
BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



A. I. Samchuk¹

Dr. Sci. (Chem.), Sen. Res. Sci.

A. A. Grodzinskaya²✉

Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

K. V. Vovk¹

UDK 550.426+550.46

¹*M. P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ak. Palladina ave, 34, Kyiv, Ukraine, 03680*

²*Institute of Evolutionary Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ak. Lebedeva st., 37, Kyiv, Ukraine, 03143*

RESEARCH ON ACCUMULATION OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN LEAVES OF TREES IN KYIV MEGALOPOLIS

Abstract. The specific accumulation of macroelements and microelements in the leaves of different tree species in specific urban areas of the Kyiv megalopolis was investigated. The fallen leaves of *Aesculus hippocastanum* (*Aesculus hippocastanum* L.), species of genera Alder (*Alnus*), Maple (*Acer*), Birch (*Betula*), Poplar (*Populus*), Oak (*Quercus*), Viburnum (*Viburnum*) and Walnut (*Yuglans*) were selected to investigate. Also authors conducted geochemical studies of soils.

The following methods were used in the study: chemical, spectral analysis, atomic absorption analysis and method of mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS).

Content rating of macroelements found the following laws: the leaves of the trees have the most accumulation of sodium, potassium, calcium and magnesium. Sodium and potassium, calcium and magnesium in freshly-fallen leaves of trees varies (0,02–0,08 %); (2,2–3,49 %); (14,5–15,0 %); (0,66–3,89 %) respectively; after winter there is removal of potassium in leaves of all species of trees, calcium thus virtually unchanged.

In the fallen poplar leaves that lay the winter there is a strong depletion of Mg (10 times) and increasing concentration of Na (2 times). Fallen leaves of birch are characterized by a significant reduction in P (14 times), Ca (5 times) and S (3 times), but have little accumulation of Mg (from 1.05 to 1.17 %). The depletion of Na (4 times) and the same enrichment in Mg is observed for typical oak leaves. For the maple leaf in the spring there is a moderate depletion (compared to autumn) all macroelements except phosphorus, for which there is an accumulation of 1.5 times.

It is established that the content of trace elements specific to each species of trees. Species of *Betula* are concentrators of Cu (180 mg / kg), Pb (20 mg / kg), Zn (280 mg / kg), of *Yuglans* sp. – Se (18 mg / kg), *Quercus* sp. – Mn (3110 mg / kg), V (12 mg / kg), *Viburnum* sp. – Zr (300 mg / kg). The behavior of trace elements authors divided into two groups. The first classified as chemical elements whose concentration after winter in fallen leaves almost constant (~ 3–5 %) – Ti, Zr, Mo, V; the second – whose concentration is significantly reduced (~ 25–30 %) – Cu, Zn, Mn, Pb, Se.

✉ Tel.: + 38044-526-20-51. E-mail: a.grodzinskaya@gmail.com

DOI: 10.15421/031504

An important indicator is also the intensity of biological absorption of trace elements from the soil by plants. There is significant accumulation in comparison with the ground in the leaves of the trees for Mn, V (Kn – 4–12), mean values are typical for Cu, Zn, Mo, Pb (Kn – 1–4), it is not accumulation for Ti, Zr, Cr, Se (Kn – 0,07–0,86). The exceptions are the leaves of birch, which have intensive enrichment in Cu (Kn = 11) and Zn (Kn = 9).

Mobility of trace elements in the soil affects the possibility of accumulation by plants. The study found that the largest share accounts for relatively mobile forms that leach by the influence of weak acids, organic acids (40–50 %); less – for adsorbed by hydroxide (28–38 %). Share of soluble and ion-exchanging forms studied trace elements are 9–18 %. The soils on which species of birch grow have the greatest mobility of microelements, and hence their availability for plants.

Humus content in the studied soils ranges from 4.21–6.41 %. Soils under birch contain the greatest amount of humus, soils under the poplars – the least.

Keywords: *tree species, chemical composition of leaves, soil of Kievo-Sviatoshin district, microelements, macroelements, mobile forms of chemical elements.*

УДК 550.426+550.46

А. И. Самчук¹

д-р хим. наук, глав. науч. сотр.

