© Риженко Н. О.

УДК 504.064

ПРИНЦИПИ ФІТОТОКСИКОЛОГІЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТАЛІВ ТА РОСЛИН В УМОВАХ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Н. О. РИЖЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, професор кафедри екологічної безпеки

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

E-mail: alsko2011@ukr.net

Анотація. *Оскільки фітокомпонент здебільшого визначає середовище біогеоценозу, обґрунтування фітотоксикологічної оцінки ризику є вкрай актуальним. Мета дослідження полягала у ранжируванні металів та рослин за вмістом у фітомасі металів в умовах природних екосистем Голосіївсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених зон м Києва. Розроблено фітотоксикологічну класифікацію металів за вмістом їх у фітомасі рослин в умовах природних екосистем. Запропоновано алгоритм ранжирування металів за чотирма класами небезпечності за вмістом їх у фітомасі. Виявлено, що найбільшим рівнем умісту у фітомасі рослин природних екосистем характеризується мідь, найменшим – кадмій та кобальт. Відмічено, що цинк, який є важливим фізіологічно необхідним мікроелементом, та свинець, чия фізіологічна роль досконально не досліджена, відносяться до середнього фітоткосикологічного класу. Запропоновано ранжирування рослин за вмістом металів у їх фітомасі в умовах природних екосистем. До рослин із низьким та помірним умістом металів у фітомасі відносяться: граб звичайний; клен гостролистий; дуб звичайний; черемха звичайна; верба козяча; липа серце листа; бузина чорна. мати-й–мачуха звичайна; анемона жовтецева відносяться до рослин із високим умістом металів у фітомасі. Віднесення до фітотоксикологічних класів металів та рослин дозволяє охарактеризувати фітотоксикологічні особливості металів та виявити чутливість рослин стосовно цих елементів. Це дає можливість прогнозувати ризик та потенційну небезпеку металів для природних екосистем.*

Ключові слова: *метали, фітотоксикологічна класифікація, природні екосистеми*

Актуальність. Нагромадження металів у надмірних концентраціях у рослинах екосистем негативно впливає на біопродукційні процеси. Ці елементи діють на біотичні системи як біохімічні агенти, порушуючи ультраструктуру клітин, фізіологічні процеси і метаболізм рослин, впливають на видовий склад угруповань, внутрішньовидове різноманіття, процеси розмноження і

© Риженко Н. О.

відновлення, продуктивність і стійкість до патогенів [1]. Оскільки фітокомпонент здебільшого визначає середовище біогеоценозу, обґрунтування фітоткосикологічної оцінки ризику є вкрай актуальним. У великих містах природні екосистеми приурочені до паркових територій, типовими представниками яких є Голосіївсько-Феофанівська (ГФЗЗ) та Конча-Заспівська (КЗЗ) зелені паркові зони. Фітотоксикологічна оцінка ризику поведінки металів у природних екосистемах ґрунтується насамперед на класифікаційних засадах. Адже оцінка потенційної небезпечності токсиканту для фітокомпонента має передбачати ранжування металів як забрудників, так і видів рослин за вмістом у фітомасі цих елементів (біокумуляцією або іншими критеріями токсичності).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. 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 [1-6]. 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 [1, 3, 4]. Водночас міжвидова амплітуда хімічного складу за кількісними значеннями може бути доволі значною [1-6]. Класифікації небезпечності металів або ранжирування рослин за вмістом металів на сьогодні не існує. Дослідження, що стосуються фітотоксичноості металів або чутливості (чи навпаки резистентності) певних видів рослин відносно металічного забруднення носять несистемний характер та стосуються виключно фізіологічних аспектів [1, 3, 4].

Мета дослідження полягала у ранжируванні металів та рослин за вмістом у фітомасі металів в умовах природних екосистем Голосіївсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених зон м Києва.

Матеріали та методи дослідження. Голосіївсько-Феофанівська та Конча-Заспівська паркові зони розміщуються на стику Правобережного

© Риженко Н. О.

Полісся та Лісостепу України у межах теплої середньозволоженої агрокліматичної зони. Зокрема, ГФЗЗ є характерною лісопарковою зоною детального проектування, створеною методом ландшафтного лісництва. Більшу частину території ГФЗЗ (62 %) становлять дубові насадження із 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 красильний та інші чагарники й напівчагарники. На більшій частині території КЗЗ ростуть соснові та сосново-дубові ліси із середнім віком 70 років. У ГФЗЗ і КЗЗ переважає ландшафт закритих просторів, у Голосієво 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, 3, 6]. Вибір пробних площ обґрунтовано орографічно. Пробна площа становить 0,25 га (50 м × 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 формуванням за культурно-технічним станом (оцінка природних умов,

© Риженко Н. О.

