



The effect of motor vehicle emission on morphological and physiological characteristics of *Rhus typhina*

O. P. Dzhygan

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 24.04.2017

Received in revised form
14.05.2017

Accepted 16.05.2017

Dnipro State Agrarian
and Economic University,
Sergey Ephremov Str., 25,
Dnipro, 49600, Ukraine.
Tel.: +38-066-458-43-23.
E-mail: elenapriymak@ua.fm

Dzhygan, O. P. (2017). The effect of motor vehicle emission on morphological and physiological characteristics of *Rhus typhina*. *Biosystems Diversity*, 25(2), 102–107. doi:10.15421/011715

This article analyses changes of morphological indicators of *Rhus typhina* L. in roadside plantations in Pavlograd, Ukraine. Experimental plots were placed at a distance from 1 to 130 m from the road. The control group of plants was at a distance of 1500 m from the highway. The plants were measured for length and thickness of annual sprout, number of leaves on it, the content of chlorophyll in leaves and accumulation of cadmium and lead in the tissues of these organs. It was found that, compared to the relatively clean area, the greatest decrease in the length and thickness of the annual shoots of the trees in the plantations, was for those which were at a distance of one metre from the highway. The number of leaves on a one-year shoot was significantly decreased compared to controls at all sites except those situated at a distance of one hundred and thirty meters from the path of moving sources of pollution. We evaluated the impact of transport emissions on the assimilatory apparatus. Within the twenty-five meter zone, there was an increase in the area of the leaf. The assimilation surface area was significantly decreased relative to values in the conditionally clean area only in the plants growing at a distance from one to five meters from the road. We identified a negative effect of the ingredients of motor emissions on chlorophyll content in leaves. The amount of chlorophyll *a* decreased with decreasing distance from the plantation to the road within the forty-meter area. Changes in the content of chlorophyll *b* lacked a clear pattern. The concentration of this pigment increased compared with control in a five-meter area, at a distance of twenty five meters it significantly decreased and did not differ from the indicators in the relatively clean areas, which were growing at a distance of forty and one hundred and thirty meters from the road. The amount of chlorophyll *a + b* in the leaves decreased compared to the control. Lead accumulated in these plant organs in the forty-meter zone. The amount of cadmium in the tissues of the leaf was significantly higher than the control values on plots located at a distance of twenty five meters. The strongest negative effects of phytotoxicants on susceptible plants occurred in plantations in the five-meter zone, which led to deterioration of the decorative quality of the plants.

Keywords: lead; cadmium; pollutants; chlorophyll; growth

Морфофізіологічні показники *Rhus typhina* за дії викидів автотранспорту

О. П. Джиган

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

Досліджено вплив викидів автотранспорту на морфофізіологічні показники рослин *Rhus typhina* L. у приміагістральних насадженнях у м. Павлоград. Найсуттєвіше порівняно з контрольною групою рослин (1500 м від полотна автошляху) знижується довжина та товщина річних пагонів дерев, що зростали на відстані 1 м від траси. Кількість листків на пагоні достовірно знижується щодо показників рослин чистої зони у рослин всіх дослідних ділянок, окрім розташованої на відстані 130 м від лінії руху пересувних джерел забруднення. Встановлено тенденцію до збільшення площі листка у двадцятип'ятиметровій зоні дії викидів. Асиміляційна поверхня достовірно зменшувалася у п'ятиметровій зоні впливу поллютантів. Оцінено вплив інгредієнтів вихлопів автотранспорту на вміст хлорофілу в листках дослідних рослин. Кількість хлорофілу *a* зменшується зі зменшенням відстані до полотна шляху в сорокаметровій зоні. Зміни концентрації хлорофілу *b* мали різну спрямованість. Сума хлорофілів *a + b* у листках знижувалась порівняно з контролем. У листках рослин сорокаметрової зони накопичувався свинець, двадцятип'ятиметрової – кадмій. Найсильнішої негативної дії фітотоксикантів зазнають рослини п'ятиметрової зони, що призводить до погіршення декоративних якостей рослин.

Ключові слова: кадмій; свинець; хлорофіл; ріст; поллютанти

Вступ

У сучасних містах із розвинутою інфраструктурою набуває все більшої гостроти проблема забруднення довкілля поллютантами антропогенного походження. Найбільша частка в екологічних збитках припадає на автотранспортний комплекс, обсяги забруднення його викидами атмосфери та ґрунту урба-

нізованих територій становлять 60–71% (Li et al., 2012). Автотранспортні викиди містять понад 200 різних сполук, у тому числі важкі метали (Pulles et al., 2012). Забруднення ними довкілля стало глобальною проблемою (Moroz et al., 2011; Gueguen, 2012; Gunawardena et al., 2012; Rodrigues et al., 2012; Faly & Brygadyrenko, 2014; Karim et al., 2014). Рівень забруднення атмосфери техногенно трансформованих територій невинно

зростає у зв'язку зі збільшенням пересувних засобів на шляхах. Найнебезпечніший для вуличних насаджень вплив мають свинець і кадмій, які містяться в газоподібних викидах транспорту (Vassio et al., 2014; Deljanin et al., 2014). Свинець і кадмій не є необхідними для нормальної життєдіяльності рослин елементами, але вони активно поглинаються рослинними тканинами, довго зберігають токсичні властивості, мають тривалу негативну дію та післядію на організм (Clemens, 2001; Luo et al., 2016).

