

## МОНІТОРИНГ УМІСТУ КАДМІЮ І ЦИНКУ У БІОГЕОЦЕНОЗАХ ЗЕЛЕНОЇ МЕРЕЖІ ПРИСАМАР'Я ДНІПРОВСЬКОГО

*Дніпропетровський національний університет*

Наведено дані щодо вмісту кадмію та цинку, з'ясовано закономірності їх розподілу в біогеоценозах зеленої мережі Присамар'я Дніпровського.

*Ключові слова:* важкі метали, ґрунт, лісова підстилка, опад, інтенсивність накопичення.

M. S. Yakuba

*Dnipropetrovsk National University*

### MONITORING OF CADMIUM'S AND ZINC'S CONTENT IN THE GREEN ZONE'S OF PRISAMARIA DNIPROVSKY'S ECOSYSTEMS

The content of cadmium and zinc are given and the regularity of their distribution in the Prisamaria Dniprovsky's ecosystems are determined.

*Keywords:* heavy metals, soil, forests litter, litter fall, intensity of accumulation.

Більшість хімічних елементів міститься у живій речовині у дуже малих концентраціях, частина з них життєво необхідна для росту, розвитку та здорового стану організму і майже всі процеси синтезу та перетворення речовин здійснюються за участю мікроелементів. Хоча всі організми виробили механізм активного вибіркового вилучення та видалення токсичних надлишків мікроелементів, вони залишаються у тісній залежності від хімічного складу ґрунтовірних порід, ґрунтів, природних вод, атмосферного повітря. Відомо, що регулювання концентрацій мікроелементів (важких металів) та з'ясування функцій, які вони виконують у живому організмі, неможливе без установаження фонового вмісту мікроелементів у незабруднених екосистемах.

Визначенню вмісту важких металів у рослинах та ґрунтах здавна приділяється значна увага, і до цього часу накопичилася велика кількість робіт зарубіжних та українських дослідників (Перельман, 1961; Bowen, 1966; Wood, 1974; Удрис, Нейланд, 1981; Ильин, 1991; Цветкова, 1992; Алексеенко, 2000 та ін.). Результати досліджень вмісту та розподілу важких металів (*Mn, Ti, Cr, Ni, Mo, V, Cu, Pb*) у біогеоценозах Степового Придніпров'я відображені у роботах Н. М. Цветкової, А. О. Дубіної та ін. Дані про вміст та закономірності розповсюдження *Cd* та *Zn* у екосистемах Присамарського моніторингу нечисленні і представлені фрагментарно у вигляді окремих повідомлень (Дубина, Цветкова, 1977; Цветкова, 1992; Ліхолат, Мицик, 2000; Якуба, Цветкова, Дубина, 2002; Якуба, 2003; Цветкова, Якуба, 2004). Тому метою нашої роботи було комплексне дослідження вмісту *Cd* та *Zn* і їх розподілу у ґрунтах, підстилці, опаді та рослинах екосистем Присамарського моніторингу.

Відомо, що за віднесенням хімічних елементів, що потрапляють у ґрунт з викидів, кадмій та цинк належать до групи елементів першого класу небезпеки (Методические указания ..., 1992). По відношенню до тваринних організмів і людини досліджувані елементи проявляють високу канцерогенну активність. Підвищені концентрації цинку часто не вважають фітотоксичними, що пов'язано з високою толерантністю до нього більшості видів рослин. Фітотоксичність кадмію проявляється у гальмуванні фотосинтезу, порушенні транспірації та фіксації  $\text{CO}_2$ , зміні проникності клітинних мембран та підвищенні схильності рослин до грибкових інвазій. Фоновий вміст *Cd* у верхньому шарі чорнозему складає від 0,7 до

1,0; Zn – від 33 до 100 мг/кг ґрунту (Кармова, Потатуєва, 1990; Фоновий вміст ..., 2003).

За своїми фізико-хімічними властивостями Cd та Zn схожі і часто зустрічаються у природі разом, вони відомі як елементи-синергісти у біологічних та хімічних реакціях, мають спільні джерела забруднення і тому потребують сумісного дослідження.

### ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Керівною науковою ідеєю роботи слугували типологічні принципи лісів України проф. О. Л. Бельгарда (1971).

Як об'єкти дослідження було обрано лісові біогеоценози, які розташовані на території Присамарського міжнародного біосферного стаціонару (с. Андріївка Ново-московського р-ну, Дніпропетровська обл.).

