

**КОРЕЛЯЦІЙНІ ЗВ'ЯЗКИ МІЖ ВМІСТОМ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
У МОХАХ, ЛИШАЙНИКАХ І КОРІ ХВОЙНИХ ПОРІД ЧОРНОГОРИ
(УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)**

В. Козловський

*Інститут екології Карпат НАН України
вул. Козельницька, 4, Львів 79026, Україна
e-mail: vkozlovskyu@gmail.com*

Встановлено тісні кореляційні зв'язки між елементами (Cu, Pb, Zn, Cd, Mn, Fe) у золі рослин. Кореляція є прямою в усіх парах елементів, за винятком тих, де одним із металів є Fe. Коефіцієнти кореляції Cu, Zn, Cd, Mn, Pb зі зольністю більшості об'єктів свідчать про середній і високий зворотний кореляційний зв'язок із високим рівнем значущості. Очікується, що структура кореляційних зв'язків між елементами в індикаторних видах фонових і техногенно забруднених екосистем відрізнятиметься.

Ключові слова: важкі метали, фоновий моніторинг, біоіндикація, Українські Карпати.

У науковій літературі розглядається понад 100 факторів, які впливають на поглинання хімічних елементів рослинами та визначають їхній хімічний склад. За А.Л. Ковалевським [3-6], ці фактори та впливи поділяються на дві великі групи: внутрішні (фізіологічні) та зовнішні (екологічні). Фізіологічні фактори – це, перш за все, генетичні особливості рослин, зумовлені їхнім таксономічним положенням у системі класифікації (відділ, клас, родина, рід, вид), стадії розвитку рослин та їх окремих частин, взаємовпливи хімічних елементів у тканинах і органах. Екологічних факторів значно більше, ніж фізіологічних. Вони також поділяються на кілька груп. Найважливішою є група факторів, які відображають вплив зовнішніх джерел хімічних елементів. До них зараховують ґрунти, ґрунтовірні гірські породи, атмосферні тверді й рідкі опади, гази, тобто всі джерела кореневого і некореневого надходження хімічних елементів у рослини, в тому числі техногенного походження. Друга велика група екологічних факторів представлена кліматичними і погодними чинниками (широтна глобальна та висотна локальна зональність, атмосферні опади, температура повітря і ґрунту, сила вітру і т.п.). Ступінь вивченості екологічних і фізіологічних факторів, їхній вплив на хімічний елементний склад рослин у конкретних умовах їх місцезростання до цього часу є недостатнім [3].

У сучасному світі для потреб промисловості хімічні елементи добувають із надр у кількості, значно більшій від тієї, яка перебуває в біотичному кругообігу та використовується рослинністю суші для формування річного приросту. Незважаючи на те, що частина елементів виноситься у світовий океан із річним стоком і повітряними масами, поверхня суші щорічно збагачується хімічними елементами. Як наслідок у біосфері зростає концентрація елементів із низькими природними кларками (Hg, Pb, As, F, Sn, Cu, Mo, U, Cd та ін.), змінюються співвідношення окремих пар елементів у живих системах, що порушує сформовану протягом тривалого періоду розвитку біосфери рівновагу. Відстежувати такі зміни, особливо у фонових екосистемах, коли метали є природною складовою живих організмів (на відміну від радіоактивних елементів

чи органічних ксенобіотиків), і відокремити техногенну складову від природного вмісту хімічного елемента досить складно. Моніторингові дослідження, коли вміст хімічних елементів у компонентах екосистем порівнюється в часі, є єдиним інструментом стеження за змінами у природних екосистемах, віддалених від джерел антропогенних емісій. Фіксація таких змін все ж не дає відповіді на питання про фізіологічний стан живих організмів, залишається невідомим ступінь негативного впливу надлишкової кількості хімічних елементів техногенного походження у разі їх надходження в екосистеми і поглинання рослинами чи тваринами. Одним із таких показників могли б стати міжелементні співвідношення, які залежать від умов зовнішнього середовища (екологічних факторів), видових особливостей організму (фізіологічних факторів) і хімічних властивостей самих елементів. На основі фізичних і хімічних властивостей елементів створено кілька геохімічних класифікацій, які відображають спільні риси поведінки та закони формування асоціацій елементів у літосфері [1]. Зрозуміло, що в живому організмі, де основна роль належить активному транспортові іонів, елементи поведуть себе інакше, ніж у літосфері, тому формування співвідношень між елементами відбувається також іншим шляхом [2]. Надлишок якогось із елементів не лише матиме пряму негативну дію, а й через явища антагонізму-синергізму зможе призвести до розбалансування елементного складу і порушення біохімічних процесів цілого організму. Поведінка хімічних елементів у всіх системах планети, як і в живій речовині, є складною і багато в чому не вирішеною проблемою [9].