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, 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. 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.) та вольтамперометрію [7]. Для аналізу одержаних результатів користувались кореляційним та дисперсійним статистичними методами обробки. Рівень достовірності обчислювали при $P_{0,95}$ [8]. Аналізували вміст Cd, Co, Cu, Zn, Ni, Pb у фітомасі трав’янистих ранньоквітучих видів: гусяча цибуля жовта (*Gagea lutea L.*), мати-й–мачуха звичайна (*Tussilago farfara L.*), анемона жовтецева (*Anemone ranunculoides L.*), пшінка весняна (*Ficaria verna Huds.*), медунка неясна (*Pulmonaria obscura Dum.)*, зірочник ланцетолистий (*Stellaria holostea L.*), конвалія травнева (*Convallaria majalis L.*), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum L.).* Аналізували фотосинтетичну фракцію фітомаси деревних першого та другого ярусу: дуб звичайний (*Quercus robur L.*), граб звичайний (*Carpinus betulus L.),* верба козяча (*Salix caprea L.*), липа серцелиста (*Tilia*

© Риженко Н. О.

cordata Mill.), клен гостролистий (*Acer platanoides L.*); деревних третього ярусу: бузина чорна (*Sambucus nigra L.)*, черемха звичайна (*Prunus padus L.).*

Результати дослідження та їх обговорення. Результати вмісту металів у фітомасі рослин наведено у таблиці 1.

1 Уміст металів у рослинах Голосіївсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених зон м. Києва

Conc.	***Cd***	***Cu***	***Zn***	***Pb***	***Co***	***Ni***	***Conc$_{сер}$***
*Гусяча цибуля жовта 1**	0,15±0,02	9,0±1,5	2,25±0,2	7,50±0,8	0,15±0,05	0,15±0,01	3,2
*Мати-й–мачуха звичайна 1**	3,20±0,4	22,4±2,6	4,80±0,4	19,20±3,2	0,32±0,08	9,60±1,0	9,9
*Анемона жовтецева 1**	2,30±0,2	13,8±1,0	3,45±0,3	11,50±2,3	2,30±0,3	6,90±0,9	6,7
*Пшінка весняна 1**	0,05±0,01	7,7±0,8	1,65±0,2	6,05±0,58	1,10±0,07	3,30±0,3	3,3
*Медунка неясна 1**	0,05±0,01	8,4±0,85	2,80±0,1	6,30±0,67	1,40±0,1	4,20±0,4	3,9
*Зірочник ланцетолистий 1**	0,05±0,01	24,0±5,0	7,50±0,8	0,05±0,01	0,05±0,01	2,40±0,3	5,7
*Конвалія травнева 1**	2,5±0,3	20,0±6,0	7,50±0,9	5,0±0,5	0,05±0,01	2,40±0,3	6,2
*Звіробій звичайний 1**	0,05±0,01	20,0±5,0	2,50±0,2	7,5±0,8	0,05±0,01	1,00±0,1	5,2
*Граб звичайний 2***	0,1±0,015	3,8±0,6	3,5±0,3	3,5±0,4	0,4±0,05	0,01±0,005	1,9
*Граб звичайний 2***	0,8±0,02	3,8±0,9	3,2±0,2	2,0±0,3	0,1±0,03	0,01±0,005	1,7
*Верба козяча 2***	0,8±0,02	3,8±0,5	4,5±0,5	0,5±0,1	1,4±0,1	0,01±0,005	1,8
*Липа серцелиста 2***	0,8±0,25	5,8±0,5	3,8±0,15	0,5±0,1	0,1±0,05	0,01±0,005	1,8
*Клен гостролистий 2***	8,8±0,4	0,1±0,01	4,0±0,2	0,1±0,03	0,9±0,05	1,00±0,1	2,5
*Бузина чорна 1**	1,3±0,15	0,3±0,05	2,0±0,1	5,5±0,7	0,4±0,03	0,01±0,005	1,6
*Граб звичайний 1**	0,3±0,08	2,3±0,1	3,0±0,1	1,0±0,2	0,7±0,03	0,01±0,005	1,2
Клен	0,3±0,01	1,3±0,1	2,5±0,3	1,0±0,1	0,7±0,03	0,01±0,00	1,0

© Риженко Н. О.

