

ФІТОТОКСИКОЛОГІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТАЛІВ ЗА ІНТЕНСИВНІСТЮ ЇХ БІОКУМУЛЯЦІЇ В УМОВАХ ЗЕЛЕНИХ ПАРКОВИХ ЗОН м. КИЄВА

О.І. Бондар, Н.О. Риженко

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

Розроблено фітотоксикологічну класифікацію металів за інтенсивністю їх біокумуляції у системі «грунт — рослина» в умовах Голосіївсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених зон. Встановлено, що до металів з інтенсивною біокумуляцією відносяться Cd, Pb, Zn, Cu: середньоарифметичний коефіцієнт біокумуляції цих металів більше 2,24. До металів із низькою здатністю переходу у рослини віднесено Co. Виявлено закономірність існування широкого діапазону коефіцієнтів біокумуляції для ультрамікроелементів та вузького — для мікроелементів стосовно всієї сукупності досліджуваних рослин. Біокумуляція металів у рослинах, які зростають на ґрунтах із більшим їх умістом унаслідок високого антропогенного навантаження (Голосівський проспект), є меншою. За інтенсивністю біокумуляції на всій досліджуваній території отримано такий ряд металів: Zn > Cd > Pb > Cu > Ni > Co.

Ключові слова: метали, фітотоксична класифікація, біокумуляція, зелені паркові зони.

З'ясування стану природних екосистем в умовах нинішніх темпів забруднення, особливо токсичними металами (Cd, Pb, Cu, Co, Zn, Ni), є необхідним заходом для оцінки якості навколишнього природного середовища та охорони природи загалом [1–4]. До найважливіших осередків природних екосистем у великих містах (які відносяться до олігогеморобних та мезагеморобних екосистем) належать зелені паркові зони, репрезентативними представниками яких є Голосіївсько-Феофанівська (ГФЗЗ) та Конча-Заспівська (КЗЗ) зелені зони м. Києва [2]. Виявлення поведінки, рівня забруднення, ранжирування металів за ступенем токсичності їх впливу на фітокомпонент у зелених зонах можливо за здійснення їх широкомасштабного моніторингу [5, 6]. Наразі встановлення залежності «доза — ефект» у природній екосистемі, що дає чітке уявлення про токсичність полютанта щодо рослин, є ускладненим через біорізноманіття фітоценозів, різний термін вегетації видів, едафічні умови зростання. Однак виявлення ступеня токсичності в природних екосистемах металів є очевидно необхідним, тому що дає можливість прогнозувати негативні наслідки

у разі забруднення цими полютантами, а також встановити закономірності їх впливу (поведінки) на фітокомпонент, який, без сумніву, серед живих організмів є головним акумулятором металів [3, 7]. Численними експериментами доведено здатність рослин захищатись від шкідливої дії металів [3, 7]. Різні механізми такого захисту описано у багатьох працях [3, 7–9]. Шляхи надходження металів у рослини є доволі різноманітними, однак основні з них — кореневий та фоліарний. Тому встановлення фітотоксикологічного класу небезпечності металів за показником біокумуляції має вагомое практичне значення [7–9].

Мета роботи — розробити фітотоксикологічну класифікацію металів (Cd, Cu, Co, Pb, Ni, Zn) за показником біокумуляції для оцінки рівня їх небезпечності в умовах ГФЗЗ та КЗЗ у м. Києві.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Обидві досліджувані паркові зони розміщуються на стику Правобережного Полісся та Лісостепу України у межах теплої середньозволоженої агрокліматичної зони. Зокрема, ГФЗЗ є характерною лісопарковою зоною детального проектування, створеною методом ландшафтної лісництва.

Клімат ГФЗЗ і КЗЗ — помірно-континентальний; рельєф характеризується наявністю ярів з крутими схилами з напрямком у бік міста, до долини Дніпра. Більшу частину території ГФЗЗ (62%) становлять дубові насадження з середнім віком 86 років. За ними — насадження граба (22%). Голосіївський ліс — це своєрідна грабова діброва. Її перший ярус складається, переважно, з дуба червоного, що на родючих ґрунтах доповнюється ясенем звичайним. Другий ярус утворюють тіньові породи: липа, граб, клен, в'яз, лісова груша, яблуня тощо. Підлісок складають ліщина, місцями — шипшина, терен, верболіз, дрік красивий та інші чагарники й напівчагарники. На більшій частині території КЗЗ ростуть соснові та сосново-дубові ліси з середнім віком 70 років. У ГФЗЗ і КЗЗ переважає ландшафт закритих просторів, у Голосієві і Феофанії — це насадження дуба і граба, частка лісистості становить 40% території. Насадження соснових та дубово-соснових лісів у Конча-Заспі становлять 25% території. Як ГФЗЗ, так і КЗЗ призначено для масового відпочинку [2, 5, 6]. Вибір пробних площ обґрунтовано орографічно. Пробна площа становить 0,25 га (50×50 м).

