

УДК 550.384+634.2

К. Бондар, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: ks_bondar@ukr.netІ. Цюпа, інж. І кат.
E-mail: tsyupa@ukr.netІ. Стахів, канд. геол. наук, інж.
E-mail: fatix@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022 Україна

ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛІВ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ ҐРУНТІВ УКРАЇНСЬКИХ МІСТ ТА ОЦІНКА РІВНІВ ЇХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

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

У роботі наводиться порівняльна характеристика ґрунтів з дванадцяти міст України та одного заповідника за низькочастотною магнітною сприйнятливістю (χ_{lf}) та її частотною залежністю (k_{fd}). Метою дослідження стало визначення інформативності вказаних магнітних параметрів для оцінки екологічного стану ґрунтів міст, що накопичують в собі дрібнодисперсні тверді частки з техногенних викидів. Показано, що магнітна сприйнятливість ґрунтів українських міст змінюється в широких межах від 2,3 до $7963,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, її розподіл у цілому відображає рівень техногенного навантаження на міське середовище. Частотна залежність магнітної сприйнятливості ґрунтів міст переважно має низькі значення (<6%), оскільки вони збагачуються відносно крупними зернами магнітних мінералів, що містяться у викидах автотранспорту та промисловості. Ґрунти забруднених міст мають переважно високі значення χ_{lf} та низькі значення k_{fd} . Для чистих ґрунтів справедлива обернена закономірність. Найбільш забрудненими слід визнати міста з розвиненою металургійною галуззю – Маріуполь, Запоріжжя, Кривий Ріг. До міст з найменшим техногенним тиском слід віднести Бориспіль, Очаків, Мелітополь.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, частотна залежність магнітної сприйнятливості, ґрунт, місто, техногенне забруднення.

Вступ. Постановка проблеми, її зв'язок із науковими та практичними завданнями. Забруднення ґрунтів міських територій є довготривалим і небезпечним процесом, тому подальше погіршення ситуації викликає обґрунтовану тривогу, оскільки цим зумовлені численні екологічні, санітарно-гігієнічні та інші проблеми.

Одним з важливих показників екологічного стану ґрунтового покриву є магнітна сприйнятливість. На її величину впливають не тільки процеси природного ґрунтоутворення, а й результати антропогенної діяльності [4].

Для передбачення ризиків і наслідків для здоров'я населення в міських агломераціях важливим показником є вміст у повітрі та ґрунтах твердих пилових часток. Численні дослідження показують, що дрібні тверді частинки (ТЧ) атмосферного пилу стають причиною росту респіраторних та серцево-судинних захворювань [8]. Значний об'єм їх потрапляє в атмосферу внаслідок антропогенного забруднення (викиди автотранспорту, продукти спалювання нафти, вугілля, промислового спалювання). Природними джерелами ТЧ є спалювання біомаси (лісові пожежі) та вітрова ерозія (видування) ґрунтового покриву. Проведення довгострокових моніторингових досліджень впливу на здоров'я ТЧ шляхом прямих вимірювань їх концентрацій вимагає значних зусиль і витрат, а отже змушує шукати інших недорогих та ефективних методів, якими є методи магнетизму докілья. Як відомо, такі небезпечні екотоксиканти як важкі метали та поліциклічні ароматичні вуглеводні, які потрапляють до ґрунту з атмосфери, асоціюють з техногенними магнітними мінералами (переважно магнетитом та магемітом) у складі твердих частинок пилу [8, 9, 11]. Отже, техногенні тверді частинки здатні накопичуватись у ґрунтах і змінювати їх магнітні характеристики. Таким чином, загальну кількісну характеристику рівнів забруднення ґрунтів ТЧ можна отримати проаналізувавши їх магнітну сприйнятливість – показник концентрації магнітних мінералів.

Широке застосування магнітних методів у екологічних та епідеміологічних дослідженнях дає підстави сподіватись на їх високу ефективність при проведенні моніторингу стану докілья українських міст і населених пунктів.

Метою роботи стала порівняльна характеристика ґрунтів з 13 населених пунктів України за магнітною сприйнятливістю, вимірюваною на двох частотах (χ_{lf} і χ_{hf}), та її частотною залежністю (k_{fd}), а також виявлення основних факторів впливу, як природних так і техногенних. Зразки надані Центральною геофізичною обсерваторією ГСЧС, відібрані в пунктах моніторингової мережі для подальшого вивчення забруднення ґрунтів хімічними та біологічними компонентами.

Аналіз попередніх досліджень. Існує широке коло літературних джерел, у яких висвітлюються екологічні аспекти просторового розподілу магнітних характеристик ґрунтів промислових регіонів, цілих країн і окремих міст. В Україні екомагнітні дослідження ґрунтів проводилися в межах Київської міської агломерації, в околицях Маріуполя, Кривого Рогу, Комсомольська та ряді інших міст.