*гостролистий 1**						5	
*Липа серцелиста 3****	1,8±0,1	1,3±0,2	5,0±0,6	2,5±0,3	0,9±0,03	0,01±0,005	1,9
*Граб звичайний 3****	1,8±0,2	0,3±0,2	1,5±0,2	1,5±0,1	0,10±0,05	0,01±0,005	0,9
*Дуб звичайний 3****	0,7±0,1	2,5±0,3	2,0±0,3	0,01±0,005	0,01±0,005	2,5±0,2	1,3
*Черемха звичайна 4*****	0,5±0,1	3,0±0,3	2,5±0,4	0,01±0,005	0,005±0,005	1,5±0,1	1,3
*Дуб звичайний 4*****	0,7±0,25	2,0±0,1	2,4±0,3	0,01±0,005	0,005±0,005	3,0±0,3	1,4
Conc. сер.	1,3	7,4	3,5	3,9	0,5	1,8	-
S	1,95	7,9	1,7	4,8	0,6	2,6	-
S2	3,8	61,6	2,8	22,9	0,4	6,5	-
R (розмах варіації: x_{max}-x_{min})	8,8	23,9	6,0	19,9	2,3	9,6	-
Коефіцієнт варіації V, %	147,6	103,3	47,3	120,7	113,4	137,6	-
Kr, % (коефіцієнт осциляції)	679,3	322,6	174,2	496,1	432,6	529,4	-

Примітка: 1* – Дидорівська балка Голосіївської зеленої паркової зони; 2** – Горіхуватська балка Голосіївської зеленої паркової зони, район Голосіївського проспекту; 3*** – Феофанівська зелена паркова зона; 4**** – Конча-Заспівська зелена паркова зона.

У процесі дослідження розроблено фітотоксикологічну класифікацію металів (Cd, Pb, Ni, Co, Zn, Cu) за їх умістом у фітомасі. Фітотоксикологічна оцінка небезпечності металів передбачала віднесення їх до різних класів за *Ссер. (*табл.1*)*. За формулою Стерджеса кількість класів розраховується за формулою [8]:

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

де *k* – кількість класів за певною ознакою; *n* – кількість варіантів. Наразі розглядається 21 варіант рослин на всій досліджуваній території (табл. 1). 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 їх вмістом у фітомасі використовували чотири класи [9]. Для віднесення металів

© Риженко Н. О.

до різних фітотоксикологічних класів були використані середньоарифметичні значення концентрацій кожного металу за всією вибіркою рослин:

1) Lim = x $max_{сер.арифм}$ – x $min_{сер.арифм}$ = 7,4 - 0,5 = 6,9;

3) dx = Lim / k=6,9 / 4 = 1,73;

4) початок 4 класу = x min – dx /2 =0,5-0,87 = - 0,37;

5) кінець 4 класу = x min+ dx / 2 - υ = 0,5+0,87 - 0,01 = 1,36;

6) початок 3 класу = кінець попереднього класу + υ=1,36+0,01=1,37;

7) кінець 3 класу = отриманий початок даного класу + dx - υ = 1,37 + 1,73 - 0,01 = 3,09;

8) початок 2 класу = кінець попереднього класу + υ=3,09+0,01=3,10;

9) кінець 2 класу = отриманий початок даного класу + dx- υ=3,10+1,73 - 0,01 = 4,82;

10) початок 1 класу = кінець попереднього класу + υ=4,82 + 0,01 = 4,83;

11) кінець 1 класу = отриманий початок даного класу + dx - υ = 4,83 + 1,73 - 0,01 = 6,55.

Класифікація металів за їх умістом у фітомасі рослин представлено у таблиці 2.

2. Фітотоксикологічна класифікація металів за їх умістом у фітомасі рослин Голосіївсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених зон

Вміст у фіто масі, мг/кг	Фітотоксикологічні класи			
	IV Високий	III Помірний	II Середній	I Низький
	> 4,83	3,10-4,82	1,37-3,09	< 1,36
	Cu	Zn, Pb	Ni	Co, Cd

Розроблено фітотоксикологічну класифікацію рослин за їх фітофільтраційною здатністю відносно металів. За формулою Стерджесса пораховано, що оптимальна кількість класів для рознесення рослин відносно їх фітофільтраційної здатності є 5. Для ранжування рослин за вмістом у фітомасі металів використовували середньоарифметичні значення вмісту металів у фітомасі рослин (табл. 1). За вмістом у фітомасі всі досліджувані рослини було

© Риженко Н. О.