Територія ГФЗЗ та КЗЗ — це частина ландшафту підвищених горбисто-увалистих рівнин на палеоген-неогеновій основі, складених лесоподібними суглинками, що підстелені пісками та валунними суглинками із ясно-сірими та сірими лісовими ґрунтами, у межах досліджуваної його частини — під грабово-дубовими лісами. Завдяки характерним для них опуклим формам рельєфу та суглинковим ґрунтам такі поверхні, потенційно, відносяться до зон інтенсивного виносу речовини (й техногенних забруднювачів).

Експериментальні дані отримано впродовж 2002–2012 рр. Відбір зразків ґрунту та рослин здійснювали на основі використання методу профілювання, що дає змогу виявити й охарактеризувати особливості ґрунту, обумовлені різницями у рельєфі, характер рослинного покриву, умови зволоження, ґрунтоутворювальні породи та

закономірності розподілу ґрунтів щодо їх формування за культурно-технічним станом (оцінка природних умов, зміна компонентів екосистеми внаслідок господарчої діяльності людини). Напрямок профілю обирався, насамперед, з урахуванням особливості рельєфу, всіх його типових форм і елементів, що дало можливість характеризувати геохімічно споріднений ряд ґрунтів. За лініями профілю закладали ґрунтові розрізи у всіх основних геоморфологічних виділах (міжріччя, тераси тощо). Контрольні розрізи розміщували так, щоб кожен з них характеризував ґрунт певної форми рельєфу (приводороздільні і придолинні схили, дно балок). Під час відбору зразків ґрунту зважали на характер рослинності, рослинні асоціації. У розрізі відбирали зразки у чотириразовій повторності, з яких готували змішаний усереднений зразок ґрунту для кожного горизонту обсягом близько 1 кг [10]. З кожної пробної площі відбирали рослинні зразки, з яких готували змішаний усереднений зразок певної фракції фітомаси обсягом близько 100 г. Аналізували надземну фракцію фітомаси ранньоквітучих рослин; фотосинтетичну та генеративну фракцію фітомаси дерев і чагарників. Для визначення вмісту важких металів та розподілення їх форм у об'єктах навколишнього природного середовища (ґрунт, рослини) використовували метод хроматографування у тонкому шарі сорбенту (№ 50–97 від 19.06.97 р.) [11]. Для аналізу одержаних результатів користувались кореляційним та дисперсійним статистичними методами обробки. Рівень достовірності обчислювали при $P_{0,95}$.

На всій досліджуваній території було проведено вимірювання вмісту металів у ґрунті та рослинах і розраховано коефіцієнт біокумуляції (Кб) за рівнянням [3–6, 7–9]:

$$K_b = \frac{Conc_{\text{росл}}}{Conc_{\text{ґрунт}}},$$

де Кб — коефіцієнт біокумуляції, $Conc_{\text{росл}}$ — концентрація у рослині сух. реч. (частина фітомаси), мг/кг, $Conc_{\text{ґрунт}}$ — концентрація у ґрунті, мг/кг 1Н НСІ.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Уміст Cd, Pb, Ni, Co, Zn, Cu у надземній фітомасі рослин та ґрунті досліджуваної території наведено у табл. 1. Коефіцієнти біокумуляції металів та їх середньоарифметичні значення для кожної рослини та окремого елемента, коефіцієнти варіації (V) та осциляції (Kr), стандартне відхилення (S) та дисперсію (S^2), розмах варіації (R) у системі «ґрунт – рослина» ГФЗЗ та КЗЗ наведено у табл. 2.

