УДК 574.3:581.15:581.52

П.С. Гнатів[1], І.І. Коршиков[2]

НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ҐРУНТІ ТА ЗОЛЬНІСТЬ ЛИСТКІВ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН НАСАДЖЕНЬ МІСТА ЛЬВОВА

урботехногенне середовище, деревні насадження, грунт, важкі метали, листки, зольність

Ґрунти міських насаджень повільно деградують через постійне відчуження продуктів органічного синтезу рослин, зокрема вилученням опаду їх листя, а також через активніше фізико-хімічне вивітрювання під впливом факторів антропогенного походження. Тому ці ґрунти значно бідніші на органічні і деякі мінеральні елементи, ніж непорушені ґрунти природних фітоценозів. До того ж ґрунти в урбаністичних екосистемах постійно забруднюються через розсіювання пилу, аерозолів та токсичних газів техногенного та побутового походження. Значну загрозу для зміни стану ґрунтів в промислових містах має так званий „металевий прес" – накопичення в ґрунтах важких металів, які потрапляють в них із забрудненого повітря викидами промислових підприємств, котелень та автотранспорту. Багато сполук важких металів добре розчиняються у воді і мігрують в нижчі горизонти грунтів до кореневого шару рослин. Тому забруднення ґрунтів важкими металами небезпечне для багатьох видів рослин. Потрапляючи в тканини рослин, важкі метали залучаються до метаболічних процесів, викликаючи зміни в каталітичній активності ферментів і порушуючи синтез життєво важливих речовин [1, 5, 7].

Слід зазначити, що техногенне забруднення повітря полютантами буває часто значно небезпечнійшим для рослин, ніж забруднення грунту [3]. Так, пил закупорює продихи листків, погіршує транспірацію і газообмін, а забруднення поверхні листків знижує інтенсивність використання світла і негативно впливає на фотосинтез. Агресивні газові стресори – фтор, хлор, оксиди сірки і азоту, сірководень та інші, безпосередньо проникаючи в тканини листків, викликають при невеликих їх концентраціях істотні зміни в метаболізмі, а при великих – пошкоджують ці тканини. З іншого боку, рослини, особливо деревні, в урботехногенному середовищі відіграють важливу санітарно-гігієнічну функцію, акумулюючи в своїх органах різні хімічні забруднювачі [3-5]. Зниження родючості і забрудненість грунтів міських насаджень, активне поглинання мінеральних елементів і пасивне проникнення в клітини деревних рослин полютантів призводить до змін в балансі зольних елементів в їх листках [2, 3, 5]. За рівнем накопичення важких металів в грунтах і листках деревних рослин міських насаджень можна проводити моніторингову оцінку стану навколишнього середовища.

Метою наших досліджень було дати відносну оцінку забрудненості грунтів важкими металами і провести визначення зольності листків деревних рослин в різних насадженнях м. Львова.

Дослідження проведено в насадженнях міста за схемою: приміський ліс (контроль) – парки – сквери – вуличні алейні насадження в центральної частини міста. Рівень вмісту в пробах ґрунту важких металів і деяких мікроелементів визначали спектрографічним методом із застосуванням СТЕ-1: УСП-51 (з камерою УФ-89) та атомно-адсорбційним методом. Вміст в листках деревних рослин елементів мінерального живлення аналізували за Х.М. Починком [8]. Зольність листків визначали мокрим озоленням.

© П.С. Гнатів, І.І. Коршиков, 2006

За отриманими даними, в високогумусному родючому ґрунті лісового масиву приміської зони м. Львова (Зубрівський ліс) містяться такі біофільні елементи, як марганець, ванадій, хром, кобальт, нікель, які рівномірно розподілені по профілю 0–60 см. Це свідчить про їх біогенну акумуляцію в процесі малого кругообігу речовин.