У роботі [12] показано, що χ ґрунтів є чутливим індикатором забрудненості компонентів навколишнього середовища Київської міської агломерації. Тісний зв'язок χ з k_{fd} ($r = -0,55$) свідчить про переважання техногенних процесів у нагромадженні оксидів заліза у ґрунтах міста [12]. Відмічається значуща кореляція магнітної сприйнятливості з вмістом Ni, Pb, Cu, Zn. У роботі [13] показано, що важливим джерелом магнітного забруднення в Києві виступають теплоелектростанції, навколо яких зафіксовані потужні ареали підвищених значень магнітної сприйнятливості ґрунтів і рослинності. Результати досліджень, висвітлені в статті [14], свідчать про спільний шлях кислотного та магнітного забруднення ґрунтів околиць Київської міської агломерації, яким є випадіння твердих та рідких осадів з атмосфери.

Дослідження магнітної структури ґрунтових профілів з промислово забруднених територій поблизу Маріуполя, Кривого Рогу та Комсомольська, показали, що підвищення низькочастотної магнітної сприйнятливості у поверхневому шарі ґрунтів спричинене крупнозернистим магнетитом техногенного походження [5, 7]. Відмінності магнітних параметрів забруднених ґрунтових профілів і чистих аналогів не обмежені одним шаром.

Промислове забруднення приймає глибину, сприяє утворенню магнетиту в суперпарамагнітному та однодоменному станах в глибоких шарах ґрунту.

Методика досліджень. Дослідження проведене на 547 зразках ґрунтів з міст України – Вінниці, Запоріжжя, Києва, Одеси, Кривого Рогу, Гуляйполя, Мелітополя, Ужгорода, Богуслава, Борисполя, Очакова, Маріуполя та заповідника "Асканія-Нова" (Херсонська обл.).

У лабораторних умовах виміряні низькочастотна (χ_{lf}) та високочастотна (χ_{hf}) магнітна сприйнятливості на приладі Bartington MS2 з датчиком MS2B Dual Frequency Sensor (Велика Британія). У випадках екстремально високих значень χ_{lf} виміряна на капамістку KLY-2 (Geofizyka, Чехія). Вимірювання виконані на насипних зразках, отже далі в роботі аналізуються питоми (нор-

мовані на насипну густину) параметри χ_{lf} та χ_{hf} відповідно. Частотна залежність магнітної сприйнятливості k_{fd} обрахована за формулою:

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

Величина k_{fd} чутлива до вмісту дрібнодисперсних суперпарамагнітних часток (розмір <30 нм) [1], у чистих ґрунтах Лісостепу і Степу України вона складає 8...13%, [5], у техногенно забруднених аналогах $k_{fd} < 5\%$ [6].

Результати досліджень. Статистичні показники, що характеризують розподіл χ_{lf} , χ_{hf} та k_{fd} ґрунтів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Загальна статистика по магнітній сприйнятливості ґрунтів населених пунктів України

Місто	N_x	$\chi_{lf} (10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг})$				$\chi_{hf} (10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг})$				N_{fd}	$k_{fd} (\%)$			
		Медіана	Сер.	СКВ	min-max	Медіана	Сер.	СКВ	min-max		Медіана	Сер.	СКВ	min-max
Київ	55	29,6	37,6	34,9	10,4-209,4	28,6	36,5	33,7	9,2-201,1	37	3,3	4,5	3,3	0,7-14,1
Бориспіль	25	39,5	42,8	28,1	4,3-139,9	37,1	40,8	26,8	5,7-134,7	19	6,7	6,8	4,5	0,1-15,5
Маріуполь	30	1162,9	1863,4	1863,5	218,1-7963,3	1069,2	1573,6	1427,1	202,0-5849,8	29	1,7	1,7	0,5	0,6-2,9
Богуслав	18	37,9	54,4	41,8	2,3-168,3	39,1	52,6	39,6	2,7-161,5	14	3,2	5,2	5,0	0,1-16,1
Асканія Нова	11	80,1	53,1	40,5	8,3-94,3	68,9	47,2	34,6	5,9-84,9	6	13,4	13,3	3,4	9,6-17,4
Кривий Ріг	63	713,1	1340,7	1642,2	105,1-7471,8	690,0	1285,8	1579,5	99,3-7173,7	56	1,3	2,2	2,0	0,1-12,2
Запоріжжя	60	271,2	680	910,9	60,6-4086,5	263,3	652,9	875,1	57,3-3939,0	52	2,0	3,3	3,5	0,0-13,3
Одеса	98	149,7	170,8	89,7	43,6-636,5	143,0	163,4	85,8	40,6-605,3	89	4,0	4,3	2,6	0,1-10,6
Мелітополь	25	66,3	81,0	73,0	19,7-390,1	63,2	76,8	69,3	18,0-374,2	21	4,9	5,6	4,0	1,0-14,4
Гуляйполе	17	150,4	151,5	61,0	65,6-292,9	140,3	141,8	58,3	60,0-278,3	17	3,9	4,4	2,0	2,0-9,8
Вінниця	60	56,6	76,6	51,0	20,8-257,6	54,1	70,0	44,7	17,0-246,6	56	3,4	4,0	2,0	0,0-11,4
Ужгород	60	66,6	112,6	143,4	10,5-1088,5	66,2	106,9	134,5	10,8-1022,1	48	3,3	3,8	2,4	0,3-10,4
Очаків	25	59,9	62,1	15,2	41,1-101,4	55,0	59,1	16,7	36,4-97,9	24	6,5	6,7	2,5	2,2-11,0

