



УДК 574:504.064.3:477.25

© 2010

О. Г. Луцишин, академік НАН України В. Г. Радченко,
Н. В. Палапа, П. П. Яворовський

Морфофізіологічна оцінка стану ростових процесів деревних рослин Київського мегаполісу за умов техногенного забруднення довкілля

*Проведена морфофізіологічна оцінка ступеня пригнічення ростових процесів за морфометричними (величина річного приросту, кількість листків на прирості, розміри листків за площею, шириною та довжиною) і фізіологічними показниками (кількість сухої речовини в листках і рівень їх оводнення) у вуличних насадженнях липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) та клену гостролистого (*Acer platanoides* L.). Встановлено, що інгібування ростових процесів зростає залежно від рівня забруднення ґрунту та фітомаси рослин (коріння, листки, кора) фітотоксичними елементами Na, Cl, Pb, Cd.*

Важливим показником функціонального стану рослинних комплексів є зміна рівня ростових процесів під впливом техногенних факторів [1, 2]. Насамперед проявляються морфометричні зміни, які є наслідком змін фізіологічних і метаболічних процесів.

Відомо, що фітотоксичні елементи викликають хлороз листків через гальмування біосинтезу хлорофілу *a* і *b* та зміни структури мембран хлоропластів і тилакоїдів, а отже, інгібування процесу фотосинтезу, порушення мітозів і гальмування росту коріння та пагонів, зниження транспірації [3]. Фітотоксичні елементи ініціюють процеси пероксидного і вільнорадикального окиснення та інгібують антиоксидантну систему захисту рослинних організмів [4, 5].

У попередній публікації нами показано взаємозв'язок між рівнем техногенного навантаження в урбосистемі міста та ступенем некрозного й хлорозного пошкодження листової пластинки та листового покриву крони дерев [6].

Дана робота присвячена дослідженню змін функціонального стану деревних рослинних організмів вуличних насаджень за умов сучасного техногенного та антропогенного навантаження на довкілля міста.

Об'єктом дослідження вибрані деревні рослини найбільш поширених видів, які використовуються для створення вуличних зелених насаджень: липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), клен несправжньо-платановий (*A. pseudoplatanus* L.) та клен цукристий (*A. saccharinum* L.).

Невпинне зростання кількості автотранспорту в Києві та традиційне застосування солі NaCl для боротьби з ожеледицею на автодорогах і пішохідних доріжках спричинили забруднення ґрунтів та фітомаси деревних рослин елементами натрію, хлору, свинцю та кадмію.

Оскільки найбільш небезпечними для деревних вуличних насаджень є натрій і свинець, розглянемо, як рівень забруднення ґрунту й фітомаси рослин цими фітотоксикантами впливає на ступінь гальмування ростових процесів та призводить до зменшення продуктивності. Це виявляється у зниженні величини річного приросту, кількості листків на прирості, зменшенні розмірів листків (площа, ширина і довжина листкової пластинки), як маркерів функціонального стану рослин.

Морфометричні та фізіологічні показники листків (суха речовина листків, вологість листків) визначали у липових і кленових угрупованнях на території природної зони лісового масиву “Феофанія” (контроль), парку ім. О. Пушкіна в Шевченківському районі та вуличних зелених насаджень в Голосіївському (просп. 40-річчя Жовтня), Дніпровському (просп. Возз’єднання, вул. Будівельників), Печерському (вул. Івана Кудрі, вул. Кіквідзе) районах.

На підібраних тест-майданчиках з різним рівнем техногенного навантаження наприкінці липня у 2007–2008 рр. проведений відбір зразків для морфометричних та фізіологічних аналізів за прийнятою методикою [7].

Виміри морфометричних (величина приросту, кількість листків на прирості, площа, ширина і довжина листкової пластинки, товщина стовбура) та фізіологічних показників (абсолютно суха речовина та вміст води в листках) проводили за рекомендованими методами [7, 8]. Площу листків клену визначали за програмою “tpsdig2”. Статистичну обробку здійснювали за програмою “Excel”, криві розподілу листків будували за програмою “Origin”.