Вищезгадані поліутанти накопичуються в листі рослин культурфітоценозів (Bessonova, 1984; Priymak, 2008; Tomasevic et al., 2013; Vetchynnykova, 2013; Norouzi et al., 2015), викликаючи зміни анатомічної будови (Lomaglio, 2015), кори (Nicola et al., 2013, 2015; Bussotti et al., 2015), пилку (Chropenova et al., 2016), а також порушують метаболічні процеси (Candekova, 2010; Zhahg et al., 2016).

Прямий вплив цих важких металів на рослину починається з контакту забруднювача та його поглинання надземними органами рослин (переважно листям). За умов сучасних мегаполісів як бар'єр на шляху розповсюдження важких металів використовують деревні рослини. Їх асиміляційний апарат має добре розвинену поверхню обміну з оточуючим повітрям, поглинає та осаджує з повітря велику кількість домішок, проте зазнає найсильніших пошкоджень порівняно з іншими органами (Kocić, 2014).

За дії важких металів, особливо свинцю та кадмію, змінюється функціональний стан деревних порід: погіршуються ростові процеси (Ponomareva, 2009; Candekova, 2010; Ivanchenko, 2016; Moskalyk, 2016; Vynogradova, 2016), відбуваються зміни морфологічних і анатомічних показників листків, погіршується клітинний метаболізм (Baucu, 2006; Erofeeva, 2010).

Подібні негативні зміни знижують декоративні та буферні властивості насаджень, знижуючи тим самим ефект оптимізації техногенно трансформованих територій. Шляхи подолання проблеми забруднення міських територій полягають в екологізації автомобільного транспорту та поліпшенні складу зелених насаджень, особливо на примігстральних територіях (Pretzsch et al., 2015; Vodnaruk et al., 2017).

Для збереження естетичного вигляду рослин і оптимізації урбанізованих територій створюють насадження з швидкорослих, декоративних та відносно толерантних до забруднювачів деревних порід. На забруднених територіях для розширення видового різноманіття та підвищення декоративної цінності садово-паркових об'єктів використовують інтродуковані види, що походять із Північної Америки, серед них широко використовується сумах пухнастий (*Rhus typhina* L.). Інтенсифікації культивування цього виду у вуличних насадженнях міст сприяє його екологічна пластичність і такі високі декоративні якості як форма та архітектоніка крони, форма листків і суцвіть, сезонність забарвлення. Рослини *R. typhina* світлолюбні, швидкорослі, середньовибагливі до родючості ґрунту та посухостійкі (Oleksijchenko et al., 2014).

За умов урбанізованих територій цей інтродуцент у складі зелених насаджень зазнає несприятливого впливу антропогенних факторів. Проте використання вищезазначеного виду для створення примігстральних насаджень у містах південного Сходу України з добре розвинутою автотранспортною мережею майже не досліджувалося.

Мета даної статті – проаналізувати вплив викидів автотранспорту на морфологічні та фізіологічні показники *R. typhina*.

Матеріал і методи дослідження

Об'єкт дослідження – рослини *R. typhina*, віком 4–6 років, що зростали на п'яти дослідних ділянках, розташованих на різній відстані від полотна автошляху в м. Павлоград. Ділянка 1 розташована на відстані одного метру від полотна автошляху, ділянка 2 – 5 м, ділянка 3 – 25 м, ділянки 4 та 5 – на відстані 40 та 130 м відповідно. Контрольні рослини зростали на ділянці, яка розташована на відстані 1500 м від автошляху, інших дже-

рел забруднення знаходилися на відстані понад 10 км. Ділянки розміщені за допомогою рендомізованого методу, агрохімічний фон в їх межах вирівняний. Для досліджень використовували 10 модельних дерев, зразки відбирали з модельних гілок орієнтованих на південний схід. Приріст пагонів і площу листової пластинки визначали за Молчановим (Molchanov and Smirnov, 1967). Зразки листків брали з південно-східної частини крони на висоті 1,6–1,8 м від поверхні ґрунту. Для лабораторних досліджень із кожної ділянки відібрали 25 гілок, 30 листків і 25 наважок листя. Вміст хлорофілу визначали після його екстракції 96% етанолом на спектрофотометрі СФ-2000. Розрахунки здійснювали за формулами Вінтерманса, Монса (Bessonova, 2006). Вміст важких металів у листках визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії (Bessonova, 2001) на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115. Морфологічні дослідження виконували в трикратній, біохімічні в п'ятикратній повторності. Величину автотранспортного потоку на шляху оцінювали за стандартною методикою (Maljugin and Parsaev, 2012).

Розраховували середнє арифметичне значення ознак і стандартну помилку (SE). Перевірку на нормальність розподілу проведено методом розрахунку асиметрії та ексцесу. Для оцінювання достовірності відмінності між вибірками застосовано t-критерій Стьюдента.

Результати

У нашому дослідженні отримані дані, які свідчать про різний ступінь змін у морфологічних та фізіологічних показниках рослин *R. typhina* за умов дії автотранспортних емісій.

За умов дії викидів автотранспорту ріст пагонів достовірно знижується на ділянках, розташованих у п'ятиметровій зоні від шляху. На ділянці 1 зменшення значень річного приросту пагонів спостерігали на 21,2% за умов відносно чистої зони (табл. 1). У рослин із ділянки 2 цей показник був на 12,4% менший за контрольні значення. На ділянках 3, 4, та 5 показники були на рівні контрольних. Товщина однорічних пагонів у досліджуваних рослин достовірно різнилася від контрольних лише на ділянці 1 (була більшою на 48,5%).