А. А. Гродзинская²

канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Е. В. Вовк²

¹*Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. М. П. Семененка
НАН Украины, просп. Ак. Паладина, 34, г. Киев, Украина, 03680*

²*Институт эволюционной экологии НАН Украины, ул. Ак. Лебедева, 37,
г. Киев, Украина, 03143,
тел.: +38044-526-20-51, e-mail: a.grodzinskaya@gmail.com*

АККУМУЛЯЦИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ РАЗНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ КИЕВСКОГО МЕГАПОЛИСА

Аннотация. Выполнено сравнение содержания химических элементов в свежесопавших листьях и листьях после зимования разных древесных пород, которые произрастают в границах Киевского мегаполиса под давлением специфических условий городских агломераций. Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения микроэлементов для конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.), видов родов Ольха (*Alnus*), Клен (*Acer*), Береза (*Betula*), Тополь (*Populus*), Дуб (*Quercus*), Калина (*Viburnum*) та Орех (*Juglans*). Исследовано содержание органического вещества и формы нахождения микроэлементов в почвах.

Ключевые слова: *древесная порода, химический состав листьев, почвы в лесопарках Кievo-Святошинского района, микроэлементы, макроэлементы, подвижные формы химических элементов.*

УДК 550.426+550.46

А. І. Самчук¹

д-р хім. наук, гол. наук. співр.

Г. А. Гродзинська²

канд. біол. наук, ст. наук. співр.

К. В. Вовк²

¹*Институт геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка
НАН України, просп. Ак. Паладіна, 34, м. Київ, Україна, 03680*

²*Институт еволюційної екології НАН України, вул. Ак. Лебедева, 37,
м. Київ, Україна, 03143,
тел.: +38044-526-20-51, e-mail: a.grodzinskaya@gmail.com*

АКУМУЛЯЦІЯ МАКРО- І МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ЛИСТКАХ РІЗНИХ ДЕРЕВНИХ ПОРІД В УМОВАХ КИЇВСЬКОГО МЕГАПОЛІСУ

Анотація. Проведено порівняння вмісту хімічних елементів у свіжо-опалих листках та листках після зимівлі різних деревних порід, які зростають в межах Київського мегаполісу під тиском специфічних умов міських агломерацій. Розраховано коефіцієнти біологічного поглинання мікроелементів для гіркокаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.), видів

родів Вільха (*Alnus*), Клен (*Acer*), Береза (*Betula*), Тополя (*Populus*), Дуб (*Quercus*), Калина (*Viburnum*) та Горіх (*Yuglans*). Досліджено вміст органічної речовини та форми знаходження мікроелементів у ґрунтах.

Ключові слова: *деревна порода, хімічний склад листків, ґрунти в лісопарках Києво-Святошинського району, мікроелементи, макроелементи, рухомі форми хімічних елементів.*

ВСТУП

Сучасні підходи до екологічної оцінки якості природних середовищ повинні бути орієнтовані, в першу чергу, на біотичні показники (Biodiagnostica..., 2013). Якість природного середовища за умов агломерацій великого міста, безперечно, впливає на життєдіяльність рослин, зокрема дерев, роль яких в містах є вкрай важливою, бо завдяки їх наявності істотно покращується склад повітря, гальмується розповсюдження токсичних викидів тощо. Тому проблема забезпечення деревних порід умовами, сприятливими для їх зростання, є актуальною і важливою. Зокрема, окремого розгляду заслуговує вивчення специфіки мінерального живлення дерев, їх бездефіцитного забезпечення макро- і мікроелементами. Риси специфічності умов мінерального живлення рослин в містах обумовлюються широким колом чинників, зокрема розірваністю біогеохімічних колообігів речовин, заасфальтуванням великих площ територій, наявністю в середовищі токсичних речовин, котрі можуть спричинити вплив на системи поглинання й транспорту речовин в ґрунтах і рослинах, надмірним зростанням в ґрунті іонів натрію й хлору, що зумовлено посипанням вулиць хлоридом натрію в зимовий час, тощо. Серед описаних чинників впливу одним із пріоритетних є підвищення вмісту мікроелементів, особливо важких металів, в ґрунтах і рослинах, спричинене техногенним навантаженням на довкілля у великих містах.

Дослідження останніх десятиліть показали, що мікроелементи ґрунту суттєво впливають на ріст та розвиток рослин, стан і функціонування організму людини та тварини (Samchuk et al., 2006). Без них неможливий перебіг більшості біохімічних і фізіологічних процесів, що відбуваються в живих організмах.

Мікроелементи в рослинах виконують роль каталізаторів, зокрема в процесах фотосинтезу і засвоєння азоту. Встановлено, наприклад, що в синтезі і обміні білкових речовин рослин значну роль відіграє молібден, який входить до складу ферменту нітратредуктази. При нестачі цього елемента гальмується процес відновлення нітратів, порушується нормальний хід білкового обміну, при цьому вміст білка в тканинах рослин зменшується, а солей азотної кислоти, навпаки, збільшується. Мідь входить до складу ферментів, що контролюють окисні процеси в організмі, цинк приймає активну участь в азотному обміні та гідролізі крохмалю, кобальт підвищує інтенсивність процесів дихання та фотосинтезу (Beus et al., 1976).

