

Особливості розподілу Zn та Mn у компонентах екосистеми грабу звичайного

Стеценко Д.О., Долін В.В., Орлов О.О., Бобков В.М., Смирнов В.М.
 Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України та
 МНС України, Київ, Україна

Досліджено вміст важких металів у компонентах екосистеми грабу зони Київського лісостепу. Встановлено закономірності балансового розподілу Zn та Mn між біотичною та абіотичною складовими лісового біогеоценозу.

Вступ. Проблема забруднення довкілля важкими металами є актуальною з моменту становлення людства на шлях промислового розвитку. Техногенний вплив призводить до незворотних змін балансу речовини біосфери, що спричинене концентруванням одних та розсіюванням інших елементів.

Важкі метали належать до мікроелементів, які впливають на оптимальні умови існування і продуктивність живих організмів і відіграють важливу роль у фізіологічних біохімічних та геохімічних процесах, що відбуваються в біосфері. Залежно від вмісту, розподілу та міграції в системі ґрунт – розчин – рослина вони можуть бути есенціальними і токсичними.

Небезпека надходження у довкілля важких металів визначається тим, що на відміну від органічних забруднювачів вони не руйнуються, а переходять з однієї форми в іншу, зокрема включаються у склад солей, оксидів, металоорганічних сполук. Історично склалось так, що на території України впродовж багатьох років діють потужні фактори забруднення довкілля саме цими полутантами. Це обумовлено багатьма причинами і насамперед тим, що на населення України, що становить всього 1 % від населення Землі, припадає близько 5 % загальносвітового видобутку і переробки мінеральних ресурсів. Крім того, майже 50 % врожаю вирощується на ґрунтах, що удобрюють хімікатами та оброблюють пестицидами. У вигляді баласту у ґрунти разом з мінеральними добривами вносять велику кількість металів [2]. Розподіл важких металів у ґрунтах значною мірою визначений джерелами забруднення. Зазвичай розглядають два типи техногенного розсіювання: 1) техногенний – внаслідок викидів підприємств; 2) агрогенний – внаслідок використання мінеральних та органічних добрив.

Джерелом надходження важких металів у навколишнє середовище є відходи практично всіх галузей народного господарства. Найбільш токсичними є іони металів Cu, Cd, Pb, Cr, Mn, Hg, Fe, Al, Se, Sn. Техногенний пил, який виділяється внаслідок функціонування підприємств важкої промисловості в середньому містить, %: цинку – 6,72, свинцю – 0,11, кадмію – 0,01. Ґрунтова аномалія забруднення при цьому спостерігається в радіусі 7 км. Викиди від таких підприємств поширюються в радіусі 10–40 км, осідаючи на рослинах та проникаючи в ґрунт на глибину 10–15 см. Тому сільськогосподарські культури, що ростуть в промислових районах, накопичують токсичні компоненти таких викидів, що може призводити до зниження урожайності та загибелі рослин [6, 8, 9].

Об'єкти та методи досліджень. Для аналізу вмісту важких металів було відібрано проби основних складових екосистеми грабового лісу. Виконано геоботанічний опис екосистеми та горизонтів ґрунтового профілю, суцільний перелік деревостану, відібрано пошарові зразки ґрунту на глибину кореневого живлення, яруси лісової підстилки, трав'яний, кущовий, деревний яруси екосистеми.

Досліджувана екосистема розташована на південно-східній околиці м. Києва, поблизу Київського сховища радіоактивних відходів. Пробна площа розміром 40 × 50 м (0,2 га) являє собою грабовий ліс на світло-сірих лісових ґрунтах складом: 10Г + Яс, Вз, із зімкнутістю крон – 0,8. Граб має вік 50 років, середню висоту 22,6 м, середній діаметр 27,2 см. Кількість дерев – 300 шт./га.

Повнота насадження – 0,70. Запас деревини – 187,7 м³/га. На основі статистичного оброблення даних суцільного переліку деревостану на пробній площі вибрано і спиляно модельне дерево.

Модельне дерево розділено по висоті на три частини, з кожної частини відділено деревину, кору, тонкі і товсті гілки, однолітній приріст, листя. Всі зразки висушено за температури 90 ± 5 °С, визначено сиру та суху вагу. У відібраних компонентах екосистеми досліджено вміст Zn та Mn.

Підлісок нерівномірної зімкнутості (0,1–0,2), куртинний, складається з бруслини бородавчастої (*Euonymus verrucosa*) (38 шт./га), ліщини звичайної (*Corylus avellana*) (25 шт./га), висота кущів – 1,2–1,3 м. Відбір трав'яного та кущового ярусів здійснювали з площі 1 м² з визначенням вагових показників видів рослинності.

Відбори ґрунту проведені з площі 500 см², мінеральні шари відібрані по шарах 2 см завтовшки до глибини 30 см.

Опис ґрунтового профілю.

Н₀ не розкл. – лісова підстилка не розкладена (сучасний опад), складається з листя дерев, гілок дерев та відмерлих трав'янистих рослин.