Таблиця 1

Довжина та товщина річних пагонів *R. typhina* за умов забруднення викидами автотранспорту ($x \pm SE$, $n = 25$)

Ділянка	Довжина пагона, мм	% до контролю	Товщина пагона, мм	% до контролю
Контроль	167,4 ± 6,1	100	10,5 ± 0,3	100,0
Ділянка 1 (1 м)	138,1 ± 5,4*	78,7	15,6 ± 0,6*	148,5
Ділянка 2 (5 м)	146,5 ± 6,0*	87,5	11,5 ± 0,5	109,5
Ділянка 3 (25 м)	155,3 ± 7,0	92,7	11,0 ± 0,4	104,7
Ділянка 4 (40 м)	153,9 ± 6,7	91,9	10,0 ± 0,5	95,2
Ділянка 5 (130 м)	165,6 ± 7,5	98,9	10,7 ± 0,2	101,9

Примітка: * – різниця між контрольним і дослідним варіантом статистично достовірна за $P < 0,05$.

Один із найінформативніших показників стану рослин – показники асиміляційної поверхні. Кількість листків на річному прирості за дії викидів автотранспорту відносно контролю знижувалася (табл. 2). Найменше число цих органів у рослин розвивалося на пагонах рослин ділянки 1 – на 32,2% ніж в умовно чистій зоні. На відстані п'яти метрів від автошляху (ділянка 2) значення показника були меншими за контрольні на 27,8%. На ділянках 3 та 4 значення показника майже не різнилися між собою – на 8,7% та 10,7% нижчі за контрольні. У рослин, що зростали на відстані 130 м від шляху, кількість листків достовірно не різнилася від умовно чистої зони. Зменшення числа листків на річних пагонах рослин за дії автотранспортних викидів наведено у роботах низки авторів. Так встановлено, що за впливу транспортних викидів значення вищезгаданого показника у клена гостролистого, липи широколистої та робінії звичайної (Ivanchenko and Bessonova, 2016), липи

серцелистої, клену ясенелистого (Vynogradova, 2016) знижувалися щодо умовно чистої зони. Площа листка у *R. typhyna* визначається кількістю листочків на рахісі, та їх площею. За впливу викидів на рослини, що зростали в п'ятиметровій зоні відбувалося збільшення площі листка. На ділянках 1 та 2 за листочки на рахісі мали більшу, ніж у контролі площу. Значення параметру збільшувалося на 36,3% та 20,7% порівняно з контролем у насадженнях на відстані одного та п'яти метрів від полотна шляху.

Інгредієнти автотранспортних викидів на площу асиміляційної поверхні суттєвого не впливали. Достовірне зниження значень цього показника спостерігали у рослин, які зростали

на відстані одного (ділянка 1) та п'яти метрів від автошляху (ділянка 2) на 16,6% та 12,8% порівняно з контролем. На інших ділянках різниця значень даного показника відносно контролю недовірна. За умов зростання в зоні дії автотранспортних викидів скорочення асиміляційної площі встановлене для клену ясенелистого (Vynogradova, 2016), клену гостролистого, робінії звичайної (Ivanchenko and Bessonova, 2016), липи серцелистої та липи широколистої (Ponomareva, 2009). Таким чином, забруднення довкілля емісіями автотранспорту призводить до пригнічення росту річного пагону та його структурних елементів у п'ятиметровій зоні від полотна автошляху.

Таблиця 2

Характеристика асиміляційного апарату *R. typhyna* за умов забруднення викидами автотранспорту ($x \pm SE$, $n = 25$)

Ділянка	Кількість листків на пагоні, шт.	% до контролю	Площа листка, см ²	% до контролю	Площа асиміляційної поверхні пагона, см ²	% до контролю
Контроль	11,5 ± 0,37	100,0	201,4 ± 7,8	100,0	2 320 ± 112	100,0
Ділянка 1 (1 м)	7,8 ± 0,30*	67,7	274,5 ± 11,3*	136,3	1 936 ± 93*	83,4
Ділянка 2 (5 м)	8,3 ± 0,35*	72,2	243,2 ± 9,5*	120,7	2 023 ± 88*	87,2
Ділянка 3 (25 м)	10,5 ± 0,47*	91,2	215,6 ± 8,8	107,1	2 265 ± 110	97,6
Ділянка 4 (40 м)	10,3 ± 0,39*	89,2	218,9 ± 10,2	108,7	2 310 ± 108	99,6
Ділянка 5 (130 м)	10,9 ± 0,45	94,8	210,7 ± 9,2	104,6	2 318 ± 113	99,9

Примітка: * – див. табл. 1.