Ступінь забезпеченості рослинних і тваринних організмів (у тому числі і людини) мікроелементами залежить від вмісту їх у навколишньому середовищі і, перш за все, у ґрунті. Академік В. І. Вернадський вперше вказав на залежність хімічного складу організмів від вмісту хімічних елементів в земній корі. А створене О. П. Виноградовим вчення про біогеохімічні провінції ґрунтується на визнанні того, що в деяких регіонах компоненти ландшафту, перш за все ґрунти, не містять зовсім чи містять недостатню кількість деяких мікроелементів, або навпаки, містять їх забагато, що і зумовлює виникнення і розповсюдження масових, властивих даній місцевості ендемічних захворювань.

Надходження елементів з ґрунту в рослини залежить від форм їх знаходження в ґрунті, а також від загального хімічного складу ґрунту, його реакції, окисно-відновного потенціалу, фізичних властивостей і біологічної діяльності ґрунтових організмів. Рослини засвоюють хімічні елементи в кількостях, які необхідні для виконання їх життєвих функцій. Але при цьому наявність підвищених концентрацій певного елемента в ґрунті часто призводить до вимушеного засвоєння цього

елементу, що може бути шкідливим для життєдіяльності рослин. В той же час у рослин є різноманітні стратегії запобігання зростанню вмісту важких металів (Gryshko et al., 2012).

О. П. Виноградов (1952) виокремив два типи транслокації хімічних елементів:

А) групове, коли всі рослини в межах провінції з високим вмістом того чи іншого елемента в ґрунтах накопичують його в підвищених кількостях;

Б) селективне видове, або, частіше, родове, коли окремий вид або рід рослинності завжди в різних умовах вирощування містить підвищену кількість певного елемента в порівнянні з сусідніми видами (родами); так, широко відомою є галмейна флора, яка активно концентрує цинк, астрагали, які селективно накопичують селен тощо.

Механізм надходження хімічних елементів в рослини, в тому числі токсичних елементів, важких металів та радіонуклідів, пояснює система бар'єрно-безбар'єрного накопичення, науково обґрунтована А. Л. Ковалевським (Kovalevskii, 1969). Сутність її полягає в тому, що рослини поглинають хімічні елементи вибірково у відповідності до їх біологічних особливостей, вироблених тривалою еволюцією і закріплених біохімічними механізмами.

В умовах міста аж ніяк не вистачало часу для еволюційного формування фізіологічної, морфо-функціональної адаптації рослин до специфічних умов мінерального живлення. У зв'язку з цим і існує нагальна потреба у вивченні особливостей стану мінеральних елементів в ґрунтах міських агломерацій, специфіки їх поглинання та транслокації в органах різних деревних порід. Це необхідно для того, щоб встановити, які види дерев найбільш придатні для їх культивування в умовах міста.

Метою даного дослідження є з'ясування особливостей розподілу макро- і мікроелементів у опалих листках ряду деревних порід та ґрунтах у межах Києво-Святошинського району Київського мегаполісу. Була поставлена задача визначення інтенсивності процесу вилугування елементів з опалого листя в процесі його розкладу.

ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджували зразки опалих листків деревних порід (*Aesculus hippocastanum* L., *Alnus*, *Acer*, *Betula*, *Populus*, *Quercus*, *Viburnum* та *Yuglans* spp.) та ґрунтів, зібраних в межах Києво-Святошинського району Київського мегаполісу. Ґрунти та листки відбирали біля дерев у осінній та весняний періоди.

При дослідженні були використані наступні методи: хімічні, спектральний аналіз, атомно-абсорбційний аналіз та метод ICP-MS.

У роботі для розчинення проб використовувалися концентровані кислоти HF, HCl, HNO₃, H₂SO₄, H₃PO₄, які додатково очищували за допомогою системи Subboiling. Для побудови калібрувальних графіків застосовували стандартні розчини елементів Fluka (фірми SIGMA-OLORICH, Швейцарія). Розчинення проб проводили в мікрохвильовій печі ETNOS фірми MILISTONE (Італія). У якості внутрішнього стандарту використовувався ¹¹⁵In, із зовнішніх – стандартні зразки ґрунтів СДПС-2, СДПС-1 (дерново-підзолисті зразки ґрунтів).