При кризових рівнях забруднення ґрунту і фітомаси рослин фітотоксичними елементами Na і Pb у вуличних насадженнях клену гостролистого (кратність перевищення концентрації Na в рухомій формі в листках відносно природної зони 2,0–12,6 раза; концентрація Pb у ґрунті перевищувала граничнодопустиму і становила 20,9–40,2 ГДК, у листках — 15,6–27,0 ГДК) і липи серцелистої (відповідно, Na — в 4,45–10,46 раза, Pb — 20,1–30,6 ГДК у ґрунті, 15,6–27,0 ГДК у листках) ростові процеси різко інгібувались: величина річного приросту зменшувалась від 1,6 (вул. Івана Кудрі) до 3,3 раза (просп. Возз’єднання), кількість листків на прирості — на 10,0 і 35,0% відповідно, площа листка — на 23,0 і 29,2% (табл. 1). У середньому розміри довжини та ширини листкової пластинки клену гостролистого у вуличних насадженнях зменшились на 16,3 і 19,5% відповідно.

Ростові процеси клену несправжньо-платанового і клену цукристого за величиною приросту і кількості листків на прирості перевищували дані параметри для клену гостролистого вдвічі. Порівняння за іншими параметрами не проводились, оскільки це різні види.

У вуличних насадженнях липи серцелистої (просп. 40-річчя Жовтня), які зазнають найбільшого впливу токсичних автотранспортних викидів (крутий схил, рух автотранспорту під схил) та забруднення NaCl (дерева розташовані вздовж пішохідних доріжок), ростові процеси гальмувались за величиною приросту в 5,2 раза, за кількістю листків на прирості — вдвічі, за площею листкової пластинки — на 43% порівняно з аналогічними показниками контрольних тест-об’єктів. В угрупованнях липи серцелистої паркової зони, які зазнають дещо меншої дії шкідливих викидів, величина річного приросту була нижчою в 3,8 раза, кількість листків на прирості — на 46,2%, площа листкової пластинки — на 32 %.

Нами відзначена пряма залежність між величиною приросту клену гостролистого та рівнем забруднення Pb ґрунту, а також величиною приросту липи серцелистої та рівнем забруднення Na її листків. При збільшенні концентрації Pb від 8,70 до 80,48 мг/кг ґрунту

Таблиця 1. Морфологічні показники ростових процесів у деревних рослинах Київського мегаполісу за умов техногенного забруднення довкілля

Вид	Зона екомоніторингу	Товщина стовбура, см	Річний приріст, мм	Кількість листків на прирості	Площа листка, см ²	Довжина листка, мм	Ширина листка, мм	Суша речовина листка, г	Вміст води в листках, %
Клен гостролистий	Лісовий масив “Феофанія”	16,13 ± 0,66	427,0 ± 0,8	3,71 ± 0,32	122,28 ± 7,40	114,52 ± 4,15	100,30 ± 3,13	0,538 ± 0,14	65,75 ± 3,35
	Вул. Івана Кудрі	24,70 ± 1,75	314,0 ± 0,6	3,30 ± 0,36	87,85 ± 9,00	102,10 ± 2,50	88,95 ± 4,49	0,447 ± 0,11	63,47 ± 1,43
	Просп. Возз’єднання	23,20 ± 2,15	200,0 ± 0,2	2,99 ± 0,18	67,63 ± 7,89	84,60 ± 4,62	71,90 ± 4,79	0,362 ± 0,04	62,34 ± 1,06
	Вул. Кіквідзе	14,80 ± 1,14	128,0 ± 0,1	2,40 ± 0,14	86,63 ± 8,20	95,90 ± 3,16	80,80 ± 2,85	0,600 ± 0,03	52,98 ± 1,03
Клен несправжньо-платановий	Вул. Будівельників	10,65 ± 1,83	800,0 ± 0,7	7,73 ± 0,64	38,56 ± 7,60	84,84 ± 3,74	46,15 ± 2,56	0,239 ± 0,02	59,86 ± 2,86
Клен цукристий	Вул. Будівельників	24,20 ± 1,85	683,0 ± 1,0	7,00 ± 0,49	30,06 ± 6,46	90,25 ± 3,37	38,35 ± 2,33	0,233 ± 0,02	63,20 ± 1,40
Липа серцелиста	Лісовий масив “Феофанія”	22,7 ± 3,06	227,0 ± 10,4	5,20 ± 0,28	58,70 ± 4,90	–	–	0,133 ± 0,02	70,32 ± 0,73
	Парк ім. О. Пушкіна	33,00 ± 3,20	58,8 ± 10,3	2,50 ± 0,26	36,70 ± 6,90	–	–	0,126 ± 0,03	67,94 ± 1,66
	Просп. 40-річчя Жовтня	26,00 ± 2,17	44,5 ± 6,6	2,40 ± 0,14	28,50 ± 4,10	–	–	0,158 ± 0,06	62,66 ± 2,70

