

УДК 550.832+634.12

І. Стахів, канд. геол. наук, інж.

E-mail: fatix@ukr.net,

І. Цюпа, інж. 1 кат.

E-mail: tsyupa@ukr.net,

К. Бондар, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: ks_bondar@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,

А. Король, пров. хімік

E-mail: lzgcgo@meteo.gov.ua

Центральна геофізична обсерваторія

пр. Науки 39, корп. 2, м. Київ, 03028, Україна

МАГНІТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ ЯК ІНДИКАТОР ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВИКИДАМИ АВТОТРАНСПОРТУ В ОДЕСІ

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук О. І. Меньшовим)

Присвячено обґрунтуванню застосування магнітної сприйнятливості (χ) як індикатора геохімічного забруднення ґрунтів від пересувних джерел в м. Одесі. Основним завданням було встановлення кореляційних зв'язків між χ ґрунтів і вмістом важких металів, що містяться у викидах автотранспорту.

На 98 зразках ґрунтів у лабораторних умовах було визначено магнітну сприйнятливість і частотну залежність магнітної сприйнятливості за допомогою приладу Bartington MS 2B Dual Frequency Sensor (Великобританія). Валовий вміст Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd визначено методом атомно-абсорбційного спектрального аналізу. Установлено, що значення χ змінюються від 44 до $624 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ при медіанному значенні $146,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Відмічено значні перевищення вмісту Pb, Cu, Zn у ґрунтах м. Одеса. Виявлено значущі кореляційні зв'язки між χ і вмістом Pb, Cu, Zn, а також між елементами даної геохімічної асоціації.

Побудовані картосхеми розподілу χ і показника накопичення забруднення PLI, обрахованого по Pb, Cu, Zn, демонструють, що високі значення тяжіють до автодоріг і залізничних колій. Показано, що акумуляція техногенних магнітних сполук заліза і важких металів у ґрунтах Одеси відбувається в основному за рахунок викидів автомобільного транспорту.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, важкі метали, показник накопичення забруднення, м. Одеса, ґрунти.

Вступ. Сучасний стан навколишнього середовища урбанізованих територій викликає обґрунтовану тривогу, оскільки зумовлює численні екологічні, санітарно-гігієнічні та інші проблеми. Великі міста – це зазвичай складні багатофункціональні природно-антропогенні системи, в яких мало що збереглося від вихідного стану природних ландшафтів. Дедалі все більш актуальною стає оперативна оцінка і контроль забруднення ґрунтів міст важкими металами.

Одним з основних джерел забруднення довкілля міст визнано автотранспорт. Фахівці налічують у вихлопних газах близько 40 хімічних речовин-полутантів. Особливо небезпечними є високотоксичні з'єднання: оксид вуглецю, формальдегід, суміш вуглеводнів, у тому числі бензапірен. Більшість видів пального, які використовуються, містять широкий спектр металів: кадмій, нікель, цинк, свинець, мідь, миш'як, олово, ртуть. При потрапленні в навколишнє середовище такого набору небажаних компонентів спостерігається погіршення його стану [9].

У фокусі даного дослідження – туристичний та торговельний осередок, найбільший морський торговий порт в Україні, великий автомобільний та залізничний вузол – місто Одеса. За даними екологічних досліджень місто потерпає від надмірного техногенного навантаження на природне середовище, зумовленого нерівномірною територіальною концентрацією виробництва, його високою енергоємністю, збільшенням кількості автотранспорту. Серед несприятливих факторів фахівці також відмічають скорочення зелених насаджень і забудову приморських схилів [3].

Значне збільшення автомобільного парку, незадовільний технічний стан автотранспорту через його значний вік, відсутній дієвий контроль за якістю пального стали причиною збільшення рівня забруднення атмосферного повітря та ґрунтового покриву викидами автотранспорту. Надходження шкідливих речовин від автотранспорту домінують над викидами від стаціонарних джерел і становлять 85 % від загальної кількості [3].