N_x – кількість зразків, на яких визначено χ_{lf} та χ_{hf} ; N_{fd} – кількість зразків, на яких визначено k_{fd} ; 7963,3 – максимальне значення, виміряне на капамістку KLY-2 (Geofizyka)

Магнітна сприйнятливості. Магнітна сприйнятливості ґрунтів українських населених пунктів змінюється в широкому діапазоні (табл. 1, рис. 1).

Найменші середні та медіанні значення магнітної сприйнятливості ґрунтів маємо у Києві $29,6 / 28,6 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (χ_{lf} / χ_{hf} відповідно), Богуславі ($37,9 / 39,1 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) та Борисполі ($39,5 / 37,1 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), найбільші – в Маріуполі ($1162,9 / 1069,2 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), Кривому Розі ($713,1 / 690,0 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) та Запоріжжі ($271,2 / 263,3 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$).

Перед тим, як відповісти на питання, чи підвищення магнітної сприйнятливості в ґрунтах міст спричинене промисловим або автотранспортним забрудненням, маємо визначити, які значення є природними для кожного з населених пунктів. Міста Київ, Бориспіль, Богуслав, Вінниця розташовані в лісостеповій зоні, де типоморфними ґрунтами є чорноземи типові та сірі лісові ґрунти [16]. Як фонове значення приймемо $\chi_{lf} \sim 35 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, встановлене для ґрунтів заповідника "Михайлівська цілина" (Сумська обл.) у роботі [6]. Лише по 3-4

зразки з Києва, Борисполя та Богуслава перевищують фоновий рівень більше, ніж вдвічі. У Вінниці високі χ_{lf} та χ_{hf} мають 40% зразків.

Міста Кривий Ріг, Запоріжжя, Гуляйполе, Маріуполь знаходяться у степовій зоні, де типоморфними ґрунтами є чорноземи звичайні [16]. Як фонове значення приймемо $\chi_{lf} \sim 80 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, встановлене для ґрунтів заповідника "Хомутівський степ" (Донецька обл.) у роботі [7]. Лише 30% зразків з Гуляйполя перевищують фоновий рівень більше, ніж вдвічі, тоді як у Запоріжжі – 60% зразків, у Кривому Розі – 86%, у Маріуполі – 100%. В останніх трьох містах наявні ґрунти з дуже високими значеннями $\chi_{lf} > 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Міста Одеса, Очаків, Мелітополь та біосферний заповідник "Асканія-Нова" (Херсонська обл.) знаходяться у сухостеповій підзоні степу, де типоморфними ґрунтами є темно-каштанові та чорноземи південні [16]. Як фонове приймемо максимальне значення для ґрунту з

заповідника "Асканія-Нова" $\chi_{lf} \sim 95 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. 36% зразків з Одеси перевищують фоновий рівень більше ніж вдвічі. Лише 24% зразків з Мелітополя демонструють χ_{lf} вище фонового рівня та один зразок більше ніж

вдвічі перевищує його. χ_{lf} ґрунтів з Очакова не досягає фоновому рівня за виключенням одного зразка.

Магнітна сприйнятливості 27% зразків ґрунтів з Ужгорода перевищує медіанне значення більше, ніж вдвічі. Один зразок має $\chi_{lf} > 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$.