П р и р о д н і біогеоценози: свіжа липово-ясенева діброва на пристіні р. Самари; сухуватий бір на арені; свіжуватий суббір на арені

Ш т у ч н і біогеоценози: дубове насадження у плакорних умовах зростання; білоакацієві насадження свіжуватого та сухуватого типів зволоження.

Як еталон у районі дослідження обрано ділянку степового різнотравно-бородачево-ковилевого степу.

Відбір проб ґрунту (корененасичений шар 0–50 см), підстилки, опаду і частин рослин-ефікаторів проводився за загальноприйнятими методиками. Уміст важких металів у досліджуваних об'єктах визначали методом атомно-абсорбційного аналізу (Хавердов, Цалев, 1983; Обухов, Плеханова, 1991) на атомно-абсорбційному спектрофотометрі ААС–30 виробництва «Карл Цейс Йена». Підготовка проб для визначення валового вмісту Zn та Cd включала розчинення проби концентрованою HNO<sub>3</sub>, для визначення кислоторозчинних форм металів як екстрагенат використали 1 н HCl. Отримані результати оброблялися методами варіаційної статистики (Лакін, 1990), коефіцієнт надійності – 0,95.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Відомо, що основним місцем метаболізму речовин, у тому числі важких металів, є ґрунт, у ньому відбуваються чисельні процеси трансформації та міграції речовин. Ґрунтовий покрив слугує основним геохімічним бар'єром на шляху міграції забруднюючих речовин і виконує при цьому протекторну функцію по відношенню до інших природних утворень.

У результаті аналізу корененасиченого шару ґрунту у біогеоценозах Присамар'я Дніпровського досліджено вміст Cd та Zn, отримані дані представлено у табл. 1.

З'ясовано, що корененасичений шар ґрунту степової цілини містить 65,0 мг/кг цинку у валовій формі та 23,0 мг/кг кислоторозчинних форм цинку. Визначений нами вміст цинку у валовій формі збігається з регіональним кларком цинку для ґрунтів степової зони України, який, за даними А. І. Фатеєва, Я. В. Пашенко та ін. (2003), становить 62 мг/кг з коливаннями в межах 33–100 мг/кг, а значення вмісту Zn у ґрунтах більшості лісових насаджень виходить за межі коливань. Уміст Zn у валовій формі у ґрунтах лісових біогеоценозів варіюється від 19,0 (в акацієвому насадженні свіжуватого типу зволоження) до 109,90 мг/кг у дубовому насадженні на плакорі. Кислоторозчинні форми цинку коливаються від 3,09 до 29,48 мг/кг з мінімальним значенням у акацієвому насадженні свіжуватого типу зволоження і максимальним у дубовому насадженні на плакорі. Розраховані відсотки вмісту рухомих кислоторозчинних форм по відношенню до валового вмісту дозволяють розташувати лісові екосистеми у наступний ряд зростання:

акацієве насадження свіжуватого типу зволоження < акацієве насадження сухуватого типу зволоження < липово-ясенева діброва на пристіні < дубове насадження на плакорі < сухуватий бір на арені < свіжуватий суббір на арені.

Таблиця 1

Уміст Zn та Cd у корененасиченому шарі ґрунту біогеоценозів Присамар'я Дніпровського

| Степова цілина         | Лісові біогеоценози          |   |  |                        |                   |                                  |
|------------------------|------------------------------|---|--|------------------------|-------------------|----------------------------------|
|                        | Штучні                       |   |  | Природні               |                   |                                  |
|                        | Дубове насадження на плакорі | Білокацієве насадження сухуватого типу зволоження | Білокацієве насадження свіжуватого типу зволоження | Сухуватий бір на арені | Свіжуватий суббір | Пристигна липово-ясенева діброва |
| Zn                     |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| Валовий уміст, мг/кг   |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| 65,0±6,2               | 109,9±9,7                    | 91,74±7,8   | 19,00±3,4  | 37,17±4,7              | 22,44±2,6         | 19,49±1,8                        |
| Кислоторозчинна форма, |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| мг/кг                  |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| 23,0±2,8               | 29,48±3,2                    | 16,68±1,8   | 3,09±0,6   | 21,80±3,1              | 14,44±2,3         | 3,86±0,6                         |
| % від вал.             |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| 35,38                  | 26,82                        | 18,18   | 16,26  | 58,65                  | 64,35             | 19,79                            |
| Cd                     |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| Валовий уміст, мг/кг   |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| 1,39±0,4               | 2,60±0,5                     | 2,17±0,8  | 2,65±0,4   | 1,19±0,03              | 0,53±0,03         | 0,87±0,04                        |
| Кислоторозчинна форма, |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| мг/кг                  |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| 0,40±0,07              | 0,32±0,02                    | 0,29±0,04   | 0,46±0,07  | 0,24±0,01              | 0,07±0,002        | 0,05±0,002                       |
| % від вал.             |                              |   |  |                        |                   |                                  |
| 28,77                  | 12,3                         | 13,36   | 17,36  | 19,82                  | 13,91             | 5,36                             |