класифіковано за п'ятикласною шкалою. Для віднесення рослин до різних фітотоксикологічних класів були використані середньоарифметичні значення вмісту металів у фітомасі певної рослини:

1) Lim = x $max_{сер.арифм}$ – x $min_{сер.арифм}$ = 9,9 - 0,9 = 9;

3) dx = Lim / k=9/5=1,8;

4) початок 5 класу = x min – dx /2 =0,9-0,45 = 0,45;

5) кінець 5 класу = x min+ dx / 2 - υ = 0,9+0,45-0,01=1,34;

6) початок 4 класу = кінець попереднього класу + υ=1,34+0,01=1,35;

7) кінець 4 класу = отриманий початок даного класу+dx-υ=1,35+1,8-0,01 = 3,14;

8) початок 3 класу = кінець попереднього класу + υ=3,14+0,01=3,15;

9) кінець 3 класу = отриманий початок даного класу + dx- υ=3,15+1,8-0,01=4,94;

10) початок 2 класу = кінець попереднього класу + υ=4,94 + 0,01 = 4,95;

11) кінець 2 класу = отриманий початок даного класу + dx- υ= 4,95 + 1,8 - 0,01 = 6,74.

12) початок 1 класу = кінець попереднього класу + υ=6,74+0,01=6,75;

13) кінець 1 класу = отриманий початок даного класу + dx- υ=6,75+1,8-0,01=8,54.

Класифікація рослин за вмістом у фітомасі металів представлено у таблиці 3.

До рослин із низьким та помірним умістом металів у фітомасі відносяться: граб звичайний; клен гостролистий; дуб звичайний; черемха звичайна; верба козяча; липа серце листа; бузина чорна. Мати-й–мачуха звичайна; анемона жовтецева відносяться до рослин із високим умістом металів у фітомасі (табл. 3).

Виявлено, що найбільшим рівнем умісту у фітомасі рослин характеризується мідь, найменшим – кадмій та кобальт (табл. 1, 2). Відмічено, що цинк, який є важливим фізіологічно необхідним мікроелементом, та

© Риженко Н. О.

свинець, чия фізіологічна роль досконально не досліджена, відносяться разом до класу середнього рівня вмісту у фітомасі.

3. Класифікація рослин за вмістом металів у фітомасі

Класи за вмістом металів у фітомасі	Вміст металів у фітомасі, мг/кг	Рослини
V Низького вмісту	< 1,34	*Граб звичайний 1*; Клен гостролистий 1*; Граб звичайний 3***; Дуб звичайний 3***; Черемха звичайна 4*****
IV Помірного вмісту	1,35-3,14	*Граб звичайний 2**; Граб звичайний 2**; Верба козяча 2**; Липа серцелиста 2**; Клен гостролистий 2**; Бузина чорна 1*;Липа серцелиста 3***; Дуб звичайний 4*****
III Середнього вмісту	3,15-4,94	*Гусяча цибуля жовта 1*; Пшінка весняна 1*; Медунка неясна 1**
II Значного вмісту	4,95-6,74	*Зірочник ланцетолистий 1*;Конвалія травнева 1*;Звіробій звичайний 1**
I Високого вмісту	> 6,75	*Мати-й–мачуха звичайна 1*; Анемона жовтецева 1**

Примітка: 1* – Дидорівська балка Голосіївської зеленої паркової зони; 2** – Горіхуватська балка Голосіївської зеленої паркової зони, район Голосіївського проспекту; 3*** – Феофанівська зелена паркова зона; 4**** – Конча-Заспівська зелена паркова зона.

