

Д.О. СТЕЦЕНКО, В.В. ДОЛІН

**АНАЛІЗ БАЛАНСОВОГО РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В
КОМПОНЕНТАХ ЛІСОВОЇ ЕКОСИСТЕМИ В УМОВАХ ВПЛИВУ
ТЕХНОГЕННОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Досліджено вміст важких металів в компонентах лісової екосистеми Київського Полісся. На основі отриманих даних розраховано балансовий вміст важких металів в ґрунтовому профілі та компонентах фітомаси досліджуваної екосистеми. Встановлені закономірності розподілу важких металів між біотичною та абіотичною компонентами лісової екосистеми.

Исследовано содержание тяжелых металлов в компонентах лесной экосистемы Киевского Полесья. На основе полученных данных рассчитано балансовое содержание тяжелых металлов в почвенном профиле и компонентах фитомассы исследуемой экосистемы. Определены закономерности распределения тяжелых металлов между биотическим и абиотическим компонентами лесной экосистемы.

Content of heavy metals in the forest ecosystem sampled of of Kiev Poles'ya is explored. On the basis of findings balance content of heavy metals in a soil profile and tree tissues of explored ecosystem has been studied. The regularities of heavy metals distribution between biotic and abiotic levels of the forest ecosystem are discussed.

Вступ

Як було відмічено В.І. Вернадським ще на початку ХХ століття, — стрімкий розвиток техногенезу призведе до незворотніх змін біосфери. Вже в наш час людство постало перед проблемою кількісної та якісної зміни елементів навколишнього природного середовища. Зміни, які призводять до незворотніх процесів в біосфері є наслідком нераціонального використання ресурсів нашої планети. Загроза порушення балансу в біосфері є нагальною проблемою всього людства.

Техногенез спричинив значні зміни елементного складу компонентів біосфери. За останні десятиріччя ці зміни стали головною причиною досліджень екологічної стійкості навколишнього середовища. Велика увага приділяється дослідженням механізмів самоочистки та реабілітації екосистем.

Екологічні проблеми, пов'язані з господарською діяльністю людини, мають комплексний характер. В значній мірі вони обумовлені включенням в міграційні потоки техногенних токсикантів, в тому числі і важких металів. Важкі метали є складовою частиною природних біогеохімічних циклів. Дослідження особливостей розподілу важких металів в компонентах екосистем мають пріоритетне значення для прогнозних оцінок стану біосфери в цілому.

Мета проведених досліджень полягає у визначенні особливостей розподілу важких металів в компонентах лісової екосистеми. Дослідження проводилися в зоні впливу Київського ДМСК УкрДО "Радон". Предметом дослідження є процеси розподілу важких металів в компонентах фітомаси берези, а також у ґрунтовому профілі екосистеми березового лісу, розташованого на куполоподібному піднятті рельєфу. На північ від досліджуваного об'єкта протікає р. Віта, яка є притокою Дніпра. Тип умов місцезростання: проміжний між свіжими суборами та свіжими сугрудами (B_2-C_2).

Природні умови регіону досліджень

Клімат району помірно-континентальний з середньорічною сумою опадів 597 мм при коливаннях від 392 до 925 мм. Середньорічна температура становить $+7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при коливаннях від $-5,9$ у січні до $+19,8$ у липні. Абсолютний максимум температур сягає $+39\text{ }^{\circ}\text{C}$, мінімум — $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Середня тривалість без морозного періоду становить 156 діб.

Протягом року переважають вітри західного (середньорічна повторюваність 20 % у січні за середньої швидкості вітру $4,3\text{ мхс}^{-1}$ та 18 % у липні за середньої швидкості $3,3\text{ мхс}^{-1}$), а також північно-західного (відповідно 16 % та 24 % за середньої швидкості $4,1$ та $3,3\text{ мхс}^{-1}$) напрямків (рис. 1). Лише в листопаді та жовтні переважають вітри південно-східного напрямку.