Відомо, що головним фактором, що визначає вміст кадмію у ґрунтах, є хімічний склад материнських порід, істотний вплив на вміст цього елемента у ґрунті чинять також рельєф та клімат. Уміст рухомих форм цинку залежить водночас і від різних властивостей ґрунту. Високий уміст кислоторозчинного цинку у ґрунті сухого бору (58,65 %) та свіжуватого суборі (64,35 %) пояснюється підвищеною кислотністю ґрунтового розчину в цих екосистемах. Рухомі форми Cd у цих умовах складають 19,82 та 13,91 % відповідно. Таким чином, відсоток кислоторозчинного цинку в середньому у 1,06–4,62 рази перевищує відсоток рухомого кадмію у тих же умовах. Це узгоджується з результатами досліджень Г. А. Удріс та Я. А. Нейланд (1981), які зазначають, що цинк більш розчинний елемент у ґрунтах, ніж інші важкі метали. Крім того відомо і те, що цинк характеризується високою відносною рухомістю в окислювальному та кислому середовищі, у той час як кадмій за таких умов характеризується середньою рухомістю (Химия ..., 1982).

Уміст кадмію (валова форма) у корененасиченому шарі ґрунту степового біогеоценозу становить 1,39 мг/кг ґрунту, що перевищує фоновий рівень. З'ясовано, що штучні біогеоценози містять у корененасиченому шарі більше кадмію, ніж природні. У штучних екосистемах уміст кадмію коливається в межах 2,17–2,65, а у природних – 0,53–1,19 мг/кг ґрунту. Високий уміст кислоторозчинних форм кадмію спостерігається у ґрунті степової ділянки, де він становить 28,77 % від валового вмісту. Це пояснюється відомостями, які суперечать висновкам про те, що найбільш рухомих кадмій стає при pH ґрунту 4,5–5,5, коли його рухомість збільшується за рахунок утворення комплексів або хелатів металів у ґрунті (Ильин, 1973). У лісових

екосистемах показник умісту кислоторозчинних форм *Cd* дорівнює від 5,36 % у ґрунті липово-ясеневій діброві на пристіні до 19,82 % у ґрунті сухого бору на арені.

Доведено, що лісові ґрунти з підстилковим шаром містять більші запаси мікроелементів, ніж пахотні ґрунти, що пояснюється тим, що лісова рослинність повертає мікроелементи з опадом і більша їх частина акумулюється у підстилках і верхніх шарах ґрунту (Зонн, 1964). У лісові підстилки важкі метали потрапляють в основному з атмосфери та з щорічним опадом деревної та трав'янистої рослинності. Уміст кадмію та цинку в підстилках досліджуваних лісових екосистем, як правило, досягає величини більшої, ніж у верхніх горизонтах ґрунту. Виключення складають білоакацієве насадження на пристіні сухуватого типу зволоження, де вміст *Zn* у підстилці дорівнює 82,47 мг/кг сухої речовини, а у корененасиченому шарі ґрунту – 91,74 мг/кг, та білоакацієві насадження на пристіні свіжуватого типу зволоження, де вміст кадмію у підстилці дорівнює 1,63 мг/кг сухої речовини, а у корененасиченому шарі ґрунту – 2,65 мг/кг. У підстилці та ґрунті липово-ясеневій діброві на пристіні виявлений однаковий уміст *Cd*, який дорівнює 0,87 мг/кг. Дані вимірювань цинку та кадмію у підстилці та опаді представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Уміст *Zn* та *Cd* у підстилці та опаді (мг/кг сухої речовини) біогеоценозів Присамар'я Дніпровського та індекси інтенсивності кругообігів елементів (ОПК)