Оскільки коефіцієнт варіації є мірою відносного розкиду значення сукупності, за цим статистичним показником можна зробити висновок про амплітуду (ширину діапазонів) Кб кожного досліджуваного металу [10, 12]. Виявлено, що найменше значення V належить міді, а найбільше – нікелю. Відповідно до коефіцієнта варіації за критерієм біокумуляції, низхідний ряд є таким: Ni > Pb > Co > Cd > Cu > Zn. Значення V та Kr , які демонструють відповідно – міру відносного розкиду значень сукупності та відносні зміни між крайніми значеннями (приблизно середні), свідчать про неоднорідність вибірок, тобто про істотну різницю в інтенсивності біокумуляції одного металу різними видами рослин. Зауважимо, що коефіцієнти кореляції міді та цинку, що є життєво необхідними мікроелементами для рослин, мали найнижчі значення V за критерієм біокумуляції. Натомість нікель, свинець, кобальт та кадмій, фізіологічну роль яких для рослин всебічно не висвітлено, характеризувались високими значеннями V [3, 7–9, 13]. Це надає змогу зробити висновок про закономірність існування широкого діапазону інтенсивності біокумуляції ультрамікроелементів та вузького – інтенсивності біокумуляції мікроелементів відносно всієї сукупності рослин. Така закономірність підтверджує принцип екологічної конгруентності (відповідності), згідно з якою живі складові екосистеми виробили відповідні пристосування, скоординовані абіотичним середовищем [1]. Значний розкид сукупностей Кб ультрамікроелементів, очевидно, зумовлено кількома чинниками: захисні бар'єри рослинного організму не дають можливості поглинати

ультрамікроелементи у великих кількостях на незабруднених безпечних ґрунтах в оліго- та мезагеморобних екосистемах; крім того, амплітуда фізіологічно необхідного вмісту для кожного виду рослин є доволі істотною, що може пояснюватись специфічною роллю ультрамікроелементів для рослин. Поряд із тим необхідність міді та цинку є очевидною, оскільки розкид сукупностей Кб – незначний, тобто фізіологічна необхідність цих елементів є сталою.

За думкою багатьох учених, види та родини рослин різняться хімізмом, і тільки через брак досліджень у цьому напрямі доводиться обмежуватись під час класифікації їх морфологічними ознаками. Внутрішньовидова амплітуда за хімічним складом, зазвичай, стосується кількісних відносин за порівняння постійності специфіки компонентів, їх формул, іншими словами, якісного складу. Слід додати, що якісний склад хімічних компонентів особин виду є доволі постійним та характеризує видові радикали [3]. Водночас міжвидова амплітуда хімічного складу за кількісними значеннями може бути доволі значною [3, 7–9].

Найвищим Kr відзначався нікель, що свідчить про достовірно широкий діапазон значень Кб вказаного металу для різних рослин. Фізіологічна роль нікелю для рослинного організму відома мало, наразі зафіксовано широку амплітуду інтенсивності поглинання цього металу певними рослинами. Численними дослідженнями продемонстровано, що діапазон нормальних концентрацій буде менш широким для елементів, що легко проникають в метаболічно важливі центри рослин [3, 7].

У межах одного і того самого виду рослин Кб різняться в рази залежно від умов зростання. Так, Кб кадмію для дуба звичайного у кілька разів є вищим у КЗЗ, ніж у ГФЗЗ, що може бути зумовлено різним рівнем надходження цього металу у ґрунт, а також відмінністю едафічних та інших умов зростання, віком рослин тощо (табл. 1, 2). Адже відомо, що деревина багаторічних деревних видів є місцем депонування елементів живлення та полютантів, які надходять до організму рослини. Влас-

Таблиця 1

Біокумуляція металів рослинами Голосівсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених зон м. Києва