Аналіз впливу автотранспортного забруднення на вміст хлорофілу а в листках *R. typhyna* показав достовірне зменшення цього показника за винятком значень параметру на ділянці 5. Кількість хлорофілу а на ділянці 1 на 30,7% менша, ніж у відносно чистій зоні. Зі збільшенням відстані від полотна шляху вміст хлорофілу а менше різниться від контрольних значень. На відстані 5 м (ділянка 2) від автошляху цей показник був нижчим на 23,8%, а на ділянках 3 та 4 – на 17,5% та 11,4%, відповідно. За умов забруднення відбувалася зміна концентрації хлорофілу b. Достовірне збільшення вмісту цього пігменту спостерігали лише на ділянках, розташованих в п'ятиметровій зоні від шляху. В листках дерев, що зростали на відстані 1 м (ділянка 1) та 5 м (ділянка 2) від шляху значення даного показника були вищими за контрольні на 27,1% та 16,9% відповідно. На ділянці 3 (25 м) кількість пігменту достовірно менша на 13,6% за показники відносно чистої зони. Значення параметру на ділянках 4 та 5 не різнилися від контрольних. Таким чином, за умов дії викидів автотранспорту кількість хлорофілу а в листках досліджуваного виду в сорокаметровій зоні від шляху зменшується. Чіткої направленості змін вмісту хлорофілу b у цій зоні не спостерігали: на відстані від 1 до 5 м значення перевищують контрольні, зі збільшенням віддаленості до 25 м зменшуються, а починаючи з 40 м – достовірно не різняться

від контрольних. Сума хлорофілів а + b менша, ніж у контролі, лише в листках рослин, що зростали в двадцяти п'яти метровій зоні від автошляху (табл. 3, рис. 1). Найменший вміст пігментів у рослинах із ділянки 1 (на 16,9% нижчий за контрольні). Близькі зміни даного показника в листках *R. typhyna* на ділянках 2 та 3: на 14,1% та 16,5% менші за значення в умовно чистій зоні.

Співвідношення хлорофілів а/b достовірно менше за контрольні в листках рослин, що зростали на ділянках 1 та 2. На цих ділянках у листках рослин знижується сумарний вміст хлорофілу. На ділянці 3 на фоні зниження суми хлорофілів а + b їх співвідношення не різняться від контрольного.

У тканинах листків виявлено накопичення таких важких металів, як Cd та Pb, що містяться у вихлопах транспортних засобів. На ділянці, розташованій у метровій зоні від автошляху, вмісту вищезгаданих забруднювачів у листках перевищував контрольні показники на 56,5% (свинець) та 80,6% (кадмій). Збільшення відстані від проїжджої частини до 5 м (ділянка 2) різниця в значеннях показника в умовно чистій зоні та за умов забруднення зменшується до 30,4% (свинець) та 41,3% (кадмій). У листках рослин, що зростали на ділянці 3 концентрація свинцю та кадмію майже однаково вища за таку в контролі (на 28,3% та 23,1%).

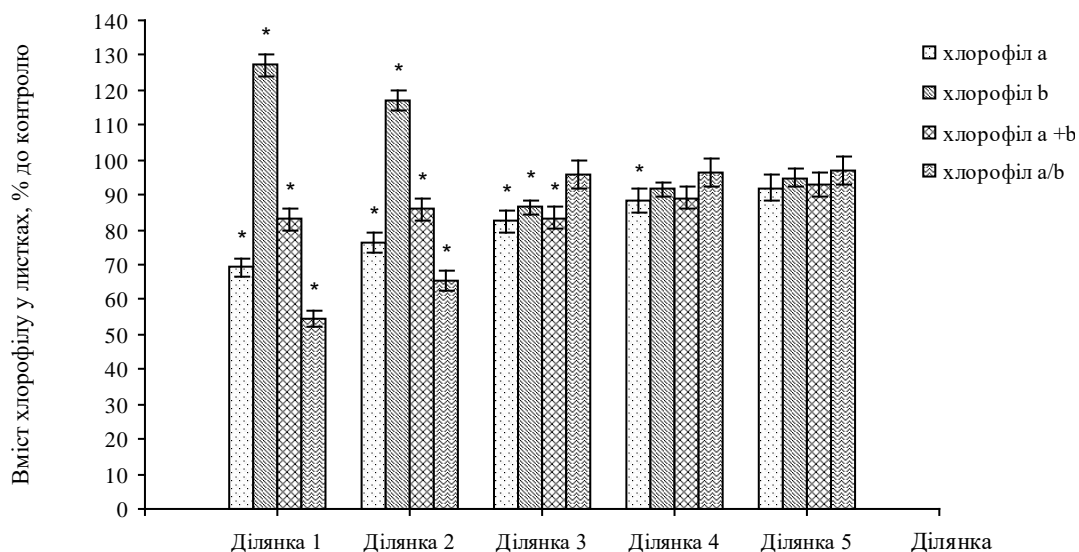


Рис. 1. Вплив викидів автотранспорту на вміст хлорофілів у листках *R. typhyna* ($x \pm SE$, $n = 5$):

* – різниця між контрольним і дослідним варіантом статистично достовірна за $P < 0,05$

Таблиця 3Вміст хлорофілів (мг/г сирої маси) у листках *R. typhyna* за умов забруднення викидами автотранспорту ($\bar{x} \pm SE$, $n = 5$)

Ділянка	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл <i>a + b</i>	Хлорофіл <i>a/b</i>
Контроль	1,89 ± 0,08	0,59 ± 0,02	2,48 ± 0,11	3,20 ± 0,12
Ділянка 1 (1 м)	1,31 ± 0,05*	0,75 ± 0,03*	2,06 ± 0,09*	1,74 ± 0,07*
Ділянка 2 (5 м)	1,41 ± 0,06*	0,69 ± 0,02*	2,13 ± 0,10*	2,09 ± 0,09*
Ділянка 3 (25 м)	1,56 ± 0,07*	0,51 ± 0,02*	2,07 ± 0,08*	3,06 ± 0,11
Ділянка 4 (40 м)	1,67 ± 0,05*	0,54 ± 0,02	2,21 ± 0,10	3,09 ± 0,14
Ділянка 5 (130 м)	1,74 ± 0,06	0,56 ± 0,01	2,30 ± 0,09	3,11 ± 0,13

Примітка: * – див. табл. 1.