| Степова цілина | Біогеоценози                 |  |   |                        |                  |                                  |
|----------------|------------------------------|--|---|------------------------|------------------|----------------------------------|
|                | Лісові штучні                |  |   | Лісові природні        |                  |                                  |
|                | Дубове насадження на плакорі | Білоакацієве насадження сухуватого типу зволоження | Вілоакацієве насадження свіжуватого типу зволоження | Сухуватий бір на арені | Свіжуватий субір | Пристінна липово-ясенєва діброва |
| Zn             |                              |  |   |                        |                  |                                  |
| опад           |                              |  |   |                        |                  |                                  |
| 34,8±5,7       | 84,44±7,2                    | 53,34±5,6  | 51,69±4,8   | 53,7±6,4               | 21,0±3,5         | 17,54±3,3                        |
| підстилка      |                              |  |   |                        |                  |                                  |
| 16,7±4,6       | 113,4±10,3                   | 82,47±8,3  | 77,76±3,9   | 97,6±7,6               | 36,3±4,7         | 26,24±3,2                        |
| ОПК            |                              |  |   |                        |                  |                                  |
| 0,59           | 0,64                         | 5,75   | 1,50  | 21,42                  | 16,28            | 5,66                             |
| Cd             |                              |  |   |                        |                  |                                  |
| опад           |                              |  |   |                        |                  |                                  |
| 0,83±0,2       | 2,12±0,7                     | 2,56±0,7   | 1,28±0,3  | 0,72±0,8               | 0,46±0,03        | 0,45±0,06                        |
| підстилка      |                              |  |   |                        |                  |                                  |
| 0,54±0,081     | 5,07±0,8                     | 2,81±0,4   | 1,63±0,2  | 2,89±0,3               | 0,79±0,06        | 0,87±0,07                        |
| ОПК            |                              |  |   |                        |                  |                                  |
| 1,24           | 9,66                         | 4,08   | 5,58  | 47,34                  | 16,20            | 7,33                             |

З'ясовано, що вміст кадмію та цинку в усіх досліджуваних лісових біогеоценозах у підстилці вищий, ніж в опаді, що узгоджується з даними вмісту ряду мікроелементів у підстилці та опаді природних екосистем Присамар'я Дніпровського, отриманими А. О. Дубіною та Н. М. Цветковою (1977). Уміст цинку в опаді лісових біогеоценозів дорівнює 17,54–84,44 мг/кг у сухій речовині, у підстилці – 26,24–113,47 мг/кг з максимальними значеннями в дубовому насадженні на плакорі і мінімальним – у липово-ясеневій діброві на пристіні. Уміст цинку в опаді вищий, ніж у підстилці степової цілини, і дорівнює 34,87 та 16,78 мг/кг відповідно. Кадмій у

підстильці степової ділянки міститься у кількості 0,54, а в опаді – 0,83 мг/кг. Невисокий уміст важких металів тут пояснюється швидким розкладанням відмерлих органічних решток, унаслідок чого *Cd* та *Zn* швидко переходять у верхні шари ґрунту, не затримуючись надовго у підстильковому шарі.

З'ясовано, що вміст кадмію в опаді штучних насаджень значно перевищує його вміст в опаді природних лісових біогеоценозів. За вмістом *Cd* у підстильці лісові біогеоценози утворюють наступний ряд зростання:

свіжуватий суббір на арені < липово-ясеневі діброва на пристіні < білоакацієве насадження свіжуватого типу зволоження < білоакацієве насадження сухуватого типу зволоження < сухуватий бір на арені < дубове насадження на плакорі.

За вмістом цинку і кадмію в опаді і підстильці були розраховані коефіцієнти інтенсивності міграції елементів (ОПК). На степовій ділянці ОПК цинку дорівнює 0,59, кадмію – 1,24, що свідчить про інтенсивний кругообіг досліджуваних елементів (Базилевич, Родіна, 1965). У лісових екосистемах індекс інтенсивності кругообігу цинку дорівнює від 0,64 (дубове насадження на плакорі) до 21,42 (свіжуватий суббір на арені), причому у дубовому насадженні на плакорі та у білоакацієвому насадженні свіжуватого типу зволоження зафіксовано інтенсивний тип кругообігу цинку (ОПК = 0,64 та 1,50 відповідно), у білоакацієвому насадженні сухуватого типу зволоження (5,75) та у пристінній липово-ясеневій діброві (5,66) – загальмований, а в сухуватому бору (21,42) та в свіжуватому суборі (16,28) – застійний і сильнозагальмований типи кругообігів.