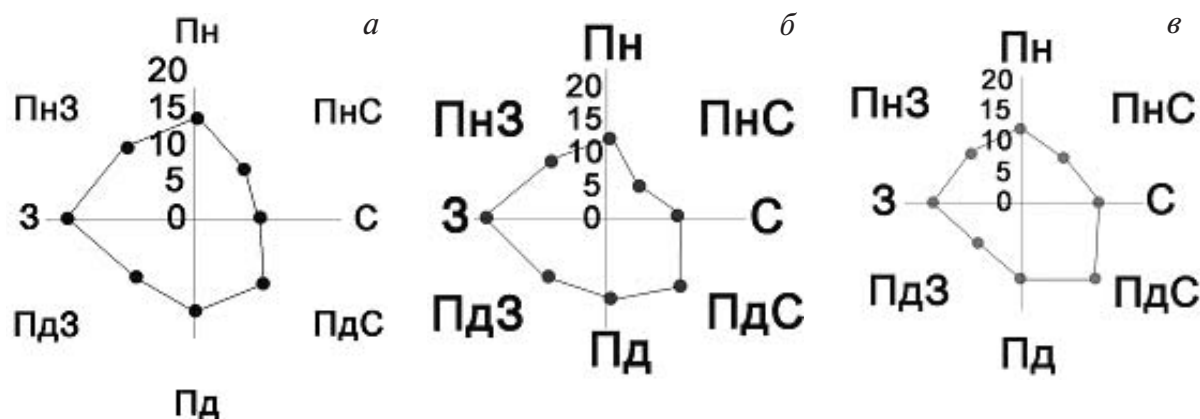


Рис. 1. Роза вітрів за даними метеоспостережень по м. Києву:
а — середньорічна, б — січень 2006 р., в — лютий 2006 р.

Територія СЗЗ КДМСК відноситься до лісостепової зони правобережної частини Придніпровської височини. В геоморфологічному відношенні місцевість розташована в межах ерозійно-аккумулятивної лісової рівнини (Київське плато). Рельєф поверхні хвилястий, розчленований короткими і широкими балками, схили яких задерновані і заліснені. Укони рельєфу на більшій частині території становлять $5-15^{\circ}$. Для місцевості характерна площинна ерозія, у зв'язку з чим на західній окраїні СЗЗ схили балок місцями порізані ярами. Швидкість зростання ярів не перевищує 3 м на рік. Абсолютні відмітки поверхні землі становлять 160-170 м на вододільних схилах та 99-110 м по днищам балок. Безпосередньо майданчик КДМСК розташовано на куполовидному піднятті рельєфу з абсолютними відмітками до 170 м.

На відстані 250-300 м в північному напрямку вздовж промайданчика КДМСК протікає струмок Віта, що впадає в однойменну річку, яка є притокою Дніпра. Відстань до долини р. Дніпро становить 1,6 км. Швидкість течії в струмку становить $0,1\text{ мхс}^{-1}$. Ширина заплави струмка в межах СЗЗ становить 80-160 м. Заплава

частково заболочена, характерна рослинність — очерет, осока. Рослинність: незаболочені ділянок заплави представлена лучними травами. Площа водозбору в межах СЗЗ становить 445,4 га. Середньорічний поверхневий стік з 1 га площі становить 1310 м³.

В геоструктурному відношенні район розміщений на північно-східному схилі Українського кристалічного щита. В будові приймають участь четвертинні алювіальні, верхньочетвертинні утворення, відклади полтавської свити середнього міоцену, київських і бучацьких свит еоцену.

Відклади бучацької свити середнього еоцену представлені алевритами (супісками), щільними, зеленувато-сірими, пилюватими пісками потужністю 15 і більше метрів.

Залігаючи вище відклади київської свити представлені у верхній свиті голубувато-зеленувато-сірим суглинком з прошарками піску. В долині і бортах струмка Віта суглинковідсутній. Під суглинком розкриті мергельні глини з тонкими прошарками піску. Потужність суглинків 1-7 м, мергелистих глин — до 30 м. В долині струмка поверхня цих відкладів знаходиться на глибині 17-20 м, на схилах плато глибина залягання збільшується.

