

УДК 550.46 : 546.7 (477)

**А. І. Самчук, Т. В. Огар**

## **Розподіл мікроелементів у ґрунтах та рослинності природних і техногенних ландшафтів**

Вивчено розподіл важких металів у ґрунтах Українського Полісся з різним ступенем техногенного навантаження.

**Вступ.** Важкі метали відіграють значну роль у фізіологічних, біо- і геохімічних процесах, що відбуваються у ґрунтах, визначають оптимальні умови існування живих організмів та їхню біологічну продуктивність. Недостатня або надмірна кількість хімічних елементів у ґрунтах і природних водах впливає на нормальний розвиток біогеоценозів, викликаючи ендемічні захворювання рослин, тварин та людини. Викиди промислових виробництв значно змінюють значення природного фонового вмісту металів у ґрунтах, особливо це стосується території з високим рівнем техногенного навантаження.

**Метою** цього дослідження було вивчення особливостей розподілу важких металів у ґрунтах та рослинності Українського Полісся в об'єктах навколишнього середовища з різним техногенним навантаженням, що обумовлені фізико-хімічними властивостями та мінералого-геохімічними параметрами ґрунтоутворювальних порід, ландшафтними та екологічними умовами території.

**Об'єкти і методи досліджень.** Для дослідження нами були вибрані три найбільш розповсюджених види геохімічних ландшафтів: 1 — лісові, приурочені до водно-льодовикових рівнин та надпоймених терас; 2 — лукові, представлені супераквальною фацією, приурочені до пойм річок; 3 — антропогенні, з антропогенним впливом, що охоплюють сільськогосподарські угіддя і приурочені до моренно-льодовикових рівнин, надпоймених терас та сучасних пойм. Прикладом антропогенних ландшафтів з високим навантаженням слугувала територія Трипільської ТЕЦ.

На територіях розвитку цих ландшафтів у Житомирському Поліссі та поблизу Трипільської ТЕЦ (м. Українка) проведено опробування ґрунтів, ґрунтоутворювальних порід і рослин.

Зразки ґрунту відібрано з глибини 0–10 см.

Схема опробування території Трипільської ТЕЦ представлена на рис. 1. Всього було відібрано понад 50 проб ґрунту та рослин, у яких, відповідно до методик [1, 2, 4], був визначений валовий вміст важких металів.

Для визначення антропогенного впливу на рівень концентрації елементів у ґрунтах і оцінки ступеня техногенного забруднення території автори провели порівняння одержаних під час свого дослідження результатів з фоновими значеннями, зафіксованими у роботі [6], для умовно чистої території з подібними типами ландшафтів на території Житомирського Полісся.

**Результати та обговорення.** Для групи лісових ландшафтів характерні дерново-підзолисті, дерново-слабопідзолисті і дерново-середньопідзолисті піщані і супіщані ґрунти на давньоалювіальних та алювіальних відкладах та морені [3]. Ґрунти слабогумусовані, їх потужність — від 13 до 22 см. Верхні горизонти від 0 до 5 см сірого кольору і містять більше гумусу (1,6 %), ніж нижні, які мають світло-сірий колір (0,7 %). Ґрунт пухкий, у сухий період року сипкий, часто пронизаний корінням трав та дерев. Лісова підстилка складається з перегнилих голок та листя потужністю 3–5 см, на яких лежить свіжий опад дерев