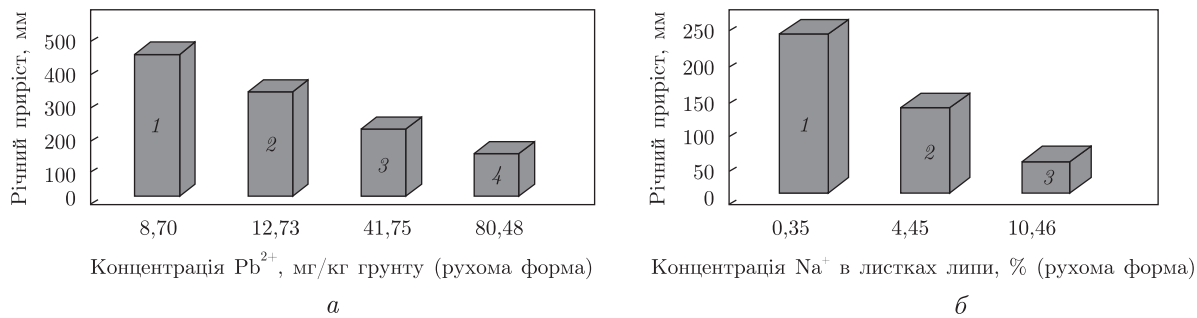


Рис. 1. Річний приріст при різних рівнях техногенного забруднення: *а* — забруднення Pb ґрунту в зоні кореневої системи клену гостролистого: 1, 2 — лісовий масив “Феофанія”, 3 — вул. Івана Кудрі, 4 — просп. Возз’єднання; *б* — забруднення Na листків липи серцелистої: 1 — лісовий масив “Феофанія”, 2 — просп. 40-річчя Жовтня (рівня автотраса), 3 — просп. 40-річчя Жовтня (авторух під схил)

в зоні кореневої системи клену гостролистого річний приріст по довжині однорічних пагонів зменшувався на 36,0–70,0% (рис. 1), з підвищенням вмісту Na в листках липи серцелистої від 0,35 до 10,46 % річний приріст зменшувався від 1,9 до 5,0 раза.

Важливо зазначити, що подані нами в табл. 1 дані усереднені на рівні цілісного дерева або угруповання дерев і не дають інформації про морфометричні зміни показників на рівні індивідуальних листків. Зміни морфометричних параметрів (площі, ширини, довжини) в індивідуальних листках складаються в статистичні ряди, які підпорядковуються закону вірогідності Кетле та подаються кривими розподілу листків за їх величиною показників, тобто кривими Гаусса [9]. Щоб передбачити спрямування мінливості певного показника та оцінити ступінь дії стресового чинника, можна застосувати статистичний аналіз кривих розподілу за будь-яким морфометричним параметром.

На основі біометричних вимірів індивідуальних листків нами побудовані криві розподілу за величиною їх площі для липових угруповань та за величиною їх довжини і ширини для клену гостролистого залежно від рівня техногенного забруднення (рис. 2).

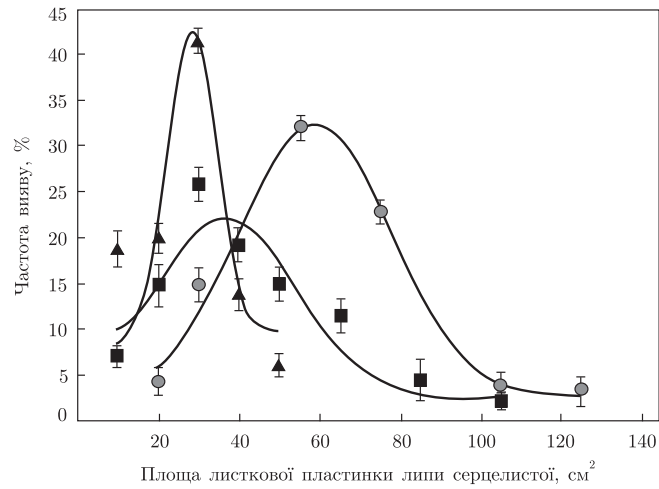
Однією з основних характеристик статистичного розподілу є розміщення кривих на осі абсцис відповідно до їх морфометричних характеристик функціонального стану рослин даного угруповання. Величина кривих відносно одна одної оцінюється за кількісними параметрами, які характеризують розташування кожного з порівнюваних статистичних рядів. До них належать середнє арифметичне значення ряду (\bar{x}), оптимум або мода (Mo), медіана (Me), амплітуда оптимуму.

