [17]. На більш ранньому етапі свого розвитку магнітні дослідження мали на меті пошук оптимальної технології визначення та контролю концентрації небезпечних речовин в повітряних басейнах та ґрунтах, відбувалося порівняння результатів із класичними підходами, на основі чого, виконувалась побудова методологічних схем та підходів до розв'язання природоохоронних завдань [9, 10]. Автори досліджень фіксували значний вміст у пилових фракціях сферичних магнітних частинок, що були джерелами викидів летючої золи під час спалювання вугілля теплоелектростанціями та викидами металообробних комбінатів. Діаметр магнітних частинок становив 2-10 мкм (PM10 частинки). Коерцетивна сила (Bc) зразків складала 100 Е, відношення залишкової ізотермальної намагніченості (IRM, Mr) до намагніченості насичення (Ms) досягало 0,1. Велика кількість подальших досліджень вказує на високу ефективність магнітного моніторингу екологічного стану середовища та, з великою достовірністю, ідентифікує магнітний матеріал як похідну процесів спалювання, абразії металу, процесів викидів токсичних газів та важких металів, визначає концентрацію PM10 частинок у атмосфері та ґрунтовому покриві [12, 13, 16].

Останні дослідження [11] демонструють тисний взаємозв'язок між магнітною сприйнятливостю та концентрацією у зразках верхнього шару ґрунтів (0-15 см) таких елементів як As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn на прикладі міста Кайфен, Китай. Середній індекс загального забруднення металами (PLI) складає 2,53. У роботі [22] проаналізовано магнітну сприйнятливості (MS) та вміст Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Cd для 70 зразків забрудненого ґрунту на прикладі басейну Лінфень, Китай. Вміст усіх важких металів виявився вищим у порівнянні із сільськогосподарським регіоном Шансі, Китай, а коефіцієнти кореляції із магнітною сприйнятливостю у ряді випадків становили 0,7-0,9.

Як йшлося вище, важливим є включення дослідження магнетизму ґрунтового покриву у систему моніторингу екологічного стану навколишнього середовища [2]. Зокрема, у роботі [23] розраховано сучасний ефект від забруднення атмосфери комбінатом з виробництва сталевих виробів протягом 1939-1998 років у місті Вава, Онтаріо, Канада. Підвищені значення магнітних параметрів у ґрунтових горизонтах на глибині 5-10 см інтерпретовані як вплив магнітних сферул летючої золи згідно до рози вітрів регіону. Важливим визначенням магнетизму різних типів ґрунтового покриву відзначається в роботі [21], де досліджуються чотири різні типи ґрунтового покриву, що розвинуті на різних підстилаючих породах. В усіх випадках підвищення рівня магнітності та вмісту цинку і свинцю зафіксовано за умови забруднення верхнього горизонту А. При цьому сигнал у десятки разів перевищує фоновий незалежно від літогенного чи педогенного характеру магнетизму незабруднених фонових ґрунтів.

В Україні магнітні методи при дослідженні забруднення техногенно навантажених територій також успішно застосовуються. Серед останніх публікацій, слід відмітити, наприклад, роботу [1], у якій вивчається магнітна сприйнятливості ґрунтів Запоріжжя. Зафіксовані значущі коефіцієнти кореляції із вмістом важких металів та індексом загального забруднення PLI.

Результати екомагнітних досліджень території Трускавця (Україна).

Місто Трускавець є відомим бальнеологічним курортом України та входить до Дрогобицько-Бориславської агломерації. Неподаляк розташоване місто Стебник з величезною кількістю законсервованих шахт, з яких протягом століття вівся видобуток озокериту, калійних солей і т.д. Дослідженню магнетизму ґрунтів у контексті його взаємозв'язків із покладами та міграцією вуглеводнів у межах сусідніх територій Передкарпатського прогину присвячені роботи [14, 15]. У результаті функціонування стебницьких шахт утворилися пустоти та карстові зони, що є небезпечним для ґрунтових вод Трускавця. Іншими основними джерелами забруднення міста є автомобільний трафік та залізниця. Рекогносцирувальні роботи проводилися уздовж залізничної колії та кільцевої дороги Трускавця. 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 ґрунти представлені сірими лісовими, глеуватими слабкомагнітними різновидами. Забруднені ґрунти набули ознак класичних урбаноземів.