Н₀ напіврозкл. + розклад. – лісова підстилка напіврозкладена разом з розкладеною. Являє собою тонкий шар, до 1 см завтовшки і містить напіврозкладені рештки підстилки.

НЕ – гумусово-елювіальний горизонт, глибина поширення – 0–12 см, коричневий, легко суглинистий, свіжий, густо пронизаний корінням трав та дерев, перехід поступовий.

Е – елювіальний, глибина поширення – 12–30 см, палекий, пілувато-піщаний, безструктурний, з невеликою кількістю коріння, перехід хвилястий.

І – ілювіальний, глибина поширення – 30–45 см, коричневий, важко-суглинистий, до глинистого, виразно шаруватий, свіжий, з більш світлими округлими плямами елювію, без коріння, перехід поступовий.

ІР – перехідний горизонт від ілювіального горизонту до материнської породи. Глибина поширення – 45–100 см, яскраво-коричневий, глинистий, свіжий, з окремими блідими плямами.

Р – ґрунотвітна порода – лес.

Обробка зразків ґрунту проходила у 3 стадії. Наважку ґрунту у статичних умовах послідовно екстрагували амонійно-ацетатним буферним розчином (рН 4,8) (обмінні форми) і 1 М розчином HNO₃ (сорбовані, рухомі або потенційно доступні форми). Після виділення потенційно доступних форм наважку ґрунту озолювали при температурі 450 °С, а потім розчиняли в концентрованій HNO₃ з кип'ятінням (фіксовані форми).

Обробка зразків рослинного походження полягала в наступному. Зразки рослинності піддавали термічному обробленню за температури 600 °С, а потім розчиняли в 0,1н HNO₃. Аналізи проводили на ААС, розпилюючи розчини в ацетилен-повітряному полум'ї.

Окрім показників питомого вмісту було використано показники балансового вмісту важких металів у компонентах екосистеми. Балансовий вміст дає змогу проаналізувати розподіл важких металів у компонентах біогеоценозу, враховуючи продуктивність фітомаси та масу ґрунтових шарів. Балансовий вміст елемента визначається добутком питомого вмісту в компоненті (мг·кг⁻¹) на продуктивність фітомаси цього компонента екосистеми (кг·га⁻¹). Балансовий розподіл визначається відсотковим відношенням балансового вмісту елемента в компоненті до сумарного балансового вмісту в екосистемі. Під час розрахунку балансового розподілу в екосистемі в цілому враховується сумарний балансовий вміст у ґрунті до глибини 20 см (зона активного кореневого живлення). Використання балансових показників є основою екосистемного підходу досліджень в біогеохімії.

Мета проведених досліджень полягає у визначенні особливостей вмісту та розподілу Zn та Mn у компонентах лісової екосистеми.

Об'єктом досліджень є процеси розподілу важких металів у компонентах екосистеми.

Предмет дослідження – грабова екосистема південно-східної околиці м. Києва.

Результати та їх обговорення. Розподіл Zn та Mn в ґрунтовому профілі. Аналіз питомого вмісту Zn у ґрунті свідчить про незначні відхилення від фонових показників.

Максимальне значення вмісту спостерігається в шарі 16–18 см і становить $31,77 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$. Мінімальне значення відповідає шару ґрунту 0–2 см – $8,9 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$. Для світло-сірих лісових ґрунтів території центрального Полісся вміст Zn коливається в межах $7\text{--}80 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ [2, 7]. Балансовий розподіл Zn у ґрунтовому профілі даної екосистеми не рівномірний. Значна акумуляція прослідковується в шарах 10–12, 16–18 та 28–30 см. Так, на шари 16–18 та 28–30 см припадає по 12 та 13 % запасу Zn у ґрунті відповідно (рис. 1). Акумуляція Zn у цих горизонтах приурочена до двох геохімічних бар'єрів. На глибині 16–20 см спостерігається перехід від гумусово-елювіального горизонту до елювіального, а на глибині 24–30 см – перехід від елювіального до ілювіального горизонту. Частка лісової підстилки в акумуляції Zn для даної екосистеми незначна. Від загального запасу в ґрунті на частку підстилки припадає лише 0,03 % Zn.