Проби ґрунтів та рослин розкладалися за однією з наступних аналітичних схем (Ponomarenko et al., 2008).

Аналітична схема № 1. Здійснюється розклад проби азотною кислотою. Наважку 0,1 г досліджуваного матеріалу поміщали в тефлоновий автоклав, промивали 10 мл азотної кислоти (густина 1,4 г/см³). Ротор встановлювали в МХ-піч, яку нагрівали за програмою при 200 °С протягом 30 хв. Після охолодження автоклава розчин переводили в платинові чашки і випаровували до вологих солей. Солі розчиняли при нагріванні в 5 %-ній азотній кислоті. Розчин переливали в мірну колбу об'ємом 50 мл і доводили до мітки 5 %-ним розчином тієї ж кислоти.

Аналітична схема № 2. Метод ґрунтується на розкладанні матеріалу фтористоводневою та азотною кислотами в МХ-печі. Наважку 0,25–0,1 г досліджуваного матеріалу поміщали в автоклав із фторопласту, змочували декількома краплями води, додавали 10 мл азотної кислоти і 10 мл фтористоводневої кислоти та нагрівали за температури 220 °С протягом 30 хв. Потім розчин випаровували на водяній бані до утворення вологих солей, обмивали краї чашки водою, повторювали випаровування на піщаній бані до появи сухих солей. Залишок солей розчиняли нагріваючи та додавали 5 мл азотної кислоти. Одержаний розчин переливали в мірну колбу місткістю 50 мл і доводили об'єм до мітки 5 %-ною азотною кислотою.

Аналітична схема розкладання № 3. Метод ґрунтується на розкладанні проб у суміші азотної, фтористоводневої й сірчаної кислот в МХ-печі. Наважку проби 0,1–0,2 г поміщали в чашку зі скловуглецю, доливали 5 мл азотної, 2 мл фтористоводневої і 1 мл сірчаної або хлорної кислоти. Чашку нагрівали при 100 °С протягом 60 хв. Операцію розкладу речовини повторювали в суміші $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ (1:1). Після охолодження автоклава обмивали кришку посудини водою і випаровували розчин до вологих солей. Залишок розчиняли в 10 мл азотної кислоти (1:1), переливали розчин у мірну колбу місткістю 50 мл і доливали до мітки водою.

Вміст важких металів та селену визначали за допомогою мас-спектрометра з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS) аналізатора Element-2 (Німеччина). Похибка вимірювання $\delta \leq 3\%$ згідно з додатком до свідоцтва про атестацію № ПТ-0347/01.

Для кількісної оцінки надходження мікроелементів з ґрунту в рослинність найчастіше застосовується коефіцієнт біологічного накопичення (K_n), який визначається співвідношенням вмісту металу в одиниці маси акцептора – А (рослини в перерахунку на її золу) і донора – D (ґрунту):

$$K_n = \frac{A}{D}$$

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дані хімічних визначень вмісту макрокомпонентів в опалих листках різних деревних порід представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

| Вміст макроелементів у опалому листі дерев, % | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|-------|------|------|------|
| Деревна порода | Зольність, % | Na | K | Ca | Mg | P | S |
| Тополя | 22,78 | 0,08 | 3,14 | 14,52 | 2,04 | 0,67 | 0,41 |
| Береза | 9,63 | 0,08 | 3,49 | 15,55 | 1,05 | 0,69 | 0,9 |
| Дуб | 10,63 | 0,08 | 3,19 | 15,55 | 0,66 | 0,47 | 0,75 |
| Клен | 14,97 | 0,02 | 2,32 | 15,49 | 3,89 | 0,4 | 0,85 |

Вміст натрію в листках дерев свіжого опаду коливається в межах 0,02–0,08 %. За вмістом калію у листках в осінній період дерева розташовуються у наступному порядку: береза (3,49 %) > дуб (3,19 %) > тополя (3,14 %) > клен (2,2 %). Після зимового періоду відбувається винос калію із листків всіх видів дерев, концентрація натрію при цьому майже не змінюється.

Вміст лужноземельних елементів (кальцію і магнію) в свіжо-опалих листках дерев варіює у межах 14,5–15 % і 0,66–3,89 % відповідно. Найбільша кількість магнію відзначається у листках клену і тополі (3,89 і 2,04 % відповідно), найменша – у дуба (0,66 %). Після зимового періоду спостерігається значний винос магнію із листків тополі.