Іншою характеристикою кривих розподілу є її форма, яка залежить від варіабельності показника і характеризується дисперсією (σ) та коефіцієнтом варіабельності (V).

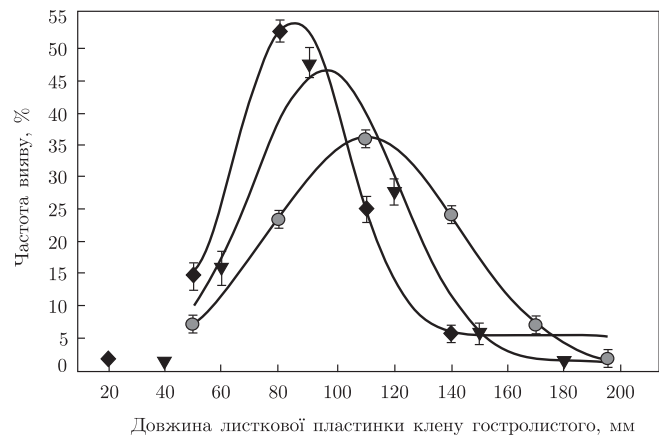
Деформація кривих, яка кількісно визначається за величиною коефіцієнта асиметрії (As), може бути обумовлена як одностороннім впливом техногенного стресу, так і генетичними властивостями досліджуваних рослинних комплексів.

Кількісні параметри статистичних рядів розміру за величиною площі листків липи серцелистої та довжини і ширини листків клену гостролистого в умовах різного техногенного забруднення довкілля міста подані у табл. 2.

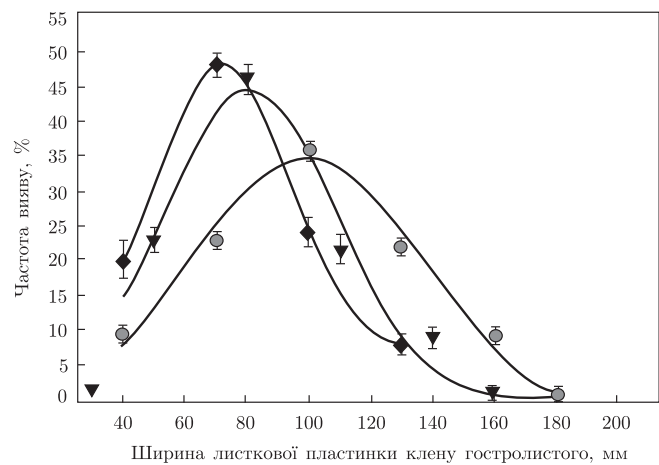
Криві розподілу листків липи серцелистої за величиною їх площі в умовах збільшення техногенного забруднення зміщені в напрямку зменшення їх розмірів відносно кривих розподілу листків дерев лісового масиву (див. рис. 2, *а*). Для вуличних липових насаджень (просп. 40-річчя Жовтня) з найбільшим рівнем техногенного навантаження характерна



a



б



в

Рис. 2. Криві розподілу за показниками площі листків липи сердцелистої (а) та довжини (б) і ширини (в) листкової пластинки клену гостролистого залежно від рівня техногенного та антропогенного забруднення: ● — лісовий масив “Феофанія”; ■ — парк ім. О. Пушкіна; ▲ — просп. 40-річчя Жовтня; ◆ — вул. Івана Кудрі; ▼ — просп. Возз’єднання

Таблиця 2. Статистичні параметри кривих розподілу листків клену і липи за показниками площі, довжини і ширини листкової пластинки залежно від рівня техногенного забруднення