Рослини	Cd			Cu			Zn			Pb			Co			Ni		
	Грунт	Рос-лина	Кб	Грунт	Рос-лина	Кб	Грунт	Рос-лина	Кб	Грунт	Рос-лина	Кб	Грунт	Рос-лина	Кб	Грунт	Рос-лина	Кб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Гусяча цибуля жовта 1*	1,0± 0,1	0,15± 0,02	0,15	3,0± 0,2	9,0± 1,5	3,0	3,0± 0,4	2,25± 0,2	0,75	3,85± 0,4	7,50± 0,8	1,95	4,5± 0,5	0,15± 0,05	0,03	3,5± 0,4	0,15± 0,01	0,04
Матій-мачуха звичайна 1	0,5± 0,1	3,20± 0,4	6,4	5,52± 0,4	22,4± 2,6	4,1	0,8± 0,1	4,80± 0,4	6	1,94± 0,2	19,20± 3,2	9,9	0,8± 0,1	0,32± 0,08	0,4	1,1± 0,1	9,60± 1,0	8,7
Анемона жовтецева 1	1,0± 0,1	2,30± 0,2	2,3	3,0± 0,1	13,8± 1,0	4,6	3,0± 0,3	3,45± 0,3	1,2	3,85± 0,2	11,50± 2,3	3	4,5± 0,5	2,30± 0,3	0,51	3,5± 0,4	6,90± 0,9	1,97
Пшінка весняна 1	0,6± 0,15	0,05± 0,01	0,08	1,6± 0,08	7,7± 0,8	4,8	0,8± 0,15	1,65± 0,2	2	2,94± 0,3	6,05± 0,58	2,1	0,6± 0,07	1,10± 0,07	1,83	1,0± 0,1	3,30± 0,3	3,3
Медунка неясна 1	0,6± 0,1	0,05± 0,01	0,08	2,7± 0,2	8,4± 0,85	3,1	0,6± 0,1	2,80± 0,1	7	0,44± 0,1	6,30± 0,67	14,3	1,2± 0,1	1,40± 0,1	1,2	1,1± 0,1	4,20± 0,4	3,82
Зірочник ландцего листий 1	0,5± 0,15	0,05± 0,01	0,1	5,52± 0,5	24,0± 5,0	4,4	0,8± 0,15	7,50± 0,8	9,4	0,64± 0,1	0,05± 0,01	0,1	0,8± 0,1	0,05± 0,01	0,06	0,9± 0,1	2,40± 0,3	2,7
Конвалія травнева 1	0,5± 0,15	2,5± 0,3	5	5,52± 0,5	20,0± 6,0	3,6	0,8± 0,1	7,50± 0,9	9,4	0,64± 0,1	5,0± 0,5	7,8	0,8± 0,1	0,05± 0,01	0,06	0,9± 0,1	2,40± 0,3	2,7
Звиробій звичайний 1	0,5± 0,15	0,05± 0,01	0,1	5,52± 0,6	20,0± 5,0	3,6	0,8± 0,1	2,50± 0,2	3,1	0,64± 0,1	7,5± 0,8	11,7	0,8± 0,1	0,05± 0,01	0,06	0,9± 0,1	1,00± 0,1	1,1
Граб звичайний 2**	1,0± 0,2	0,1± 0,015	0,1	3,0± 0,1	3,8± 0,6	1,3	3,0± 0,3	3,5± 0,3	1,2	3,85± 0,3	3,5± 0,4	0,9	4,5± 0,4	0,4± 0,05	0,1	3,5± 0,3	0,01± 0,005	0,003

Закінчення табл. 1

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1																		
Грб звичайний 2	0,1± 0,16	0,8± 0,02	8	0,9± 0,1	3,8± 0,9	4,2	1,4± 0,1	3,2± 0,2	2,3	1,94± 0,2	2,0± 0,3	1	0,6± 0,1	0,1± 0,03	0,2	0,7± 0,1	0,01± 0,005	0,01
Верба козяча 2	1,0± 0,14	0,8± 0,02	0,8	3,0± 0,4	3,8± 0,5	1,3	3,0± 0,3	4,5± 0,5	1,5	3,85± 0,3	0,5± 0,1	0,13	4,5± 0,6	1,4± 0,1	0,31	3,5± 0,4	0,01± 0,005	0,003
Липа серцелиста 2	1,0± 0,15	0,8± 0,25	0,8	3,0± 0,2	5,8± 0,5	1,93	3,0± 0,25	3,8± 0,15	1,3	3,85± 0,3	0,5± 0,1	0,13	4,5± 0,6	0,1± 0,05	0,02	3,5± 0,4	0,01± 0,005	0,003
Клен гостролистий 2	1,0± 0,14	8,8± 0,4	8,8	3,0± 0,1	0,1± 0,01	0,03	3,0± 0,25	4,0± 0,2	1,3	3,85± 0,3	0,1± 0,03	0,03	4,5± 0,5	0,9± 0,05	0,2	3,5± 0,3	1,00± 0,1	0,3
Бузина чорна 1	0,6± 0,07	1,3± 0,15	2,2	1,6± 0,08	0,3± 0,05	0,2	0,8± 0,1	2,0± 0,1	2,5	2,94± 0,3	5,5± 0,7	1,9	0,6± 0,1	0,4± 0,03	0,7	1,0± 0,1	0,01± 0,005	0,01
Грб звичайний 1	0,5± 0,06	0,3± 0,08	0,6	1,6± 0,07	2,3± 0,1	1,4	0,8± 0,1	3,0± 0,1	3,8	0,84± 0,05	1,0± 0,2	1,2	0,5± 0,1	0,7± 0,03	1,4	1,1± 0,1	0,01± 0,005	0,01
Клен гостролистий 1	0,7± 0,1	0,3± 0,01	0,43	1,3± 0,1	1,3± 0,1	1	0,8± 0,1	2,5± 0,3	3,1	0,18± 0,01	1,0± 0,1	5,6	0,8± 0,1	0,7± 0,03	0,9	0,2± 0,03	0,01± 0,005	0,05
Липа серцелиста 3***	0,2± 0,04	1,8± 0,1	9	5,1± 0,6	1,3± 0,2	0,3	0,8± 0,15	5,0± 0,6	6,3	1,94± 0,4	2,5± 0,3	1,3	3,00± 0,4	0,9± 0,03	0,3	3,0± 0,4	0,01± 0,005	0,003
Грб звичайний 3	0,2± 0,05	1,8± 0,2	9	5,1± 0,5	0,3± 0,2	0,1	0,8± 0,15	1,5± 0,2	1,9	1,94± 0,5	1,5± 0,1	0,8	3,00± 0,4	0,10± 0,05	0,03	3,0± 0,2	0,01± 0,005	0,003
Дуб звичайний 3	0,2± 0,04	0,7± 0,1	3,5	0,9± 0,2	2,5± 0,3	2,8	0,8± 0,1	2,0± 0,3	2,5	1,34± 0,4	0,01± 0,005	0,01	0,6± 0,1	0,01± 0,005	0,02	1,0± 0,02	2,5± 0,2	2,5
Черемха звичайна 4****	0,2± 0,04	0,5± 0,1	2,5	1,8± 0,1	3,0± 0,3	1,7	2,8± 0,3	2,5± 0,4	0,9	1,0± 0,1	0,01± 0,005	0,01	0,01± 0,005	0,005± 0,005	0,5	1,0± 0,03	1,5± 0,1	1,5
Дуб звичайний 4	0,1± 0,05	0,7± 0,25	7	1,5± 0,1	2,0± 0,1	1,3	2,5± 0,3	2,4± 0,3	0,96	0,5± 0,1	0,01± 0,005	0,02	0,01± 0,005	0,005± 0,005	0,5	0,7± 0,1	3,0± 0,3	4,3