Пошуки полтавської свити середнього міоцену — пилюваті і дрібні, залягають на київських відкладах, потужністю 1-9 м і більше. Місцями вони виклинюються — в долинах р. Дніпро, струмка Віта, а також на ділянці сховищ твердих радіоактивних відходів на майданчику ПЗРВ; тут, на породах київської свити верхнього еоцену, залягають верхньочетвертинні відклади.

Вище, в межах лесової рівнини, повсюдно під ґрунтово-рослинним шаром залягають верхньочетвертинні еолово-делювіальні відклади, представлені у верхній частині товщі палево-жовтими лесами і супіснями потужністю від 8 до 19 м. Нижче залягають піски пилюваті, що перешаровуються супіснями, потужність пісків 2-8 м, супісей — 1-7 м. Супісі поширені не повсюдно.

Алювіальні відклади долин рік представлені нерозчленованими сучасно-середньочетвертинними пісками у верхній частині з прошарками глинистих ґрунтів, загальна потужність яких 30 м і більше. Долина струмка Віта складена сучасними четвертинними глинистими ґрунтами з прошарками піску, загальною потужністю до 5 м.

В гідрогеологічному відношенні територія відноситься до Дніпровсько — Донецького артезіанського басейну. На описуваній території на досліджувану глибину поширені такі водоносні горизонти:

- водоносний горизонт четвертинних алювіальних відкладів;
- водоносний горизонт верхньочетвертинних (попело-делювіальних) відкладів (Qiv);
- водоносний горизонт відкладів полтавської свити середнього міоцену (N1 pl);
- водоносний горизонт відкладів верхньої частини київської свити верхнього еоцену (Pg2kv);
- водоносний горизонт відкладів бучацької свити середнього еоцену (Pg2bc).

Ґрунтовий покрив земель території ПЗРВ і санітарно-захисної зони представлений переважно ґрунтами опідзоленого типу, формування яких відбувалося на лесових відкладах. Ґрунти, сформовані на лесах, мають добру капілярність. Характерною особливістю лесів є відносно високий вміст в них карбонатів кальцію.

Алювіально-делювіальні відклади утворюють ґрунти в днищах балок і в місцях постійних водотоків, вони складені з нанесень ґрунту, що змиваються з прилеглих схилів. Байраково-балкова система добре дреноує територію, утворюючи глибокі місцеві ділянки ерозії. Байраки і балки прорізають четвертинні, а місцями і третинні відклади.

Опис пробної площі

Пробна площа 50 x 100 м (0,5 га) закладена на південь від Київського ПЗРО, впритул до його огорожі. Рослинність даної ділянки являє собою комплексний утвір. Тут наявна штучна чотирьохрядова алея берези повислої віком 40 років та молоді природні поновлення берези від цієї алеї (віком 15-20 років), розділені окремими ділянками без деревної рослинності, де представлений комплексний травостій, що складається з лісових та лучних видів.

Підріст берези повислої у кількості 64 шт./25 м², висотою 2-2,5 м, діаметром 1,5-2 см. Серед підросту зростають окремі дерева осики.

Підлісок представлений поодинокими кущами зіноваті руської (*Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wol.) Klaskova) та дроку красильного (*Genista tinctoria* L.).

Трав'яно-чагарничковий ярус від середньої густоти (50-60 %) до дуже густого (80-100 %), дуже мозаїчний, групами, з переважанням куртин куничника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) з нечуйвітром зонтичним (*Hieracium umbellatum* L.), які займають близько 85 % площі трав'яних фітоценозів; чистих заростей нечуйвітра зонтичного, які займають близько 10 % площі; золотушника канадського (*Solidago canadensis* L.), які займають приблизно 5 % площі.