Вид	Зона екомоніторингу	Концентрація елементів (рухома форма) у листках		Морфометричний показник листка	Параметри кривих розподілу листків						
		Na, %	Pb, мг/кг		\bar{x}	Mo	Me	σ	V, %	As	Амплітуда Mo, %
Клен гостролистий	Лісовий масив "Феофанія"	0,06 ± 0,01	7,04 ± 1,12	Довжина	110,1	110,0	100,0	32,30	29,34	1,72	36,0
	Просп. Возз'єднання Вул. Івана Кудрі	0,12 ± 0,03	7,83 ± 1,09	Ширина	100,3	100,0	95,0	31,30	31,21	1,76	36,3
				Довжина	95,9	98,0	90,0	25,45	26,54	1,80	47,7
		0,76 ± 0,48	13,50 ± 2,33	Ширина	80,8	83,0	85,0	24,90	30,82	2,06	46,6
				Довжина	84,6	84,0	75,0	19,05	22,58	2,98	52,5
Липа серцелиста	Лісовий масив "Феофанія"	0,354 ± 0,07	1,59 ± 0,37	Ширина	71,9	70,0	70,0	20,85	29,00	3,04	48,3
	Парк ім. О. Пушкіна	0,343 ± 0,06	2,80 ± 0,28	Площа	58,7	56,0	50,0	18,50	31,62	3,15	32,5
	Просп. 40-річчя Жовтня	10,39 ± 2,90	3,50 ± 0,37	Площа	36,7	36,0	30,0	17,25	47,00	3,35	22,0
				Площа	28,5	30,0	30,0	5,65	19,80	11,48	42,2

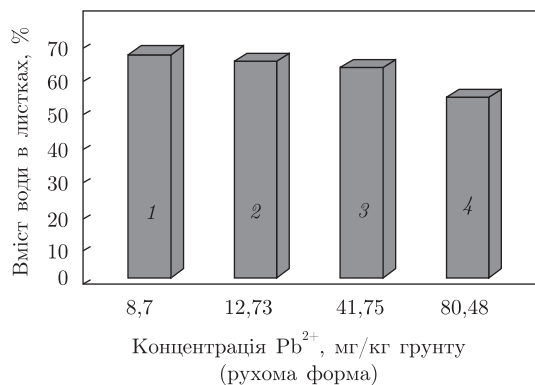


Рис. 3. Вміст води в листках клену гостролистого при різних концентраціях свинцю в ґрунті: 1, 2 — лісовий масив “Феофанія”, 3 — вул. Івана Кудрі, 4 — просп. Возз’єднання

низька варіабельність листків (σ , V) з високою амплітудою Mo (42,2%), найменша величина оптимуму Mo (30,0 см²) та найвища величина деформації кривої за критерієм асиметрії (11,48).

Така ж закономірність спостерігається для кривих розподілу листків клену гостролистого за критеріями довжини і ширини (див. рис. 2, б, в): найнижча варіабельність показників з високою амплітудою Mo (52,5 і 48,3% відповідно), найменша величина оптимуму (84,0 і 70,0 мм) та найвища величина коефіцієнта асиметрії (2,98 і 3,04 відповідно).

Статистичні параметри кривих розподілу листків клену гостролистого і липи серцелистої свідчать про те, що під дією фітотоксичних елементів мінливість показників площі, довжини і ширини спрямована в напрямку зменшення їх розмірів. На підставі отриманих величин коефіцієнтів асиметрії кривих (As) можна вважати, що причиною деформації і зміщення кривих мінливості ростових показників є постійний односторонній тиск зовнішніх стресових факторів, до яких належить техногенне забруднення довкілля міста. При цьому характер кривих розподілу і їх форма зазнають значної деформації через значний рівень техногенного забруднення. Отже, такий характер варіювання морфометричних показників листків є проявом фенотипічної мінливості і в даному випадку не залежить від генотипу рослин.

Фізіологічний стан дерев оцінювали за нагромадженням сухої речовини в листках та за рівнем їх оводнення. У науковій літературі зміна вмісту води в листках через дію фітотоксичних елементів розглядається як міра токсичності [5]. Нами також спостерігалась подібна закономірність (рис. 3). Із збільшенням концентрації Pb у ґрунті в зоні кореневої системи від 4,94 до 80,48 мг/кг (рухома форма) вміст води в листках зменшувався від 65,2 до 53,0%, тоді як при забрудненні Na такої чіткої закономірності не виявлено.