© А. І. Самчук, Т. В. Огар, 2008

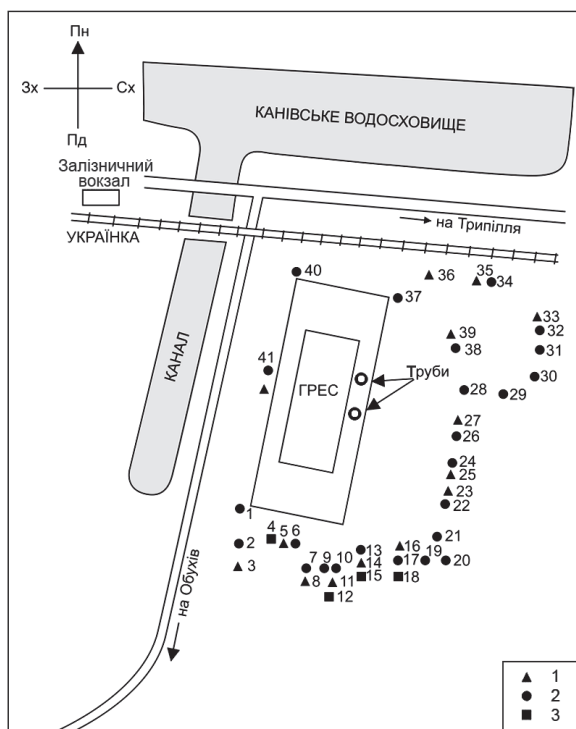


Рис. 1. Схема опробування ґрунтів та рослинності на території Трипільської ТЕЦ. Проба: 1 — ґрунту, 2 — гілок та листя дерев, 3 — кори дерев

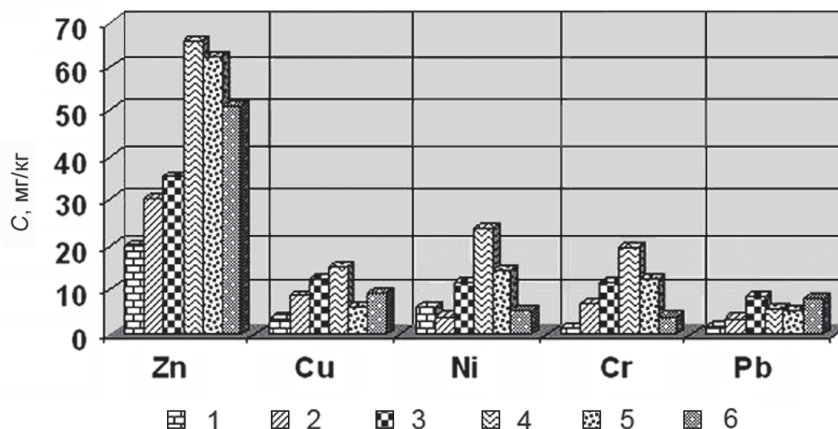


Рис. 2. Вміст важких металів у ґрунтах різних типів ландшафтів, мг/кг. Тип ландшафту: 1 — лісовий, 2 — луковий, 3 — антропогенний; 4 — територія ТЕЦ, 5 — ґрунтоутворювальна порода; 6 — фоновий вміст [6]

Таблиця 1. Середній вміст важких металів у ґрунтах різних типів ландшафтів, мг/кг

Ландшафт	Кількість проб	Ni	Co	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn
<i>Природні ландшафти</i>									
Лісовий	55	12,2	2,6	6,9	18,0	0,6	12,0	25,7	28,8
Луковий	25	11,4	3,4	12,7	16,1	0,8	37,2	10,5	37,7
<i>Техногенні ландшафти</i>									
Антропогенний (поле)	22	15,7	4,3	17,2	29,4	0,6	36,7	14,2	30,0
ТЕЦ	24	23,9	4,9	20,9	26,2	2,8	38,6	11,0	65,6
Міська агломерація	63	20,1	6,5	30,0	40,5	0,8	52,2	35,6	60,1
Дорожний	9	1,2	4,3	2,0	1,5	1,0	36,4	50,4	90,1
Фон [5, 6]		10,1	2,8	16,0	18,0	0,8	12,2	8,0	30,2