Вміст у ґрунті бору, молібдену, барію, а також олова, свинцю, срібла й міді поступово зростає від околиці до центру м. Львова. У верхньому шарі ґрунту (0–20 см) насаджень вулиць у центрі міста виявлено 18 мг/кг олова, 51,0 мг/кг свинцю, 2,0 мг/кг бору, 30,7 мг/кг міді, що відповідно в 5,1, 3,4, 2,2 і 2,1 разів більше, ніж у ґрунті лісу на околиці (табл. 1). Підвищене накопичення вказаних елементів у поверхневому шарі ґрунту й різке зменшення їх вмісту по профілю до глибини 60 см (рис. 1) беззаперечно вказує на техногенний шлях їх надходження. Найвищий вміст Pb, Cd, Cu встановлено у рослин у центрі м. Львова [2] (зокрема, парк ім. І. Франка), а в околицях у лісопарках їх менше відповідно в 5–6 разів, 2–4 і 2–3 рази.

Таблиця 1. Індекси перевищення рівня вмісту хімічних елементів у ґрунтах насаджень м. Львова порівняно з лісовими

Елемент	Товщина шару ґрунту, см	Ліс, мг/кг сухої маси ґрунту	Індекс перевищення за співвідношенням		
			парк / ліс	сквер / ліс	насадження вулиці / ліс
Свинець	0–60	1,33	3,3	3,3	3,3
	0–20	1,50	2,4	2,7	3,4
Барій	0–60	36,00	0,9	1,0	1,1
	0–20	30,00	0,7	1,2	1,0
Олово	0–60	0,20	2,5	4,0	6,1
	0–20	0,35	0,5	1,7	5,1
Срібло	0–60	0,09	1,0	2,9	1,5
	0–20	0,00	з.*	з.	з.
Молібден	0–60	0,32	1,0	1,3	1,2
	0–20	0,29	1,2	1,3	1,4
Ітрій	0–60	2,83	0,9	0,9	0,9
	0–20	2,60	1,1	1,1	0,9
Стронцій	0–60	22,30	1,3	1,1	1,2
	0–20	22,00	0,8	1,2	1,0
Миш'як	0–60	0,67	1,0	1,6	1,8
	0–20	0,00	з.	з.	з.
Германій	0–60	0,00	з.	з.	з.
	0–20	0,00	з.	з.	з.
Мідь**	0–60	13,80	1,0	1,2	1,6
	0–20	14,66	0,7	0,6	2,1
Кобальт	0–60	2,27	0,7	1,1	0,4
	0–20	1,60	0,5	1,8	0,6
Нікель	0–60	3,20	0,7	0,9	0,8
	0–20	2,80	0,9	1,3	0,9
Бор**	0–60	0,71	2,8	2,1	1,8
	0–20	0,91	1,6	1,6	2,2
Берилій	0–60	0,04	2,2	0,3	2,2
	0–20	0,09	0,9	0,1	1,0

* – привнесений шляхом забруднення (з.);