Магнітна сприйнятливості була виміряна для близько 100 зразків ґрунтів. Питома магнітна сприйнятливості (χ) незабруднених глейових ґрунтів складала $\chi=8\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг. У той же час, зразки відібрані уздовж залізниці характеризуються $\chi=29\cdot 162\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг. Частина колекції, яка зазнала впливу автомобільного трафіку демонструє значення питомої магнітної сприйнятливості $\chi=36\cdot 155\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг.

Додатково було проведено площадне вивчення магнітної сприйнятливості поруч із найбільш навантаженим автомобільним трафіком місцем Трускавця – Стебницьким кільцем. Максимальні значення MS зафіксовані на відстані 0-8 м від автошляху ($\chi=95\cdot 155\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг). Із віддаленням у бік лісу, на відстані 20-25 м від дороги магнітна сприйнятливості спадає ($\chi=35\cdot 25\cdot 10^{-8}$ мЗ/кг), проте ще не досягає фонових значень, які наведені вище. Для підтвердження апіорного припущення про техногенне забруднення ґрунтів було виміряно і розраховано коефіцієнт частотної залежності магнітної сприйнятливості. Він склав $\chi_{fd}=2\cdot 3$, що характерно саме для забрудненого ґрунтового покриву.

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

Для ідентифікації 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. 1, а-б) вказує на основну магнетитову фазу із точкою Кюрі близькою до 580 °С. Пік поруч із відміткою у 500 °С може свідчити про неоформування магнетиту із домішків сульфідів заліза. На їх наявність також вказує незначний злам у кривій нагрівання близько 300 °С (Рис. 1, а). У той же час існування у даних зразках сульфідів заліза є дискусійним і буде обговорене нижче. Другий цикл нагріву (Рис. 1, б) вказує на повне заміщення усіх магнітних фаз на магнетит.

Високоінформативним стало низькотемпературне дослідження магнітної сприйнятливості (Рис. 1, в). Зафіксований перехід Вервея на відмітці -150 °С (123,15 К) є однозначним підтвердженням перевагування магнетиту як основного магнетика забруднених ґрунтів Трускавця.