До флористичного складу рослинного покриву трав'яних фітоценозів входить комплекс лісових та лучних видів, із незначною домішкою видів піщаних перелогів. Головну роль у створенні рослинного покриву відіграють куничник наземний (проективне покриття дорівнює 45-50 %), нечуйвітер зонтичний (25-30 %), золотушник канадський (8-10 %).

Ценотична будова трав'яних фітоценозів даної території досить складна. У їхньому рослинному покриві чітко виділяються 3-и під'яруси:

I — висотою 80-120 см;

II — висотою 40-50 см;

III — висотою 15-20 см.

У першому під'ярусі як домішка зустрічаються такі види:

ластовень лікарський (*Vincetoxicum hirundinaria* Medik), наперстянка великокріткова (*Digitalis grandiflora* Mill.), дзвоники кропиволисті (*Campanula trachelium* L.), дзвоники персиколисті (*Campanula persicifolia* L.) — 1 %, золотушник звичайний (*Solidago virgaurea* L.) — 3 %, смовдь оленьча (*Peucedanum cervaria* (L.) Lapeyr.) — 1 %, смовдь гірська (*Peucedanum oreoselinum* (L.) Moench.) — 3 %, стенокис однорічний (*Stenactis annua* L.) — 1 %, відкасник Біберштейна (*Carlina biebersteinii* Bernh. ex Hornem.), грестиця збірна (*Dactylis glomerata* L.), енотера червоностеблова (*Oenothera rubricaulis* Klebahn), куничник тростинний (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth) — 1 %, гіркуша нечуйвітрова (*Picris hieracioides* L.), морква дика (*Daucus carota* L.) та деякі інші.

До другого під'ярусу як домішка входять: підмаренник справжній (*Galium verum* L.), в'язіль різнобарвний (*Coronilla varia* L.), дзвоники розлогі (*Campanula patula* L.), ранник вузлуватий (*Scrophularia nodosa* L.), деревій щетинистий (*Achillea setacea* Waldst. et Kit.) — 3 %, волошка лучна (*Centaurea jacea* L.) — 3 %, хвощ лучний (*Equisetum pratense* L.), конюшина середня (*Trifolium medium* L.) — 3 %, полин польовий (*Artemisia campestris* L.) — 3 %, віскарія звичайна (*Viscaria vulgaris* Bernh.), тонконіг лучний (*Poa pratensis* L.) — 3-5 %, вероніка колосиста (*Veronica spicata* L.), материнка звичайна (*Orygantum vulgare* L.) — 5 %, різак звичайний (*Falcaria vulgaris* L.), конюшина альпійська (*Trifolium alpestre* L.), бедриниць ломикаменевий (*Pimpinella saxifraga* L.) — 1-3 %, лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus* L.), агалик-трава гірська (*Jasione montana* L.), польовиця собача (*Agrostis canina* L.) — 3 % та ін.

До третього під'ярусу як домішка входять: очанка пряма (*Euphrasia stricta* D. Wolff. ex J.F. Lehm.), конюшина золотиста (*Trifolium aureum* L.), конюшина польова (*Trifolium arvense* L.), ожика багатоквіткова (*Luzula multiflora* (Ehrh.) Lej.) 1–3 %, очиток Рупрехта (*Sedum ruprechtii* (Jalas) Omelczuk), перестріч дібровний (*Melampyrum nemorosum* L.), вероніка дібровна (*Veronica chamaedrys* L.), золототисячник звичайний (*Centaureum erythraea* Rafn) та ін.

Тип умов місцезростання: проміжний між свіжими суборами та свіжими сугрудами (B_2-C_2).

Розкопки кореневих систем рослин чітко продемонстрували, що найбільш щільно коре незаселеним шаром у даному екотопі є шар ґрунту 0–15 см, де знаходиться 80–85 % коріння трав'янистих рослин.

Методи досліджень

Методика відбирання проб

Для аналізу вмісту важких металів на території ПЗРВ було відібрано компоненти біогеоценозу. Після дослідження території було визначено найтиповішу деревну рослину (береза повисла, *Betula pendula*). Проби ґрунту і рослинності відбирали у низовині зі значним площинним змивом. Трав'янистий покрив збирали у межах проекції крони.