Для оцінки ступеня трансформації ґрунтового покриву і привнесення частинок техногенного походження в ґрунт може бути використаний магнітний метод. Він полягає, зокрема, у масових вимірюваннях магнітної сприйнятливості, яка є показником концентрації магнітних сполук заліза [7]. У свою чергу, оксиди і гідроксиди

заліза можуть виступати сорбентами і носіями важких металів у ґрунті. Таким чином, магнітна сприйнятливість ґрунтів міста за певних умов може бути індикатором їхнього забруднення важкими металами.

Метою роботи стало дослідження магнітних характеристик і вмісту важких металів у ґрунтах Одеси та встановлення статистичних зв'язків між ними в контексті екологічного контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням забруднення ґрунтів важкими металами присвячена значна кількість робіт як вітчизняних, так і зарубіжних авторів.

У ґрунтах великих міст і біля транспортних магістралей часто реєструють геохімічну асоціацію Pb-Cu-Zn при підвищених вмістах цих металів. У результаті окиснення моторного мастила при спалюванні палива утворюються органічні сполуки, що викликають корозію частин паливної системи автомобіля, яка у свою чергу спричиняє вивільнення важких металів (Cu, Pb і Zn) у навколишнє середовище. Важкі метали накопичуються в повітрі й осідають на поверхні ґрунтового шару. Наприклад, ґрунти в Гонконзі забруднені Cd, Cu, Pb і Zn, основним джерелом яких є викиди автомобільного транспорту [10].

Більшість дослідників вважають, що спалювання природного пального формує позитивну кореляцію між концентраціями магнітних мінералів і важких металів (найчастіше це Pb, Zn, Cu, Co, Ni) у ґрунтах та інших колекторах забруднення [6].

Результати досліджень зв'язку між χ і вмістом важких металів, висвітлені в багатьох роботах, свідчать про тісний зв'язок між ними в межах індустріальних районів і міських агломерацій.

Так, наприклад, у роботі [16] показано, що концентрація Fe корелює з χ у ґрунтах біля непрацюючого залізо-переробного підприємства, де геохімічний аналіз проб виявив техногенну асоціацію Fe-Cu-Mn-Zn на фоні високих концентрацій цих елементів. Було доведено, що магнітну сприйнятливість можна використовувати як індикатор забруднення ґрунтів важкими металами. Схожі результати було отримано при дослідженні магнітних параметрів і вмісту важких металів навколо металургійного комбінату в Нанджінк (Китай) [15]. Відбір зразків прово-

дився в інтервалі глибин 0–40 см. Високі значення χ , залишкової намагніченості насичення (SIRM) та ідеальної намагніченості (ARM) зафіксовано для зразків, відібраних до глибини 20 см, зі збільшенням глибини значення цих параметрів різко зменшувалися. Вміст Ni, Cu, Fe, Pb, V, Zn по глибині розподіляється аналогічним чином. Аналіз кореляційних зв'язків між магнітними параметрами та вмістом важких металів показав високі коефіцієнти кореляції ($0,69 < R < 0,98$) між ними.

У роботі [4] висвітлено класифікацію земель Одеської області за якістю. Зазначається, що найбільший внесок у погіршення якості ґрунтів належить міді та кобальту, вміст яких може перевищувати ГДК у 2,5–3 рази.

Відбір зразків і методи дослідження. Було досліджено 98 проб, відібраних Центральною геофізичною обсерваторією (ЦГО) ДСНС України відповідно до вимог ГОСТ 17.4.4.02–84 для визначення концентрацій важких металів (ВМ). Вимірювання вмісту ВМ виконано в ЦГО методом атомно-абсорбційного спектрального аналізу.

Магнітну сприйнятливості ґрунтів досліджено на насипних зразках у лабораторії ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. У лабораторних умовах було виміряно низькочастотну k_{lf} (470 Гц) та високочастотну k_{hf} (4700 Гц) магнітну сприйнятливості на приладі Bartington MS2 із датчиком MS2B Dual Frequency Sensor (Великобританія). Надалі в цій роботі розглядатиметься питома низькочастотна магнітна сприйнятливості χ , яка являє собою k_{lf} , нормовану на масу зразка.