Зразки мохів, лишайників, кори смереки та сосни гірської відбирали у поясі смерекових лісів (угруповання смеречини чорницевої і угруповання пухирчасто-осочника пухівково-сфагнового), субальпійському (сосняк чорницевий) та альпійському (трироздільно-ситничник цетрарієвий) рослинно-кліматичних поясах Чорногори між горами Брескул і Пожежевська у межах висот від 1320 до 1780 м н.р.м. Окрім цього зразки мохів і лишайників були відібрані в альпійському поясі Чорногірського хребта (від гори Шесул до гори Піп Іван, включаючи 15 вершин вищих за 1700 м, у тому числі всі шість вершин із висотами понад 2 000 м (табл. 1)).

Вміст важких металів (ВМ) у рослинах визначали у середній пробі, яку формували, залежно від маси особин, із кількості від 3–5 до 10–15 рослин. Проби повітряно-сухого рослинного матеріалу озоляли за температури 450 °С. Отриману золу після зважування розчиняли розведеною HNO_3 [7].

Метали визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі С115М1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції. Визначення проводили у трьох повторностях. Відносна похибка за $P=95\%$ не перевищувала 7%.

Значна кількість проаналізованих зразків (табл. 1) стала основою для виявлення кореляційних зв'язків між вмістом досліджуваних елементів у рослинах різних систематичних груп. Цікавим видавалося виявити такі зв'язки у мохах, лишайниках і корі як рослинних об'єктах, мікроелементний склад яких значною мірою є відображенням хімічного складу атмосфери. Можливо, кореляційні зв'язки між елементами у рослинах-біоіндикаторах є відображенням кореляційних зв'язків між елементами в атмосферних аерозолях. У цьому випадку наявність чи відсутність кореляції між певними елементами в рослинах свідчила би про ступінь відхилення від природного фону співвідношень між елементами в атмосфері, а значить – про ступінь техногенного порушення, і могла б використовуватись як тестовий показник у системі біогеохімічного моніторингу.

Таблиця 1

Нагромадження важких металів мохами та лишайниками Чорногори
(Українські Карпати)

	Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Fe	Зольність, %
мкг/г сухої речовини							
Альпійський пояс, 08.1998							
Лишайники <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach., n=62 (1–15)*:							
С	2,9±0,6	15,4±5,6	29,5±7,9	0,21±0,08	22,2±11,4	206,6±79,9	1,30±0,37
<i>Umbilicaria</i> sp., n=18 (2–14)							
С	6,4±2,3	84,5±23,5	85,7±17,0	0,65±0,17	26,8±11,3	2567,1±782,3	10,31±2,89
<i>Thamnolia</i> sp., n=7 (3–5,9,15)							
С	2,0±0,1	29,2±16,1	63,8±7,5	0,80±0,37	26,2±9,25	240,5±212,8	3,35±1,94
Мохи <i>Pleurozium schreberi</i> (Bridd.) Mitt., n=4 (1,2,14,15)							
З	7,9±1,2	31,6±12,6	79,1±25,2	0,74±0,19	134,7±35,7	555,3±238,2	4,20±0,81
С	6,6±1,5	45,6±26,0	60,1±20,9	0,77±0,25	310,4±217,0	452,7±243,6	5,23±1,23
<i>Polytrichum strictum</i> Brid., n=28 (1–15)							
З	18,1±3,4	28,7±15,9	43,6±20,3	0,59±0,38	41,6±31,6	403,4±384,9	2,84±1,26
Б	7,2±109,1	89,5±80,6	63,3±26,0	0,95±0,40	75,4±43,0	1166,3±1005,3	4,93±2,69
С	8,6±5,0	82,0±89,0	60,6±23,4	0,90±0,37	70,9±41,1	1068,4±909,2	4,67±2,42
<i>Polytrichum formosum</i> Hedw., n=47 (1–15)							
З	10,1±2,3	20,7±13,4	35,2±14,9	0,70±0,43	35,2±19,4	237,8±108,9	3,37±0,83
Б	7,9±2,5	89,4±68,7	53,9±19,2	0,70±0,43	53,9±39,9	1017,5±777,4	5,21±2,14
С	8,6±2,1	70,7±54,9	43,3±17,0	0,71±0,39	49,0±34,3	807,1±606,9	4,73±1,75
<i>Paraleucobryum enerve</i> (Thed.) Loeske, n=15 (2–4,7,10–13)							
З	6,1±1,7	74,2±32,4	67,3±10,6	1,06±0,29	106,1±44,5	1106,9±1040,4	4,71±2,68
Б	9,4±2,2	206,1±71,9	75,6±18,6	1,32±0,41	108,2±53,4	2888,2±1411,5	9,52±3,94
С	8,7±2,2	178,7±62,2	73,9±16,3	1,27±0,38	108,1±48,9	2511,1±1290,7	8,53±3,48
<i>Rhacomitrium sudeticum</i> , (Funk.) B. et S., n=38 (1–15)							
С	9,4±2,2	263,4±71,2	27,2±7,5	0,34±0,11	31,5±16,2	4576,0±1253,0	19,05±7,62
Субальпійський пояс, 08.1997							
<i>Pinus mugo</i> Turra (кірка), n=10 (4)							
С	6,0±1,3	66,1±22,9	39,1±9,0	0,93±0,29	96,1±51,2	349,3±110,9	2,54±0,67
Пояс смерекових лісів, 08.1997 (4–5)							
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl (смерековий ліс), n=10							
С	6,3±0,6	25,9±6,3	82,1±10,8	0,46±0,09	52,3±18,8	477±69	2,98±0,41
<i>Hypogymnia physodes</i> L. (пухівково-сфагнове болото, поодинокі смереки), n=8							
С	10,2±1,2	74,8±19,9	92,6±12,1	0,73±0,17	49,7±17,6	764±100	5,25±0,91
<i>Picea abies</i> (L.) Karst. (кірка) (смерековий ліс), n=10							
С	3,8±0,8	18,2±10,0	74,5±24,5	0,62±0,29	101,0±37,8	134±47	2,72±0,48
<i>Picea abies</i> (L.) Karst. (кірка) (пухівково-сфагнове болото, поодинокі смереки), n=8							
С	6,3±1,6	58,9±11,3	81,6±21,0	1,18±0,42	105,0±36,0	194±38	2,54±0,41
<i>Pinus mugo</i> Turra (кірка), n=6							
С	5,7±1,9	58,2±24,5	34,1±7,8	0,77±0,17	90,1±40,9	283,9±81	2,01±0,22

Примітки: n – кількість зразків; З – зелена, Б – бура, С – середнє між зеленою та бурую частинами;
* – у дужках вказано точки відбору зразків: 1 – г. Недея; 2 – г. Петрос; 3 – г. Говерла; 4 – г. Брескул; 5 – г. Пожижевська; 6 – г. Данциш; 7 – г. Туркул; 8 – г. Велика Маришевська; 9 – г. Шпиці; 10 – г. Ребра; 11 – г. Томнатик; 12 – г. Бребенескул; 13 – г. Менчул; 14 – г. Смотрич; 15 – г. Піп Іван.

Результати проведених досліджень стосуються трьох екологічних груп мохів та лишайників – епігейних видів, видів-епілітів і епіфітів. Усі вони, за Ковалевським [3], належать до групи рослин із безбар'єрним типом накопичення хімічних елементів. Тобто зі збільшенням концентрації елемента у середовищі пропорційно збільшується його кількість у рослині. Однак при аналізі одержаних кореляційних зв'язків необхідно врахувати деякі особливості процесу накопичення металів дослідженими рослинами. Визначаючи вміст ВМ у типових епігейних видах (*Polytrichum formosum*, *Polytrichum strictum*, *Paraleucobryum enerve*, *Cetraria islandica*, *Thamnolia sp.*), епіфітах (*Hypogymnia physodes*) та корі, можна практично визначити елементи, які містяться у рослинних тканинах; вміст металів у частинках пилу на зовнішньому боці рослинних клітин (поза цитозолем) становить порівняно невелику частку від загальної кількості. У мохах ця частка є меншою для зеленої частини рослини та більшою – для бурої. На відміну від епігейних видів, епіфітів та корі, в епілітах (*Rhacomitrium sudeticum*, *Umbilicaria sp.*) маса пилу і піщинок становить вагому частку від загальної маси золи рослини. Про це свідчить зольність рослин (табл. 1). Очевидно, такий високий процент зольних речовин в епілітних видах спостерігається за рахунок накопичення неорганічних мінеральних частинок, які утворюються в результаті вивітрювання місцевих гірських порід. Отже, у випадку з епілітами, аналізуючи кореляційні зв'язки між елементами, треба враховувати, що значна, якщо не більша частина загальної суми визначених ВМ, має небіогенне походження (тобто не є результатом активного поглинання) і затримується рослиною у нерозчинній формі на зовнішньому боці талому. З огляду на це, можна очікувати, що сила та кількість кореляційних зв'язків у епігейних видах відрізняться від аналогічних значень в епілітах.