Для вибору модельного дерева було проведено суцільний облік дерев берези повислої на площі 0,5 га (усього 110 екземплярів). У кожного дерева виміряно діаметр стовбура, висоту та проекцію крони. За усередненими даними проведено пошук об'єкта.

Відібрано проби ґрунту (профіль 20 см, пошарово через 2 см); компоненти фітомаси берези віком 40 років, трав'янистий покрив. Координати точки відбору визначено за допомогою приладу системи глобального позиціонування (GPS). Кожен шар ґрунту площею 500 см² завтовшки 2 см було вміщено в окремий поліетиленовий пакет. Потім проводилось висушування зразків. Дерево (береза), взяте для дослідження, було розподілене за компонентами фітомаси. Стовбур було відділено від гілок та розрізано на рівні частини по 1,3 м. Частини було зважено у свіжезрубаному стані, загальна маса становить 173 кг. Для лабораторних досліджень взято колоду масою 12 кг та довжиною 1,3 м із середньої частини стовбура. З верхньої, середньої та нижньої частин стовбура було відібрано спиля товщиною 2–3 см (по 5 шт) загальною масою 6,4 кг (по частинам). Відділені гілки з нижнього, середнього та верхнього шарів крони були зважені у свіжезрубаному стані. Верхній шар: 20 гілок – 17,5 кг; середній шар: 14 гілок – 22 кг; нижній шар: 17 гілок – 34 кг. З кожного шару відібрано по одній гілці для лабораторних досліджень. Кожну відібрану гілку розділено за відповідними компонентами: товсті гілки, тонкі гілки, річний приріст, листя. Всі компоненти з трьох шарів дерева, а також відібрані зразки трав'янистого покриву, було висушено і передано на лабораторні дослідження.

Методика визначення важких металів у ґрунтах та рослинах

Висушену пробу ґрунту (або фітомаси) подрібнити у ступці до пудроподібного стану для збільшення площі контакту з ацетатом амонію та азотною кислотою, які використовуються для екстрагування.

Наважку ґрунту 10 грам помістити в стакан і залити 0,1 Н розчином ацетату амонію у кількості 100 мл (визначення обмінної форми). Витримати 1 добу, потім відфільтрувати через подвійний фільтр "синя стрічка".

Осад на фільтрі у тому ж стакані залити концентрованою азотною кислотою у

кількості 50 мл (валовий вміст). Кип'ятити 30 хвилин і також витримати 1 добу. Потім додати 50 мл дистильованої води і відфільтрувати через подвійний фільтр "синя стрічка" для того, щоб дрібнодисперсний осад не потрапив до розчину, а потім не спричинив засмічення капіляра атомно-адсорбційного спектрофотометра (ААС).

Ацетатний екстракт помістити в мірну колбу на 100 мл, довести до позначки ацетатним розчином. Кислотний екстракт також помістити у колби ємністю 100 мл, довести до позначки дистильованою водою. Аналізувати отримані проби на ААС, розпилюючи розчини в ацетилен-повітряному полум'ї.

Результати та обговорення.

Для аналізу вмісту важких металів було відібрано компоненти біогеоценозу: ґрунтовий профіль до глибини 20 см (пошарово через 2 см); трав'яна рослинність, компоненти фітомаси берези повислої віком 40 років (літо 2006 р.). У відібраних компонентах досліджено вміст Zn, Pb, Ni, Cu, Fe.