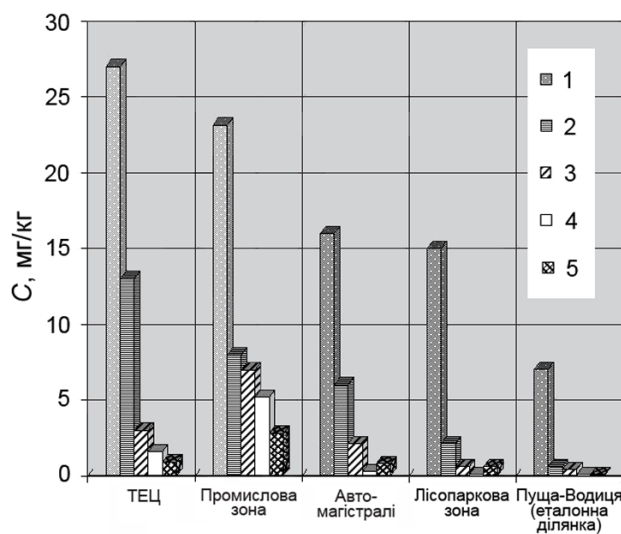


Рис. 3. Рухомі форми важких металів у ґрунтах з різним техногенним навантаженням, мг/кг: 1 — Zn, 2 — Cu, 3 — Pb, 4 — Ni, 5 — Cr

потужністю до 2–3 см. ґрунтоутворювальний горизонт найчастіше складається з жовтобурого та жовтого слабоозалізованого піску флювіогляціального походження.

У лісових ландшафтах встановлено два види окисно-відновних режимів. Окиснювальний представлений в елювіальних і транселювіальних ландшафтах суборів, а перемінний і глеєвий — у верхній частині ґрунтового профілю на акумулятивно-елювіальних понижених терасах під чорновільховими лісами.

Для ґрунтів лукових ландшафтів, розміщених у річкових поймах, характерна складна будова — тут розвинуті дерново-лукові і луково-болотні ґрунти на давньоалювіальних та алювіальних відкладах та морені, рідше зустрічаються торфово-болотні і торфовики низинні [3]. У супераквальних ландшафтах лукової групи міграція хімічних елементів визначається наявністю кислого глеєвого процесу в ґрунтових розчинах понижень рельєфу і заболочених просторів западин, а також періодично перемінного окисно-відновного процесу з широким розвитком залізного оксидогенезу в верхніх частинах ґрунтового профілю на підвищеннях мікрорельєфу пойма, піщаних гребенях і прируслових водах.

Ґрунти антропогенних ландшафтів розміщуються в межах моренно-льодовикових рівнин, терас і річкових пойма. Спільною для них є наявність окультуреного шару потужністю 24–26 см (зрідка — до 31), збагаченого органічною речовиною. В цьому інтервалі ґрунт безструктурний, сірого або темно-сірого кольору. ґрунтоутворювальні породи найчастіше представлені суглинками, рідше пісками.

Аналіз розподілу важких металів у верхніх горизонтах головних типів ландшафтів Українського Полісся свідчить про те, що загалом мікроелементи нагромаджуються переважно у верхніх горизонтах  $A_0A_1$  і за інтенсивністю нагромадження складають такий ряд:  $Mn > Zn > Cr > Cu > Pb > V > Ni > Co$ .

Більшість важких елементів поглинає гумусовий горизонт, тому їхній вміст поступово зменшується вниз за профілем. Дерновий процес сприяє акумуляції елементів, а підзолотворення — виносу. Зростання кислотності ґрунтів збільшує, зазвичай, ступінь рухомості мікроелементів.

Таблиця 2. Статистичні параметри розподілу хімічних елементів у ґрунтах Трипільської ТЕЦ, мг/кг

Елемент	Вміст			
	Середній	Мінімальний	Максимальний	Фоновий [6]
Zn	65,6	30,0	100,0	30,0
Cu	15,04	2,0	80,0	8,7
Ni	23,9	1,0	60,0	10,0
Cr	19,4	4,0	100,0	13,4
Pb	5,6	2,0	20,0	7,2