Відомо, що рівень умісту більшості важких металів у рослинній масі знаходиться у прямій залежності від їх умісту у ґрунті, але для цинку та кадмію такої залежності не спостерігається (Ільїн, 1991). Крім того, досліджено, що різні рослинні види поглинають кадмій та цинк у різних кількостях. У деревних рослинах розподіл мікроелементів досліджувався диференційовано по органах (табл. 3). Найбільші концентрації кадмію та цинку, як правило, виявляються у коренях та листі, у той час як у генеративних органах їх концентрація залишається достатньо незначною. Відомо, що селективна здатність рослин та наявність фізіологічних бар'єрів поглинання у коренях не завжди може захистити рослину від надлишкового надходження важких металів. У таких випадках у роботу включаються механізми, що сприяють акумуляції важких металів у фізіологічно менш активних органах – листі та гілках, причому значному накопиченню деяких важких металів, у тому числі *Cd* та *Zn*, у листі сприяє забруднення атмосферного повітря промисловим пилом (Тарабрин, 1984). Уміст кадмію у листі деревних рослин Присамар'я Дніпровського дорівнює 0,14–0,58 мг/кг, мінімальне значення відмічено у листі дуба звичайного з насаджень на плакорі, максимальне – у листі липи з липово-ясеневі діброви на пристіні. У хвої сосни звичайної з свіжого субіру вміст кадмію у 2,7 вищий, ніж у хвої сосни з сухого бору.

У гілках найбільше кадмію зафіксовано в сосні звичайній з свіжого субору на арені, найменше – у сосні з сухого бору. Порівняно з листям та гілками найвищий уміст кадмію у досліджуваних деревних рослинах відмічений у корінні наступних рослин, що розташовуються в ряд за збільшенням:

біла акація, насадження сухуватого типу зволоження (0,49 мг/кг сухої речовини) < сосна звичайна, свіжуватий суббір (0,60 мг/кг) < дуб звичайний, дубове насадження на плакорі (0,65 мг/кг) < біла акація, насадження свіжуватого типу зволоження (0,72 мг/кг).

Значення вмісту кадмію у коренях деревних культур Присамар'я Дніпровського коливаються від 0,07 (дуб звичайний, свіжуватий суббір) до 0,72 мг/кг сухої речовини (біла акація, насадження свіжуватого типу зволоження). З'ясовано, у листі та гілках білої акації з насадження сухуватого типу зволоження вміст кадмію приблизно у два рази вищий, ніж у частинах акації у вологих умовах зростання. Для коренів у цих біогеоценозах спостерігається зворотня залежність – у вологих умовах зростання

корені акації накопичують майже у 1,5 разів більше кадмію, ніж корені акації з сухих місцезростань, що пояснюється більшим умістом кислоторозчинних форм кадмію у ґрунті за вологих умов.

Таблиця 3

**Уміст кадмію та цинку у частинах рослин-едафікаторів лісових екосистем Присамар'я Дніпровського, мг/кг сухої речовини**

| Частина рослини                                     |       |       |       |        |       |
|---|-------|-------|-------|--------|-------|
| Листя (хвоя)  |       | Гілки |       | Корені |       |
| Cd  | Zn    | Cd    | Zn    | Cd     | Zn    |
| Дуб звичайний, дубове насадження на плакорі         |       |       |       |        |       |
| 0,14  | 1,52  | 0,24  | 9,43  | 0,65   | 5,61  |
| Дуб звичайний, свіжуватий субір                     |       |       |       |        |       |
| 0,21  | 9,56  | 0,23  | 9,11  | 0,07   | 5,14  |
| Біла акація, насадження сухуватого типу зволоження  |       |       |       |        |       |
| 0,43  | 6,12  | 0,44  | 1,45  | 0,49   | 19,85 |
| Біла акація, насадження свіжуватого типу зволоження |       |       |       |        |       |
| 0,28  | 11,54 | 0,29  | 11,43 | 0,72   | 17,84 |
| Сосна звичайна, сухуватий бір                       |       |       |       |        |       |
| 0,16  | 10,75 | 0,06  | 11,54 | 0,08   | 4,44  |
| Сосна звичайна, свіжуватий субір                    |       |       |       |        |       |
| 0,44  | 4,51  | 0,17  | 15,74 | 0,60   | 8,65  |
| Липа серцелиста, липово-ясенева діброва на пристіні |       |       |       |        |       |
| 0,58  | 12,33 | 0,39  | 9,41  | 0,37   | 7,9   |
| Ясен звичайний, липово-ясенева діброва на пристіні  |       |       |       |        |       |
| 0,54  | 15,69 | 0,34  | 22,31 | 0,46   | 13,8  |

За отриманими даними вмісту цинку в органах деревних рослин з'ясовано, що в листі найбільша кількість цинку зафіксована в липі серцелистій (12,33 мг/кг) та в дубі звичайному з свіжуватого суборі (9,56 мг/кг), у гілках – дубі звичайному на плакорі (9,43 мг/кг), у сосні звичайній з свіжої суборі та сухого бору (11,54 та 15,74 мг/кг сухої речовини відповідно) та у гілках ясеню звичайного (22,31 мг/кг сухої речовини). У корінні, порівняно з гілками та листям, найвищий уміст цинку відмічений в акації білій з насаджень обох типів зволоження (19,85 – у сухих умовах та 17,84 мг/кг – у вологих).