Відомо, що на міграційну поведінку макро- та мікроелементів в системі «рослина-грунт» в значній мірі впливає вміст фосфору та органічних кислот в листках та ґрунтах (Vynogradov, 1952; Mineev, 1990). За нашими даними, вміст фосфору в листках деревних порід становив 0,4–0,69 %.

У рослинах фосфор знаходиться в органічній та мінеральній формах. Після їх відмирання фосфорні сполуки мінералізуються, утворюючи важко розчинні солі кальцію, магнію, заліза. Завдяки дії ґрунтових бактерій, що сприяють їх розчинності, ці сполуки знову стають доступними для рослин (Mineev, 1990).

Таким чином, у опалих листках тополі, які пролежали зиму спостерігається сильне збіднення Mg (10 разів) і підвищення концентрації Na в 2 рази. Опалі листки берези характеризуються суттєвим зменшенням кількості P (14 разів), Ca (5 разів) і S (3 рази), проте незначним накопиченням Mg (з 1,05 до 1,17 %). Для листків дуба характерне чотирьохкратне збіднення на Na і таке ж збагачення на Mg. Для листків клену у весняний період спостерігається помірне збіднення (порівняно з осіннім) на всі макроелементи, окрім фосфору, для якого відбувається накопичення в 1,5 рази.

Аналітичні дані про вміст мікроелементів у опалих листках наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Середній вміст мікроелементів в листі дерев, мг/кг

| Деревна порода | Mn | Ti | Zr | Mo | V | Cu | Pb | Zn | Cr | Se* |
|----------------|------|------|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| Тополя | 320 | 210 | 160 | 3 | 5 | 20 | 12 | 50 | 4 | 11 |
| Береза | 980 | 520 | 42 | 2 | 4 | 180 | 20 | 280 | 3 | 12 |
| Вільха | 800 | 480 | 40 | 0,4 | 7 | 8,2 | 8 | 84 | – | – |
| Калина | 240 | 300 | 300 | 3 | 6 | 15 | 3 | 28 | – | – |
| Дуб | 3110 | 800 | 56 | 3 | 12 | 23 | 14 | 86 | 5 | 14 |
| Каштан | 2200 | 760 | 50 | 2,4 | 4 | 10 | 12 | 80 | 4 | – |
| Горіх | 2700 | 820 | 54 | 2,8 | 6 | 12 | 10 | 86 | 5 | 18 |
| Клен | 2800 | 1000 | 110 | 2,6 | 5 | 18 | 20 | 30 | 4 | 12 |
| Ґрунт | 400 | 3200 | 350 | 0,8 | 1 | 16 | 10 | 30 | 17 | 90 |

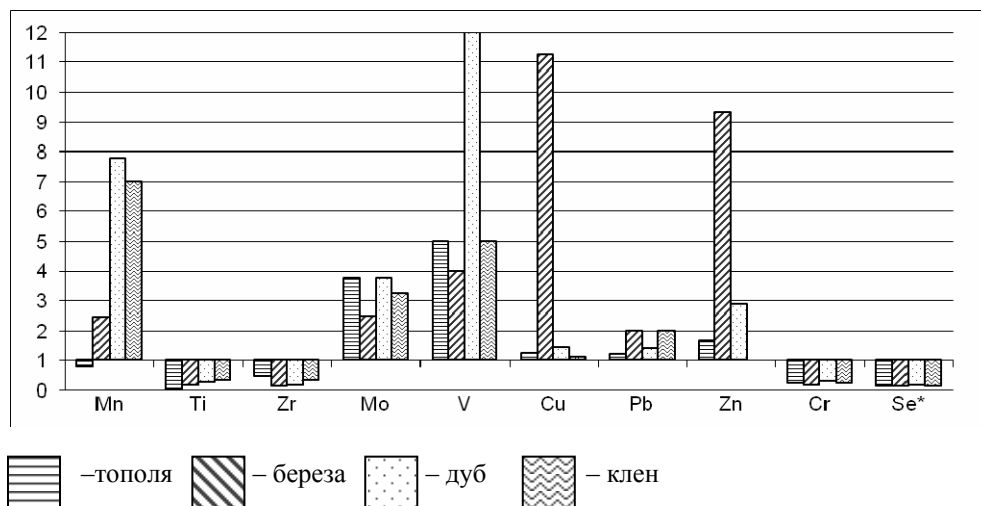
Примітка: * – концентрація елемента подана в мкг/кг; «–» – вміст елемента знаходиться поза межами визначення методики.