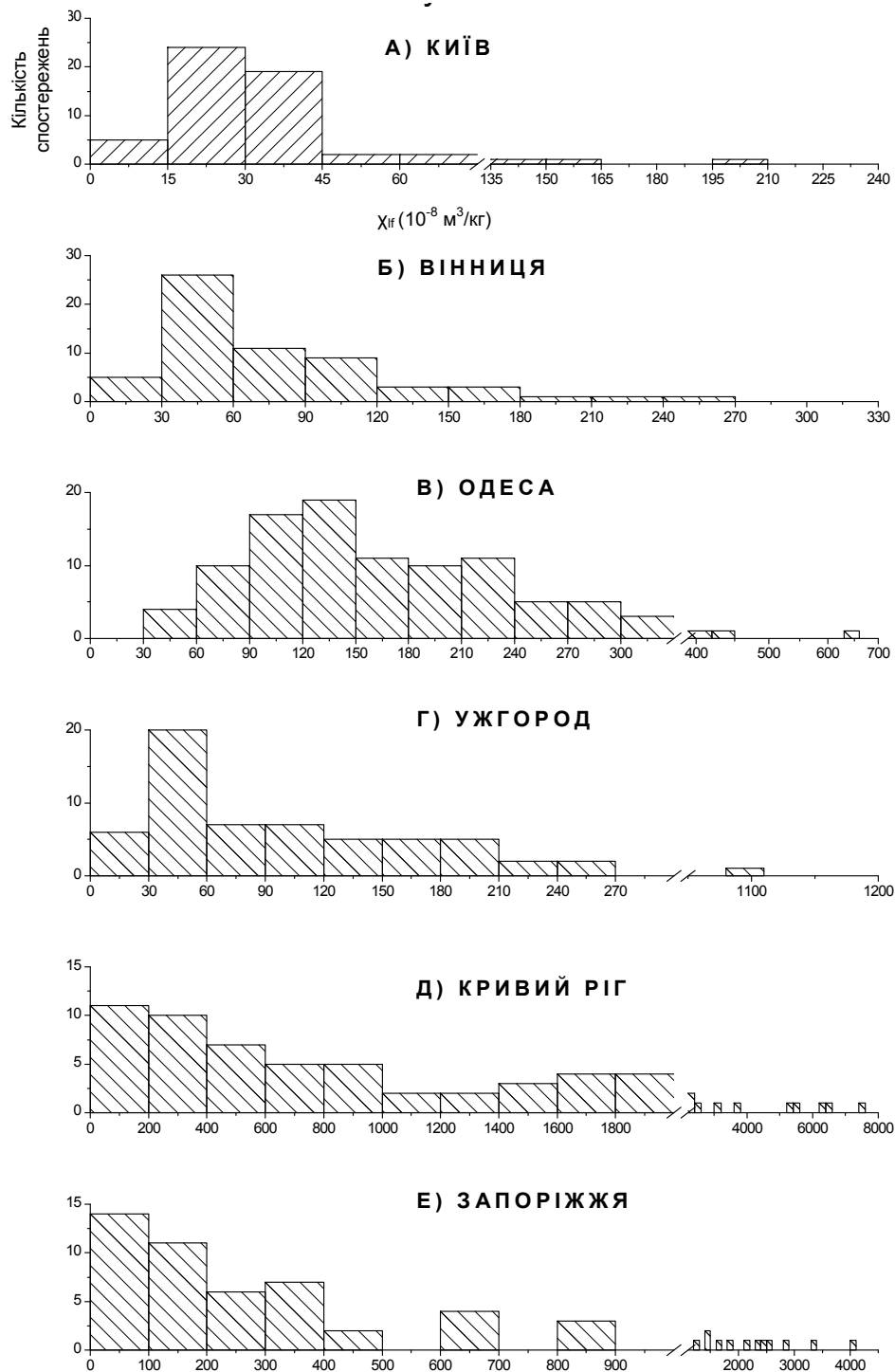


Рис. 1. Гістограми розподілу χ_{lf} ґрунтів у містах України

Частотна залежність магнітної сприйнятливості. Вимірювання магнітної сприйнятливості проведені при низькій (470 Гц) та високій (4700 Гц) частоті діючого змінного поля на приладі MS2 з датчиком MS2B (Bartington Instruments). Зерна магнітних мінералів, що здатні намагнічуватись при низькій частоті діючого магнітного поля і "не встигають" цього робити при високій, вважаються су-

перпарамагнітними. Їх вміст зумовлює різницю показників χ_{lf} та χ_{hf} . Суперпарамагнітна поведінка притаманна зернам магнітних мінералів при дуже короткому (до 100 с) часі релаксації намагніченості τ [11]. При більших значеннях τ зерна вважаються однодоменими. Отже, якщо магнетизм речовини визначається переважно дрібними зернами у доменному стані на межі суперпарамагнетизму

однодоменність, для зразків характерні значення k_{fd} >6%, тоді як при переважанні багатодомених зерен k_{fd} демонструє низькі значення [2; 3].

Серед українських міст найменші медіанні значення k_{fd} ґрунтів відмічаються у Кривому Розі, Маріуполі та Запоріжжі. Максимальні k_{fd} мають ґрунти із заповідника "Асканія-Нова".

Розглядаючи діаграми розсіювання k_{fd} від χ_{lf} можна бачити, що зразки з високими і надзвичайно високими χ_{lf} не долають порогового значення k_{fd} =6%, тобто магнетизм сильномагнітних ґрунтів міст завжди визначається вмістом відносно великих, переважно багатодомених зерен (рис. 2).

Обговорення результатів. Наочне представлення розподілів χ_{lf} та k_{fd} ґрунтів українських міст виконане у вигляді картографічних зображень (рис. 3).