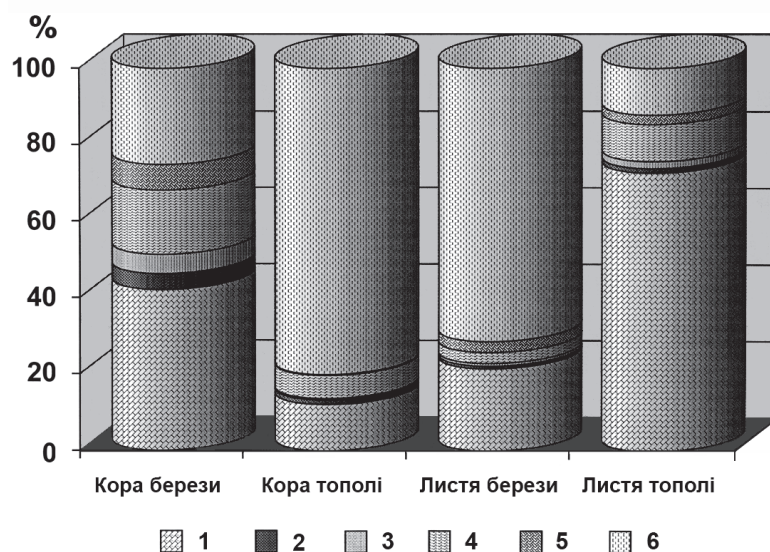


Рис. 4. Порівняльна діаграма розподілу валового вмісту важких металів у золі кори та листя дерев, мг/кг: 1 — Mn, 2 — Ni, 3 — Cr; 4 — Cu, 5 — Pb; 6 — Zn

Таблиця 3. Валовий вміст мікроелементів у золі рослин поблизу Трипільської ТЕЦ, мг/кг

Номер проби	Рослина	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn	Зольність, %
3	Акація ( <i>Acacia</i> ), гілка	150	20	3	10	15	3	80	20	800	17,5
4	Тополя ( <i>Populus alba</i> ), кора	300	30	4	5	10	2	150	6	800	6,78
5	Тополя ( <i>Populus alba</i> ), гілка	600	10	2	10	15	3	80	20	700	11,63
8	Тополя ( <i>Populus alba</i> ), листя	450	10	1	10	3	2	50	4	830	11,29
11	Береза ( <i>Betula pendula</i> ), листя	300	10	1	10	10	1	40	40	1000	8,27
12	Береза ( <i>Betula pendula</i> ), кора	500	5	4	8	6	2	20	8	1000	9,63
14	Тополя ( <i>Populus alba</i> ), гілка	400	10	20	8	50	30	100	30	800	21,33
15	Береза ( <i>Betula pendula</i> ), кора	700	10	2	6	40	6	100	60	1200	—
18	Береза ( <i>Betula pendula</i> ), гілка	200	10	2	10	2	3	50	3	800	10,31
18	Береза ( <i>Betula pendula</i> ), кора	400	15	1	10	30	1	50	40	1000	5,98
23	Тополя ( <i>Populus alba</i> ), листя	250	20	1	4	6	5	50	10	600	9,24
25	Акація ( <i>Acacia</i> ), листя	300	20	1	10	20	6	40	25	300	4,0
27	Шовковиця ( <i>Morus nigra</i> )	250	10	1	8	10	3	60	10	100	10,0
33	Акація ( <i>Acacia</i> ), гілка	300	5	—	6	6	2	30	5	800	11,63
35	Яблуня ( <i>Malus sylvestris</i> )	150	8	1	6	5	1	30	8	500	8,28
36	Тополя ( <i>Populus alba</i> ), листя	400	8	10	6	6	2	80	8	1000	14,29
39	Тополя ( <i>Populus alba</i> ), листя	200	8	2	8	4	2	40	5	1500	7,49
Фоновий вміст [5]	Листя	100	5	3	5	5	3	10	10	100	2,4
	Гілки	150	5	3	5	5	5	50	10	100	5,7
	Кора	100	5	3	5	5	5	50	10	100	6,0

Примітка. Номери проб відповідають позначкам на рис. 1.