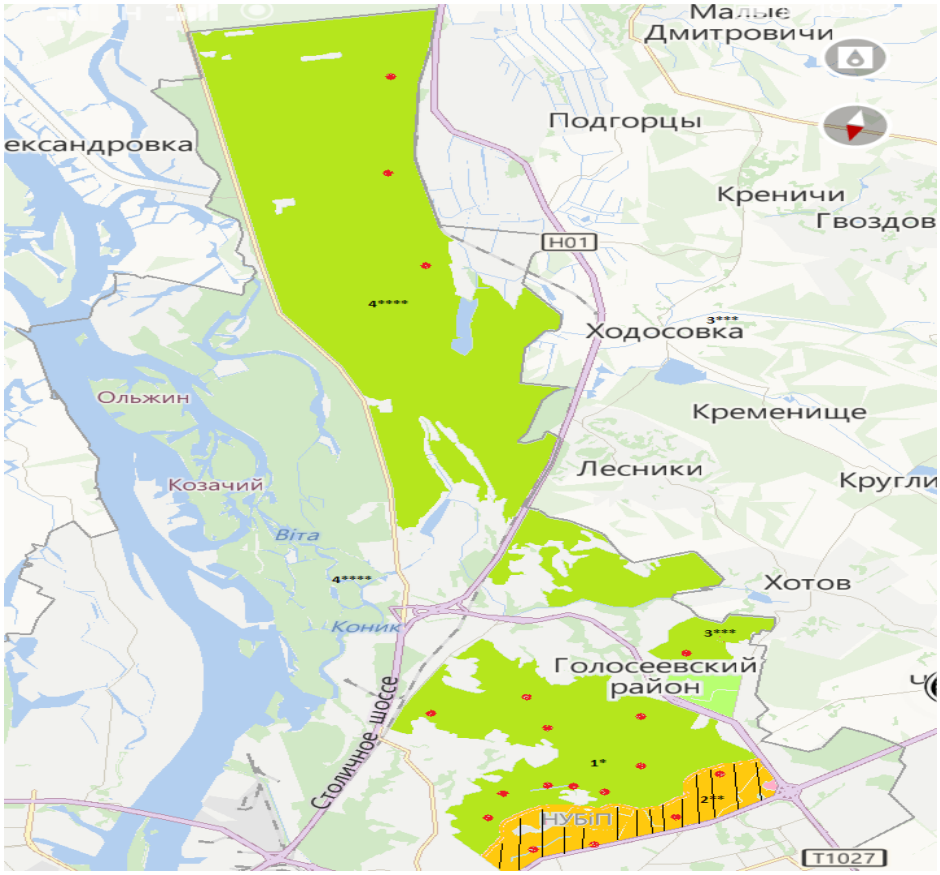
З метою районування досліджуваної території за вмістом металів у фітомасі було проведено порівняння виборок рослин у різних районах дослідження за критерієм Фішера (табл. 4) [8].

4. Порівняння вмісту металів у деревних 1, 2, 3 ярусів у кожній зеленій паркові зоні

Дидорівська балкова система Голосіївської паркової зони	Горіхуватська балкова система Голосіївської паркової зони
$S^2 = 1,94$	$S^2 = 4,74$
$F_{експ.} = 2,44$; $F_{теор.} = 1,6$; $\boldsymbol{F_{експ.} > F_{теор.}}$	
Феофанівська паркова зона	Конча-Заспівська паркова зона
$S^2 = 1,7$	$S^2 = 1,5$
$F_{експ.} = 1,3$; $F_{теор.} = 1,8$; $\boldsymbol{F_{експ.} < F_{теор.}}$	
Дидорівська балкова система Голосіївської паркової зони	Феофанівська паркова зона
$S^2 = 1,94$	$S^2 = 1,7$
$F_{експ.} = 1,15$; $F_{теор.} = 1,5$; $\boldsymbol{F_{експ.} < F_{теор.}}$	
Горіхуватська балкова система Голосіївської паркової зони	Конча-Заспівська паркова зона
$S^2 = 4,74$	$S^2 = 1,5$
$F_{експ.} = 3,16$; $F_{теор.} = 1,8$; $\boldsymbol{F_{експ.} > F_{теор.}}$	

© Риженко Н. О.

Виявлено, що достовірно найбільшим умістом металів у деревних характеризувалась Горіхуватська балкова система Голосіївської зеленої паркової зони, що вочевидь пов'язано із більшим антропогенним навантаженням біля Голосіївського проспекту (табл. 4, рис. 1).



Примітка: 1* – Дидорівська балкова система Голосіївської зони; 2** – Горіхуватська балкова система Голосівської зони, 3*** – Феофанівська зелена зона, 4**** – Конча-Заспівська зелена зона
Заштриховано район, що суттєво відрізняється від решти досліджуваної території за вмістом металів у фітомасі деревних

Рис. 1. Схема районування Голосіївсько-Феофанівської та Конча-Заспівської зелених пакових зон за вмістом металів у фітомасі деревних рослин

Конча-Заспівська, Феофанівська паркові зелені зони та Дидорівська балкова система Голосіївської паркової зони не відрізнялись за вмістом металів у фітомасі деревних 1, 2, 3 ярусів біогеоценозів.