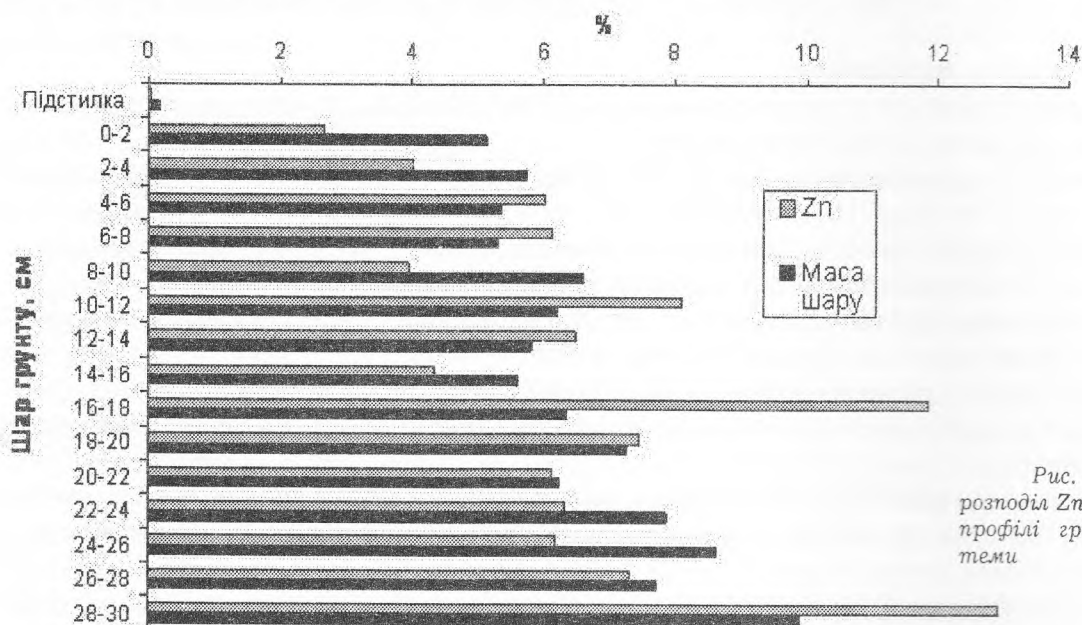


Рис. 1. Балансовий розподіл Zn у ґрунтовому профілі грабової екосистеми

Активізація біогеохімічних процесів у верхніх шарах ґрунтового горизонту визначає підвищений вміст іонообмінних та доступних форм Zn у шарі потужністю 10 см (рис. 2). Так, у шарі 0–2 см обмінні та сорбовані форми цинку складають 60 %, для шарів 6–8 см та 8–10 см – близько 40 %. У нижніх шарах ґрунтового профілю частка міграційних форм становить від 5 до 20 %; спостерігається тенденція щодо зменшення їх кількості з глибиною. Збільшення частки обмінних та сорбованих форм цинку спостерігається лише для гумусово-елювіального горизонту. Такий розподіл є характерним для ґрунтів даного типу.

Розподіл марганцю у ґрунтовому профілі грабової екосистеми рівномірний. Середнє значення питомого вмісту Mn у ґрунті становить 170, інтервал коливань – $138,9\text{--}212,9 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$. Максимальне значення вмісту спостерігається у верхніх шарах ґрунту (0–6 см). Для світло-сірих лісових ґрунтів спостерігається характерне накопичення марганцю у верхніх шарах. На території центрального Полісся вміст Mn у ґрунтах даного типу знаходиться в межах $50\text{--}1200 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ [2, 7]. Максимальні значення питомого вмісту марганцю відмічені в ґрунтах відвалів кар'єрів марганцевих родовищ та в промислово-забруднених районах ($1500\text{--}4300 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$) [3].

Спостерігається акумуляція Mn у гумусово-елювіальному горизонті (0–14 см), що містить до 45 % запасу металу, на межі елювіального та ілювіального горизонтів ґрунтового профілю (24–26 см) акумулюється близько 9 % Mn (рис. 3). У зоні переходу від ілювіального горизонту до материнської породи акумуляція не спостерігається.

Міграційна здатність Mn у ґрунті значно нижча, ніж Zn. Аналіз балансового розподілу форм знаходження марганцю у ґрунтовому профілі (рис. 4) свідчить, що для даного ґрунту зоною міграції є гумусово-елювіальний горизонт (0–12 см). Даний горизонт густо пронизаний