За порядком концентрації в опалих листках різних деревних порід мінеральні елементи можна об'єднати у три групи:

1. Елементи з підвищеною концентрацією – Mn, Ti.
2. Елементи середніх концентрацій – Zr, Cu, Zn.
3. Мікроелементи – Ni, Co, V, Cr, Mo, Pb, Se.

Дослідження вмісту мінеральних елементів у листках різних деревних порід показує, що найбільше концентрують Mn, Ti, Zr види родів дуб, каштан, горіх у порівнянні з березою та вільхою. Листки берези збагачені, порівняно з іншими видами дерев, Cu, Zn, Pb. Найбільший вміст селену спостерігається для листків видів горіху. Мо та Cr виявлено майже в однакових кількостях у всіх досліджуваних породах, окрім вільхи та калини.

Мікроелементи по-різному вилучаються рослинами із ґрунту. Показником інтенсивності вилучення виступає коефіцієнт біологічного накопичення. Суттєво накопичуються порівняно з ґрунтом в листках досліджуваних дерев Mn, V (K_n 4–12), середні значення характерні для Cu, Zn, Mo, Pb (K_n – 1–4), накопичення відсутнє для Ti, Zr, Cr, Se (K_n – 0,07–0,86). Виключення становлять листки берези, для яких виявлено інтенсивне збагачення на Cu ($K_n=11$) та Zn ($K_n=9$) (рис. 1).



Примітка: * – концентрація елемента подана в мкг/кг; згідно А. І. Перельману (1999), коефіцієнт біологічного поглинання більше 1 вказує на інтенсивне поглинання, а менше 1 – на середнє і слабке поглинання.

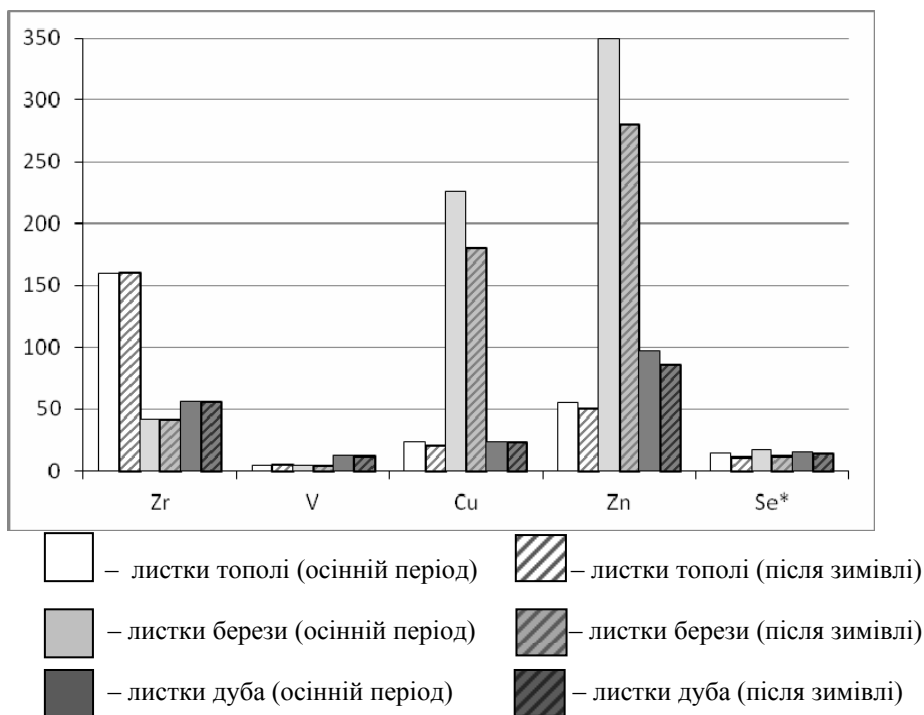
Рис. 1. Коефіцієнти біологічного накопичення (K_b) мікроелементів для опалих листків різних порід дерев

Подібні дослідження автори проводили для деревних порід Українського Полісся, результати яких наведені у публікації А. І. Самчука зі співавторами (Samchuk et al., 2006). Дані по середньому вмісту мікроелементів в золі листків дерев Київського мегаполісу та Українського Полісся корелюють, однак рослини Київського мегаполісу більш збагачені мікроелементами та мають вищі коефіцієнти поглинання, що обумовлене специфічними умовами міської агломерації.