Примітка (до табл. 1, 2): 1* — Дилорівська та 2** — Горіхуватська балки Ілосіпської зеленої паркової зони; 3*** — Феофанівська та 4**** — Конча-Заспівська зелені паркові зони.

тивість гіперакумуляції металів є відносно рідкісним феноменом у царині рослин, механізми толерантності та гіперакумуляції рослин відносно металів наразі активно дискутуються у науковій літературі [3, 7–9, 13].

ляції рослин відносно металів наразі активно дискутуються у науковій літературі [3, 7–9, 13].

Таблиця 2

Коефіцієнти біокумуляції металів у системі «грунт — рослина»

Рослини	Cd	Cu	Zn	Pb	Co	Ni	Кб _{ср.}
Гусяча цибуля жовта 1*	0,15	3,0	0,75	1,95	0,03	0,04	0,99
Мати-й-мачуха звичайна 1	6,4	4,1	6	10	0,4	8,7	5,93
Анемона жовтецева 1	2,3	4,6	1,2	3	0,51	1,97	2,26
Пшінка весняна 1	0,08	4,8	2	2,1	1,83	3,3	2,35
Медунка неясна 1	0,08	3,1	7	14,3	1,2	3,82	4,92
Зірочник ланцетолистий 1	0,1	4,4	9,4	0,1	0,06	2,7	2,79
Конвалія травнева 1	5	3,6	9,4	7,8	0,06	2,7	4,76
Звіробій звичайний 1	0,1	3,6	3,1	11,7	0,06	1,1	3,28
Граб звичайний 2**	0,1	1,3	1,2	0,9	0,1	0,003	0,60
Граб звичайний 2	8	4,2	2,3	1	0,2	0,01	2,62
Верба козяча 2	0,8	1,3	1,5	0,13	0,31	0,003	0,67
Липа серцелиста 2	0,8	1,93	1,3	0,13	0,02	0,003	0,70
Клен гостролистий 2	8,8	0,03	1,3	0,03	0,2	0,3	1,78
Бузина чорна 1	2,2	0,2	2,5	1,9	0,7	0,01	1,25
Граб звичайний 1	0,6	1,4	3,8	1,2	1,4	0,01	1,40
Клен гостролистий 1	0,43	1	3,1	5,6	0,9	0,05	1,85
Липа серцелиста 3***	9	0,3	6,3	1,3	0,3	0,003	2,87
Граб звичайний 3	9	0,1	1,9	0,8	0,03	0,003	1,97
Дуб звичайний 3	3,5	2,8	2,5	0,01	0,02	2,5	1,89
Черемха звичайна 4****	2,5	1,7	0,9	0,01	0,5	1,5	1,19
Дуб звичайний 4	7	1,3	0,96	0,02	0,5	4,3	2,35
Кб _{ср.}	3,19	2,32	3,26	3,05	0,44	1,57	–
S — станд. відх.	3,43	1,61	2,72	4,27	0,51	2,19	–
S ² — дисперс.	11,78	2,60	7,42	18,26	0,26	4,80	–
Розмах варіації: x _{max} – x _{min}) (R)	8,92	4,77	8,65	14,29	1,81	8,7	–
Коефіцієнт варіації V, %	105	67,74	81,61	136,9	111,1	140,9	–
Коефіцієнт осциляції (K _r , %)	279	205,43	265,5	469	407	579,6	–