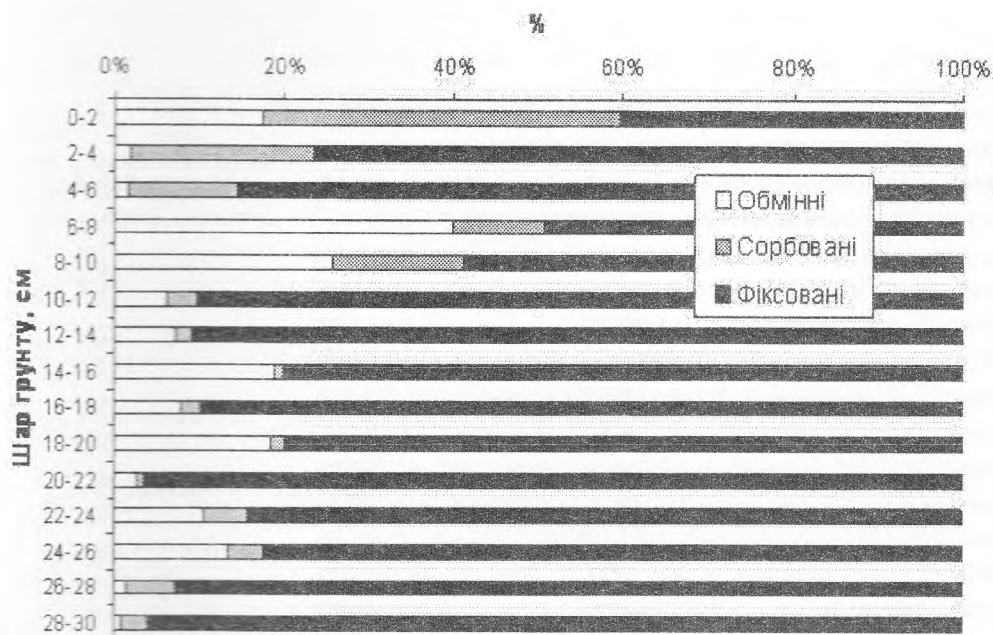


Рис. 2. Баланс форм знаходження Zn у ґрунтовому профілі

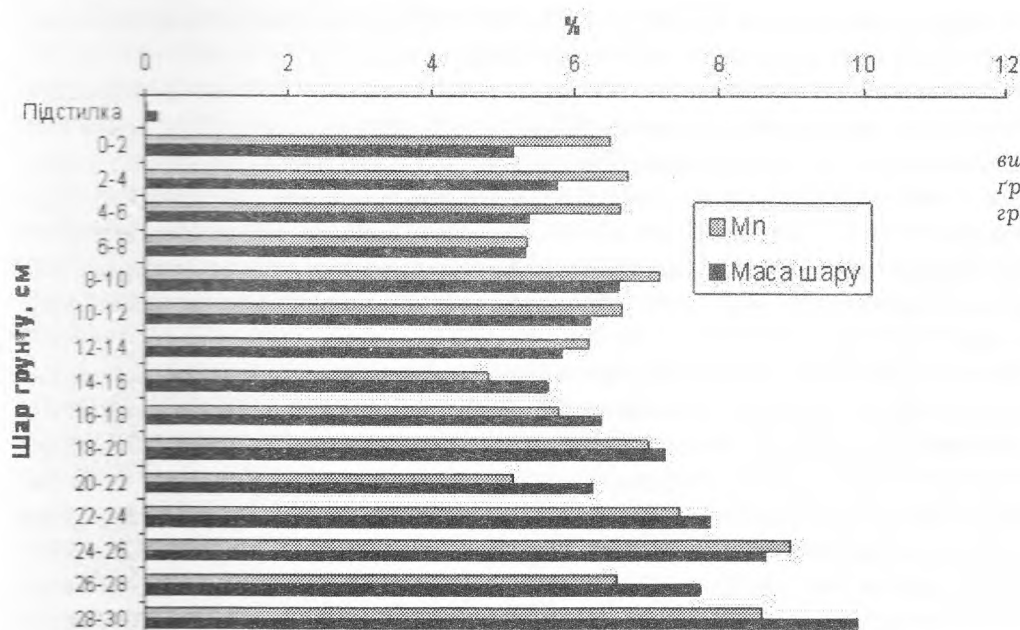


Рис. 3. Балансовий розподіл Mn у ґрунтовому профілі грабової екосистеми

кореневою системою трав та дерев. Відомо, що шар ґрунту 0–16 см є зоною активного кореневого живлення, – це і пояснює збільшення частки міграційних форм Mn до 15 %. Також спостерігається збільшення іонообмінних форм у зоні переходу від елювіального до ілювіального горизонту (24–26 см). Найменша частка міграційних форм припадає на шар ґрунту 14–16 см (0,6 % – обмінні форми, 2 % – сорбовані), саме на цій глибині відбувається перехід від гумусово-елювіального горизонту до елювіального. Загалом частка міграційноздатних форм марганцю становить від 3 до 15 %, від 85 до 97 % його знаходиться у фіксованій формі.

Розподіл Zn та Mn в компонентах фітомаси грабу звичайного. Цинк є одним з головних біофільних мікроелементів, він входить до складу кількох ферментів і тому бере участь в білковому, вуглеводневому та фосфорному обміні речовин. Недостатність цинку веде до порушення фосфорного обміну, зменшення вмісту сахарози та крохмалю, збільшення частки органічних кислот та небілкового азоту. Симптомами нестачі Zn є дрібнолистяність, хлорози та затримка росту [1]. Відсутня єдина думка щодо нормального вмісту цинку в рослинах. За даними різних