Дані про розподіл мікроелементів у верхніх горизонтах ґрунтів основних типів ландшафтів Полісся наведено в табл. 1. Середній вміст більшості мікроелементів у ґрунтах лісових ландшафтів є однаковим, за винятком міді та свинцю, що концентруються у ґрунтах надзаплавних терас.

Практично всі важкі метали в лісових ландшафтах накопичуються у верхніх горизонтах ґрунтових розрізів. У ґрунтах западин встановлені максимальні значення концентрації Be, V, Cu, Ni, Co за високого вмісту інших елементів. У ґрунтах заболочених западин, де проявлений процес глесутворення, відмічено збільшення вмісту міді та хрому. Проведені експериментальні дослідження показали, що майже половина вмісту важких металів у ґрунтах пов'язана з органічною речовиною. Накопичення мікроелементів у лукових і торфових ґрунтах відбувається внаслідок утворення ними малорухомих комплексних сполук із гуміновими кислотами.

Серед лукових ландшафтів за вмістом токсикантів вирізняються ґрунти на торфовищах, що характеризуються високим вмістом Cu і низьким — Ni, Cr, Zn, порівняно з дерново-луковими та луково-болотними ґрунтами, розвиненими на глинах, суглинках і пісках. Загалом, ґрунти лукових ландшафтів за вмістом мікроелементів займають проміжне положення між ґрунтами лісових та антропогенних ландшафтів і характеризуються високим вмістом мікроелементів.

Середній вміст важких металів у ґрунтах ландшафтів з високим техногенним навантаженням перевищує відповідні показники вмісту важких металів у ґрунтах ландшафтів еталонних ділянок з низьким та середнім техногенним навантаженням у одиниці—десять разів (табл. 1). У техногенних ґрунтах спостерігаються високі значення концентрації Mn, Ni, Co, V, Cr, Mo, Cu, Zn.

Основними природними джерелами металів для ґрунтів є ґрунтоутворювальні породи. Набір та склад в них геохімічних елементів визначає особливості хімічного складу ґрунтів. Для території Житомирського Полісся ґрунтоутворювальними породами є бідні на важкі метали флювіогляціальні та давньоалювіальні відклади [6]. На рис. 2 і у табл. 1 показаний середній вміст важких металів у ґрунтоутворювальній породі та ґрунтах різних типів ландшафтів. Особливо виділяються ґрунти техногенних ландшафтів, де спостерігається перевищення фонових значень Zn, Cu, Ni, Cr, Pb. Показники вмісту важких металів у ґрунтах поблизу ТЕЦ перевищують відповідні дані для різних типів ландшафтів.

У ґрунтах поблизу Трипільської ТЕЦ мінімальне значення вмісту важких металів не перевищує фонові (табл. 2), на відміну від максимального. Максимальне значення Zn та Pb перевищує фоновий рівень вмісту металу удвічі, Cu — майже у дев'ять разів, Ni — у дванадцять, Cr — у двадцять п'ять разів.

Нами для визначення вмісту рухомих форм (РФ) важких металів у ґрунтах з різним техногенним навантаженням (рис. 3) застосовано "м'які" (ацетатно-амонійний буферний розчин з рН 4,8) і "жорсткі" розчинники (1 М HCl, 1 М HNO<sub>3</sub>), які крім форми, що завоюється рослинами, вилучають частку елемента з ближнього резерву. Такий підхід дозволяє прогнозувати потік техногенних металів із ґрунту і оцінити екологічний стан ландшафтів.