Частотна залежність магнітної сприйнятливості (k_{fd}) обрахована за такою формулою:

$$k_{fd}(\%) = (k_{lf} - k_{hf}) / k_{lf} * 100 \%$$

Частотна залежність магнітної сприйнятливості k_{fd} чутлива до вмісту дрібнодисперсних суперпарамагнітних часток (розмір < 30 нм). Якщо магнетизм ґрунтів визначається переважно дрібними зернами в доменному стані на межі суперпарамагнетизму – однодоменності, для зразків характерні значення $k_{fd} > 6 \%$, тоді як при переважанні багатодоменних зерен k_{fd} показує низькі значення. У чистих ґрунтах Лісостепу і Степу України k_{fd} становить 8–13 %, у техногенно забруднених аналогах k_{fd} зазвичай < 5 % [8].

За допомогою програмного комплексу Statistica 7.0 були обраховані статистичні характеристики та матриці кореляцій масивів даних.

Основні результати та обговорення. Статистичні показники, які характеризують розподіли χ , k_{fd} і вміст важких металів у ґрунтах м. Одеси, наведено в табл. 1. χ

ґрунтів міста змінюється в межах від 44 до $637 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}$ при середньому значенні $167 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}$. Оскільки фоновим значенням для південних чорноземів Одеси є $\chi \sim 100 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}$ [2], можна стверджувати, що із 98 досліджених зразків ґрунту тільки 16 близькі до фонових.

k_{fd} поверхневих відкладів Одеси становить 0,1–10,6 % при середньому значенні 4,3 %, низькі середнє та медіанне значення k_{fd} однозначно свідчать про переважання великих багатодоменних зерен у магнітній фракції.

Актуальна кислотність ґрунту характеризується величиною водневого показника pH (водн.). За значеннями pH водної витяжки ґрунти Одеси належать до нейтральних [5], pH (водн.) поверхневого шару ґрунтів коливається в межах 6,8–7,5 (табл. 1).

Вивчення розподілу важких металів у ґрунтах Одеси показали, що середній валовий вміст міді становить 66,4 мг/кг, що перевищує фонове значення (16 мг/кг) в чотири рази [5].

Регіональний фон свинцю в ґрунтах міста – 11 мг/кг [5]. Середній валовий вміст свинцю становить 68,4 мг/кг, що перевищує фонове значення в шість разів.

Фоновий вміст цинку становить 86 мг/кг [5]. Середній вміст цинку становить 219 мг/кг, що перевищує фонове значення у 2,5 рази.

Згідно з нормативами оцінок забруднення ґрунтів ВМ [1] благополучною можна вважати екологічну ситуацію, коли вміст елементів відносно регіонального фону валової форми в ґрунтах становить 1–2; задовільною – 2–4; передкризовою 4–5; кризовою 5–6; катастрофічною > 6. Вміст міді у ґрунтах відповідає передкризовому екологічному стану (4), кризовому стану відповідає вміст свинцю (6), задовільній екологічній ситуації відповідає вміст цинку (2,5). Вміст кадмію, марганцю та нікелю в ґрунтах Одеси близький до фонових значень.

Таким чином, ґрунти міста забруднені Cu, Pb і Zn, оскільки їхній вміст перевищує фонові значення в декілька разів.

Найбільші асиметрії розподілів характерні для χ , k_{fd} , а також для міді та свинцю, тобто у зазначених розподілах переважають високі значення. Решта розподілів є майже симетричними. Оцінити вплив техногенезу на магнітні властивості та вміст важких металів у ґрунтах м. Одеси можна за величиною коефіцієнта варіації, який є якісним критерієм оцінки ступеня забруднення ґрунтів. Чим більший коефіцієнт варіації, тим більш нерівномірним є розподіл. Найсильніше варіює χ , k_{fd} , а також вміст Cu і Pb (див. табл. 1), що підтверджує їхню техногенну обумовленість.