Розподіл Cu у шарах ґрунтового профілю свідчить про незначне підвищення вмісту металу на даній території порівняно з фоновими значеннями в межах Київського Полісся. Інтервал коливань вмісту в шарах ґрунту становить 17,19 – 20,75 мг·кг⁻¹, середнє значення – 18,64 мг·кг⁻¹. Загалом спостерігається рівномірний розподіл металу по ґрунтовому профілю. Середнє значення фонового вмісту становить 7,2 мг·кг⁻¹, інтервал коливань – 5–12 мг·кг⁻¹. Аналіз розподілу Ni в ґрунтовому профілі дослідної ділянки свідчить про деяку акумуляцію металу в нижніх шарах ґрунту (12–20 см). Інтервал коливань вмісту становить 12,11–17,89 мг·кг⁻¹, середнє значення – 14,65 мг·кг⁻¹. Максимальне значення вмісту Ni припадає на шар ґрунту 18–20 см. Вміст Ni в ґрунтах дослідної ділянки знаходиться в межах фонового значення. Межі фонового вмісту Ni становлять 4,0–27 мг·кг⁻¹. Підвищення вмісту Zn спостерігається в шарах ґрунту 2–8 см дослідної ділянки. Вміст Zn поступово зменшується з відмітки 10 см. Максимальне значення вмісту припадає на шар ґрунту 6–8 см – 66,01 мг·кг⁻¹. Інтервал коливань значень вмісту становить 47,13 – 66,01 мг·кг⁻¹, середнє значення – 53,9 мг·кг⁻¹. Значення вмісту Zn в ґрунтовому профілі даної ділянки знаходиться в межах фонового (18–60 мг·кг⁻¹). Відхилення від фону спостерігається лише в шарі 6–8 см. Слід зазначити, що фонові значення вмісту Zn в Українському Поліссі знаходяться на межі ГДК, встановлених для валового вмісту в ґрунті або навіть дещо перевищують їх. Підвищення вмісту Mn в ґрунтовому профілі дослідної ділянки спостерігається в шарах 0–2 см, 8–10 см та 18–20 см. Середнє значення вмісту становить 446,42 мг·кг⁻¹, що відповідає фоновому. Інтервал коливань вмісту Mn в ґрунті дослідної ділянки становить 387,75–521,68 мг·кг⁻¹. Для техногенних ландшафтів є характерним підвищення вмісту Mn в ґрунтах. Так, для території Київської міської агломерації показник вмісту елементу в ґрунті знаходиться в межах 60–2300 мг·кг⁻¹. Розподіл Fe нерівномірний. Спостерігається підвищення вмісту металу в шарах ґрунту 2–4 см, 6–8 см, 12–14 см та 18–20 см. Максимальне значення вмісту припадає на шар 18–20 см – 274,55 мг·кг⁻¹. Показник вмісту металу для дослідної ділянки коливається в межах 182,6 – 274,55 мг·кг⁻¹.

Аналіз вмісту важких металів в ґрунтовому профілі дослідної ділянки КДМСК свідчить про незначні відхилення від фонового значення. Спостерігається тенденція до акумуляції металів у нижніх шарах дослідженого ґрунту. Так, максимальні значення вмісту в шарі 18–20 см спостерігаються для Cu, Ni, Fe. Підвищення вмісту у шарі ґрунту 6–10 см спостерігається для Cu, Zn та Mn.