Видобування залізних руд, металургійне виробництво, спалювання вугілля на теплових електростанціях є найбільш потужними джерелами феромагнітного матеріалу, який потрапляє до ґрунтів з атмосферного повітря. Промислове забруднення ґрунтів техногенними феромагнетиками яскраво виражене в крупних металургійних центрах

Кривому Розі, Маріуполі та Запоріжжі. Для зразків з високими χ_{lf} >10⁻⁵ м³/кг ґрунтів цих міст k_{fd} не перевищує 3%.

У Запоріжжі максимальні значення χ_{lf} ґрунтів сконцентровані навколо Запорізького заводу феросплавів та сталепрокатного заводу. У Кривому Розі максимальні значення спостерігаються довкола гірничо-збагачувальних комбінатів підприємств гірничо-металургійного комплексу ВАТ "Арселор Міттал Кривий Ріг".

У Маріуполі основними забруднювачами оточуючого середовища є підприємства чорної металургії: ПАТ "Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча" та "Металургійний комбінат "Азовсталь" [15]. У безпосередній близькості від них спостерігаються значення від 2082,7 до 7963,6×10⁻⁸ м³/кг.

Частотна залежність магнітної сприйнятливості в містах завжди має понижені значення (k_{fd} < 6%) завдяки впливу автотранспорту та промисловості.

В усіх містах у значній кількості наявні зразки ґрунтів з підвищеними відносно природного фону значеннями χ_{lf} та χ_{hf} та пониженими k_{fd} . Спільним для середовища всіх міст забруднювачем виступає автомобільний транспорт – важливе джерело дрібнодисперсних твердих частинок, що містять магнітні сфери.

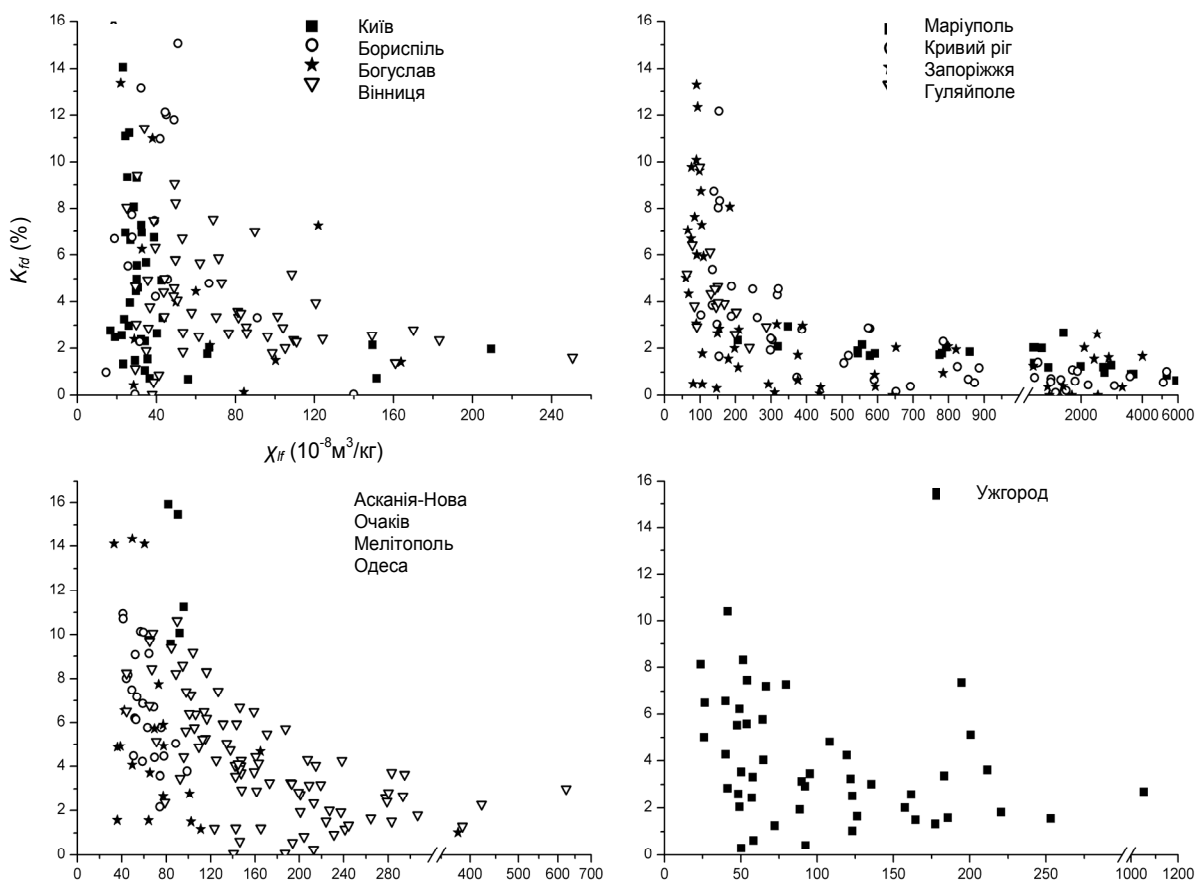


Рис. 2. Залежність k_{fd} від χ_{lf} для ґрунтів міст з різних природних зон України