** – рухомі форми.

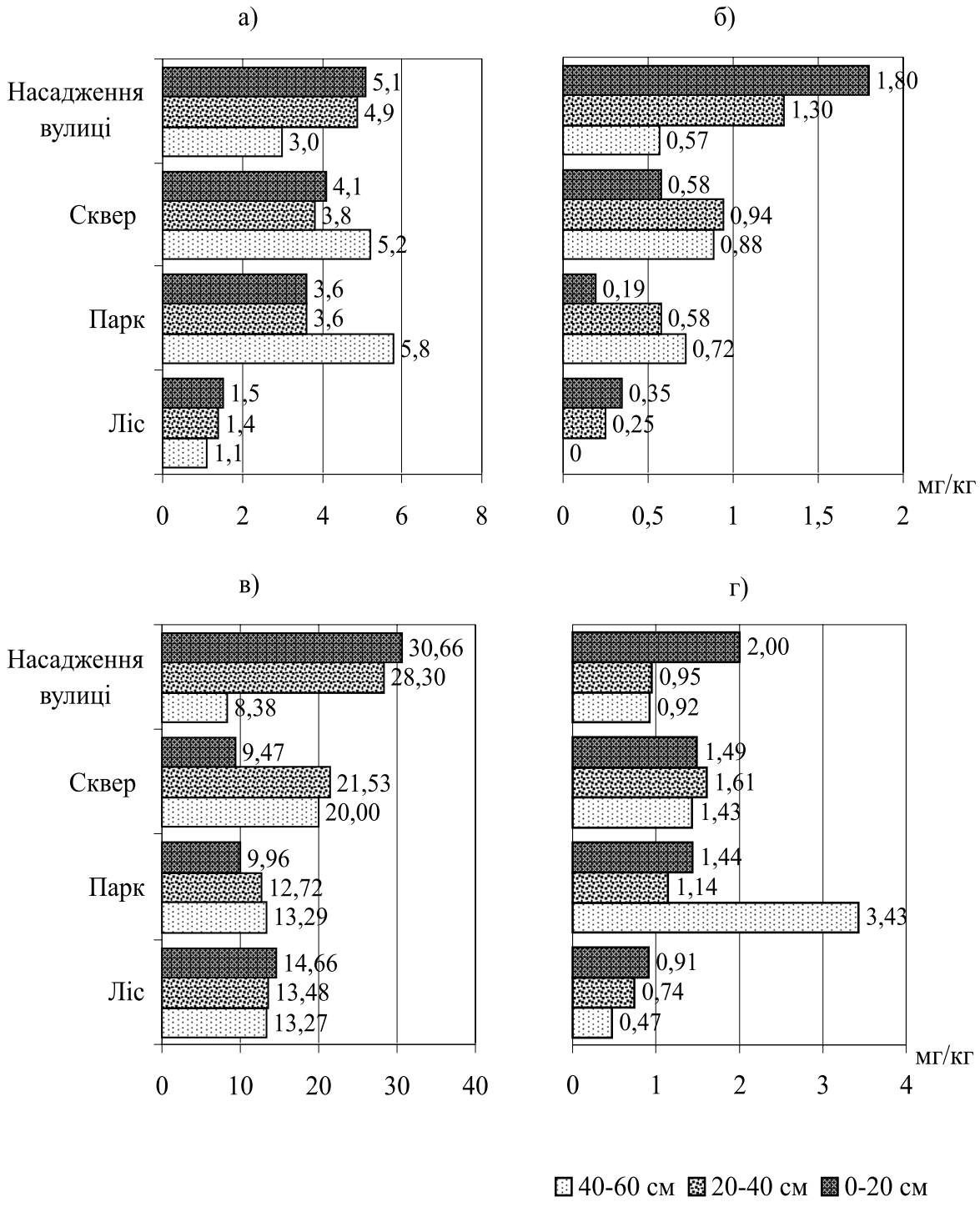


Рис. 1. Розподіл рівнів нагромадження хімічних елементів по профілях ґрунтів м. Львова залежно від місцезнаходження насаджень, мг/кг (а - свинець, б - олово, в - мідь, г - бор).

Міграція елементів по профілю в глибину ґрунту залежить від його морфологічної будови, водно-фізичних властивостей та активності кругообігу речовин. У ґрунті лісового фітоценоза вміст техногенних елементів рівномірно розподіляється по профілю з тенденцією зменшення в глибину. В міських ґрунтах під насадженнями вулиці простежується поступове зменшення по профілю від 0–20, 20–40 до 40–60 см вмісту свинцю в 1,7, олова в 3,2, міді в 3,6, бору в 2,2 рази.

Такі біофільні елементи, як ванадій, хром, кобальт, нікель рівномірно розподілені в ґрунтах міських насаджень з нестійкою тенденцією до зменшення їх вмісту на глибині 60 см у насадженнях вулиць. Ряд рідкоземельних елементів (берилій, скандій, титан, галій, натрій, цирконій) в межах досліджуваної території рівномірно розподіляються як у зелених насадженнях міста, так і по профілю ґрунту. Це свідчить про те, що загалом територія м. Львова цими елементами активно не забруднюється, хоча локальні викиди можуть відбуватися.