Рухомість металів зростає у наступній послідовності: Mo < Cr < Ni < Co < Pb < Cu < Zn незалежно від типу ґрунту. Зростання вмісту гумінових кислот і глинистих мінералів у лукових, торфових ґрунтах і чорноземах призводить до накопичення резерву РФ важких

Таблиця 4. Середній вміст мікроелементів у золі рослин поблизу Трипільської ТЕЦ, мг/кг

Рослина	Кількість проб	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn
Акація ( <i>Acacia</i> )	5	183,3	15,0	1,5	8,7	13,7	3,7	50,0	16,7	376,7
Тополя ( <i>Populus alba</i> )	7	450,0	11,2	6,0	7,6	6,8	7,3	66,7	12,8	900,0
Береза ( <i>Betula pendula</i> )	5	590,0	10,0	2,0	8,8	17,6	2,6	52,0	30,2	1366,0
Шовковиця ( <i>Morus nigra</i> )	3	250,0	10,0	1,0	8,0	10,0	3,0	60,0	10,0	100,0
Яблуня ( <i>Malus sylvestris</i> )	3	150,0	8,0	1,0	6,0	5,0	1,0	30,0	8,0	50,0
Фоновий вміст [5]		150,0	8,5	6,0	3,1	4,4	—	22,0	8,2	100,0

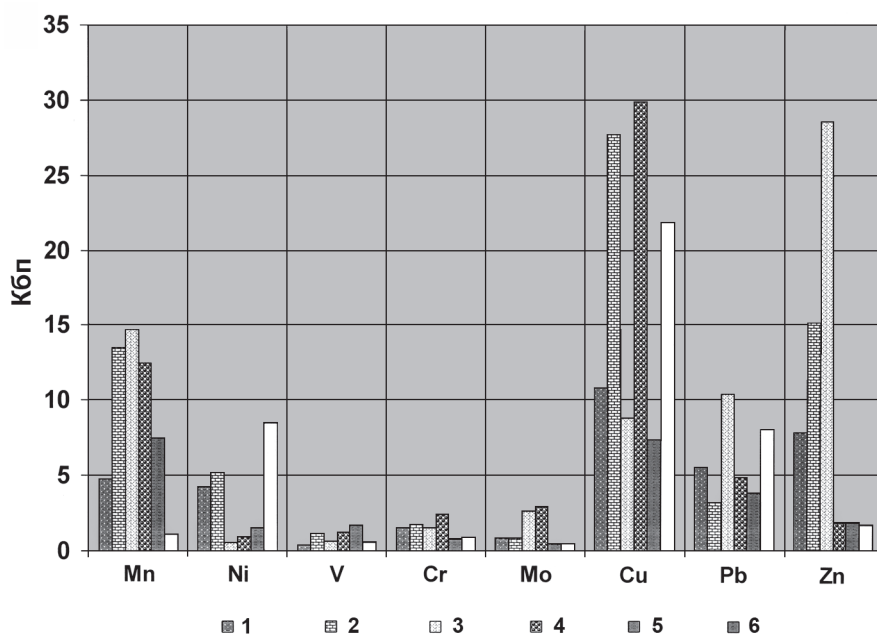


Рис. 5. Коефіцієнти біологічного поглинання важких металів різними породами дерев поблизу Трипільської ТЕЦ: 1 — акація, 2 — тополя, 3 — береза, 4 — шовковиця, 5 — яблуня; 6 — фонове значення [5]

металів.

*Важкі метали у рослинах* досліджено нами як індикатор забруднення важкими металами навколишнього середовища. Валовий вміст мікроелементів та зольність рослин по точках опробування наведені у табл. 3. Найвищий показник зольності має тополя (*Populus alba*) (21,33 %), а найменший — акація (*Acacia*) (4,0 %).

Як видно з табл. 3, різні породи дерев по-різному нагромаджують важкі метали. Так, у корі берези (*Betula pendula*) переважає Mn, у корі тополі (*Populus alba*) — Zn, а в листі — навпаки, Zn переважає в березі, а Mn — в листі тополі. У листі берези спостерігається високе значення Zn, а в її корі переважає Mn. На рис. 4 чітко простежується різниця валового вмісту важких металів у різних породах дерев.