Висновки і перспективи. Розроблено фітотокосикологічну класифікацію металів за вмістом їх у фітомасі рослин в умовах природних екосистем. Запропоновано алгоритм ранжирування металів за чотирма класами небезпечності за вмістом їх у фітомасі. Виявлено, що найбільшим рівнем умісту

© Риженко Н. О.

у фітомасі рослин природних екосистем характеризується мідь, найменшим – кадмій та кобальт. Відмічено, що цинк, який є важливим фізіологічно необхідним мікроелементом, та свинець, чия фізіологічна роль досконально не досліджена, обидва відносяться середнього фітоткосикологічного класу. Запропоновано ранжирування рослин за вмістом металів у їх фітомасі в умовах природних екосистем. До рослин із низьким та помірним вмістом металів у фітомасі відносяться: граб звичайний; клен гостролистий; дуб звичайний; черемха звичайна; верба козяча; липа серце листа; бузина чорна. Мати-й–мачуха звичайна; анемона жовтецева відносяться до рослин із високим умістом металів у фітомасі. Виявлено,що найбільшим умістом металів у деревних характеризувалась Горіхуватська балкова система Голосіївської зеленої паркової зони (біля Голосіївського проспекту). Віднесення до фітотоксикологічних класів металів та рослин дозволяє охарактеризувати фітотоксикологічні особливості металів та виявити чутливість рослин стосовно цих елементів. Це дає можливість прогнозувати ризик та потенційну небезпеку металів для природних екосистем.

Список літератури

1. Щербаченко О. І. Важкі метали як токсичний фактор забруднення природного середовища: стійкість і адаптація рослин до їх впливу / О. І. Щербаченко // Наукові записки державного природознавчого музею. – 2014. – Вип. 30. – С. 157–182.

2. Бондар О. І. Екологічний стан м. Києва / О. І. Бондар, В. А. Трокоз, Н. О. Риженко. – К.: АМГ, 2008. – 95 с.

3. 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.

4. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю. В. Алексеев. – СПб.: ПІЯФ РАН, 2008. – 216 с.

5. Довгопола К. А. Екологічна оцінка вмісту важких металів у ґрунті та Trifolium pratense L. [Електронний ресурс] / К. А. Довгопола // Проблеми екологічної біотехнології. – 2016. – № 1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRNpeb_2016_1_9.pdf

6. Бондар О. І. Екологічний моніторинг м. Києва / О. І. Бондар, Н.О. Риженко // Агроекологічний журнал. – 2010. – № 2. – С. 41–46.

7. Методичні вказівки по визначенню Hg, Zn, Co, Cd, Cu, Ni в ґрунті, рослинах, у воді методом тонкошарової хроматографії / В. М. Кавецький,

© Риженко Н. О.

Н. А. Макаренко, А. М. Ліщук 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.

8. Ивантер Э. В. Элементарная биометрия: учеб. пособие / Э. В. Ивантер, А. В. Коросов. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – 104 с.

9. Куценко С. А. Основы токсикологии: научно-методическое издание / С. А. Куценко. – СПб.: ООО «Издательство Фолиант», 2004. – 720 с.

References

1. Scherbachenko, O.I. (2014). Vazhki metaly yak toksychnyi faktor zabrudnennia pryrodnoho seredovyshcha: 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 derzhavnoho pryrodoznavchoho muzeiu – Scientific notes of the State Natural History Museum, 30*, 157–182 [in Ukrainian].

2. Bondar, O.I., Trokoz, V.A. & Ryzhenko, N.O. (2008). *Ekolohichnyi stan m. Kyieva [Ecological state of Kyiv]*. Kyiv: AMG [in Ukrainian].

3. Ryzhenko, N.O. (2015). Ekolohichnyi monitorynh rekreatsiinykh 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].

4. Alekseyev, YU.V. (2008). *Tjazhelye metally v agrolandshafte [Heavy metals in agrolandscape]*. Sankt-Peterburg*:* PIYaPh [in Russian].