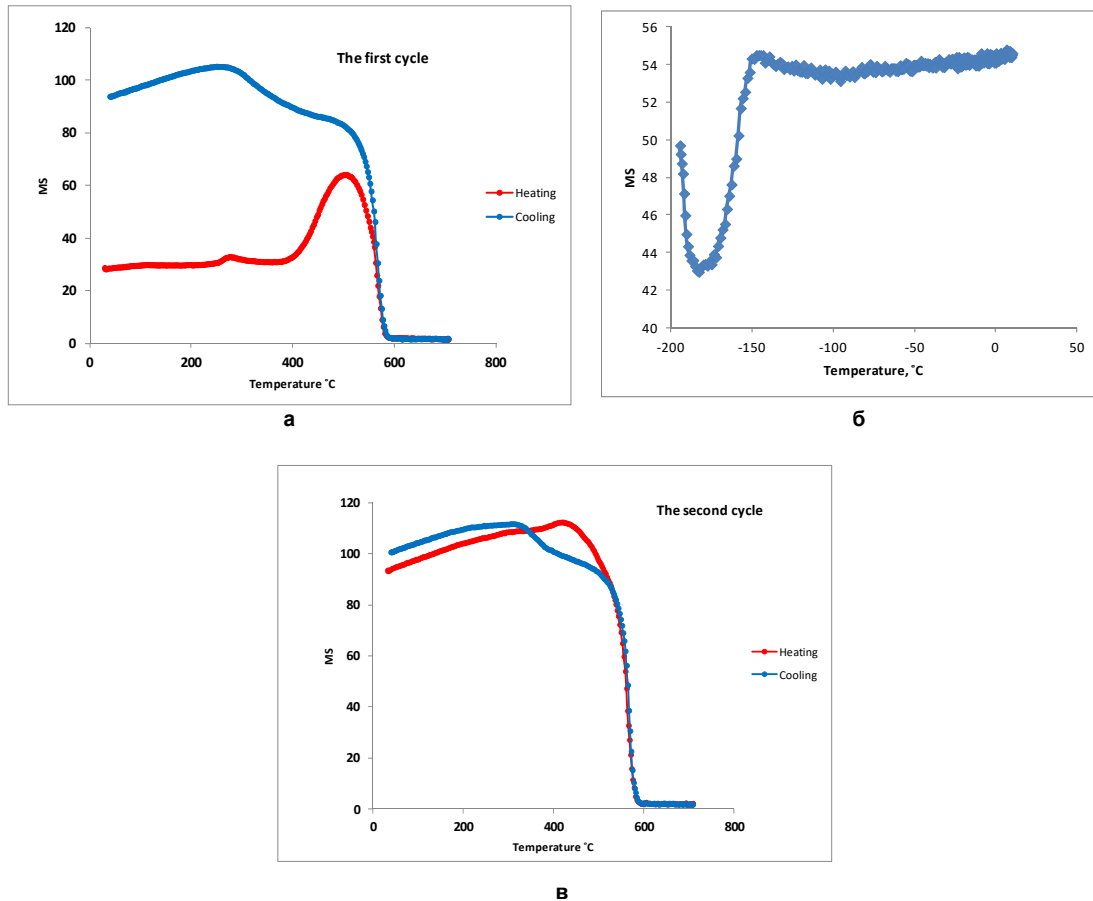


Рис. 1. Результати термомагнітного аналізу забруднених ґрунтів Трускавця, Україна:

а – перший цикл нагріву охолодження, б – другий цикл нагріву охолодження, в – низькотемпературний аналіз

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. Для зручності візуалізації відповідні матеріали наводяться у вигляді діаграми Дея [8] (Рис. 2). Дана діаграма ілюструє відношення залишкової намагніченості насичення до намагніченості насичення (M_r/M_s) та залишкової коерцитивної сили до коерцитивної сили

(B_{cr}/B_c). Дана діаграма дозволяє розбавувати 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. 2, техногенний вплив підтверджується наявністю у складі колекції частиною зразків зі домінуванням мультидоменних або близьких до них псевдооднодоменних магнетитових фаз.

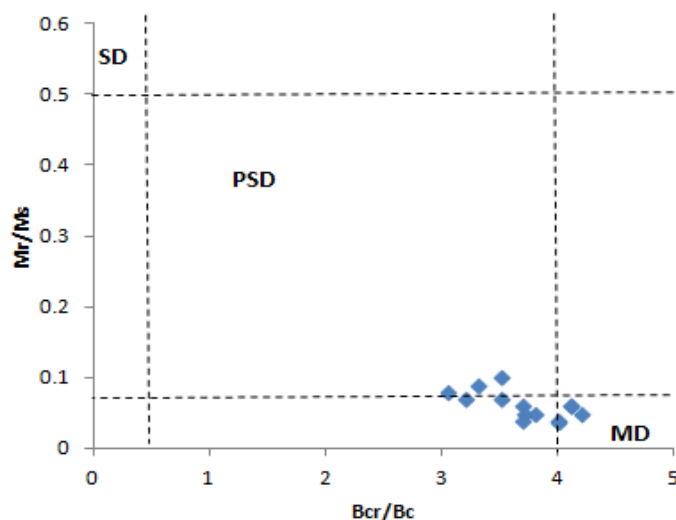


Рис. 2. Діаграма Дея для зразків забруднених ґрунтів Трускавця, Україна

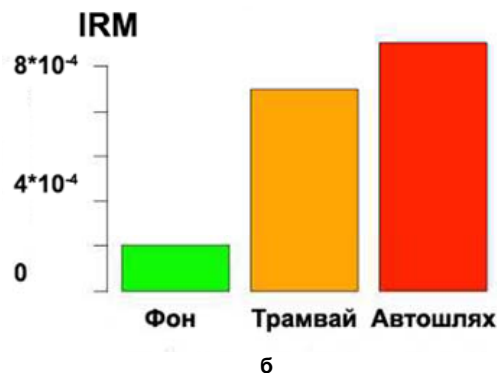
Результати екомагнітних досліджень території Монпельє (Франція).