Окремі елементи, такі як срібло, миш'як, стронцій та германій мають стійку тенденцію до зростання їх концентрацій в ґрунтах. Тобто ці елементи, на відміну від попередніх, вірогідно присутні в техногенних викидах. Срібло, миш'як і германій у поверхневому шарі грунту присутні лише в насадженнях міста, тому, очевидно, привнесені сюди виключно емісією. Якщо ґрунти лісу й отримують частину цих викидів, то завдяки промивному типу водного режиму елементи мігрують у нижні горизонти. В місті цей процес сповільнений через значні зміни в ґрунтах, а також через порушеність водного режиму. Особливо яскраво це видно на прикладі екотопів парку й скверу (рис. 1). Тут сполуки свинцю, олова, міді й бору вмиваються вертикальним стоком у нижні горизонти й у них нагромаджуються, деякі – у більших кількостях, ніж у верхніх горизонтах ґрунту вуличних насаджень (свинець, бор – у парку).

Визначення валового вмісту натрію в ґрунтах показало, що лісовий ґрунт містить в 0–60 см шарі 1,8%, парковий – 1,0%, садовий – 1,6%, ґрунт насадження вулиці – 2,5% цього елементу на суху масу. Якщо для природного ґрунту такий рівень властивий, то в насадженнях вулиць джерелом зростання його кількості, особливо у верхньому 0–20 см горизонті (3,9%) є свідоме забруднення території шляхом застосування солей комунальними службами в боротьбі з ожеледдю.

Таким чином на підставі порівняльного аналізу накопичення ряду хімічних елементів у поверхневому шарі міських ґрунтів слід виділити такі, що мають виразно техногенне надходження: свинець, олово, срібло, молібден, миш'як, германій, мідь, бор, натрій. Їх вміст поступово зростає за просування від околиці до центру м. Львова. Це є однією з головних ознак антропогенного погіршення природного середовища в місті й формування інших умов для рослин в досліджених екотопах. Виявлені нами елементи-забруднювачі є лише однією характерною ланкою техногенних викидів в атмосферу, води й ґрунт в урбаністичних екосистемах, обсяги яких зростають за дослідженою закономірністю – від околиць до центру міста.

Додатково слід зауважити, що біофільні мікроелементи, а саме натрій, мідь, магній, цинк, бор, ванадій, сірка, молібден, хлор, йод, марганець, залізо, кобальт, потрапляють в організм різними шляхами у прийнятних для рослин сполуках і кількостях, є життєво необхідними і тому навіть в даних умовах можуть стимулювати їх ріст і розвиток. Крім них, є ще група так званих умовно необхідних елементів, котрі поширені в техногенному середовищі, але вплив і роль яких в фізіології рослин до кінця не з'ясовано. Серед них – літій, срібло, стронцій, кадмій, кремній, титан, свинець, хром, селен, фтор і нікель.

Поряд з активним поглинанням велике значення має пасивне проникнення елементів, в т.ч. небажаних в умовах техногенно забрудненного середовища. Проходячи вільно від клітини до клітини синпластичним шляхом через плазмодесми, елементи можуть збиратися як на початку руху, так і в кінці свого шляху – у вакуолях клітин листків. Крім того, велика кількість елементів накопичується у стінках клітин. Кальцій, мікроелементи, в т.ч. важкі метали, добре рухаючись вверх, дуже мало переміщуються у зворотному напрямку по флоемі до коренів й інших органів. Тому можна очікувати підвищення зольності листків рослин в урбатехногенних насадженнях.

Зокрема у сухій масі листків дуба звичайного (*Quercus robur* L.), липи серцелистної (*Tilia cordata* Mill.), клена гостролистого (*Acer platanoides* L.), які зростають у лісі, визначено менше зольних сполук, ніж у міському парку (рис. 2). Найвища забрудненість

середовища вулиці зумовила максимальне надходження зольних елементів у листки *Quercus robur* і *Acer platanoides*. Окремі види як, наприклад, *Tilia cordata* і *Aesculus hippocastanum* L. відзначались максимальним нагромадженням золи в скверах. В екологічно жорстких умовах насаджень вулиці ці види дещо зменшували обсяги її накопичення в листках, що пояснюється, як погіршенням умов мінерального живлення, так і, вірогідно, загальним зниженням метаболізму у дещо ослаблених рослин.