Інтенсивність накопичення елемента, як правило, є величиною постійною для окремого виду рослин, але вона може змінюватись залежно від умов існування певної культури. Оскільки потік важких металів з ґрунту в рослини визначається не тільки валовим умістом, а й концентрацією в ґрунті їх рухомих форм, кількість яких, у свою чергу, залежить від буферної здатності ґрунту, умісту органічної речовини та мінеральних елементів, Н. О. Козьякова, Н. А. Макаренко та В. М. Кавецький (2000) виділяють поняття коефіцієнта переходу ( $K_n$ ) у системі ґрунт – рослина, який визначається як відношення вмісту металу в рослині (мг/кг сухої речовини) до вмісту його рухомих форм у ґрунті (мг/кг). Нами були підраховані  $K_n$  у системі ґрунт – рослина біогеоценозів Присамар'я Дніпровського, потім кадмій та цинк за критерієм переходу в системі ґрунт – рослина були оцінені за наступною шкалою:

|          |         |   |
|----------|---------|---|
| > 0,5    | 5 балів | 1-й клас (високонебезпечні за параметром міграції у системі ґрунт–рослина); |
| 0,5–0,11 | 4 бали  | 2-й клас (небезпечні);  |
| 0,1–0,02 | 3 бали  | 3-й клас (помірнебезпечні);   |
| < 0,02   | 1 бал   | 4-й клас (малонебезпечні).  |

Було з'ясовано, що кадмій характеризується більшою, ніж цинк, інтенсивністю переходу в системі ґрунт – рослина. За значенням  $K_p$  кадмію досліджувані рослини з різних місць зростання розташовуються в наступний ряд:

ясен звичайний, липово-ясенєва діброва на пристіні (8,9) > сосна звичайна, свіжуватий субір (5,75) > липа серцелиста, липово-ясенєва діброва на пристіні (5,13) > дуб звичайний, свіжувата субір (2,48) > біла акація, пристін, сухуватий тип зволоження (2,03) > дуб звичайний, дубове насадження на плакорі (1,07) > біла акація, пристін, свіжуватий тип зволоження (0,88) > сосна звичайна, сухуватий бір на арені (0,41).

За отриманими  $K_p$  було з'ясовано, що кадмій у системі ґрунт – рослина лісових екосистем Присамар'я Дніпровського належить до високонебезпечних елементів 1-го класу небезпеки. Коефіцієнт переходу цинку у досліджуваних екосистемах для різних рослин становив від 0,18 до 3,36 і у більшості випадків цей елемент виявляє себе як небезпечний, 2-го класу за оціночною шкалою. Виняток становлять липа серцелиста та ясен звичайний у липово-ясеневій діброві на пристіні, де  $K_p$  дорівнює 2,55 та 3,36 відповідно, а також біла акація з насадження свіжуватого типу зволоження (3,15). Цинк за  $K_p$  відноситься до 1-го класу високонебезпечних речовин, але відомості про те, що цей елемент є фізіологічно необхідним у житті рослин, пояснюють явище його інтенсивного надходження в рослинний організм.

За співвідношенням умісту  $Cd$  та  $Zn$  у мінеральній частині рослинного організму до вмісту того ж елемента у валовій формі у ґрунті було підраховано коефіцієнти біологічного поглинання. Отримані дані представлені у табл. 4.

Таблиця 4

**Коефіцієнти біологічного поглинання кадмію та цинку частинами деревних культур лісових біогеоценозів Присамар'я Дніпровського**

| Коефіцієнти біологічного поглинання |   |      |      |        |      |
|-------------------------------------|---|------|------|--------|------|
| листя (хвоя)                        | гілки   |      |      | корені |      |
| Cd                                  | Zn  | Cd   | Zn   | Cd     | Zn   |
|                                     | Дуб звичайний, дубове насадження на плакорі         |      |      |        |      |
| 0,05                                | 0,01  | 0,09 | 0,08 | 0,25   | 0,05 |
|                                     | Дуб звичайний, свіжуватий субір                     |      |      |        |      |
| 0,43                                | 0,42  | 0,39 | 0,40 | 0,13   | 0,23 |
|                                     | Біла акація, насадження сухуватого типу зволоження  |      |      |        |      |
| 0,19                                | 0,06  | 0,20 | 0,01 | 0,22   | 0,01 |
|                                     | Біла акація, насадження свіжуватого типу зволоження |      |      |        |      |
| 0,10                                | 0,61  | 0,11 | 0,60 | 0,27   | 0,93 |
|                                     | Сосна звичайна, сухуватий бір                       |      |      |        |      |
| 0,13                                | 0,29  | 0,05 | 0,31 | 0,06   | 0,12 |
|                                     | Сосна звичайна, свіжуватий субір                    |      |      |        |      |
| 0,83                                | 0,20  | 0,32 | 0,70 | 1,13   | 0,38 |
|                                     | Липа серцелиста, липово-ясенєва діброва на пристіні |      |      |        |      |
| 0,66                                | 0,63  | 0,45 | 0,48 | 0,42   | 0,40 |
|                                     | Ясен звичайний, липово-ясенєва діброва на пристіні  |      |      |        |      |
| 0,62                                | 0,80  | 0,39 | 1,14 | 0,53   | 0,71 |