Серед рослинних видів найбільш високою здатністю акумулювати більшість досліджуваних елементів характеризуються акація (*Acacia*), береза (*Betula pendula*) і тополя (*Populus alba*). Величина інтенсивності нагромадження характеризується відношенням вмісту елемента в золі рослин до його вмісту в ґрунті і називається коефіцієнтом біологічного поглинання ( $K_{бп}$ ). В табл. 4 наведено дані такого середнього вмісту для золи дерев поблизу Трипільської ТЕЦ. При цьому, під середнім розуміємо середньоарифметичне значення вмісту в різних видах рослин та в різних частинах: листя, гілках, корі. Дані табл. 4 свідчать, що різні породи дерев по-різному нагромаджують ті ж самі метали. Це додатково ілюструють порівняльні ряди інтенсивності накопичення валового вмісту досліджуваних металів:

акація ( <i>Acacia</i> )	$Zn > Mn > Cu > Pb > Ni > Cr > V > Mo > Co$ ;
тополя ( <i>Populus alba</i> )	$Zn > Mn > Cu > Pb > Ni > V > Mo > Co > Cr$ ;
береза ( <i>Betula pendula</i> )	$Zn > Mn > Cu > Pb > Cr > Ni > V > Mo > Co$ ;
шовковиця ( <i>Morus nigra</i> )	$Mn > Zn > Cu > Cr, Ni, Pb > V > Mo > Co$ ;
яблуня ( <i>Malus sylvestris</i> )	$Mn > Zn > Cu > Pb, Ni > V > Cr > Mo, Co$ .

Значення  $K_{бп}$  елементів в окремих видах дерев показані на рис. 5. Для всіх видів дерев кількість Mn, Cu, Pb та Zn більше, а V, Co — менше одиниці.

Те, що завдяки біологічним процесам до гіпергенної міграції залучено більшість металів, і, в першу чергу, такі індикатори техногенного впливу, як цинк, мідь, свинець, дає підставу розглядати рослинність як активний геохімічний фактор.

**Висновки.** 1. Вміст мікроелементів у ґрунтах лісових та лукових ландшафтів Українсько-

го Полісся у півтора–два рази нижчий за такий антропогенних.

2. У ґрунтах техногенних ландшафтів Трипільської ТЕЦ середній вміст важких металів (Ni, Co, V, Cr, Mo, Nb, Cu, Zn) перевищує вміст металів у природних ландшафтах Житомирського Полісся. Це свідчить про наявність техногенного забруднення навколишнього середовища.

3. Досліджений вміст елементів у золі деревної рослинності поблизу території Трипільської ТЕЦ дав змогу розрахувати  $K_{\text{оп}}$  і встановити, що найбільше у деревах тут акумулюються Cu, Zn, Mn.

1. *Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв* / Под ред. С. Г. Малахова. — М.: Моск. отд-ние гидрометеоиздата, 1983. — 128 с.
2. *Дмитриев М. Т., Казнина Н. И., Пинигина И. А.* Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде: Справ. изд. — М.: Химия, 1989. — 368 с.
3. *Ландшафтно-геохимична карта України.* — 1 : 500 000 // Комплект геологических карт Украины / Под ред. А. И. Зарицкого. — К.: УкрДГРІ, 1994.
4. *Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами.* — М.: Гидрометеоиздат, 1981. — 55 с.
5. *Мицкевич Б. Ф.* Геохимичні ландшафти Українського щита. — К.: Наук. думка, 1971. — 176 с.
6. *Самчук А. І., Курасва І. В., Єгоров О. С. та ін.* Важкі метали у ґрунтах Українського Полісся та Київського мегаполісу. — К.: Наук. думка, 2006. — 108 с.

Ин-т геохимии, минералогии та рудообразования  
им. М. П. Семененка НАН Украины, Київ

Надійшла 23.04.2007

*РЕЗЮМЕ.* Изучено распределение тяжелых металлов и их подвижных форм в почвах Украинского Полесья с разной техногенной нагрузкой.

*SUMMARY.* Distribution of heavy metals and their mobile forms in soils of Ukrainian Polessie has been studied with different technogenic load.