Повторні дослідження у наступному році показали, що в природних умовах лісу найбільше зольних сполук в середині вегетації містили старі й середні листки як у *Quercus robur*, так і в *Acer platanoides*. Зольність сухої маси листків *Q. robur* істотно зростала в умовах міста, особливо паркових, у *A. platanoides* – в сквері. При цьому нагромадження зольних елементів зростало у середніх і молодих листках. Важливо зауважити, що зольність підвищена в порівняно з периферійних затінених листків середньої частини крони, як це відбувалося і в природних умовах лісу. Підтверджено тенденцію, що

Таблиця 2. Загальний вміст золи й основних зольних елементів живлення в абсолютно сухій масі листків деревних рослин залежно від їх віку та положення пагонів у їх кроні у різних місцезростаннях м. Львова, %

Насадження	Пагін	Листок	*Quercus robur* L.			*Acer platanoides* L		
			зола	сума P, K, Ca, Mg	відсоток інших елементів	зола	сума P, K, Ca, Mg	відсоток інших елементів
Ліс	освітлений	старий	5,49	2,15	61	7,20	2,95	59
		середній	5,40	2,38	56	7,34	3,07	58
		молодий	5,26	2,06	61	7,20	2,63	63
	затінений	старий	6,02	2,31	62	7,55	2,75	64
		середній	6,98	2,38	66	7,50	3,04	60
		молодий	5,60	2,11	62	6,83	2,64	61
Парк	освітлений	старий	6,38	2,55	60	6,51	2,77	57
		середній	6,40	2,67	58	7,24	2,92	60
		молодий	6,84	2,67	61	6,68	2,80	58
	затінений	старий	7,11	2,83	60	7,85	3,12	60
		середній	7,41	3,09	58	6,97	3,04	56
		молодий	6,79	2,62	61	6,65	2,62	61
Сквер	освітлений	старий	5,49	2,18	60	8,44	3,11	63
		середній	5,23	2,25	57	7,99	3,03	62
		молодий	5,66	2,40	58	7,80	3,06	61
	затінений	старий	5,72	2,57	55	7,80	3,24	59
		середній	5,71	2,29	60	7,84	3,22	59
		молодий	5,67	2,44	57	8,63	3,43	60
Вулиця	освітлений	старий	5,13	2,34	54	6,40	2,94	54
		середній	5,75	2,58	55	5,61	2,46	56
		молодий	5,59	2,62	53	6,01	2,55	58
	затінений	старий	6,63	2,62	61	7,49	2,92	61
		середній	6,06	2,78	54	7,09	2,77	61
		молодий	6,03	2,65	56	7,00	2,99	57