Таблиця 1. Статистичні показники магнітних властивостей та вмісту важких металів у ґрунтах м. Одеси

	Середнє	Медіана	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації	Асиметрія	Експес
$\chi [10^8 \text{ м}^3/\text{кг}]$	167,8	146,9	44,2	624,0	7605,1	87,2	52,0	1,9	7,1
$k_{fd} [\%]$	4,3	4,0	0,1	10,6	6,7	2,6	60,4	0,5	–0,4
Cd [мг/кг]	0,2	0,3	0,0	1,0	0,1	0,2	100,0	1,0	0,4
Mn [мг/кг]	585,1	600,0	144,0	964,0	18180,0	134,8	23,0	–0,3	1,0
Cu [мг/кг]	66,4	54,0	14,0	339,0	2594,9	50,9	76,7	2,2	7,9
Ni [мг/кг]	28,5	27,5	9,0	54,0	83,4	9,1	32,1	0,4	0,0
Pb [мг/кг]	68,4	58,5	11,0	211,0	1819,6	42,7	62,4	1,2	1,3
Zn [мг/кг]	219,2	214,0	62,0	429,0	8182,5	90,5	41,3	0,3	–0,6
pH (водн.)	7,2	7,2	6,8	7,5	0,0	0,1	1,6	0,2	0,5

У табл. 2 наведено коефіцієнти кореляцій між магнітними характеристиками та вмістом важких металів у ґрунтах м. Одеси. Наявність зв'язку може вважатися доведеною, якщо коефіцієнт кореляції Пірсона (r) між двома масивами даних перевищує критичну величину для об-

раного рівня значущості p і відомих розмірів вибірки. Вибіркі даних містять по 98 пар значень, отже, при $p < 0,01$ критичне значення r становить 0,267.

Як видно з таблиці, статистично достовірні показники кореляції при рівні значущості $p < 0,01$ спостерігаються

між χ і міддю (0,47), цинком (0,34) та свинцем (0,28). Також значущі коефіцієнти кореляції встановлено між елементами геохімічної асоціації елементів Cu-Pb-Zn. Дана

асоціація є типовою техногенною асоціацією, зокрема для автотранспортного забруднення [11, 12], яке є домінуючим в Одесі.

Таблиця 2. Коефіцієнти кореляції між магнітними характеристиками та вмістом важких металів у ґрунтах м. Одеси (Рівень значущості $p < 0,01$; кількість зразків – 98)

	χ	k_{fd}	Mn	Cu	Ni	Pb	Zn
k_{fd}	-0,58						
Mn	-0,08	0,15					
Cu	0,47	-0,40	0,02				
Ni	-0,14	0,18	0,61	-0,09			
Pb	0,28	-0,23	-0,26	0,47	-0,14		
Zn	0,34	-0,35	-0,22	0,46	-0,14	0,63	
pH (водн.)	0,03	-0,15	-0,35	0,07	-0,37	0,02	-0,10

Для визначення рівня забруднення ґрунтів в Одесі використано показник накопичення забруднення PLI (Pollution load index) [14], розрахований як середнє геометричне коефіцієнтів концентрації металів – політантів (K_c , $i = 1 \dots 3$), де K_c i -го металу являє собою відношення вмісту металу в зразку до фоновому вмісту:

$$PLI = \sqrt[3]{K_c(Pb) * K_c(Zn) * K_c(Cu)}.$$

Показник накопичення забруднення PLI демонструє у скільки разів концентрація політантів у ґрунті перевищує фонову. Значення $PLI > 1$ показує, що ґрунти забруднені, про відсутність забруднення свідчить $PLI < 1$ [13].