У процесі дослідження розроблено фітотоксикологічну класифікацію металів (Cd, Pb, Ni, Co, Zn, Cu) за інтенсивністю їх біокумуляції. Фітотоксикологічна оцінка небезпечності металів передбачала віднесення їх до різних класів за Кб. За формулою Стерджеса кількість класів розраховується за формулою [12]:

$$k = 1 + 3,32 \lg(n),$$

де k – кількість класів за певною ознакою; n – кількість варіантів. Наразі розглядається 21 варіант рослин на всій досліджуваній території (табл. 1, 2). За цією формулою рекомендована кількість налічує п'ять класів. Однак у токсикології прийнято оперувати чотирма класами небезпечності. З огляду на це, в розрахунках фітотоксикологічних класів небезпечності металів за Кб використовували чотири класи [14]. Для віднесення металів до різних фітотоксикологічних класів були використані середньоарифметичні значення Кб кожного металу за всією вибіркою рослин [12]:

$$1) \text{Lim} = x_{\text{max,сер.арифм}} - x_{\text{min,сер.арифм}} = 30 - 0,003 = 29,997.$$

Для ранжирування класів необхідно розрахувати розмах класу dx :

$$2) dx = \text{Lim}/k = 29,997/4 = 7,5;$$

$$4) \text{початок IV класу} = x_{\text{min}} - dx/2 = 0,003 - 7,5/2 = -3,747;$$

$$5) \text{кінець IV класу} = x_{\text{min}} + dx/2 - \sigma = 0,003 + 7,5/2 - 0,001 = 3,752, \text{ де } \sigma - \text{точність вимірювання};$$

$$6) \text{початок III класу} = \text{кінець попереднього класу} + \sigma = 3,752 + 0,001 = 3,753;$$

$$7) \text{кінець III класу} = \text{отриманий початок цього класу} + dx - \sigma = 3,753 + 7,5 - 0,001 = 11,252;$$

$$8) \text{початок II класу} = \text{кінець попереднього класу} + \sigma = 11,252 + 0,001 = 11,253;$$

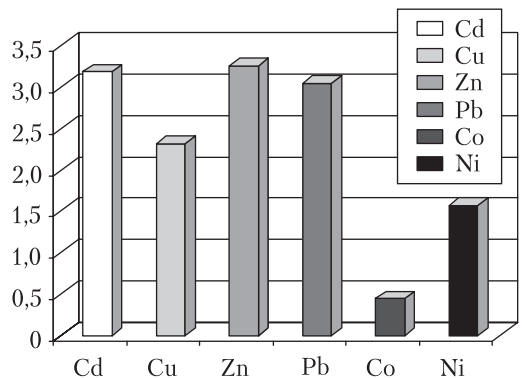
$$9) \text{кінець II класу} = \text{отриманий початок цього класу} + dx - \sigma = 11,253 + 7,5 - 0,001 = 18,752;$$

$$10) \text{початок I класу} = \text{кінець попереднього класу} + \sigma = 18,752 + 0,001 = 18,753;$$

$$11) \text{кінець I класу} = \text{отриманий початок цього класу} + dx - \sigma = 18,753 + 7,5 - 0,001 = 26,282.$$

Класи, їх розмах, віднесення до класів небезпечності металів за значенням Кб наведено у табл. 3.

За середньоарифметичними значеннями Кб металів у рослинах на всій досліджуваній території отримано такий ряд інтенсивності біокумуляції: $Zn > Cd > Pb > Cu > Ni > Co$ (рис.).



Середньоарифметичні значення коефіцієнтів біокумуляції металів

Таблиця 3

Фітотоксикологічна класифікація металів за коефіцієнтом біокумуляції у рослинах Голосіївсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених зон

Кб	Класи небезпеки			
	I Інтенсивна	II Середня	III Помірна	IV Низька
	>2,24	2,23–1,52	1,51–0,8	<0,79
	Cd, Pb, Zn, Cu	Ni	–	Co

За допомогою статистичної обробки даних виявлено, що до металів з інтенсивною біокумуляцією належать Cd, Pb, Zn, Cu – середньоарифметичний Кб цих металів становить понад 2,24 (табл. 3). До металів із низькою здатністю переходу у рослини віднесено Со. Отже, у екосистемах зелених зон м. Києва майже всі досліджувані метали (крім кобальту) відносяться до елементів інтенсивного або середньо інтенсивного поглинання. Використання інформації стосовно належності до фітотоксикологічних класів небезпечності за Кб може мати практичне застосування під час прогнозування впливу металів у інших оліго- та мезогеморобних екосистемах.