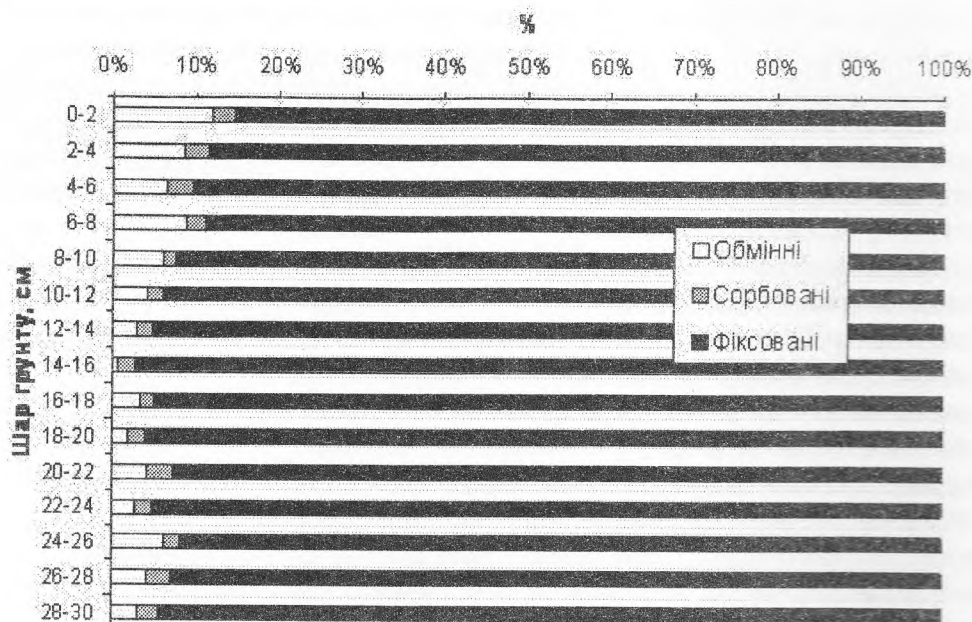


Рис. 4. Баланс форм знаходження Mn у ґрунтовому профілі за формами знаходження

авторів, вміст Zn коливається у межах від 15 до 150 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$. ГДК для рослин встановлений в межах від 150 до 300 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ при рівні фітотоксичності понад 400 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ [5].

Цинк активно накопичується у листі та репродуктивних органах рослин. Максимальна концентрація Zn виявлена у листі тополі чорної (110,7 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$), осики (61,2 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$) та верби білої (50,9–150 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$). Встановлено, що накопичення цинку для більшості деревних порід зменшується в ряду: приріст > листя > тонкі гілки > кора > товсті гілки > деревина. У молодих рослин більше 75 % від загального запасу цинку припадає на надземну частину, а у старих ця частка становить 20–30 %. Відомо, що коріння здатне накопичувати значну кількість цинку. Так, коренева система берези містить до 1420 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ Zn, притому, що в листях та деревині може знаходитися до 60 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ Zn [3].

Аналіз питомого вмісту цинку в компонентах фітомаси граба свідчить, що максимальне накопичення спостерігається у листі та прирості – 3,56 та 5,1 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ (табл. 1). Слід відмітити, що вміст цинку в цих органах у берези повислої (південно-східна околиця м. Києва), становить 400–790 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$, що навіть перевищує рівень фітотоксичності. За нашими даними вміст Zn в листі дуба (Пилиповецьке лісництво, Житомирська область) становить 6,5 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$, у листі та прирості вільхи чорної – 0,1 та 3,6 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$, а для берези бородавчатої в цих же органах – 5,01 та 2,4 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ відповідно (Білоозерське лісництво, Рівненський природний заповідник). У грабі вміст Zn становить, $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$: у деревині – 1,53, товстих гілках – 3,4, в тонких – 4, в корі 3,51 (табл. 1). Слід відмітити, що загалом у граба спостерігається значно нижчий від норми вміст цинку (< 15 $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$). Накопичення Zn органами граба зменшується в ряду: приріст > листя > тонкі гілки > кора > товсті гілки > деревина. Вміст цинку в рослинності підросту та трав'яно-чагарникового ярусу пробної площі, як і в органах граба звичайного, менше від норми (табл. 2).

Балансовий розподіл цинку між органами граба розраховано з урахуванням фітомаси та даних суцільного обліку деревостану. Основна частка Zn знаходиться, %: в деревині – 80, в товстих гілках – близько 11, в корі – 5, в тонких гілках – 3,3, на частку листя та річного приросту

припадає лише 1 % цинку від запасу в дереві (рис. 5). Даний розподіл загалом відповідає продуктивності фітомаси, яка зростає в ряду: річний приріст < листя < тонкі гілки < кора < товсті гілки < деревина.

Таблиця 1. Вміст Zn та Mn в органах граба звичайного (*Carpinus betulus*), $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$

Елемент	Компонент фітомаси					
	Листя	Приріст	Гілки тонкі	Гілки товсті	Кора	Деревина
Zn	4,4	5,1	4	3,5	3,51	1,53
Mn	29,1	18,2	19,1	17,4	69,23	17,2