Мережа трамваїв міста Монпельє є одним із чинників загального забруднення території. Крім того, роботи розпочаті на замовлення муніципалітету в зв'язку із будівництвом нової трамвайної лінії. У даному випадку магнітний метод мав на меті демонстрацію можливостей технології для розв'язання конкретної соціальної проблеми, що пов'язана із несприятливим впливом урбанізації на екологічний стан міста. В якості об'єкта дослідження було обрано листя дерев (*Quercus ilex*, дуб кам'яний), які ростуть уздовж трамвайних ліній міста Монпельє. Було

відібрано сотні зразків, детальні результати їх досліджень будуть опубліковані у наступних роботах. Дослідний матеріал відбирався за наступною схемою: фонові зразки у середині лісопаркової зони, зразки з дерев уздовж трамвайної колії, зразки з дерев уздовж автомобільної магістралі (Рис. 3, а). На даному етапі для ілюстрації приводиться розподіл ізотермальної намагніченості насичення (IRM), виміряної при інтенсивності магнітного поля у 400 мТл (Рис. 3, б). Як видно з рисунку, IRM уздовж трамвайної лінії зростає у кілька разів у порівнянні із фоновими значеннями. Крім того, вздовж автошляху спостерігається подальше омагнічування зразків.



а



б

Рис. 3. Результати екомагнітних досліджень території Монпельє, Франція:

а – приклад точки спостережень поруч із трамвайною зупинкою (дерева – дуб кам'яний);
б – діаграма розподілу ізотермальної залишкової намагніченості зразків листя дубу кам'яного (*Quercus ilex*), що виміряна при напруженості магнітного поля 400 мТл

Обговорення.

При розгляді магнетизму ґрунтів та пилових фракцій слабоурбанізованих територій основним вважається внесок викидів автомобільного транспорту, залізниці, мережі трамвайних ліній. Дійсно, для Трускавця залізниця та рух автотранспорту підвищує значення магнітної сприйнятливості ґрунтів та пилових фракцій атмосфери у десятки разів. Подібна ситуація відзначається і для ізотермальної залишкової намагніченості зразків з Монпельє, проте додається вплив трамвайних ліній. Можна припустити [18], що до складу забруднених ґрунтів входять сферикулі PM10 частинок техногенного походження. Результати вивчення доменного стану магнетиків зразків ґрунтів (Рис. 2) узгоджуються із даними наведеними у публікації [5]. Отже справді, крупнозернистий магнетит є основним магнітним мінералом забруднених ґрунтів та знаходиться у межах псевдоододоменого-мультидоменого стану. Крім того, спираючись на дані [5], 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.

Згідно до наведених вище даних (Рис. 1) було визначено, що магнетит є основним магнетиком забруднених ґрунтів. Це підтверджене температурою Кюрі близькою до 580 °С та переходом Вервея біля -150 °С. Проте, існування переходів при температурі 300 °С може інтерпретуватися не лише як наявність піротинової фази, але й як присутність невеликої кількості ододомених зерен [22]. 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.

Результати визначення параметру S, яке є відношенням виміряної нами ізотермальної залишкової намагніченості при напруженості магнітного поля у 1,2 Тл та 0,1 Тл, дозволили розділити магнітом'яку та магнітожорстку компоненти. У випадку забруднених ґрунтів

параметр S наближається до 1, що свідчить про переважання магнітом'якого магнетиту. У той же час, значно нижчі величини параметру S у випадку фонових сірих-лісових, глеєвих ґрунтів говорить про домінування магнітожорсткого висококоерцетивного мінералу, яким можуть бути у даному випадку гематит або гетит [19].

Магнетит у забруднених ґрунтах знаходиться у мультидоменому стані, що підтверджене результатами визначення частотної залежності магнітної сприйнятливості ($\chi_{fd}=2-3$), величина якої є ознакою техногенного забруднення [7].

Висновки.

Перші результати екомагнітних досліджень слабоурбанізованих територій на прикладі Трускавця, України та Монпельє, Франція вказують на подібні риси їх забруднення. Відповідні результати плануються до використання у подальших спільних міжнародних науково-дослідних проектах Україна-Франція.