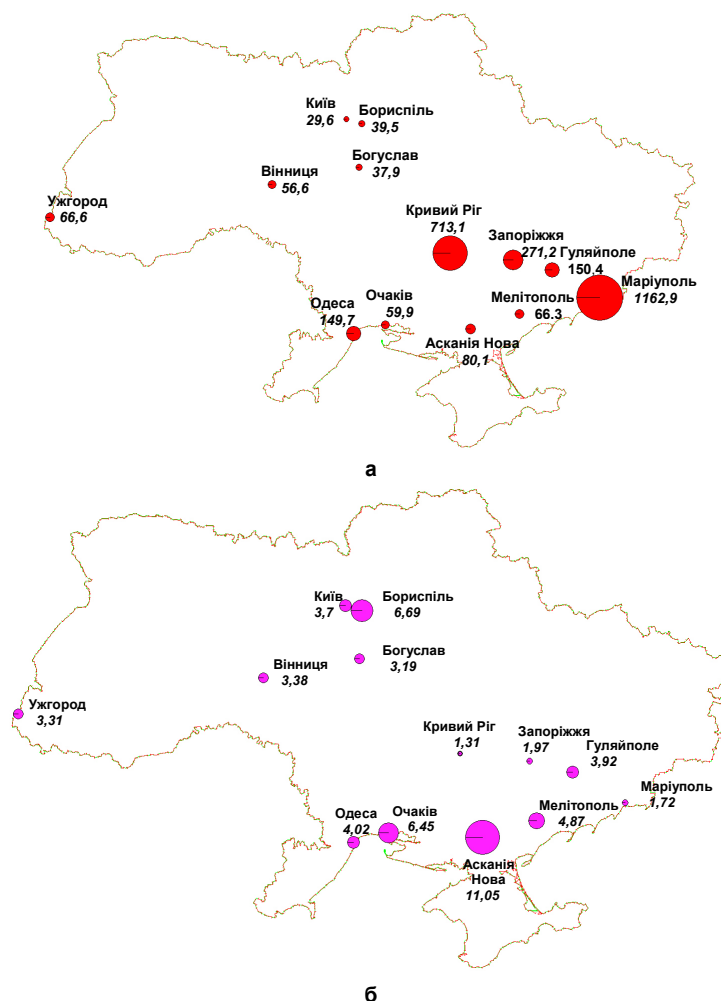


Рис. 3. Низькочастотна магнітна сприйнятливість та частотна залежність магнітної сприйнятливості ґрунтів населених пунктів України. Карти побудовано за медіанними значеннями:

а – низькочастотна магнітна сприйнятливість χ_{lf} , $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$; б – частотна залежність магнітної сприйнятливості k_{fd} , %

Висновки. Магнітна сприйнятливість ґрунтів українських міст змінюється в широких межах, її розподіл у цілому відображає рівень техногенного навантаження на міське середовище.

Екологічно чистими можуть бути визнані міста з низькими медіанними та середніми значеннями χ_{lf} та χ_{hf} та відносно високими k_{fd} . Це міста Бориспіль, Очаків, Мелітополь та заповідник "Асканія-Нова". До міст із середнім рівнем техногенного забруднення ґрунтів слід віднести Одесу, Вінницю, Ужгород. Для міст Гуляйполе і Богуслав мала кількість відібраних зразків не дозволяє зробити об'єктивних висновків. Найбільш забрудненими слід визнати міста Маріуполь, Запоріжжя, Кривий Ріг.

У цілому, для забруднених ґрунтів характерні високі χ_{lf} та χ_{hf} та низькі значення k_{fd} . Для чистих ґрунтів – навпаки.

Отримані висновки про загальний екологічний стан ґрунтів не суперечать даним спостережень, що проводились гідрометеорологічними організаціями Державної служби України з надзвичайних ситуацій [17].

У подальшому планується дослідити кореляційні зв'язки між магнітними властивостями та вмістом важких металів, пилової фракції та інших екотоксикантів.

Список використаних джерел

1. Dearing J. A. Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 System / J. A. Dearing. – Kenilworth: Chi Publishing, 1999. – 54 p.
2. Dearing J. A. 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 // *Geophys. J.* – 1997. – Int. 130. – P. 727-736.

3. Dearing J. A. 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 // *Geophys. J.* – 1996. – Int. 124. – P. 228-240.

4. Evans M. E. Environmental magnetism. Principles and Applications of Environmental Magnetism / M. E. Evans, F. Heller // International Geophysics series. Elsevier science (USA). – 2003. – V. 86. – 299 p.