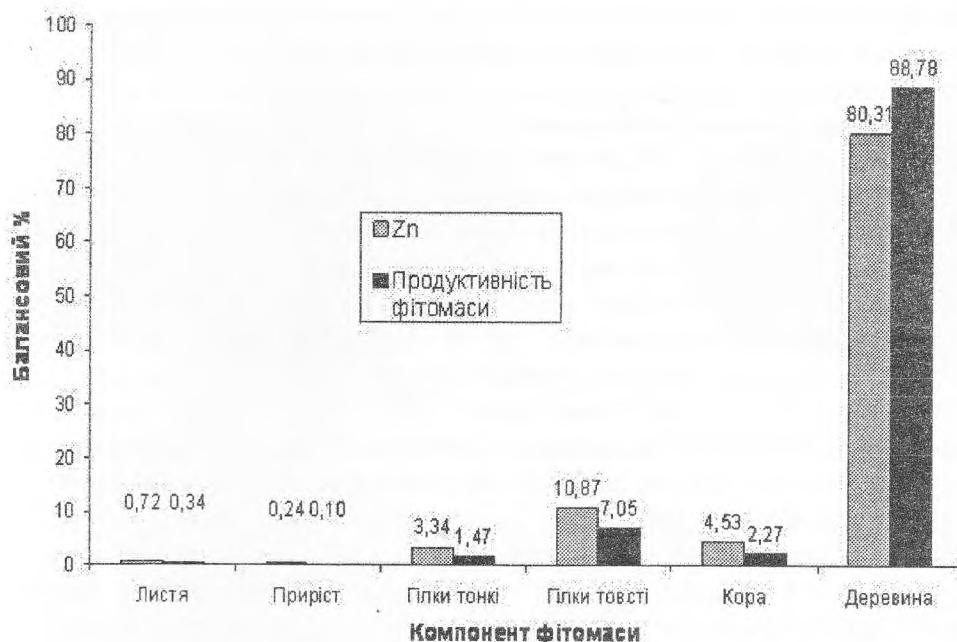


Рис. 5. Балансовий розподіл Zn у компонентах фітомаси граба

Розподіл за ярусами свідчить, що запас цинку зростає згори донизу, так, на нижню частину дерева припадає 45 % Zn, на верхню – 25 %. Різниця запасу цинку в листі та прирості по висоті незначна. Близько 50 % цинку в корі припадає на нижню частину дерева. Запас металу в деревині зростає згори донизу, що відповідає розподілу фітомаси.

Марганець, як і цинк, бере активну участь у біогеохімічних процесах. Він входить до складу тканин всіх рослин, але кількість його у різних систематичних групах сильно відрізняються. Максимальна кількість марганцю міститься в цитоплазмі рослинних клітин. Основними функціями Mn у рослинних клітинах є каталіз та участь в окисно-відновних реакціях та фотосинтезі. Основними симптомами браку Mn є плями на листі видовженої форми, які частіше проявляються за умови вирощування рослин на карбонатних та торф'яних ґрунтах [5].

Вміст марганцю в рослинах, як одного з головних фізіологічних елементів, становить 100п, а іноді й 1000п мг·кг⁻¹. Розподіл Mn в органах рослин нерівномірний. Це пояснюється біологічними особливостями різних видів, умовами зростання та вмістом марганцю у ґрунті. Максимальна кількість Mn накопичується в листі та прирості. Так в листі вміст марганцю становить, мг·кг⁻¹: берези повислої – 300–2700, клена гостролистого – 230, бузини червоної – 215. У більшості деревних порід концентрація Mn знаходиться в межах від 10 до 200 мг·кг⁻¹.

Фітотоксична концентрація для марганцю становить 500 мг·кг⁻¹. Мінімальний вміст Mn характерний для листя папороті чоловічої – 2,5 мг·кг⁻¹, калини звичайної – 5,7 мг·кг⁻¹, яглиці звичайної – 6,3 мг·кг⁻¹. Нормальним вмістом Mn для рослин вважається 100 мг·кг⁻¹ або в межах від 10 до 300 мг·кг⁻¹. ГДК для рослин не встановлено. Критичною вважається концентрація 300, фітотоксичною – понад 500 мг·кг⁻¹ [4].

Таблиця 2. Вміст Zn та Mn в рослинності підросту та трав'яно-чагарникового ярусу екосистеми граба звичайного, мг·кг⁻¹

Вид	Zn	Mn
В'яз гладенький	2,63	13,7
Зеленчук жовтий	4,65	53,25
Копитняк європейський	4,9	47,25
Яглиця звичайна	4,5	59,15
Осока волосиста	3,54	33,55
Ясен звичайний	4,38	21,2
Папороть чоловіча	4,21	33,8
Клен гостролистий	4,16	66,6

Аналіз питомого вмісту марганцю в компонентах фітомаси граба свідчить, що максимальні показники концентрації спостерігаються в корі та листі – 69,23 та 29,1 мг·кг⁻¹ відповідно (табл. 1). Вміст Mn у прирості, гілках та деревині майже не відрізняється і знаходиться в межах від 17,2 до 19,1 мг·кг⁻¹. За зменшенням питомого вмісту марганцю органи граба звичайного можна розташувати в ряду: кора > листя > тонкі гілки > приріст > товсті гілки > деревина. Вміст Mn у листі зменшується згори донизу, для кори спостерігається зворотна закономірність. Для гілок та деревини

відмічається збільшення концентрації металу в середній частині дерева, а для приросту максимальне значення припадає на нижню. Зазначимо, що концентрація марганцю в компонентах граба даної екосистеми знаходиться в межах норми, навіть дещо занижена. Питомий вміст марганцю в підрості та трав'яно-чагарниковому ярусі знаходиться в межах норми. Спостерігається підвищення вмісту Mn у яглиці звичайної – $59,15 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ (норма – $5-20 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$).