Отримані аналітичні дані лягли в основу картосхем, які відображають просторові розподіли χ і PLI в ґрунтах м. Одеси. Картосхеми виконано в програмному середовищі MapInfo. Високі значення $\chi \sim 250-624 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (рис. 1, а) приурочені до районів з інтенсивним рухом автотранспорту (Лузанівка, Лиманчик, Слобідка, Миколаївська дорога, вул. Чорноморського Козацтва та Дерибасівська), до промислових об'єктів (Одеський кабельний

завод, завод гумових технічних виробів, машинобудівний завод "Червона гвардія", нафтопереробний завод "Лукойл" (Суворовський та Причорноморський райони)), а також до морського порту. Порівняно низькі значення $\chi \sim 100-200 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ зафіксовано в південній та західній частинах міста: у районах Сахалінчик, Черемушки, Ближні Мельниці, Куяльник і Крива Балка.

На карті-схемі розподілу показника накопичення забруднення PLI за елементами Cu, Pb і Zn (рис. 1, б) чітко видно, що високі значення тісно пов'язані з автотранспортними дорогами та залізничними коліями. Максимальні значення 6–10 спостерігаються біля вулиць Миколаївська, Приморська, Водопровідна, Чорноморського Козацтва, Балківська і Тираспільське шосе.

Отже, порівнюючи дві карти (рис. 1), бачимо, що високі значення χ і PLI характерні для північних і центральних частин міста, помірно низькі значення притаманні південним і північно-західним районам м. Одеси. Між χ і PLI також існує статистично значущий зв'язок, коефіцієнт кореляції становить $r = 0,42$.

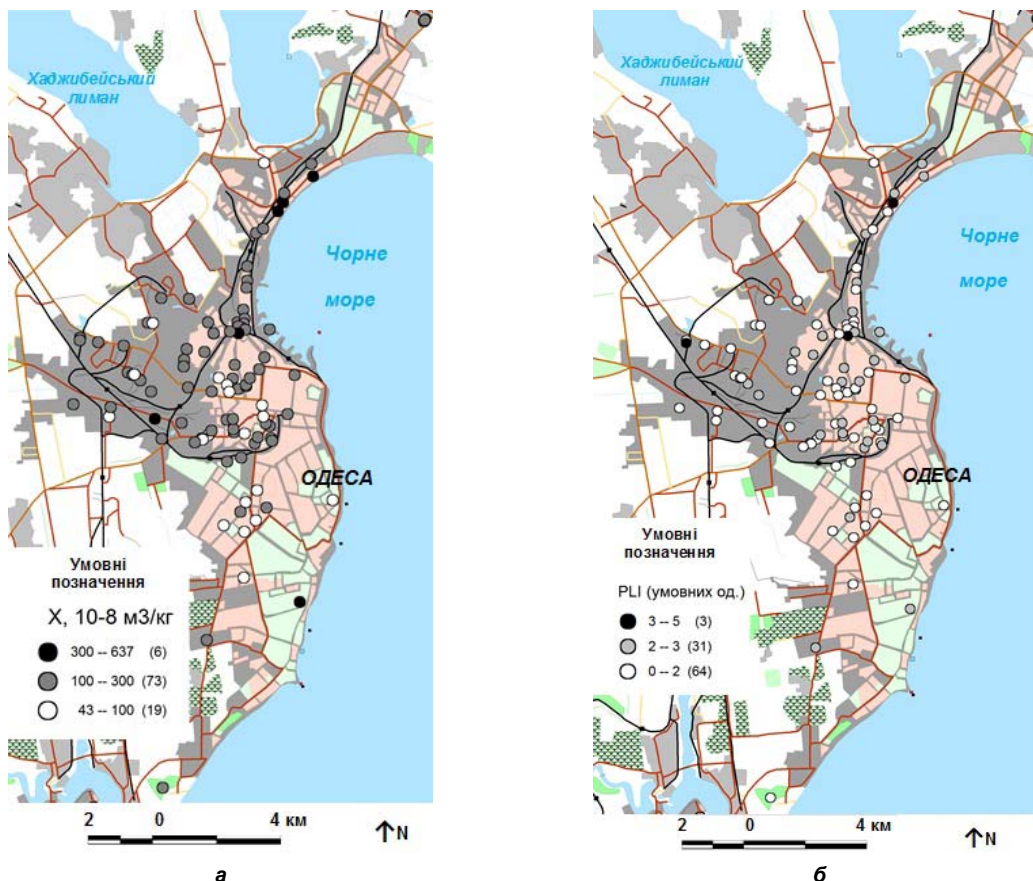


Рис. 1. Карти розподілу: а – магнітної сприйнятливості ґрунтів м. Одеси; б – показника накопичення забруднення PLI для ґрунтів м. Одеси