5. Dovhopola K.A. (2016) Ekolohichna otsinka vmistu vazhkykh metaliv u grunti ta *Trifolium pratense L.*. [Environmental assessment of heavy metals in soil and *Trifolium pratense L.*] *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii – Problems of environmental biotechnology, 1*. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRNpeb_2016_1_9.pdf [In Ukrainian]

6. Bondar, O.I. & Ryzhenko, N.O. (2010). Ekolohichnyi monitorynh m. Kyieva [Ecological monitoring of Kyiv]. *Ahroekolohichnyy zhurnal – Agroecological Journal, 2*, 41–46 [in Ukrainian].

7. Kavetsky, V.N., Makarenko, N.A., Lishchuk, A.M., Buogis, A.M. & Kavetsky, S.V. (2001). Metodychni vkazivky po vyznachenniu Hg, Zn, Co, Cd, Cu, Ni v grunti, roslynakh, u vodi metodom tonkosharovoi 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 Ukrayiny [in Ukrainian].

8. Ivanter, Je.V., Korosov, A.V. (2010). *Jelementarnaja biometrija: ucheb. Posobie [Elementary biometrics: Textbook]*. Petrozavodsk: PetrGU [in Russian].

9. Kucenko, S.A (2004). *Osnovy toksikologii: nauchno-metodicheskoe izdanie [Principles of Toxicology: scientific and methodologic edition]*. Sankt-Peterburg: Folyant [in Russian].

© Риженко Н. О.

ПРИНЦИПЫ ФИТОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МЕТАЛЛОВ И РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Н. А. Рыженко

Аннотация. *Поскольку фитокомпонент в основном определяет среду биогеоценоза, обоснование фитотоксикологической оценки риска является крайне актуальным. Целью исследования было ранжировать металлы растения по содержанию в фитомассе металлов в условиях природных экосистем Голосеевско-Феофановской и Конча-Засповской зеленых зон г. Киева. Разработана фитотоксикологическая классификация металлов относительно содержания их в фитомассе растений в условиях природных экосистем. Предложен алгоритм ранжирования металлов по четырем классам опасности относительно их содержания в фитомассе. Определено, что наибольшим уровнем содержания в фитомассе растений характеризовалась медь, наименьшим – кадмий и кобальт. Цинк, который является важным физиологично необходимым микроэлементом, и свинец, чья физиологическая роль досконально не исследована, относятся к среднему фитотоксикологическому классу. Предложено ранжирование растений по содержанию металлов в фитомассе. К растениям с низким и умеренным содержанием металлов в фитомассе относятся: граб обыкновенный; клен остролистный; дуб обыкновенный; черемуха обыкновенная; верба козья; липа сердцевидная; бузина черная. Мать-и-мачеха обыкновенная, ветреница лютичная относятся к растениям с высоким содержанием металлов в фитомассе. Отнесение к фитотоксикологическим классам металлов и растений позволит охарактеризовать фитотоксикологические особенности металлов и выявить чувствительность растений касательно этих элементов. Это даст возможность прогнозировать риск и потенциальную опасность металлов для природных экосистем.*

Ключевые слова: *металлы, фитотоксикологичекая классификация, природные экосистемы*

PRINCIPLES OF PHYTOTOXICOLOGICAL CLASIFICATION OF METALS AND PLANTS IN NATURAL ECOSYSEMS

N.O. Ryzhenko

Abstract. *As the plants mostly determine the environment of ecosystems, the substantiation of phytotoxicological risk assessment is extremely relevant. The purpose of the study was to rank metals and plants by metals concentration in the phytomass in natural ecosystems of Goloseevo-Feofanivska and Koncha-Zaspivska green zones in Kyiv. The phytotoxicological classification of metals by their concentration in plants in natural ecosystems has been obtained. The algorithm of the metals ranking in four classes of danger is proposed. It was revealed that the highest level of concentration in plants was for copper, the smallest - for cadmium and*

© Риженко Н. О.

cobalt. Zinc, which is an important physiologically necessary trace element, and lead, whose physiological role is not thoroughly investigated, relate to the middle phytotocosicological class. Plants with low and moderate metals concentration in phytomass were: Carpinus betulus L., Acer platanoides L., Quercus robur L., Prunus padus L., Salix caprea L., Tilia cordata Mill., Sambucus nigra L.. Plants with high metals concentration in phytomass were: Tussilago farfara L., Anemone ranunculoides L.. Assignment the metals and plants to phytotoxicological classes will allow not just only to characterize the hazard of metals for plants, but to forecast the reaction of plants to metals influence in nature ecosystems.

Key words: *metals, phytotoxical classification, nature ecosystems*