Таблиця 4Вміст важких металів у листках *R. typhyna* за умов забруднення викидами автотранспорту ($\bar{x} \pm SE$, $n = 5$)

Ділянка	Pb, мг/кг	% до контролю	Cd, мг/кг	% до контролю
Контроль	0,46 ± 0,01	100,0	4,94 ± 0,21	100,0
Ділянка 1 (1 м)	0,72 ± 0,03*	156,5	8,92 ± 0,38*	180,6
Ділянка 2 (5 м)	0,60 ± 0,02*	130,4	6,98 ± 0,32*	141,3
Ділянка 3 (25 м)	0,59 ± 0,01*	128,3	6,08 ± 0,26*	123,1
Ділянка 4 (40 м)	0,58 ± 0,02*	126,1	5,59 ± 0,19	113,1
Ділянка 5 (130 м)	0,45 ± 0,01	97,8	5,57 ± 0,23	112,7

Примітка: * – див. табл. 1.

На ділянці 4 достовірно підвищення значень даного показника зафіксоване лише для свинцю. У рослин, що зростали на відстані 135 м від шляху, різниця значень недостовірна.

Обговорення

До основних проявів токсичної дії інгредієнтів автотранспортних викидів на рослини належать порушення процесів росту та розвитку вегетативних наземних органів, пригнічення процесу фотосинтезу (Bessonova, 1984; Priymak, 2008; Erofeeva, 2010; Ivanchenko and Bessonova, 2016; Vynogradova, 2016). Загальний показник стану деревних рослин в умовах техногенно зміненого середовища – інтенсивність ростових процесів. За результатами наших досліджень у *R. typhyna* ріст пагонів у довжину достовірно гальмується на відстані одного та п'яти метрів від шляху. Зі зростанням відстані ступінь змін даного показника зменшується. Тенденція до зменшення довжини річних пагонів за умов забруднення аерополітантами довкілля встановлена для деревних видів примігстральних насаджень деякими авторами. У рослин *Acer negundo* L. рядових насаджень узбіч автошляху довжина однорічного вегетативного пагона на 22–26% менша за контрольну (Vynogradova, 2016). Наявність в атмосфері транспортних емісій негативно впливала на ріст пагонів, викликаючи зменшення значень на 40,5% у *Acer platanoides* L., *Tilia platyphyllos* Scop. – на 29,6 %, у *Robinia pseudoacacia* L. – на 19,7% (Ivanchenko and Bessonova, 2016). У рослин із роду *Tilia* L., які розташовувалися в лунках пришляхових смуг, довжина річного прироста знижувалася порівняно з контрольними значеннями (Popomareva, 2009).

Пригнічення ростових процесів на забруднених територіях здебільшого пов'язане зі скороченням площі асиміляційного апарату та порушенням процесу фотосинтезу. Як показник фізіологічного стану деревних рослин урбанізованого середовища використовують зміни пігментної системи фотосинтетичного апарату. Фотосинтетична активність – показник загального стану рослинного організму, оскільки різні поллюанти (у тому числі важкі метали) діють на хлоропласти, інгібують фотосинтетичні процеси (Candekova, 2010). Вміст хлорофілу в листках рослин визначається спільною дією як природних, так і антропогенних факторів. Тому зміни його кількості використовують як неспецифічний маркер забруднення довкілля, у тому числі важкими металами – складовими авто-

транспортних емісій (Norouzi, 2015). Деякі автори вважають, найінформативнішим не вміст хлорофілів *a* та *b*, а їх співвідношення (Moskalyk, 2016).

У наших дослідженнях у рослин, що зростали на відстані 25 м від шляху, концентрація суммарного вмісту фотосинтетичних пігментів знижується порівняно з контролем але співвідношення цих речовин не різняться від аналогічного за умов відносно чистої зони. Відсутність змін між цими показниками на думку деяких дослідників (Erofeeva, 2010; Norouzi, 2015; Moskalyk, 2016) має фізіологічне значення та являє собою захисну реакцію, за допомогою якої рослина долає несприятливий вплив фітотоксикантів.

Зміна вмісту хлорофілу може пояснюватися накопиченням у тканинах листка таких важких металів, як Cd та Pb. Вміст кадмію у досліджуваних рослин перебував у межах 4,94–8,92 мг/кг сухої ваги. Згідно з даними Kabatta-Pendias and Pendias (1989), фоновий вміст цього металу в надземній частині рослини може коливатися в межах 0,05–0,80, а токсичний – 1,0–70,0 мг/кг сухої ваги. Проте, в окремих випадках кількість даного елемента може сягати понад 80 мг/кг (Bessonova, 2001; Rascio, 2011). У період, коли проведено наші дослідження, концентрація кадмію дещо перевищувала нижню межу токсичного діапазону.