5. Jeleńska M. Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, M. Kądziałko-Hofmokl, B. Kopcewicz, A. Sukhorada, K. Bondar, Zh. Matviishina // *Acta Geophysica* 49. – 2008. – P. 1012-1033.

6. Jeleńska M. Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicators of pedogenic processes / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, M. Kądziałko-Hofmokl, A. Sukhorada, K. Bondar, Zh. Matviishina // *Stud. Geophys. Geod.* – 2008. – № 52. – P. 255-270.

7. Jeleńska M. Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, B. Kopcewicz, A. Sukhorada, K. Tyamina, M. Kądziałko-Hofmokl, Zh. Matviishina // *Geophysical Journal International*. – 2004. – № 159(1). – P. 104-116.

8. Jordanova D. Magnetism of outdoor and indoor settled dust and its utilization as a tool for revealing the effect of elevated particulate air pollution on cardiovascular mortality / D. Jordanova, N. Jordanova, P. Lanos, P. Petrov, T. Tsacheva // *Geochem. Geophys. Geosyst.* – 2012. – 13, Q08Z49, doi:10.1029/2012GC004160.

9. Maher B. A. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves / B. A. Maher, C. Mooreb, J. Matzka // *Atmospheric Environment*. – 2008. – 42. – P. 364-373.

10. Butler R. F. Paleomagnetism magnetic domains to geologic terranes [Електронний ресурс] / Robert F. Butler // Oxford: Blackwell Scientific. – 1992. – Режим доступу до ресурсу: http://www.earth.ox.ac.uk/research/groups/magnetism/online_resources/paleomagnetism_e-book.

11. Yang T. Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: Magnetic identification and its implications / T. Yang, Q. Liu, H. Li, Q. Zeng, L. Chan // *Atmos. Environ.* – 2010. – 44(9). – P. 1175-1185.

12. Бондар К. Нагромадження магнітного забруднення і важких металів у ґрунтах і рослинному покриві міста Києва / К. Бондар, А. Самчук,

I. Стахів, I. Слободяник // Вісник Київ. ун-ту. Геологія. – 2010. – Вип. 50. – С. 26–30.

13. Бондар К. М. Моніторинг забрудненості повітряного басейну Києва за магнітною сприйнятливостю ґрунтів і рослинності / К. М. Бондар, I. В. Віршило, I. Р. Стахів, I. В. Слободяник // Геоінформатика. – 2011. – № 3. – С. 83–87.

14. Бондар К. М. Про магнітне забруднення та підкислення ґрунтів у приміській зоні Києва порівняно з фоновими аналогами / К. М. Бондар, О. О. Макієнко, Ю. В. Кузь // Геоінформатика. – 2015. – № 2. – С. 71–78.

15. Войтюк Ю. Ю. Еколого-геохімічні дослідження ґрунтів м. Маріуполь / Ю. Ю. Войтюк, I. В. Кураєва, В. Й. Манічев, С. П. Кармазінченко // Екологічна геохімія. Пошукова та екологічна геохімія. – 2014. № 1–2(14–15). – С. 35–39.

16. Національний атлас України. ґрунти та ґрунтові ресурси. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/4100200.html>.

17. Огляд порівняння забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2014 році. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1.

References

1. Dearing, J.A. (1999). Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 System. Kenilworth: Chi Publishing.

2. Dearing, J.A., Bird, P.M., Dann, R.J.L., and 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.

3. Dearing, J.A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A. et al. (1996). Frequency – dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophys. J.*, 124, 228–240.

4. Evans, M. E., Heller, F. (2003). Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetism. *International Geophysics series. Elsevier science (USA)*, 86.

5. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokl, M., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Bondar, K. et al. (2008). Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine. *Acta Geophysica*, 49, 1012–1033.

6. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokl, M., Sukhorada, A., Bondar, K., Matviishina, Zh. (2008). Magnetic iron oxides occurring in chernozem soil from Ukraine and Poland as indicators of pedogenic processes. *Stud. Geophys. Geod.*, 52, 255–270.

7. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Tyamina, K., Kądziałko-Hofmokl, M. et al. (2004). Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophysical Journal International*, 159(1), 104–116.

8. Jordanova, D., Jordanova, N., Lanos, P., Petrov, P., and Tsacheva, T. (2012). Magnetism of outdoor and indoor settled dust and its utilization as a tool for revealing the effect of elevated particulate air pollution on cardiovascular mortality. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q08Z49, doi:10.1029/2012GC004160.

9. Maher, B.A., Mooreb, C., Matzka, J. (2008). Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment*, 42, 364–373.

10. Butler, R. F. (1992). Paleomagnetism magnetic domains to geologic terranes. *Oxford: Blackwell Scientific. earth.ox.ac.uk*. Retrieved from http://www.earth.ox.ac.uk/research/groups/magnetism/online_resources/paleomagnetism_e-book.

11. Yang, T., Liu, Q., Li, H., Zeng, Q., and Chan, L. (2010). Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: Magnetic identification and its implications. *Atmospheric Environment*, 44(9), 1175–1185.