ВИСНОВКИ

Розроблено фітотоксикологічну класифікацію металів за інтенсивністю їх біокумуляції у системі «грунт – рослина» в умовах ГФЗЗ та КЗЗ за чотирма фітотоксикологічними класами. Такі як Cd, Ni, Pb, Zn, Cu відносяться до елементів інтенсивного або середньо інтенсивного поглинання рослинами. До металів із низькою біокумуляцією віднесено Со. Виявлено закономірність існування широкого діапазону коефіцієнтів біокумуляції для ультрамікроелементів (Ni, Co, Pb, Cd) та вузького – для мікроелементів (Cu, Zn). За інтенсивністю біокумуляції (Кб) отримано такий ранжируваний ряд металів: $Zn > Cd > Pb > Cu > Ni > Co$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. – М., 1994. – 367 с.
2. Бондар О.І. Екологічний стан м. Києва / О.І. Бондар, В.А. Трокоз, Н.О. Риженко. – К., 2008. – 95 с.
3. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю.В. Алексеев. – СПб., 2008. – 216 с.
4. Кучерявий В.П. Екологія / В.П. Кучерявий – Л., 2001. – 500 с.
5. Риженко Н.О. Екологічний моніторинг рекреаційних ландшафтів Голосіївсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених зон м. Києва / Н.О. Риженко // Екологічні науки. – 2015. – № 10 (3). – С. 202–225.
6. Бондар О.І. Екологічний моніторинг м. Києва / О.І. Бондар, Н.О. Риженко // Агроекологічний журнал. – 2010. – № 2. – С. 41–46.
7. Шербаченко О.І. Важкі метали як токсичний фактор забруднення природного середовища: стійкість і адаптація рослин до їх впливу / О.І. Шербаченко // Наукові записки державного природознавчого музею. – 2014. – Вип. 30. – С. 157–182.
8. Quantitative and risk analysis of heavy metals in selected leafy vegetables [Електронний ресурс] / P. Mamatha, S. Salamma, A.V.N. Swamy and B. Ravi Prasad Rao // Der Pharma Chemica. – 2014. – No. 6 (3). – P. 179–185 – Режим доступу: [http://derpharmachemica.com/archive.html]
9. Brian J. Alloway. Heavy metals in soils. Trace elements and Metalloids in Soils and their Bioavailability / Third ed. Alloway Brian J. – UK, Springer, 2010. – 235 p.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
11. Методичні вказівки по визначенню Hg, Zn, Co, Cd, Cu, Ni в ґрунті, рослинах, у воді методом тонкошарової хроматографії / В.М. Кавецький, Н.А. Макаренко, А.М. Лішук та ін. // Методические указания по определению микроколичеств пестицидов в пищевых продуктах в кормах и внешней среде. – К.: Минэкологии Украины, 2001. – Вып. 29. – С. 18–24.
12. Ивантер Э.В. Элементарная биометрия: учеб. пособие / Э.В. Ивантер, А.В. Коросов. – Петрозаводск, 2010. – 104 с.
13. Cempel M. Nickel: A Review of Its Sources and Environmental Toxicology / M. Cempel // Polish J. of Environ. Stud. – 2006. – Vol. 15, No. 3. – P. 375–382.
14. Куценко С.А. Основы токсикологии: научно-методическое издание / С.А. Куценко. – СПб., 2004. – 720 с.

REFERENCES

1. Reymers, N.F. (1994). *Jekologija (teorii, zakony, pravila, principy i gipotezy)* [Ecology (theories, grounds, principles, rules and hypothesis)]. Moscow [in Russian].
2. Bondar, O.I., Trokoz, V.A. & Ryzhenko, N.O. (2008). *Ekolohichnyi stan m. Kyjiva* [Ecological state of Kyiv]. Kyiv: AMG [in Ukrainian].
3. Alekseyev, YU.V. (2008). *Tjzhelye metally v agrolandshafte* [Heavy metals in agrolandscape]. Sankt-Peterburg: PIYaPh [in Russian].
4. Kucheryavyi, V.P. (2001). *Ekolohiia* [Ecology]. Lviv: Svit [in Ukrainian].
5. Ryzhenko, N.O. (2015). *Ekolohichnyi monitorynh rekreatsinykh landshaftiv Holosiivsko-Feofanivskoi*