Свинець належить до пріоритетних токсичних елементів, вміст яких значно підвищився в урбанізованому середовищі останніми десятиліттями (Pinamonti, 1997; Brunner, 2008; Baltetataite, 2012; Marx, 2016). Основна частина цього елемента та його сполук потрапляє в атмосферу з викидами автотранспорту, в якому використовують етильоване пальне. В умовах забруднення середовища мегаполісів токсичний свинець потрапляє в рослини не тільки з ґрунту через кореневу систему (Aznar et al., 2008), а й поглинається асиміляційними органами рослин з атмосферного повітря (Alahabadi et al., 2017; Shahid, 2017). Інтенсивність очищення повітря від даного фітотоксиканта листям деревних рослин становить 30–40 мг/кг сухої ваги (Bessonova, 2001). Акумуляція його в листках рослин – один із факторів зміни морфоструктурних (Ugolini, 2013) та фізіологічних параметрів (Candekova, 2010). Вміст цього елемента в рослинах відносно чистих територій коливається в межах 0,1–10 мг/кг сухої ваги (Kabatta-Pendias and Pendias, 1989). Концентрація свинцю в листках *R. typhyna* на дослідних ділянках не перевищувала наведені значення, але в 1,2–1,5 раза перевищувала контрольні показники. Накопичення свинцю в листках деревних видів, що зростали поблизу автошляхів, відмічають деякі автори (Erofeeva, 2010; Gueguen, 2012; Vetchynnykova, 2013). Перевищення фонового вмісту даного поллюанту в дев'ять разів встановлене в листках берези повислої, в шість разів – для тополі чорної (Erofeeva, 2010). Вміст свинцю достовірно перевищував контрольні значення у горобини звичайної, липи серцелистої, тополі чорної та берези повислої за умов високого техногенного навантаження (Vetchynnykova, 2013).

Викиди автотранспорту за нашими дослідженнями пригнічують ростові процеси *R. typhyna* в п'ятиметровій зоні від автошляху, що зумовлює зниження декоративності рослин. На відстані понад 5 м спостерігали зміни лише вмісту хлорофілу та важких металів, що не викликало зменшення довжини річного приросту та листової поверхні. Тому рослини *R. typhyna* віком 4–6 років можуть бути рекомендовані для створення зелених насаджень на відстані не меншій за 5 м від автошляху.

У подальшому необхідне проведення досліджень механізмів стійкості *R. typhyna* до дії викидів автотранспорту.

Висновки

Найсильніше за дії викидів автотранспорту змінилися морфологічні та фізіологічні показники рослин *R. typhyna*, що зростали на відстані одного та п'яти метрів від полотна автошляху. За таких умов пригнічувався ріст пагонів у довжину, знижувалася загальна концентрація хлорофілів та відбувалося накопичення свинцю та кадмію в листі. На ділянці 1 окрім вище перелічених змін знижувалася площа асиміляційної поверхні та потовщувалися однорічні пагони порівняно з умовно чистою зоною.

Установлене зниження вмісту хлорофілу а в листках рослин, що зростали на ділянках 1, 2, 3 та 4. Чітка тенденція у напрямку змін концентрації хлорофілу b за дії поллютантів відсутня. Загальна кількість зелених пігментів достовірно менша за аналогічні значення в контролі на ділянках 1, 2 та 3.

Зміни в концентрації хлорофілів пояснюються накопиченням важких металів у тканинах листків. Вміст свинцю та кадмію перевищує контрольні значення у рослин, що зростали в сорокаметровій зоні від автошляху. На відстані 135 м вміст свинцю достовірно не різнився, а кадмію – був вищим за такий у рослин умовно чистої зони.

Накопичення кадмію та свинцю понад контрольних значень, зменшення вмісту зелених пігментів не призводило до порушень ростових процесів у рослин на відстані 25 м від полотна автошляху та не знижувало їх декоративних якостей.

Рослини *R. typhyna* віком 4–6 років можуть бути рекомендовані для створення зелених насаджень, розташованих на відстані 25 м від автомобільного шляху.