У межах Трускавця питома магнітна сприйнятливість незабруднених глейових ґрунтів $\chi=8-10 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Забруднені ґрунти, що були відібрані уздовж залізниці характеризуються $\chi=29-162 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Ґрунти прилеглі до автомобільної кільцевої дороги території характеризуються $\chi=36-155 \times 10^{-8}$ мЗ/кг. Частотна залежність магнітної сприйнятливості забруднених ґрунтів складає $\chi_{fd}=2-3$, що є ознакою техногенного впливу та мультидоменого стану магнітних мінералів.

У межах Монпельє підвищені значення ізотермальної залишкової намагніченості зразків листя зафіксовані уздовж автомобільних шляхів та ліній трамваю у порівнянні із фоновими значеннями лісопаркової зони.

Магнітні мінералогічні аналізи на основі термомагнітних вивчень, дослідження параметрів петлі гістерезису, визначення кривих ізотермальної залишкової намагніченості, безгістерезисної намагніченості, параметру S підтверджують, що основним магнітним мінералом забруднених ґрунтів є магнетит. У той же час, у незабруднених фонових ґрунтах додатково ідентифікуються

висококоерцетивні фази, наприклад, гематит та гетит у однокристалічному стані.

Отримані результати узгоджуються із дослідженнями інших авторів та вказують на високий взаємозв'язок між магнітними параметрами та концентраціями у ґрунтах та пилових атмосферних фракціях небезпечних для здоров'я людини твердих частинок розміром близько 10 мкм (PM10).

Магнітні методи є високоефективними, низьковартісними та швидкісними для загальної оцінки забруднення територій і рекомендуються до включення у комплекс методів при моніторингу небезпечних геологічних процесів та контролі стану довкілля.