Балансовий розподіл Mn для граба звичайного свідчить, що основний запас металу зосереджено в деревині (80 %), що відповідає розподілу фітомаси дерева (рис. 6). Акумуляція марганцю спостерігається в корі (10,7 % запасу), на яку припадає лише 2,2 % фітомаси. Балансовий розподіл Mn за ярусами не відповідає розподілу фітомаси, так, на середню частину дерева припадає 53 % запасу металу, а на верхню та нижню – 18 та 30 % відповідно. Це пояснюється збільшенням концентрації Mn в деревині середньої частини дерева. Отже запас марганцю для граба зростає в ряду: річний приріст < листя < тонкі гілки < товсті гілки < кора < деревина.

Балансовий розподіл Zn та Mn між біотичними та абіотичними компонентами екосистеми граба звичайного. Аналіз балансового розподілу цинку та марганцю в екосистемі граба свідчить, що основна частина металів знаходиться в ґрунті (рис. 7). Частка ґрунтового запасу Zn у даній екосистемі становить 99,3 %, в рослинній складовій зосереджено 0,6 %, на частку лісової підстилки припадає лише 0,1 %. Даний розподіл не відповідає розподілу фітомаси в даній екосистемі, оскільки частка живої речовини становить 6,7 %. Слід відмітити, що частка цинку в біотичній компоненті екосистеми берези повислої становить 7 % (південно-східна околиця м. Києва) та 6,3 % (Білоозерське лісництво, Рівненський природний заповідник). Як зазначено раніше, це пояснюється біологічними особливостями різних видів, умовами зростання та вмістом марганцю у ґрунті.

Балансовий розподіл марганцю в даній екосистемі майже не відрізняється від розподілу цинку (рис. 7). Майже 99,3 % запасу металу знаходиться в ґрунті, частка підстилки становить лише 0,03 %. Запас Mn у біотичній компоненті екосистеми складає 0,7 %, що є характерним для балансового розподілу цього металу в інших екосистемах (0,6 % – екосистема берези повислої південно-східної околиці м. Києва, 1,1 % – екосистема дуба, Пилиповецьке лісництво, Житомирська область). За нашими даними, збільшення частки марганцю в біотичній компоненті екосистеми спостерігається лише для лісоболотяних ландшафтів з торф'яними ґрунтами (13,2 %, Білоозерське лісництво, Рівненський природний заповідник).