References

- Alahabadi, A., Ehrampoush, M., Miri, M., Aval, H., Yousefzadeh, S., Ghaffari, H., Ahmadi, E., Talebi, P., Fathabadi, Z., Babai, F., Nikoonahad, A., Sharafi, K., & Hosseini-Bandegharai, A. (2017). A comparative study on capability of different tree species in accumulating heavy metals from soil and ambient air. *Chemosphere*, 172, 459–467.
- Aznar, J.-C., Richer-Lafleche, M., Bégin, C., & Rodrigue, R. (2008). Spatiotemporal reconstruction of lead contamination using tree rings and organic soil layers. *Science of the Total Environment*, 407(1), 233–241.
- Baccio, D., Castagna, A., Tognetti, R., Ranieri, A., & Sebastiani, L. (2014). Early responses to cadmium of two poplar clones that differ in stress tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 171(18), 1693–1705.
- Baltrenaitė, E., Lietuvinkas, A., & Baltrenaitė, P. (2012). Use of dynamic to assess metal uptake and transfer in plants – example of trees. *Water, Air and Soil Pollution*, 223(7), 4297–4306.
- Baycu, G., Tolunay, D., Özden, H., & Günebakan S. (2006). Ecophysiological and seasonal variation in Cd, Pb, Zn and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environmental Pollution*, 143, 545–554.
- Bessonova, V. P. (2001). Metody fitoindikacii v ocinci ekologičnogo stanu dovkilija [Phytoindication methods in the evaluation of the ecological state of the environment]. Vidavnicтво ZDU, Zaporizhzhja (in Ukrainian).
- Bessonova, V. P. (2006). Praktikum z fiziologii roslin [Workshop on physiology of plants]. PP "Svidler A. A.", Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Bessonova, V. P., Lyzhenko, I. I., Mihajlov, O. F., & Kulaeva, O. N. (1984). Vlijanie citokinina na rost rastenij i soderzhanie hlorofilla v listjah v uslovijah zagrjaznenija sredi [The effect of cytokinin on plant growth and chlorophyll content in the leaves in conditions of contamination of environment]. *Fiziologija Rastenij*, 31(6), 1149–1153 (in Russian).
- Bodnaruk, E., Kroll, C., Yang, Y., Hirabayashi, S., Nowak, D., & Endreny, T. (2017). Where to plant urban tree? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs. *Landscape and Urban Planning*, 157, 457–467.
- Brunner, I., Luster, J., Günthardt-Goerg, M., & Frey, B. (2008). Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of treefine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution*, 152(3), 559–568.
- Bussotti, F., & Pollastrini, M. (2015). Evaluation of leaf features in forest trees: Methods, techniques, obtainable information and limits. *Ecological Indicators*, 52, 219–230.
- Candekova, O. P., & Neverova, O. A. (2010). Vlijanie vybrosov avtotransporta na pigmentnyj kompleks listev drevesnyh rastenij [The influence of emissions of motor transport on pigment complex of leaves of woody plants]. *Izvestija Samarskogo Nauchnogo Centra Rossijskoj Akademii Nauk*, 12, 853–859 (in Russian).
- Chropeňova, M., Klemmová Gregušková, E., Karásková, P., Příbylová, P., Kukučka, P., Baráková, D., & Čupr, P. (2016). Pine needles and pollen grains of *Pinus mugo* Turra – A biomonitoring tool in high mountain habitats identifying environmental contamination. *Ecological Indicators*, 66, 132–142.
- Clemens, C. (2001). Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*, 212, 475–486.
- Deljanin, V. I., Tomašević, M. N., Aničić, M. P., Antanasijević, D. Z., Perić-Grujić, A. A., & Ristić, M. D. (2013). Lead isotopic composition in tree leaves as tracers of lead in an urban environment. *Ecological Indicators*, 45, 640–647.
- Erofeeva, E. A., & Naumova, M. M. (2010). Vzaymosvjaz fyziologičeskich pokazatelej lystovoj plastynki berezy povysloj s soderzhanijem v nej tjazhelyh metallov [Interrelationship of physiological and morphological parameters of birch leaf lamina with the heavy metals content]. *Vestnyk Nyzhegorodskogo Universtyeta imeni N. Y. Lobachevskogo*, 1, 140–143 (in Russian).
- Faly, L. I., & Brygadyrenko, V. V. (2014). Patterns in the horizontal structure of litter invertebrate communities in windbreak plantations in the steppe zone of the Ukraine. *Journal of Plant Protection Research*, 54(4), 414–420.
- Gueguen, F., Still, P., Geagea, M., & Boutin, R. (2012). Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring – Part I: Trace element analysis. *Chemosphere*, 86(10), 1013–1019.
- Gunawardena, J., Egodawatta, P., Ayoko, G., & Goonetilleke, A. (2012). Role of traffic in atmospheric accumulation of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Atmospheric Environment*, 54, 502–510.
- Ivanchenko, O. E., & Bessonova, V. P. (2016). Indykacija stanu derevnyh roslin parkiv m. Dnipropetrovsk za morfofiziologičnymi pokaznykami [Indication of the condition of woody plants of parks in Dnipropetrovsk on morfo-physiological indexes]. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 24(1), 109–118 (in Ukrainian).
- Kabatta-Pendias, A., & Pendias, H. (1989). Mikroelementy v pochvah i rastenijah [Microelements in soils and plants]. Mir, Moscow (in Russian).
- Karim, Z., Qureshi, B., Mumtaz, M., & Qureshi, S. (2014). Heavy metal content in urban soils as an indicator of antropogenic and natural influences on landscape of Karachi – A multivariate spatio-temporal analysis. *Ecological Indicators*, 42, 20–31.
- Kocić, K., Spasić, T., Urošević, M., Tomašević, M. (2014). Trees as natural barriers against heavy metal pollution and their role in the protection of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 15(3), 227–233.
- Li, Q., Cheng, H., Zhou, T., Lin, C., & Guo, S. (2012). The estimated atmospheric lead emissions in China, 1990–2009. *Atmospheric Environment*, 60, 1–8.
- Lomaglio, T., Rocco, M., Trupiano, D., De Zio, E., Grosso, A., Marra, M., Delfino, S., Chiatante, D., Morabito, D., & Scippa, G. S. (2015). Effect of short-term cadmium stress on *Populus nigra* L. detached leaves. *Journal of Plant Physiology*, 182, 40–48.
- Luo, Z., He, J., Polle, A., & Rennenberg, H. (2016). Heavy metal accumulation and signal transduction in herbaceous and woody plants: Paving the way for enhancing phytoremediation efficiency. *Biotechnology Advances*, 34(6), 1131–1148.
- Maljugin, P. N., & Parsaev, E. V. (2012). Izmerenie parametrov i raschet transportnyh potokov [Measurement of parameters and calculation of traffic flows]. SibADI, Omsk (in Russian).
- Marx, S. K., Rashid, S., & Stromsoe, N. (2016). Global-scale patterns in antropogenic Pb contamination reconstructed from natural archives. *Environmental Pollution*, 213, 283–298.
- Molchanov, A. A., & Smirnov, V. V. (1967). Metodika izuchenija prirosta drevesnyh rastenij [Methods of studying the growth of woody plants]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Moroz, K. O., Lygun, A. V., & Brygadyrenko, V. V. (2011). Sezonna dynamika pidstylkovoji mezofauny antropogenno transformovanykh ecosystem m. Dniprodzerzhyn'sk [Litter mesofauna seasonal dynamics of antropogenically transformed ecosystems in Dniprodzerzhinsk city]. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 19(2), 93–102.
- Moskalyk, G. G., & Burtova, J. N. (2016). Ocenka ekologičeskogo sostojanija urboekosistemy po foliarnym pokazateljam *Tilia cordata* Mill. [Assessing the environmental status of urban ecosystem on *Tilia cordata* Mill. indicators]. *Ekologičeskij Monitoring i Bioraznoobrazie*, 11(1), 88–91 (in Russian).
- Nicola, F., Baldantoni, D., Sessa, L., Monaci, F., Bargagli, R., & Alfani, A. (2015). Distribution of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in holm oak plant-soil system evaluated along urbanization gradients. *Chemosphere*, 134, 91–97.
- Nicola, F., Spagnuolo, V., Baldantoni, D., Sessa, L., Alfani, A., Bargagli, R., Monaci, F., Terracciano, S., & Giordano, S. (2013). Improved biomonitoring