12. Bondar, K.M., Samchuk, A.I., Stakhiv, I.R., Slobodyanyk, I.V. (2010). Accumulation of magnetic pollution and heavy metals on soils and plants in Kyiv city. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 50, 26–30. [in Ukrainian].

13. Bondar, K.M., Virshylo, I.V., Stakhiv, I.R., Slobodyanyk, I.V. (2011). Air pollution monitoring in Kyiv using magnetic susceptibility of soils and plants. *Geoinformatika*, 3, 83–87. [in Ukrainian].

14. Bondar, K.M. (2015). Pro magnitne zabrudnennya ta pidkyslennya gruntiv u prymiskiy zoni Kyeva porivnyano z fonovymy analogamy. *Geoinformatika*, 3, 71–78. [in Ukrainian].

15. Voytyuk, Yu., Kuraeva, I., Manichev, V., Karmazynenko, S. (2014). Ecological and geochemical studies of soils Mariupol. *Environmental Geochemistry. Search and environmental geochemistry*, 1–2(14–15), 35–39. [in Ukrainian].

16. The National Atlas of Ukraine. Soil and groundwater resources. [wdc.org.ua](http://wdc.org.ua/atlas/4100200.html). Retrieved from <http://wdc.org.ua/atlas/4100200.html>. [in Ukrainian].

17. Review of the state of environmental pollution in Ukraine, according to observations of meteorological organizations in 2014. [cgo.kiev.ua](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1). Retrieved from http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 15.09.15

K. Bondar, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher

E-mail: ks_bondar@ukr.net,

I. Tsyupa, First Category Engineer

E-mail: tsyupa@ukr.net,

I. Stakhiv, Cand. Sci. (Geol.), Engineer

E-mail: fatix@ukr.net

Institute of Geology

Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SOILS FROM UKRAINIAN CITIES AND EVALUATION OF POLLUTION LEVELS

The paper deals with comparative study of soil samples from 12 Ukrainian cities and one natural reserve by low-field and high-field magnetic susceptibility (χ_{lf}) and its frequency dependence (K_{fd}). The aim was to examine the data for the magnetic parameters mentioned above to evaluate ecological state of urban soils that accumulate particulate matter from industrial emissions. Low-field magnetic susceptibility of urban soils from Ukrainian cities is revealed to vary widely, namely from 2.3 to $7963.3 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$; its distribution overall showing the level of anthropogenic impact on the urban environment. Frequency dependence of the magnetic susceptibility of urban soils always has low values, for their being enriched with relatively large grains of magnetic minerals, contained in the exhaust gases from motor vehicles and industry. Polluted soils from industrial cities have predominantly high χ_{lf} and low K_{fd} values. Conversely, unpolluted soils show the reverse dependence. Conclusively, Mariupol, Zaporizhia, Kryvyi Rih, cities of advanced metallurgical industry, top the list of the most polluted areas, while Boryspil, Ochakiv, Melitopol, cities of the lowest anthropogenic impact on the environment, lead the list of the least polluted areas.

Keywords: magnetic susceptibility, frequency dependence of the magnetic susceptibility, soil, city, industrial pollution.

K. Бондарь, канд. геол. наук, ст. науч. сотрудник,

E-mail: ks_bondar@ukr.net,

И. Цюпа, инж. I кат.,

E-mail: tsyupa@ukr.net,

И. Стахив, канд. геол. наук, инж.,

E-mail: fatix@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ХАРАКТЕРИСТИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПОЧВ УКРАИНСКИХ ГОРОДОВ И ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ИХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В работе представлена сравнительная характеристика почв из 12 городов Украины и одного заповедника по магнитной восприимчивости (χ_{lf}) и ее частотной зависимости (K_{fd}). Целью исследования было определение информативности указанных магнитных параметров для оценки экологического состояния городских почв, которые накапливают в себе мелкодисперсные твердые частицы техногенных выбросов. Показано, что магнитная восприимчивость почв украинских городов изменяется в широком диапазоне от $2,3$ до $7963,3 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, ее распределение в целом отображает уровень техногенной нагрузки на городскую среду. Частотная зависимость магнитной восприимчивости в городских почвах, преимущественно, имеет низкие значения ($<6\%$), так как они обогащаются относительно крупными зёрнами магнитных минералов, которые присутствуют в выхлопных газах автотранспорта и промышленности. Почвы загрязнённых городов имеют преимущественно высокие значения χ_{lf} и низкие значения K_{fd} . Для чистых почв справедлива обратная закономерность. Наиболее загрязнёнными следует признать города с развитой металлургической промышленностью – Мариуполь, Запорожье, Кривой Рог. К городам с наименьшей техногенной нагрузкой следует отнести Борисполь, Очаков, Мелитополь.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, частотная зависимость магнитной восприимчивости, почва, город, техногенное загрязнение.