Порівняння концентрацій мікроелементів у листках, зібраних у осінній та весняний періоди (рис. 2), свідчить про те, що вміст Ti, Zr, Mo, V змінюється слабо (~3–5 %). На противагу цьому, концентрація Cu, Zn, Mn, Pb, Se суттєво зменшується (~25–30 %) після зимівлі опалого листя. Очевидно, це обумовлене утворенням рухомих форм перерахованих вище елементів під дією фульвової кислоти. Отже останні елементи швидше надходять до ґрунту і стають доступними для рослин. Ti, Zr, Mo, V мають довший цикл перетворення, що з часом може призвести до збіднення ґрунтів цими елементами. Вивчення швидкості відновлення елементного складу ґрунтів необхідне для вирішення питання про внесення відповідних добрив.

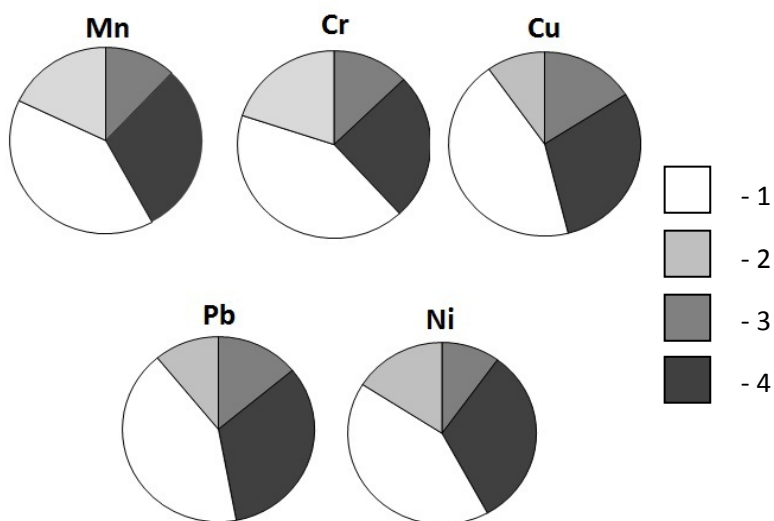
Для дослідження рухомості важких металів нами були визначені форми їх знаходження у ґрунті (рис. 3). Для всіх мікроелементів найбільша частка серед рухомих форм припадає на органічну (40–50 %), менша – на сорбовану гідроксидами (28–38 %). Для Mn, Cr, Ni фіксована форма переважає над іонно-обмінною, для Cu, Pb спостерігається зворотна тенденція. Частка водорозчинної форми незначна – 0,04–0,1 %. Співвідношення між рухомими формами важких металів в ґрунтах варіює залежно від того, яка деревна порода на них зростає. Ґрунти під березами характеризуються найбільшою часткою водорозчинних (0,08–0,15 %), іонно-обмінних (14–18 %) та органічних форм (46–50 %). Порівняно з іншими деревами, під тополями спостерігається підвищення частки сорбованої форми знаходження мікроелементів у ґрунтах (32–38 %).

Поведінка важких металів в ґрунтах значною мірою обумовлюється наявністю і кількістю в них органічної речовини, особливо гумусових (гумінових та фульвових) кислот. Вони впливають на процеси розчинності, утворення нерозчинних і розчинних комплексних з'єднань, коагуляцію і екранування поверхні мінеральних часток плівками гелів.



Примітка: Se* – концентрація елемента подана в мкг/кг.

Рис. 2. Середній вміст мікроелементів в опалих листках різних порід дерев у весняний і осінній періоди, мг/кг



Примітка: 1 – органічна; 2 – фіксована; 3 – іонообмінна; 4 – сорбована на гідроксидах.

Рис. 3. Рухомі форми знаходження мікроелементів у ґрунтах, %

З табл. 3 видно, що найбільшу кількість гумусу вміщує ґрунт під березою, а найменшу – під тополею. Цей результат підтверджує особливості впливу листового опаду на органічний склад ґрунту. Найбільше ґрунт збагачує гумусом береза, листки якої швидко розкладаються, тоді як у тополі, де за зимовий період переважає процес мінералізації листового опаду, утворення у ґрунті гумінових речовин найменше.

Таблиця 3

| Вміст органічної речовини у ґрунтах під деревами різних порід (%) | | | | |
|---|---------------------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Деревна порода | Вміст органічного вуглецю | Вміст гумусу | Адсорбована вода при 100–105°C | Втрати при прокалюванні (1000 °C) |
| Береза | 3,77 | 6,41 | 1,7 | 10,31 |
| Дуб | 2,93 | 4,98 | 2,09 | 10,49 |
| Клен | 2,87 | 4,88 | 1,59 | 7,92 |
| Тополя | 2,48 | 4,21 | 1,44 | 7,41 |

ВИСНОВКИ

Дослідження вмісту макро- і мікроелементів в опалих листках різних деревних порід в осінній період і після зимівлі дозволило зробити наступні висновки:

1. У листках дерев найбільше відбувається накопичення натрію, калію, кальцію, магнію. Вміст натрію і калію, кальцію і магнію в свіжо-опалих листках дерев варіює в межах (0,02–0,08 %), (2,2–3,49 %), (14,5–15,0 %), (0,66–3,89 %) відповідно; після зимового періоду відбувається винос калію із листків всіх видів деревних порід, вміст кальцію при цьому практично не змінюється.