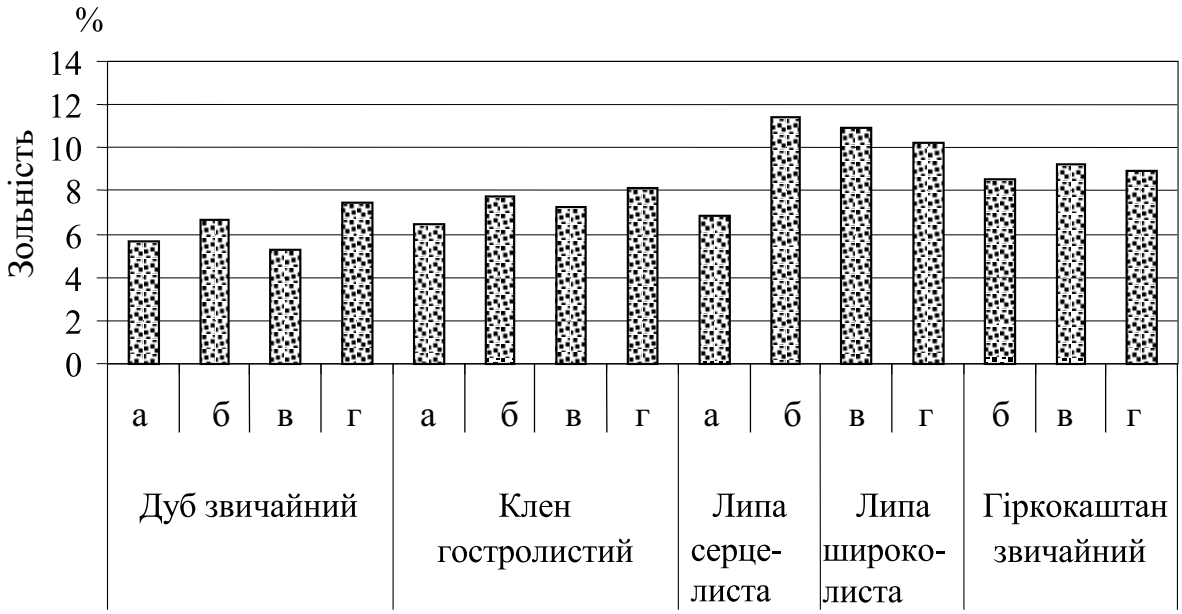


Рис. 2. Зольність абсолютно сухої маси листків деревних рослин залежно від місцезростання м. Львова, % (а – ліс, б – парк, в – сквер, г – вулиця).

виявлена спостереженями попереднього року, – гальмування нагромадження зольних елементів в листках рослин вуличних насаджень, особливо у *A. platanoides*.

Розрахований коефіцієнт кореляції між загальним вмістом зольних сполук та сумою фосфору, калію, кальцію і магнію показав, що *Quercus robur* має лабільніший склад золи (r = 0,73), ніж *Acer platanoides* (r = 0,81). Водночас обидва види акумулювали близько 59% інших зольних сполук в листках, котрі нами були проаналізовані.

Порівняння обчислених кореляцій між загальним вмістом зольних сполук та окремими елементами живлення в розрізі урбогенних умов (табл. 3) дає підстави стверджувати, що кальцій зв'язаний найстабільніше, калій – дещо слабкіше, а фосфор та магній – найслабкіше. З поміж окремих елементів лише фосфор і магній тісно корелюють між собою за обсягами нагромадження в листках.

В природних умовах основну частину маси золи листків рослин становлять (у %): K_2O (30–50), CaO (15–40), Na_2O (2–25) SiO_2 (2–20), MgO (6–12), P_2O_5 (3–10), SO_3 (3–8). В. Лархер [6] узагальнює, що в склад золи листків бука може входити орієнтовно 40% K, 40% Ca, 10% P, 7% Mg й інші елементи. Деякі оксиди, зокрема, кальцію, калію, кремнію, натрію й інші, можуть акумулюватися і у більших кількостях. У золі рослин присутні

Таблиця 3. Значення коефіцієнтів кореляції між вмістом окремих елементів мінерального живлення і зольністю листків деревних рослин в місцезростаннях м. Львова, r(±)

Показники	Фосфор		Калій		Кальцій		Магній	
	1991р.	1992р.	1991р.	1992р.	1991р.	1992р.	1991р.	1991р.
Quercus robur L.								
Зола	0,19	0,47	0,63	0,49	0,94	0,33	–0,61	0,29
Acer platanoides L.								
Зола	0,47	–0,03	0,98	0,37	0,76	0,79	0,74	0,32

також біофільні елементи Fe, Mn, B, Al, Mo, Ni, Br, J та інші, в т.ч. токсичні для природного довкілля Cu, Cl, F, Pb, Sr, As, Cd, Zn, що становлять решту вмісту.