З'ясовано, що КБП цинку у листі досліджуваних деревних культур коливається у межах 0,01–0,63 з максимальним значенням у листі липи серцелистої на пристіні і мінімальним у листі дуба звичайного з дубового насадження на плакорі, КБП кадмію – максимальний у листі білої акації сухуватого типу зволоження (0,19) і мінімальний – у листі дуба звичайного в плакорних умовах зростання (0,05). Для гілок досліджуваних рослин максимальний КБП кадмію дорівнював 0,45 (липа серцелиста на пристіні), мінімальний – 0,05 (сосна звичайна, сухуватий бір). Коефіцієнти біологічного

поглинання цинку у гілках коливаються від 0,01 (біла акація, насадження сухуватого типу зволоження) до 1,14 (ясен звичайний, липово-ясенева діброва на пристіні). У коренях КБП кадмію коливається в межах 0,06–1,13 з максимальним значенням у сосні звичайній із свіжуватого субору і мінімальним – у сосні з сухуватого бору. КБП цинку у коренях становить 0,01 (біла акація, насадження сухуватого типу зволоження) – 0,93 (біла акація, насадження свіжуватого типу зволоження).

Відомо, що за класифікацією мікроелементів за величиною КБП (Перельман, 1961) цинк відноситься до елементів сильного біологічного накопичення (діапазон КБП =  $10n - n$ ), а кадмій – до елементів слабого біологічного захвату (діапазон КБП =  $0, n - 0,00n$ ). Розраховані нами КБП для частин рослин лісових біогеоценозів Присамар'я Дніпровського свідчать про те, що у більшості випадків кадмій поводить себе як елемент слабого біологічного захвату, виключення зафіксоване лише для коренів сосни звичайної з свіжуватого субору, де КБП = 1,13. Розраховані КБП для цинку демонструють незначне накопичення цього елемента в листі, гілках та коренях досліджуваних рослин, і за отриманими КБП цинк можна віднести до ряду елементів слабого і дуже слабого біологічного захвату, що суперечить відомим положенням віднесення цинку до групи елементів за КБП.

\* \* \*

Підводячи підсумки проведених досліджень, можна зробити наступні висновки.

1. Корененасичений шар ґрунту степової цілини Присамар'я Дніпровського містить 65,0 мг/кг цинку, що не перевищує фоновий уміст металу для ґрунтів степової зони України. У ґрунтах більшості лісових насаджень уміст цинку виходить за межі фонових коливань. Уміст кадмію у валовій формі у корененасиченому шарі ґрунту степового біогеоценозу та лісових насаджень перевищує фоновий рівень

2. Уміст рухомих кислоторозчинних форм цинку та кадмію залежить від сукупної дії різних факторів і дорівнює: для цинку у ґрунтах лісових насаджень від 3,09 до 29,48 мг/кг, у степовому біогеоценозі – 23,0 мг/кг; для кадмію у ґрунтах лісових насаджень – від 0,07 до 0,46 мг/кг, степової ділянки – 0,40 мг/кг.

3. Уміст *Cd* та *Zn* у досліджуваних лісових біогеоценозах у підстилці вищий, ніж в опаді. У степовому біогеоценозі вищий уміст кадмію та цинку зафіксований в опаді. Уміст кадмію в опаді штучних насаджень значно перевищує його вміст в опаді природних лісових біогеоценозів.

4. У степовій цілині відбувається інтенсивний кругообіг *Cd* та *Zn*, у лісових екосистемах відбувається гальмування кругообігів досліджуваних елементів.

5. Ступінь накопичення *Cd* та *Zn* у частинах деревних рослин залежить від видових особливостей, умов зростання та вмісту елементів у компонентах навколишнього середовища. Як правило, більший уміст *Cd* та *Zn* спостерігається у коренях та у листі.