Коефіцієнти кореляції розраховували як на основі вмісту елементів у сухій речовині зразків, так і в їхній золі (табл. 2). Незважаючи на різне положення у системі ботанічної класифікації та належність до різних екологічних груп, досліджені мохи і лишайники виявляють багато подібного у системі міжелементних кореляційних зв'язків. Зокрема, зв'язки є слабшими у зеленій частині пагона, ніж у бурій; кількість кореляційних пар є меншою і зв'язок слабший між елементами в перерахунку на суху речовину, ніж на золу. Кореляційні зв'язки між елементами у сухій речовині майже усіх об'єктів є прямими в парах елементів Cu–Pb, Zn–Cd, Zn–Mn, Pb–Fe (тобто зі збільшенням вмісту одного елемента збільшується і вміст другого), а також у парах Pb-зольність і Fe-зольність. Коефіцієнти кореляції Mn з елементами (Fe, Pb, Cu) та зольністю, за винятком пари Mn–Cd, набувають статистично значущих ($p < 0,1$) величин значно рідше. Кореляційні зв'язки між іншими елементами є ще слабшими і трапляються в досліджених об'єктах епізодично.

Розраховані на основі вмісту металів у золі коефіцієнти кореляції Cu, Zn, Cd, Mn, Pb зі зольністю як епіфітів, так і епігейних видів і Fe у епілітів свідчать про середній і високий зворотний кореляційний зв'язок із високим рівнем значущості (збільшення зольності супроводжується зменшенням відносного вмісту елемента), тобто вміст металу в рослині збільшується повільніше, ніж зростає вміст зольних речовин, переважно, макроелементів (Ca, K, Si, Mg, P, S, Na, Cl), концентрація яких у золі є відносно сталою величиною [3]. Для епілітів це є можливим перш за все у випадку збільшення зольності за рахунок накопичення речовин небіогенного походження – незбагачених металами продуктів вивітрювання гірських порід на зовнішньому боці покривних тканин рослини (пилу, частинок субстрату). Тобто продукти вивітрювання місцевого походження міс-

Таблиця 2

Кореляційні зв'язки між хімічними елементами в мохах, лишайниках і корі хвойних порід Чорногори (розраховано за вмістом елементів у золі)

Кореляційні пари	<i>Polytrichum tenerve</i>		<i>Polytrichum strictum</i>		<i>Polytrichum formosum</i>		<i>Rhacomitrium sudeticum</i>	<i>Cetraria islandica</i>	<i>Thamnochloa sp.</i>	<i>Umbilicaria sp.</i>	<i>Hypogymnia physodes</i>		<i>Picea abies</i> (кірка)		<i>Pinus mugo</i> (кірка)	
	Частина рослини										2	3	2	3	4	5
	зелена	бура	зелена	бура	зелена	бура										
Cu-Zn	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	-	+	+++	+
Cu-Cd	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+	+++	-	+	+++	-
Cu-Pb	+++	+	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+	+++	+	+++	+++	+++
Cu-Mn	+	+++	+	+	+	+	+++	+	+	+++	-	+++	-	-	+	+
Cu-Fe			-	-	-	-	+++	+++	-	+++	+++	+++	+++	+	+++	+
Zn-Cd	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+	+++	+	+++	+++	+
Zn-Pb	+	+	+++	+	+	+	+++	+++	+	+++	+	+++	+	+++	+++	+
Zn-Mn	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+	+++	+	+++	+++	+
Zn-Fe	-*						+++	+++	-	+	+	+++	-	+	+	+
Cd-Pb	+	+	+++	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-	+	+	-
Cd-Mn	+++	+++	+	+	+++	+++	+++	+++	-	+	+	+++	+++	+	+	-*
Cd-Fe	-*						+++	+++				+	-	+		
Pb-Mn	+	+	-	-	-	-	+++	+++	-	+	+	+++	-	+	+	+
Pb-Fe	+	+	+++	+	+	+	+++	+++	+	+++	+	+++	+++	+++	+++	+
Mn-Fe	-*	+	-*	-*	-*	-*	+++	+++	-*	+	+	+++	-	-	-	+
Cu-Зл	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
Zn-Зл	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-
Cd-Зл	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-
Pb-Зл	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
Mn-Зл	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
Fe-Зл	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+++	-	+++	+++	+