Список використаних джерел

- Бондар К. Магнітний метод при оцінці забруднення ґрунтового покриву Запоріжжя. Еколого-геохімічне обґрунтування / К. Бондар, І. Цюпа, А. Король // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2015. – № 71. – С. 54-60.
- Вижва С. Радіаційні характеристики радонових вод м. Хмельник / С. Вижва, О. Шабатура, Д. Онишук, І. Онишук // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2015. – № 69. – С. 30-38.
- Спосіб атоммагнітного контролю стану довкілля: патент № 102735 / Меньшов О.І., Сухорада А.В.; заявник та власник патенту Київський національний університет імені Тараса Шевченка, зареєстр. 12.08.2013.
- Спосіб магнітного контролю забруднення довкілля: заявка на патент № а201512680 / Меньшов О.І., Сухорада А.В.; заявл. 22.12.2015.
- Bucko M.S. Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes – case study from Finland / M.S. Bucko, T. Magiera, L.J. Pesonen, B. Janus // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2010. – № 209, 1-4. – С. 295-306.
- Camps P. Magnetic biomonitoring of particulate pollution in the city of Montpellier (France): The relative contribution of vehicles and trams / P. Camps, S. Merel, P. Nicol, T. Poidras // 15th Castle Meeting "New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism". – 2016. – С. 13-14.
- Dearing J.A. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set / J.A. Dearing, K.L. Hay, S.M.J. Baban, A.S. Huddleston, E.M.H. Wellington, P. Loveland // *Geophysical Journal International*. – 1996. – № 127, 3. – С. 728-734.
- Day R. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence / R. Day, M. Fuller, V.A. Schmidt // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 1977. – № 13. – С. 260-267.
- Flanders P.J. Collection, measurement, and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment / P.J. Flanders // *Journal of Applied Physics*. – 1994. – № 75, 10. – С. 5931-5936.
- Kapička A. Proxy mapping of fly-ash pollution of soils around a coal-burning power plant: a case study in the Czech Republic / A. Kapička, E. Petrovský, S. Ustjak, K. Macháčková // *Journal of Geochemical Exploration*. – 1999. – № 66, 1. – С. 291-297.
- Liu D. Spatial distribution of soil magnetic susceptibility and correlation with heavy metal pollution in Kaifeng City, China / D. Liu, J. Ma, Y. Sun, Y. Li // *Catena*. – 2016. – № 139. – С. 53-60.
- Maher B.A. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves / B.A. Maher, C. Moore, J. Matzka // *Atmospheric Environment*. 2008. – № 42, 2. – С. 364-373.
- Matzka J. Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates / J. Matzka, B.A. Maher // *Atmospheric Environment*. – 1999. – № 33. – С. 4565-4569.
- Menshov O. Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine / O. Menshov, R. Kuderavets, S. Vyzhva, I. Chobotok, T. Pastushenko // *Studia Geophysica et Geodaetica*. – 2015. – № 59, 4. – С. 614-627.
- Menshov O. Magnetic studies at Starunia paleontological and hydrocarbon bearing site (Carpathians, Ukraine) / O. Menshov, R. Kuderavets, S. Vyzhva et al. // *Studia Geophysica et Geodaetica*. – 2016. – № 60, 4. – С. 731-746.
- Mitchell R. Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: temporal and inter-species magnetic analyses / R. Mitchell, B.A. Maher, R. Kinnerley // *Environmental Pollution*. – 2010. – № 158. – С. 1472-1478.
- Pereira P. Short-term low-severity spring grassland fire impacts on soil extractable elements and soil ratios in Lithuania / P. Pereira, A. Cerda, D. Martin et al. // *Science of The Total Environment*. – 2017. – № 578. – С. 469-475.
- Petrovský E. Magnetic particles in atmospheric particulate matter collected at sites with different level of air pollution / E. Petrovský, R. Zbořil, T.M. Grygar et al. // *Studia Geophysica et Geodaetica*. – 2013. – № 57, 4. – С. 755-770.
- Robertson D.J. Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK / D.J. Robertson, K.G. Taylor, S.R. Hoon // *Applied Geochemistry*. – 2003. – № 18, 2. – С. 269-282.
- Yang T. Relationship between magnetic properties and heavy metals of urban soils with different soil types and environmental settings: implications for magnetic mapping / T. Yang, Q. Liu, Q. Zeng, Chan L. // *Environmental Earth Sciences*. – 2012. – № 66, 2. – С. 409-420.
- Szuskiewicz M. Combination of geo-pedo-and technogenic magnetic and geochemical signals in soil profiles – Diversification and its interpretation: A new approach / M. Szuskiewicz, A. Łukasik, T. Magiera, M. Mendakiewicz // *Environmental Pollution*. – 2016. – № 214. – С. 464-477.
- Yang P. Evaluation of semi-arid arable soil heavy metal pollution by magnetic susceptibility in the Linfen basin of China / P. Yang, J. M. Byrne, H.Li, H.B. Shao // *Arid Land Research and Management*. – 2016. – № 30, 3. – С. 258-268.
- Yurtseven-Sandker A. Tracking the historical traces of soil pollution from an iron-sintering plant by using magnetic susceptibility in Wawa, Ontario, Canada / A. Yurtseven-Sandker, M.T. Cioppa // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2016. – № 227, 12. – С. 434.

22. 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.

23. Yurtseven-Sandker, A., Cioppa, M.T. (2016). Tracking the historical traces of soil pollution from an iron-sintering plant by using

magnetic susceptibility in Wawa, Ontario, Canada. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227, 12, 434.

Надійшла до редколегії 15.01.17

O. Menshov, PhD (Geol.), Doctoral Student

E-mail: menshov.o@ukr.net,

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,

P. Camps, PhD, Research Director at the CNRS

E-mail: pierre.camps@umontpellier.fr

Géosciences Montpellier, CNRS and University of Montpellier

Case 060, 34095 Montpellier, Cedex 05, France

PRELIMINARY RESULTS OF THE ENVIRONMENTAL MAGNETIC STUDIES OF THE SLIGHTLY URBANIZED CITIES. CASE STUDY FROM TRUSKAVETS (UKRAINE) AND MONTPELLIER (FRANCE)