6. Підраховано коефіцієнти переходу *Cd* та *Zn* у системі рослина – ґрунт і з'ясовано, що кадмій характеризується більшою, ніж цинк інтенсивністю переходу з ґрунту у рослину.

7. За коефіцієнтами біологічного поглинання різними частинами деревних рослин *Cd* та *Zn* відносяться до ряду елементів слабого біологічного захвату.

Отримані дані можуть бути використані при проведенні моніторингових комплексних досліджень біогеоценозів у степовій зоні та для надання рекомендацій щодо догляду за ними.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Алексеев В. А. Экологическая геохимия: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 627 с.  
Бельгард А. Л. Степное лесоведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.  
Дубина А. А., Цветкова Н. Н. Микроэлементы лесной подстилки естественных биогеоценозов Присамарья // Вопросы степного лесоведения и охраны природы. – Д.: ДДУ, 1977. – Вып. 7. – С. 21-25.



- Зонн С. В. Почва как компонент лесного биогеоценоза // Основы лесной биогеоценологии. – М.: Наука, 1964. – 149 с.
- Ильин В. Б. Тяжёлые металлы в системе почва–растение. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991. – 151 с.
- Кармова Е. А., Потатуева Ю. А. Кадмий в почвах, растениях, удобрениях // Химизация сельского хозяйства. – М.: Наука, 1990. – № 2. – С. 15-21.
- Козьякова Н. О., Макаренко Н. А., Кавецкий В. М. Міграція важких металів у системі «грунт–рослина» – екотоксикологічний критерій їх небезпечності // Науковий вісник аграрного університету. – К., 2000. – № 3. – С. 365-370.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Наука, 1990. – 276 с.
- Ліхолат Ю. В., Мицик Л. П. Рівень акумуляції важких металів у рослинах *Poa angustifolia* L. в штучних біогеоценозах // Питання степового лісознавства та лісової рекультиваци земель. – Д.: ДНУ, 2000. – С. 25-28.
- Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – 2-е изд., перераб. и доп. / Ред. кол.: А. М. Артюшин, М. А. Флоринский, М. И. Лунев и др. – М.: ЦИНАО, 1992. – 241 с.
- Обухов А. И., Плеханова И. О. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях. – М.: МГУ, 1991. – 184 с.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. – М. Наука, 1961. – 139 с.
- Сараненко И. И. Кадмий в почвах промышленного Кременчуга // Питання степового лісознавства та лісової рекультиваци земель. – Д.: ДНУ, 2004. – Вип. 8 (33). – С. 266-269.
- Тарабрин В. П. Механизмы устойчивости растений к загрязнению среды тяжелыми металлами // Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. – К.: Наук. думка, 1984. – С. 34-36.
- Удрис Г. А., Нейланд Я. А. Биологическая роль цинка. – Рига: Зинатне, 1981. – 180 с.
- Фоновий вміст мікроелементів в ґрунтах України / А. І. Фатєєв, Я. В. Пашенко, С. А. Балюк та ін. / За ред А. І. Фатєєва, Я. В. Пашенко. – Х., 2003. – 120 с.
- Хавердов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. – Ленинград: Химия, 1983. – 144 с.
- Химия окружающей среды. Пер. с англ. / Под ред А. П. Цыганкова. – М.: Химия, 1982. – 672 с.
- Цветкова Н. Н. Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины. – Д.: ДГУ, 1992. – 236 с.
- Цветкова Н. М., Якуба М. С. Мікроелементи у штучних лісових насадженнях Присамар'я Дніпровського // Зб. наук. праць Всеукр. наук.-практ. конф. «Біорізноманіття: Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку». – Полтава: ТОВ «АСМ», 2004. – С. 78-81.
- Якуба М. С., Цветкова Н. Н., Дубина А. А. Кадмий в почвах природных лесных биогеоценозов степной зоны Украины // Тез. докл. 5-х докучаевских молодежных чтений «Сохранение почвенного разнообразия в естественных ландшафтах», Россия, г. Санкт-Петербург. – С. Пб., 2002. – С. 152-153.
- Якуба М. С. Тяжёлые металлы в системе «почва–растение» искусственных дубовых насаждений степной зоны // Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Структурно-функціональна організація біогеоценозів України». – Д.: Наука і освіта, 2003. – С. 28-30.
- Bowen H. J. Trace Elements in Biogeochemistry. – L.; N.-Y.: Acad. Press, 1966. – 126 p.
- Wood J. M. Biological cycles for toxic element's in the environment // Science. – 1974. – Vol. 183. – P. 1049-1059.

*Надійшла до редколегії 18.09.04*