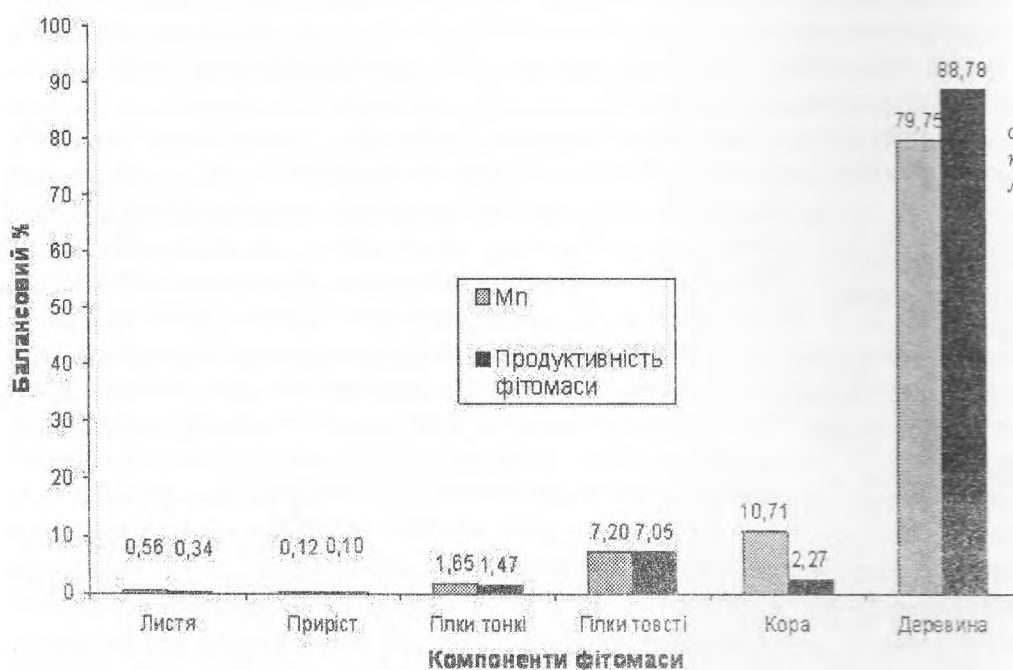


Рис. 6. Балансовий розподіл Mn у компонентах фітомаси граба звичайного

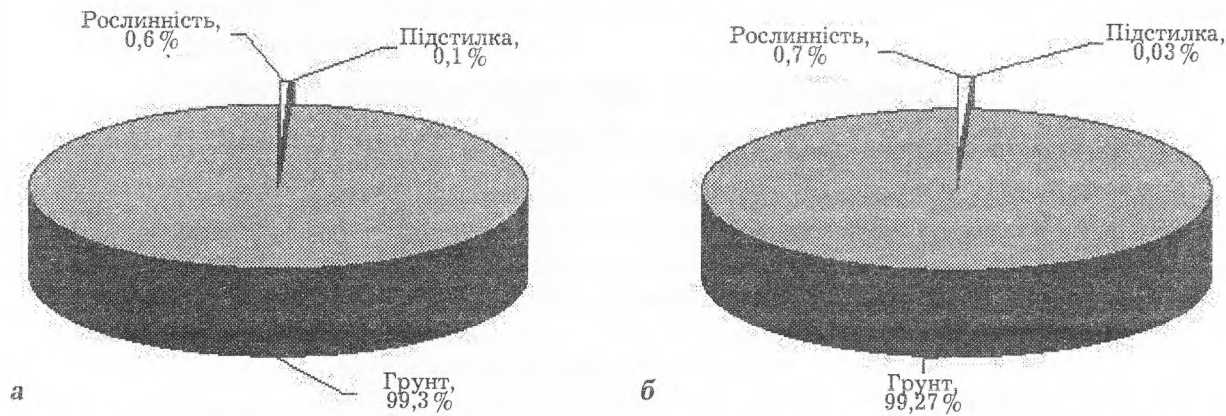


Рис. 7. Балансовий розподіл Zn та Mn між біотичними та абіотичними компонентами екосистеми граба звичайного

Висновки. Рівномірність розподілу Zn та Mn між мінеральними шарами ґрунту та незначна частка їх, що припадає на лісову підстилку, а також відповідність фоновим значенням свідчить про їхнє природне походження. Акумуляція металів приурочена до двох геохімічних бар'єрів (зміна генетичних горизонтів). Збільшення частки міграційних форм спостерігається у верхніх шарах ґрунту (гумусово-елювіальний горизонт) і становить, %: Zn – до 40, Mn – 12.

Акумуляція важких металів переважно відбувається у молодих органах граба. Питомий вміст металів у органах граба зменшується в ряду: для Zn – приріст > листя > тонкі гілки > кора > товсті гілки > деревина; для Mn – кора > листя > тонкі гілки > приріст > товсті гілки > деревина. За вертикальним розподілом концентрація важких металів зменшується згори донизу.

Балансовий розподіл Zn та Mn загалом відповідає розподілу фітомаси граба і зростає в ряду: для Zn – річний приріст < листя < тонкі гілки < кора < товсті гілки < деревина; для Mn – річний приріст < листя < тонкі гілки < товсті гілки < кора < деревина.

Основна частина Zn та Mn зосереджена у біотичній компоненті екосистеми – 99,3 %. Менше 1 % досліджуваних важких металів бере участь у процесах біогеохімічної міграції.

1. Гудков И.Н., Гуральчук Ж.З., Петрова С.А. Цитотоксическое и цитогенетическое действие цинка на растения и его снятие с помощью магния // Докл. АН УССР. – 1986. – № 12. – С. 61–63.
2. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. – К. : Наук. думка, 2002. – 213 с.
3. Кулагин А.А., Шагиева Ю.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. – М. : Наука, 2005. – 190 с.
4. Матвеев Н.М., Павловский В.А., Прохорова Н.В. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. – Самара : Изд-во Самар. ун-та, 1997. – 100 с.
5. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. – Самара : Изд-во Самар. ун-та, 1998. – 97 с.
6. Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1989. – 325 с.
7. Самчук А.І., Кураєва І.В. та ін. Важкі метали у ґрунтах Українського Полісся та Київського мегаполісу. – К. : Наук. думка, 2006.
8. Ягодин Б.А. Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – Т. 1. – Архангельск, 1990.
9. Edwards C.A. The effects of contaminants on the structure and function of soil communities // 11 Int. Collog. Soil Zool. (Jyvaskyla, 10–14 Aug., 1992) : Program and Abstr. – 1992. – P. 136.

РЕЗЮМЕ. Исследовано содержание тяжелых металлов в компонентах экосистемы граба в лесостепной зоне окрестностей г. Киева. Определены закономерности балансового распределения Zn и Mn между биотическим и абиотическим компонентами лесного биогеоценоза.

SUMMARY. The content of heavy metals in hornbeam ecosystem sampled within Kyiv Forest-Stepp zone is explored. The regularities of Zn and Mn balance distribution between biotic and abiotic levels of the forest ecosystem have been studied.