Отже, акумуляційна ефективність листків дерев у декоративних насадженнях залежить від аутекологічних особливостей виду, морфоанатомічних особливостей, активності його метаболічних функцій. Обсяги нагромадження в організмі рослини зольних елементів (зокрема шкідливих для екологічного середовища) залежать також від ступеня урбанізованості оточуючого середовища та наявності, чи відсутності ценозу, його щільності. Екологічні умови насаджень вулиці істотно погіршували баланс асиміляції елементів живлення деревних рослин. На одиницю асимільованого листками *Quercus robur* фосфору припадає приблизно в двічі-тричі, а в *Acer platanoides* – на третину більше інших елементів, ніж у природних лісових та паркових умовах.

1. *Гнатів П.С., Коршиков І.І.* Трансформація ґрунтів у зелених насадженнях Львова // Сучасний стан ґрунтового покриву України та шляхи забезпечення його сталого розвитку на початку XXI-го століття/ Тез. доп. міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 50-річчю з дня створення Ін-ту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н.Соколовського. – Харків, 2006. – С. 37-39.
2. *Гнатів П.С.* Функціональна адаптація деревних рослин до умов урбанізованого середовища на заході України: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.16/ Чернівецький нац. ун-т. – Чернівці, 2006. – 40 с.
3. *Коршиков И.И.* Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев: Наукова думка, 1996. – 239 с.
4. *Коршиков І.І., Гнатів П.С.* Концептуальні питання адаптації деревних рослин до умов природного й антропогенно зміненого середовища //Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону.– Донецк: Изд-во Донецк. нац. ун-та, 2004. – С. 22-40.
5. *Коршиков И.И., Котов В.С., Михеенко И.П. и др.* Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой (Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация). – Киев: Наук. думка, 1995. – 192 с.
6. *Лархер В.* Экология растений. – М.: Мир, 1978. – 384 с.
7. *Парибок Т.А., Леина Г.Д., Сазыкина Н.А., Тэмп Г.А.* Накопление металлов в травянистых и древесных растениях и в почвах в условиях города // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 100-116.
8. *Починок Х.Н.* Методы биохимического анализа растений. – Киев: Наук. думка, 1976. – 334 с.

[1]Інститут екології Карпат НАН України
[2]Донецький ботанічний сад НАН України

Надійшла 6.07.2006

УДК 574.3:581.15:581.52

НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ҐРУНТІ ТА ЗОЛЬНІСТЬ ЛИСТКІВ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН НАСАДЖЕНЬ М. ЛЬВОВА

П.С. Гнатів[1], І.І. Коршиков[2]

[1]Інститут екології Карпат НАН України
[2]Донецький ботанічний сад НАН України

Проведено аналіз вмісту важких металів у ґрунті різних насаджень м. Львова (приміський ліс, парк, сквер, вуличні алеї), а також зольності листків деревних рослин цих насаджень. Встановлено, що у верхньому шарі ґрунту (0-20 см) вміст молібдену, барія, олова, свинцю, срібла і міді зростає від околиць до центра міста. Ґрунт у лісі в цілому найменше, а вуличних алей найбільше забруднений важкими металами. Підвищена зольність листків встановлено для рослин парків та скверів і трохи меншу у вуличних насаджень, що може бути пов'язано з гіршими умовами мінерального живлення рослин.

UDC 574.3:581.15:581.52

SOIL HEAVY METAL ACCUMULATION AND LEAVE ASH CONTENT IN L'VIV ARBOREAL PLANTATIONS

P.S. Hnativ[1], I.I. Korshykov[2]

[1]Carpathians Ecology Institute, Nat. Acad. Sci. of Ukraine
[2]Donetsk Botanical Gardens, Nat. Acad. Sci. of Ukraine

Analysis of soil heavy metal content of different plantations in L'viv (suburban forest park, square, street alleys) and also leave ash content in arboreal urban plants of these stands was conducted. It was fixed that content of molybdenum, barium, lead, silver and copper in soil overlay (0-20 sm) rised from town skirt to its center. On the whole, forest soil was contaminated by heavy metals worst, street alleys soil – most. Increased ash content of leaves was fixed for plants from parks and squares and a shade less for street plantations. It may be connected with the worse mineral amendment conditions of plants.