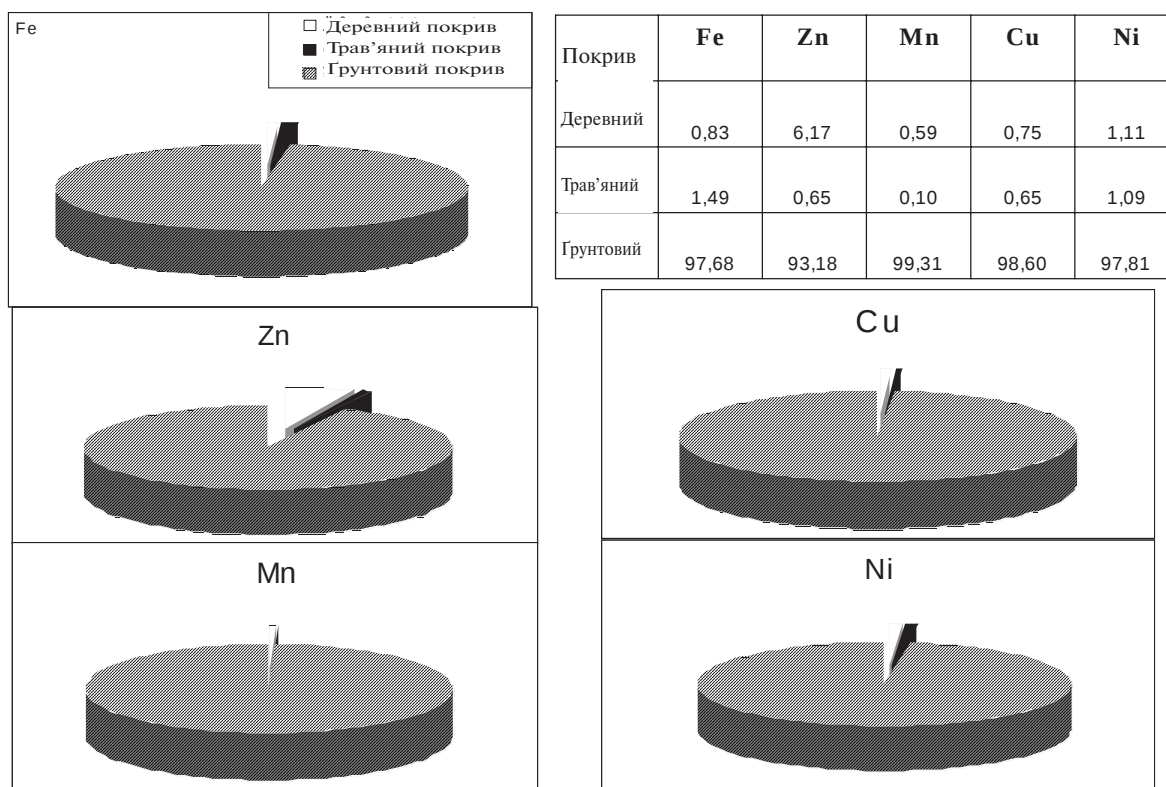


Рис. 1. Баланс важких металів в екосистемі берези повислої

Аналіз балансового розподілу важких металів в березі свідчить, що основна частка металів знаходиться в деревині та товстих гілках, близько 70%, на долю листя припадає близько 15 %, тонкі гілки – до 10 %, кора і річний приріст 3-4 %. На рисунку наведено баланс важких металів в екосистемі берези повислої. Встановлено, що основна кількість металів знаходиться в ґрунтовому покриві; близько 7 % Zn бере участь в біогеохімічній міграції; Mn є найменш активним в міграційних процесах.

Висновки

- Вміст важких металів у ґрунтовому профілі дослідної ділянки Київського ДМСК знаходиться в межах фонового. Вміст важких металів в ґрунті зростає в ряду: Ni < Cu < Zn < Fe < Mn.

- Акумуляція важких металів відбувається в основному в молодих органах. Вміст важких металів в органах дерева зменшується в ряду: річний приріст та листя > тонкі та товсті гілки > деревина та кора. Вміст важких металів в компонентах дерева збільшується в ряду: Ni, Cu < Fe < Mn, Zn. Порівнюючи цей ряд з розподілом важких металів в ґрунті можна зробити висновок. При порівнянні цього ряду з розподілом важких металів в ґрунті, спостерігається груповий тип акумуляції. Інверсія цинку та феруму в цих рядах свідчить про високу біоаккумуляцію Zn в досліджуваному біогеоценозі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулагин А.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. // М. : Наука, 2005. – 190 С.
2. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. // – Киев, "Наукова думка". – 2002, – 213 С.
3. Евдокимова Г.А. Микробиологическая активность почв при загрязнении тяжелыми металлами // Почвоведение. – 1982. – № 6.
4. Ягодин Б.А. Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. //Архангельск. – 1990. Т. 1.
5. Proctor J., Woodell S.R.J. The ecology of serpentine soil // Adv. Ecol. Res. – 1975. № 9.

*Інститут геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України,
м.Київ*

Надійшло до редакції 24.04.2008