Кількість абсолютно сухої речовини в листках опосередковано свідчить про інтенсивність метаболічних процесів за високого рівня забруднення фітотоксикантами. Лише за високих концентрацій токсичних елементів у листках клену гостролистого (див. табл. 2) спостерігається зменшення кількості сухої речовини, зокрема на 32,7% (вул. Івана Кудрі), тоді як через забруднення листкової поверхні сажею і пилом та значний рівень некротизації листкової пластинки кількість сухої речовини в листках липи серцелистої у вуличних насадженнях важко визначити.

Отже, техногенне та антропогенне забруднення довкілля міста негативно впливає як на морфометричні, так і фізіологічні показники ростових процесів у рослин вуличних липових

і кленових насаджень. Причиною фенотипічної мінливості морфологічних показників є постійний тиск на рослинні організми кризових рівнів техногенного забруднення на київських вулицях.

Крім того, проведений нами екомоніторинг функціонального стану рослинних угруповань виявив у рослин липи серцелистої і клену гостролистого високу металоакумулюючу здатність та чутливість їх ростових процесів до дії стресових факторів. Ці види деревних рослин можуть бути використані як акумулятивні біоіндикатори забруднення довкілля Києва фітотоксичними елементами. При цьому їх морфологічні показники, як своєрідні маркери, можуть служити основою для розробки діагностичної оцінки функціонального стану рослинних організмів за умов техногенного та антропогенного забруднення довкілля Київського мегаполісу.

1. *Крайнова А. О., Пересипкіна Г. М.* Морфолого-анатомічні особливості рослин в умовах промислового забруднення середовища // Укр. ботан. журн. – 1995. – **32**, № 5. – С. 659–664.
2. *Маракаев О. А., Смирнова Н. С., Загоскина Н. В.* Техногенный стресс и его влияние на листовые древесные растения (на примере парков г. Ярославля) // Экология. – 2006. – № 6. – С. 410–414.
3. *Серегин И. В., Иванов В. Б.* Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. – 2001. – **48**, № 4. – С. 606–630.
4. *Кузнецова Т. Ю., Ветчинникова Л. В., Титов А. Ф., Ильинова М. К.* Влияние кадмия на состав жирных кислот липидов в побегах карельской березы *in vitro* // Там же. – 2008. – **55**, № 5. – С. 731–737.
5. *Лич Д., Ли Т. Ц., Ян С. Е. и др.* Влияние свинца на активность ферментов антиоксидантной защиты и ультраструктуру листьев у двух экотипов *Sedum alfredii* Hance // Там же. – 2008. – **55**, № 1. – С. 73–82.
6. *Луцишин О. Г., Шандра О. В., Палапа Н. В.* Вплив техногенного забруднення на функціональний стан зелених зон Київського мегаполісу // Захист довкілля від антропогенного навантаження. – Київ; Кременчук; Харків, 2008. – Вип. 1 (17). – С. 76–83.
7. *Молчанов А. А., Смирнов В. В.* Методика изучения прироста древесных растений. – Москва: Наука, 1967. – 100 с.
8. *Методическое пособие по аналитическим работам для агрохимической службы Украинской ССР.* Ч. 1. – Киев, 1989. – 118 с.
9. *Урбах В. Ю.* Биометрические методы. – Москва: Наука, 1964. – 415 с.

Науковий центр екомоніторингу
та біорізноманіття мегаполісу НАН України, Київ
Інститут агроекології УААН, Київ

Надійшло до редакції 05.11.2009

**O. G. Lutsyshyn, Academician of the NAS of Ukraine V. G. Radchenko,
N. V. Palapa, P. P. Yavorovskiy**

Morphophysiological estimation of a state of the growing processes in arboreal plants under a technogenic contamination of the Kyiv environment

*Morphophysiological assessment of the inhibition of growth processes by morphometric (size of the annual increase in the number of leaves, size of the leaves area, width, and length) and physiological indices (amount of dry matter in leaves and the level of their wetting) in the street plantations of cordata linden (*Tilia cordata* Mill.) and maple of acutifoliate (*Acer platanoides* L.). Inhibition of growth processes increases, by depending on the level of soil contamination and the phytomass of plants (roots, leaves, bark) by phytotoxic elements Na, Cl, Pb, and Cd.*