- of airborne contaminants by combined use of holm oak leaves and epiphytic moss. *Chemosphere*, 92(9), 1224–1230.
- Norouzi, S., Khademi, H., Cano, A., & Acosta, J. (2005). Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. *Ecological Indicators*, 57, 64–73.
- Oleksijchenko, N. O., Borshhevskij, M. A., & Kytajeva, O. I. (2014). Sumah olenerogij (*Rhus typhina* L.) v umovah Kyjeva [Staghorn (*Rhus typhina* L.) under the conditions of Kyiv]. FOP “Gavrylenko V. M.”, Korsun-Shevchenkivskij (in Ukrainian).
- Pinamonti, F., Stringari, G., Gasperi, F., & Zorzi, G. (1997). The use of compost: Its effects on heavy metal levels in soil and plants. *Resources, Conservation and Recycling*, 21(2), 129–143.
- Ponomarova, O. A., & Bessonova, V. P. (2009). Vplyv rostu lyp u lunkah u asfalti prydorozhnoi zony na pokaznyky asimiljacijnogo aparatu [The impact of the growth of the lime trees in the holes in the asphalt roadside area on the performance of the assimilation apparatus]. *Pytannja Bioindykacii ta Ekologii*, 14(2), 55–62 (in Ukrainian).
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Danlhausen, J., Rotzer, T., & Caldentey, J. (2015). Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks and forests. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(3), 466–479.
- Prymak, O. P. (2008). Vplyv polistimulina K na fotohimichnu aktivnist' hloroplastiv dejakyh vydiv dekoratyvnyh kvitnykovykh roslin za umov zabrudnenja vykydamy avtotransportu [Effect of polistymulin K the impact on photochemical activity of chloroplasts of some species of ornamental flower plants in the conditions of pollution by emissions of motor transport]. *Pitannja Bioindykacii ta Ekologii*, 13(2), 78–87 (in Ukrainian).
- Pulles, T., Denier van der Gon, H., Appelman, W., & Verheul, M. (2012). Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in Euroean vehicles. *Atmospheric Environment*, 61, 641–651.
- Rascio, N., F., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180(2), 169–181.
- Rodriguez, J. H., Wannaz, E. D., Salazar, M. J., Pignata, M. L., Fangmeier, A., & Franzaring, J. (2012). Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the tree foliage of *Eucalyptus rostrata*, *Pinus radiata* and *Populus hybridus* in the vicinity of a large aluminium smelter in Argentina. *Atmospheric Environment*, 55, 35–42.
- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., & Niazi, T. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*, 325, 36–58.
- Tomašević, M. N., Antanasijević, D. Z., Aničić, M. P., Deljanin, V. I., Perić-Grujić, A. A., & Ristić, M. D. (2013). Lead concentrations and isotope ratio in urban tree leaves. *Ecological Indicators*, 24, 504–509.
- Ugolini, F., Tognetti, R., Raschi, A., & Bacci, L. (2013). *Quercus ilex* L. as bioaccumulator for heavy metals in urban areas: Effectiveness of leaf washing with distilled water and considerations on the trees distance from traffic. *Urban Forestry and Urban Greening*, 12(4), 576–587.
- Vetchynnykova, L. V., Kuznecova, T. J., & Tytov, A. F. (2013). Osobennosti nakoplenija tzhzhelyh metallov v lystjah drevesnyh rastenij na urbanyzovannyh terrytorijah v uslovyjah severa [Pattern of heavy metals accumulation in leaves of trees in urbanizing areas in the north]. *Trudy Karel'skogo Nauchnogo Centra RAN*, 3, 68–73 (in Russian).
- Zhang, P., Liu, Y., Chen, X., Yang, Z., & Zhu, M. (2016). Pollution resistance assessment of existing landscape plants on Beijing streets based on air pollution tolerance index method. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 138, 212–223.
- Zhou, J., Wan, H., Qin, S., He, J., & Lyu, D. (2016). Net cadmium flux and gene expression in relation to differences in cadmium accumulation and translocation in four apple rootstocks. *Environmental and Experimental Botany*, 130, 95–105.