Примітки: + – прямий зв'язок; - – зворотний зв'язок; Зл – зольність; 1 – альпійський пояс; 2, 3 – пояс смерекових лісів (відкритий екоотоп і закритий екоотоп відповідно); 4 – субальпійський пояс; 5 – пояс смерекових лісів (пухляково-сфагнове болото); *** – рівень значущості $p=0,01$; ** – $p=0,05$; * – $p=0,1$.

тять невеликі кількості Cu, Zn, Mn, Cd та Pb, а вклад збагачених цими елементами атмосферних аерозолів у хімічний склад золи рослин фонових територій є незначним. Крім того, особливо для епігейних видів важливим є те, що Cu, Zn, Mn відіграють важливу роль у процесах метаболізму рослин і тому активно поглинаються. Елемент Cd, будучи антагоністом Zn, рослинним організмом поглинається з такою ж інтенсивністю, що і Zn. У процесі росту рослин відбувається перерозподіл металів зі старіших тканин у молоді. Тому зі збільшенням зольності спостерігається відносно зменшення вмісту Cu, Zn, Mn, Cd, що і відображають зворотні коефіцієнти кореляції. Pb не є елементом, який необхідний рослинам у значних кількостях. Накопичується Pb, як і Fe, інтенсивніше у бурій частині пагона. Отже, його перерозподіл у процесі росту мінімальний. Але, на відміну від Fe, вміст свинцю в аерозолях фонових екосистем є невисоким. Можна допустити, що за умови забруднення середовища свинцем, коли накопичення Pb залежало б від віку рослини, а значить, і від зольності, коефіцієнт кореляції у парі Pb-зольність свідчив би про прямий зв'язок. Залізо – літогенний елемент [8], вміст якого у зовнішньому середовищі є надлишковим для фізіологічних потреб рослин. Створюються умови для пасивного його накопичення, що і відображається прямими кореляційними зв'язками між Fe і зольністю у епігейних видів, де, на відміну від епілітів, частка місцевих продуктів вивітрювання у золі є низькою. Високий зворотний коефіцієнт кореляції у випадку з епілітним мохом *Rhacomitrium sudeticum* (Func.) V. et S. якраз і є наслідком високого вмісту в зольному залишку частинок субстрату (піщинок, де концентрація Fe низька), які неможливо було відділити від рослини без втрат тканин під час підготовки до аналізу. Менше це стосується і епілітного лишайника *Umbilicaria* sp.

За винятком пар, де одним із елементів є Fe, виявлено тісну пряму кореляцію між вмістом металів у золі. На нашу думку, така кореляція між елементами у рослинних об'єктах, мікроелементний склад яких формується переважно за рахунок пасивного поглинання, є природною. Незалежно від походження (чи то продукти вивітрювання, чи то аерозолі техногенного походження), середній елементний склад атмосферних аерозолів у фонових екосистемах, на відміну від територій, які перебувають під прямим впливом джерел забруднення, є достатньо стабільним. Забруднення у фонових екосистемах має регіональний або й глобальний характер. Відповідно, різномірність джерел забруднення, великі відстані сприяють усередненню хімічного складу атмосферних аерозолів, їхньому відносно стабільному хімічному складу. За умови незначного надходження хімічних елементів техногенної природи порівняно із внутрішньо-екосистемними потоками збалансованість елементів у фонових екосистемах залишається оптимальною, а співвідношення між ними – стабільними. Виявлена пряма кореляція між елементами у досліджених рослинах фонових екосистем свідчить, на нашу думку, про збалансованість потоків хімічних елементів і незначний вплив складової техногенного походження на загальний баланс хімічних елементів в екосистемах. І, навпаки, у безпосередній близькості від джерела забруднення склад атмосферних аерозолів відобразатиме елементний склад конкретних викидів, змінюватиметься з відстанню та залежатиме від інтенсивності конкретного виробництва. Співвідношення між хімічними елементами відобразатимуть співвідношення елементів у викидах, і елементи-забрудники матимуть зворотні коефіцієнти кореляції з елементами, вміст яких у викидах невисокий. Цікавою з погляду діагностики забруднення є пара Pb–Fe. Обидва елементи накопичуються у тканинах мохів і лишайників подібно, але Fe – елемент із високим кларком, у фонових екосистемах є переважно продуктом місцевого вивітрю-