Висновки. Установлено, що ґрунти Одеси забруднені важкими металами, які формують геохімічну асоціацію Pb-Cu-Zn: середній вміст Cu у ґрунтах перевищує фонове значення в чотири рази, вміст Pb – у шість разів, вміст Zn – у два з половиною рази. Вміст кадмію, марганцю та нікелю у ґрунтах Одеси близький до фонових значень.

Із 98 досліджених зразків ґрунту Одеси – 15 % близькі до фонових, 4 % зразків ґрунту перевищують фонове значення в шість разів, у три рази перевищують фонове значення 30 % зразків і в два рази – 50 % зразків.

Доведено значущі кореляційні зв'язки між магнітною сприйнятливістю та вмістом компонентів геохімічної асоціації важких металів Pb-Cu-Zn, коефіцієнт кореляції між показником накопичення забруднення (PLI) та χ становить 0,42. Такий зв'язок можна характеризувати як середній для вибірки із 98 зразків.

Отже, ґрунтуючись на проведених дослідженнях, можна пропонувати магнітний метод як спосіб експресної оцінки забруднення ґрунтів території Одеси пересувними джерелами.

Список використаних джерел

1. Коробкин В. И. Экология / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов/на Д. : Феникс, 2003. – 576 с.
2. Меньшов О. І. Магнітна сприйнятливість південних чорноземів України на прикладі Одеської області / О. І. Меньшов // Вісн. Київ ун-ту. Геологія. – 2015. – № 2(69). – С. 70–74.
3. Одеса сьогодні: екологія міста / упоряд. К. А. Максимова. – Од. : ОННБ ім. М. Горького, 2014. – 88 с.
4. Прикуп Л. О. Диференціація земель Півдня Одеської області за оцінкою якості ґрунтів / Л. О. Прикуп // Вісн. Одес. ун-ту. Географ. та геол. науки. – 2014. – Т. 19, вип. 4. – С. 98–106.
5. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А. І. Фатеева, Я. В. Пашченко. – Харків : ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського", 2003. – 72 с.
6. Environmental magnetism: principles and applications / Q. Liu, A. P. Roberts, J. C. Larrasoana, S. K. Banerjee, Y. Guyodo, L. Tauxe, F. Oldfield // Reviews of Geophysics. – 2012. – № 50. – RG4002. Режим доступу: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000393/epdf>.
7. Evans M. E. Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics / M. E. Evans, F. Heller // International Geophysics series. Elsevier science (USA). – 2003. – Vol. 86. – 299 p.
8. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials / J. A. Dearing, R. J. L. Dann, K. Hay, J. A. Lees, P. J. Loveland, B. A. Maher, K. O'Grady // Geophysical Journal International. – 1996. – Vol. 124. – P. 228–240. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb06366.x>.
9. Gamst J. Determination of solute organic concentration in contaminated soils using a chemical-equilibrium soil column system / J. Gamst, P. Kjeldsen, Th. H. Christensen // Water, Air, and Soil Pollut. – 2007. – Vol. 183. – № 1–4. – P. 377–389.
10. Li X. D. Heavy metals contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong / X. D. Li, C. S. Poo, P. S. Liu // Appl. Geochem. – 2001. – Vol. 16. – P. 1361–1368.
11. Lu S. G. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoil: a case study from the city of Luoyang, China / S. G. Lu, S. Q. Bai, Q. F. Xu // Geophys. J. Int. – 2007. – Vol. 171. – P. 568–580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03545.x>.
12. Magnetic properties and heavy metal contents of automobile emission particulates / S. G. Lu, S. Q. Bai, J. B. Cai, C. Xu // J. Zhejiang Uni. Sci. – 2005. – Vol. 6(8). – P. 731–735. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.03545.x>.
13. Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: A site study / A. Schmidt, R. Yarnold, M. Hill, M. Ashmore // Journal of Geochemical Exploration. – 2005. – Vol. 85(3). – P. 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2004.12.001>.

14. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index / D. L. Tomlinson, J. G. Wilson, C. R. Harris, D. W. Jeffney // Helgol. Wiss. Meeresunters. – 1980. – Vol. 33. – P. 566–572. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>.

15. Relationship between magnetic parameters and heavy element contents of arable soil around a steel company, Nanjing / X. Duan, S. Hu, H. Yan, U. Blaha, W. Roesler, E. Appel, WeiHua Sun // Science China Earth Sciences. – 2010. – Vol. 53. – P. 411–418.

16. Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation / J. A. Dearing, P. M. Bird, R. J. L. Dann, S. F. Benjamin // Geophysical Journal International. – 1997. – Vol. 130(3). – P. 727–736. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb01867.x>.

References

1. Korobkyn, V. I., Peredelskiy, L. V. (2003). *Ekologiya*. Feniks: Rostov-on-Don, 576 p. [in Russian].
2. Menshov, O. I. (2015). Magnetic susceptibility of the Southern chernozems of Ukraine, case study from Odesa region. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(69), 70–74. [in Ukrainian].
3. Maksymova, K. A. (2014). *Odesa sohodni: ekolohiya mista*. Odesa: ONNB im. Horkoho, 88 p. [in Ukrainian].
4. Prycup, L. O. (2014). Differentiation of the land assessment of soil quality of the Southern part of Odesa region. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 19, 4, 98–106. [in Ukrainian].
5. Fatieieva, A. I., Pashchenko, Ya. V. (Ed.) (2003). Background contents of trace elements in soils Ukraine. National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", 72 p. [in Ukrainian].
6. Liu, Q., Roberts, A. P., Larrasoana, J. C., Banerjee, S. K., Yohan, G., Tauxe L., Oldfield, F. (2012). Environmental magnetism: principles and applications. *Reviews of Geophysics*, 50, RG4002. Access mode: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000393/epdf>.
7. Evans, M. E., Heller, F. (2003). Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics. *International Geophysics series*. Elsevier science (USA), 86, 299 p.
8. Dearing, J. A., Dann R. J. L., Hay, K. Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., O'Grady, K. (1996). Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J.*, 124, 228–240. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb06366.x>.
9. Gamst, J., Kjeldsen, P., Christensen, Th. H. (2007). Determination of solute organic concentration in contaminated soils using a chemical-equilibrium soil column system. *Water, Air, and Soil Pollut.*, 183, 1–4, 377–389.
10. Li, X. D., Poo, C. S., Liu, P. S. (2001). Heavy metals contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Appl. Geochem.*, 16, 1361–1368.
11. Lu, S. G., Bai, S. Q., Xu, Q. F. (2007). Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoil: a case study from the city of Luoyang, China. *Geophys. J. Int.*, 171, 568–580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03545.x>.
12. Lu, S. G., Bai, S. Q., Cai, J. B., Xu, C. (2005). Magnetic properties and heavy metal contents of automobile emission particulates. *J. Zhejiang Uni. Sci.*, 6, 731–735. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.03545.x>.
13. Schmidt, A., Yarnold, R., Hill, M., Ashmore, M. (2005). Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: A site study. *J. Geochem. Explor.*, 85, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2004.12.001>.
14. 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. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>.
15. Duan, X., Hu, S., Yan, H., Blaha, U., Roesler, W., Appel, E., Sun, WeiHua (2010). Relationship between magnetic parameters and heavy element contents of arable soil around a steel company, Nanjing. *Science China Earth Sciences*, 53, 411–418.
16. Dearing, J. A., Bird, P. M., Dann, R. J. L., Benjamin, S. F. (1997). Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation. *Geophys. J.*, 130, 727–736. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb01867.x>.