2. Вміст мікроелементів специфічний для кожного виду дерев. Види р. Береза є концентраторами Cu (180 мг/кг), Pb (20 мг/кг), Zn (280 мг/кг), р. Горіх – Se (18 мкг/кг), р. Дуб – Mn (3110 мг/кг), V (12 мг/кг), р. Калина – Zr (300 мг/кг). Після зимівлі вміст Ti, Zr, Mo, V в опалих листках майже не змінюється (~3–5 %), а концентрація Cu, Zn, Mn, Pb, Se суттєво зменшується (~25–30 %).

3. Розраховані коефіцієнти біологічного поглинання свідчать, що інтенсивно накопичуються Cu ($K_n=11$), Zn ($K_n=9$), Mn, V ($K_n=4-12$), накопичення не спостерігається для Ti, Zr, Cr, Se ($K_n=0,07-0,86$).

4. Дослідження форм знаходження мікроелементів у ґрунті показало, що найбільша частка припадає на умовно рухомі форми, що вилугуюються під дією слабких кислот: органічну (40–50 %), менше – на сорбовану гідроксидами (28–38 %). Найбільша рухомість, а отже, і доступність для рослин, характерна для ґрунтів, на яких зростають види роду *Береза*. Для цих ґрунтів властивий і найбільший вміст гумусових речовин, що підтверджує швидкий процес розкладання листків берези.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Beus, A. A., Grabovskaya, L. I., Tikhonova, N. V., 1976. Geokhimiya okruzhayuschei sredy [Invorimental Geochemistry], Nedra, Moscow (in Russia).
- Biodiagnostica** v ekologicheskoi otsenke pochv i sopredelnykh sred: tezisy dokladov Mezhdunarodnoi konferentsiyi, Moskva, 4–6 fevralya 2013 g. [Biodiagnostics in ecology rating of soils and neighbouring invironments: theses of papers of international conference, Moscow, 4–6 february 2013], Binom. Laboratoriya znaniy, Moscow (in Russia).
- Vinogradov, A. P., 1952.** Mikroelementy v zhyzni rastenii i zhyvotnykh [Microelements in life of plants and animals], Publ. AS USSR, Moscow (in Russia).
- Gryshko, V. M., Syschykov, D. V., Piskova, O. M., Danylchuk, O. V., Mashtaler, N. V., 2013.** Vazhki metaly: nadkhodzhennya v grunty, translokatsiya v roslynach ta ekologichna nebezpeka [Heavy metals: income in soils,

translocation in plants and ecological risk], Publ Donbas (in Ukraine).

Kovalevskii, A. L., 1969. Biogeokhimiya rastenii [Plant Biogeochemistry], Buryatiya Publ., Ulan-Ude (in Russia).

Mineev, V. G., 1990. Agrokhimiya [Agrochemistry], Print MGU, Moscow (in Russia).

Perelman, A. I., Kasimov, N. S., 1999. Geokhimiya landshafta: uchebnic [Landscape geochemistry: textbook], Moscow University, Moscow (in Russia).

Ponomarenko, O. M., Samchuk, A. I., Krasnyuk, O. P., Makarenko, T. I., Antonenko, O. G., 2008. Analitychni skhemy

probopidgotovky girskykh porid ta mineraliv i vyznachennya v nykh mikroelementiv metodom mas-spectrometrii z induktsiino zvyazanoju plazmoyu (ICP-MS) [Analytical scheme of sample preparation of rocks and minerals and detection microelements in them by method of mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS)], Mineralogical Journal, 30, 4, pp. 97–103 (in Ukraine).

Samchuk, A. I., Kuraeva, I. V., Egorov, O. S. et al., 2006. Vazhki metaly v gruntakh Ukrayinskogo Polissya ta Kyivskogo megapolisu [Heavy metals in soils of Ukrainian Polesye and Kyiv megalopolis], Naukova Dumka, Kyiv (in Ukraine).

Стаття надійшла в редакцію: 23.01.2015

Рекомендує до друку: чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук, проф. А. П. Травлєєв