The objective of the present study is the assessment of the general trends for the pollution level of slightly impacted urban environment based on energy-efficient technology. The implementation of this approach is proposed on the examples of Truskavets (Ukraine) and Montpellier (France). The ultimate goal is to produce the preliminary data of the pollution with magnetic measurements. Regarding the anthropogenic pollution of the studied area the slight level of the urbanization must be accepted. The first source of the pollution is the road traffic and the second one is the railway and trams network. Non-urbanized landscape of Truskavets is presented by the forests. The soil types are gleysols. The urbanized soils of Truskavets and Montpellier are the urbozems. The magnetic susceptibility for the non-polluted soil in Truskavets is up to $8 \cdot 10^{-8}$ m³/kg, very low values for Ukrainian soils, were registered. At the same time the polluted soils collected from the profiles and under the areal researches near the roadway and railway are characterized by a much higher MS: $\chi = 36 \cdot 162 \cdot 10^{-8}$ m³/kg. The pollution of the soils were confirmed by the frequency dependence of magnetic susceptibility with the values of $\chi_{fd} = 2-3$. The tree leaves from the Montpellier have much higher isothermal remanence along the roadway and tram line comparing with the natural area. The magnetic mineralogical analyses included thermomagnetic studies, hysteresis and remanence acquisition, ARM, and S ratio. The magnetite-like phase as the main magnetic mineral responsible for the magnetic enchantments in polluted soil was identified. At the same time non-polluted soil may contain the small amount of the single-domain (SD) particles and the high coercivity minerals such as haematite and goethite. Our results are valuable for the environmental management companies, centers of environmental monitoring, and geophysical observatories. Low cost, non-destructive and rapid magnetic techniques are promising in monitoring soil and air pollution both in highly anthropogenic impacted areas and at the slightly urbanized sites.

Keywords: magnetic susceptibility, soil, pollution, environmental magnetism.

A. Меньшов, канд. геол. наук, докторант

E-mail: menshov.o@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна,

П. Кампс, д-р філософії, науч. директор лабораторії

Національного центру наукових досліджень

E-mail: pierre.camps@umontpellier.fr

Факультет Наук о Землі, Університет Монпельє

Case 060, 34095 Montpellier, Cedex 05, France

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЛАБОУРБАНИЗИРОВАННЫХ ГОРОДОВ НА ПРИМЕРЕ ТРУСКАВЦА (УКРАИНА) И МОНПЕЛЬЕ (ФРАНЦИЯ)

Одной из наибольших угроз для устойчивого существования современного европейского города является его загрязнение тяжелыми металлами и другими опасными для здоровья человека химическими соединениями. Формирование и накопление опасных для человека веществ и тяжелых металлов является результатом функционирования промышленных предприятий, теплоэлектростанций, мусоросжигательных комбинатов, химических предприятий, движения автомобильного транспорта, железных дорог и т.д. При этом соединения-загрязнители накапливаются в атмосферном воздухе городов и почвенном покрове. В рамках предлагаемой статьи рассматривается применение магнитных методов в практике экологических исследований на примере двух европейских городов – Трускавец (Украина) и Монпелье (Франция). В пределах Трускавца удельная магнитная восприимчивость (MS) незагрязненных серых лесных, глеевых почв составляет $\chi = 8 \cdot 10^{-8}$ м³/кг. Загрязненные почвы были отобраны вдоль железной дороги (характеризуются $\chi = 29 \cdot 162 \cdot 10^{-8}$ м³/кг) и на территории прилегающей к автомобильной кольцевой дороге ($\chi = 36 \cdot 155 \cdot 10^{-8}$ м³/кг). Частотная зависимость магнитной восприимчивости загрязненных почв составляет $\chi_{fd} = 2-3$, что является признаком техногенного воздействия и мультидоменного (MD) состояния магнитных минералов. В пределах города Монпелье повышенные значения изотермальной остаточной намагниченности (IRM) для образцов листьев зафиксированы вдоль автомобильных дорог и линий трамвая (по сравнению с фоновыми значениями лесопарковой зоны). Магнитные минералогические анализы на основе термомагнитных исследований, изучения параметров петли гистерезиса, определения кривых изотермальной остаточной намагниченности, безгистерезисной (идеальной) намагниченности, параметра S, подтверждают, что основным магнитным минералом загрязненных почв является магнетит. В то же время, в незагрязненных фоновых почвах дополнительно идентифицируются высококоерцетивные фазы, например, гематит и гетит в однодоменном (SD) состоянии.

Магнитные методы являются высокоэффективными, дешевыми и экспрессными для общей оценки загрязнения территорий и рекомендуются к включению в комплекс работ при мониторинге опасных геологических процессов и контроле состояния окружающей среды.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, почва, загрязнение, магнетизм природных объектов.