Надійшла до редколегії 07.04.17

I. Stakhiv, Cand. Sci. (Geol.), Engineer
E-mail: fatix@ukr.net,
I. Tsiupa, I Category Engineer
E-mail: tsiupa@ukr.net,
K. Bondar, Cand. Sci. (Geol.), Senior research fellow
E-mail: ks_bondar@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kiev, 03022, Ukraine,
A. Korol, Leading Chemist
E-mail: lzgcgo@meteo.gov.ua
Central Geophysical Observatory
39-B Nauky Ave., Kyiv, 03028, Ukraine

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY AS INDICATOR OF VEHICLE POLLUTION OF THE TOPSOIL IN ODESA CITY

The work is devoted to proving the use of low-frequency mass-specific magnetic susceptibility (χ) as an indicator of geochemical soil pollution from mobile sources in Odesa. The main task was to find the correlation between the soil χ and the content of heavy metals that are present in the emissions of vehicles.

On 98 soil samples of magnetic susceptibility, the frequency dependence of magnetic susceptibility (k_{fd}) was measured on Bartington MS 2B Dual Frequency Sensor. The bulk content of Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd was determined from atomic absorption spectrometry. The χ_{if} varies from 44 to $624 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ with a median value $146.9 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Bulk content of Pb, Cu, Zn in soils of Odesa demonstrate substantial increase on background level. The significant linear correlations are observed both between χ and contents of Cu, Zn and Pb and between elements of this geochemical association.

The maps of χ and PLI (pollution load index) were calculated by Pb, Cu, Zn. They show that high values related to automobile roads and railways. Anthropogenic magnetic iron compounds and heavy metals in soils of Odesa are accumulated mainly from vehicle emissions.

Originality of the study is in using magnetic properties of soils to delineate contaminated areas in Odesa city.

Magnetic monitoring can be recommended to control the anthropogenic pollution in Odesa, in particular for the assessment of vehicle emissions contribution.

Keywords: magnetic susceptibility, heavy metals, pollution load index, Odesa city, soils.

И. Стахив, канд. геол. наук, инж.,
И. Цюпа, инж. 1 кат., К. Бондарь, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина,
А. Король, вед. химик
Центральная геофизическая обсерватория
пр. Науки, 39, корп. 2, г. Киев, 03028, Украина

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ КАК ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТА В ОДЕССЕ

Работа посвящена обоснованию применения магнитной восприимчивости (χ) в качестве индикатора геохимического загрязнения почв от передвижных источников в г. Одессе. Основной задачей было установление корреляционных связей между χ почв и содержанием тяжелых металлов, которые содержатся в выбросах автотранспорта.

На 98 образцах почв в лабораторных условиях с помощью прибора Bartington с датчиком MS 2B Dual Frequency Sensor (Великобритания) были определены: удельная низкочастотная магнитная восприимчивость, а также частотная зависимость магнитной восприимчивости. Валовое содержание Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd установлено методом атомно-абсорбционного анализа. Определено, что значение χ изменяется от 44 до $624 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ при медианном значении $146,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Отмечено значительное превышение содержания Pb, Cu, Zn в почвах г. Одессы. Выявлены значимые корреляционные связи между χ и содержанием Cu, Zn и Pb, а также между элементами данной геохимической ассоциации.

Построенные картосхемы распределения χ и показателя накопления загрязнения PLI, рассчитанного по Pb, Cu, Zn, демонстрируют, что высокие значения тяготеют к автодорогам и железнодорожным путям. Доказано, что аккумуляция техногенных магнитных соединений железа и тяжелых металлов в почвах Одессы происходит в основном за счет выбросов автомобильного транспорта.

Научная новизна заключается в использовании магнитных характеристик грунтов для выявления техногенно-загрязненных территорий в г. Одессе.

Магнитный мониторинг можно рекомендовать для контроля за состоянием окружающей среды городских агломераций, в частности для оценки загрязнения от передвижных источников.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, тяжелые металлы, показатель накопления загрязнения, г. Одесса, почвы.