вання, а Pb – елемент, кларк якого у тисячі разів нижчий, може бути техногенного походження. За умови, якщо маса техногенного Pb буде незначною порівняно із внутрішніми потоками в екосистемі, це не впливатиме на співвідношення між Pb та Fe. Склад атмосферних аерозолів визначатиметься, в основному, внутрішньосистемними резервами. Тому, коли у складі золи переважає частка місцевого походження, де співвідношення Fe–Pb збалансоване, кореляція Fe із Pb буде прямою. Зворотна кореляція, ймовірно, матиме місце, коли у складі золи переважатиме складова техногенного походження, що, як правило, збагачена Pb.

Досліджено кореляційні зв'язки між елементами у рослинних об'єктах, формування елементного складу яких відбувається переважно через атмосферне живлення. Виявлено, що кількість кореляційних пар менша і зв'язки слабші в перерахунку на суху речовину, ніж на золу; у мохах кореляція між елементами більш виражена для бурої частини пагона, ніж для зеленої; кореляційні зв'язки в перерахунку на суху речовину майже в усіх об'єктах є прямими в парах елементів Cu–Pb, Zn–Cd, Zn–Mn, Pb–Fe (тобто зі збільшенням вмісту одного елемента збільшується і вміст другого), а також у парах Pb-зольність та Fe-зольність; коефіцієнти кореляції Mn з елементами (Fe, Pb, Cu, зольність), за винятком пари Mn–Cd, набувають статистично значущих ($p < 0,05$) величин значно рідше; зв'язки між іншими елементами є ще слабшими і трапляються в досліджених об'єктах епізодично; за винятком пар, де одним із елементів є Fe, виявлено тісну пряму кореляцію між вмістом елементів у золі; коефіцієнти кореляції Cu, Zn, Cd, Mn, Pb із зольністю для більшості об'єктів свідчать про середній і високий зворотний кореляційний зв'язок із високим рівнем значущості (збільшення вмісту елемента супроводжується зменшенням зольності); коефіцієнт кореляції у парі Fe-зольність у більшості випадків вказує на прямий зв'язок, або навіть якщо зв'язок зворотний, то кореляція є слабшою, ніж кореляційні зв'язки зольності з іншими елементами об'єкта.

Очікується, що структура кореляційних зв'язків між елементами в індикаторних видах фонових і техногенно забруднених екосистем буде відрізнятися.

1. *Алексеев В. А.* Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.
2. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
3. *Ковалевский А. Л.* Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 294 с.
4. *Ковалевский А. Л.* Некоторые вопросы теории и практики биогеохимического метода поисков месторождений // Геология и геофизика. 1963. № 6. С. 68–77.
5. *Ковалевский А. Л.* Биогеохимические поиски рудных месторождений. М.: Недра, 1974. 143 с.
6. *Ковалевский А. Л.* Особенности формирования рудных биогеохимических ореолов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. С. 115.
7. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981.
8. *Миклишанский А. З., Яковлев Ю. В., Савельев Б. В.* О формах нахождения химических элементов в атмосфере: распределение микроэлементов между парами атмосферной влаги и аэрозолем в приземных слоях воздуха // Геохимия. 1978. № 1. С. 10–19.
9. *Перельман А. И.* Геохимия. М.: Высш. шк., 1989. 528 с.

**HEAVY METAL CORRELATION RELATIONS IN MOSSES, LICHENS
AND CONIFERS BARK OF CHORNOHORA MOUNTAIN RANGE
(UKRAINIAN CARPATHIANS)**

V. Kozlovskyy

*Institute of Ecology of the Carpathians of NAS of Ukraine
4, Kozelnytska St., Lviv 79026, Ukraine
e-mail: vkozlovskyy@gmail.com*

The tight correlation between elements (Cu, Pb, Zn, Cd, Mn, Fe) in plant ash is established. The correlation is straight for all pares of metals except those with Fe. The correlation is inverse for ash percentage with Cu, Zn, Cd, Mn, Pb and straight for pare ash level-Fe. It is expected that the structure of heavy metal correlation relations will differ for the ecosystems with the least antropogenic influence and polluted zones.

Key words: heavy metals, ecological monitoring, bioindication, Carpathians.

Стаття надійшла до редколегії 02.04.08

Прийнята до друку 25.04.08