- ta Koncha-Zaspivskoi zelenykh zon m. Kyieva [Ecological monitoring in recreation landscapes of 'Holosiyiv-Pheophania' and 'Koncha-Zaspa' green parks in Kyiv]. *Ekolohichni nauky – Ecological sciences*, 10 (3), 202–225 [in Ukrainian].
6. Bondar, O.I. & Ryzhenko, N.O. (2010). Ekolohichni monitorynh m. Kyieva [Ecological monitoring of Kyiv]. *Ahroekolohichnyy zhurnal – Agroecological Journal*, 2, 41–46 [in Ukrainian].
 7. Scherbachenko, O.I. (2014). Vazhki metaly yak toksychnyi faktor zabrudnennia pryrodnoho sere-dovyshcha: stiikist i adaptatsiia roslyn do yikh vplyvu [Heavy metals as a toxic factor of environment pollution: stability and adaptation of plants to their influence]. *Naukovi zapysky derzhavnogo pryrodoznavchoho muzeiu – Scientific notes of the State Natural History Museum*, 30, 157–182 [in Ukrainian].
 8. Mamatha, P., Salamma, S., Swamy, A.V.N. & Ravi Prasad Rao, B. (2014). Quantitative and risk analysis of heavy metals in selected leafy vegetables. *Der Pharma Chemica*, 6 (3), 179–185. Retrieved from <http://derpharmachemica.com/archive.html> [in English].
 9. Brian J. (2005). *Alloway. Heavy metals in soils. Trace elements and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. (3d ed.). UK: Springer [in English].
 10. Dospheov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta [Methodology of field experiment]*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
 11. Kavetsky, V.N., Makarenko, N.A., Lishchuk, A.M., Bugogis, A.M. & Kavetsky, S.V. (2001). Metodychni vkazivky po vyznachenniu Hg, Zn, Co, Cd, Cu, Ni v gruntі, roslynakh, u vodi metodom tonkosharovoі khromatohrafii [Chromatography Methods of the Hg, Zn, Co, Cd, Cu, Ni determination in soil, plant and water]. *Methodic of determination pesticides residues in food, forage and environment*. (Vol. 29). Kyiv: Minekolohiyi Ukrainy [in Ukrainian].
 12. Ivanter, Je.V., Korosov, A.V. (2010). *Jelementarnaja biometrija: ucheb. Posobie [Elementary biometrics: Textbook]*. Petrozavodsk: PetrGU [in Russian].
 13. Cempel, M. (2006). Nickel: A Review of Its Sources and Environmental Toxicology. *Polish J. of Environ. Stud.*, 15, 3, 375–382 [in English].
 14. Kucenko, S.A (2004). *Osnovy toksikologii: nauchno-metodicheskoe izdanie [Principles of Toxicology: scientific and methodologic edition]*. Sankt-Peterburg: Folyant [in Russian].

УДК 550.4 : 502.56/568

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ АГРОСЕЛІТЕБНИХ ЛАНДШАФТІВ УКРАЇНИ

І.В. Кураєва¹, Ю.Ю. Войтюк¹, А.І. Самчук¹, О.П. Локтіонова¹, О.Г. Мусіч²

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

² ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища України»

Досліджено закономірності розподілу мікроелементів у ґрунтах під впливом промислових підприємств (Маріупольська та Шосткинська ділянки). За геохімічними критеріями виділено техногенні асоціації важких металів у забруднених ґрунтах агроландшафтів під впливом підприємств чорної металургії (Pb 23,2 > Cu 8,4 > Zn 5,5 > Cr 3,9 > Mn 2,5) та хімічної промисловості (Pb 23 > Ni 16 > Cr 9 > Co 5 > Ag 4 > Cu 2). Встановлено, що на техногенно-забруднених територіях змінюються фізико-хімічні показники ґрунтових відкладів; збільшується рухливість важких металів. Обґрунтовано біогеохімічні критерії виділення техногенно забруднених ділянок за наявністю мікроорганізмів у ґрунтах, не характерних для фонових територій.

Ключові слова: мікроелементи, агроландшафти, мікроорганізми.

Ландшафтно-геохімічні умови України сприяють розвитку аграрної галузі. Однак

насиченість території країни промисловими підприємствами різного профілю істотно вплинула на мікроелементний склад ґрунтового і рослинного покриву. Особливу роль для розуміння процесів міграції та