– Розділ 2 Фітоекологія та озеленення міських територій –

DOI <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/2-05>

УДК 581.2

**ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ДЕЯКИХ ВАЖКИХ
МЕТАЛІВ ОРГАНАМИ АСИМІЛЯЦІЇ ВИДІВ РОДУ
POPULUS L. ТА РОЗВИТОК ПРОЦЕСІВ
ПЕРОКСИДАЦІЇ**

¹Данильчук О. М., ¹Гришко В. М., ²Павлюкова Н. Ф.

¹Криворізький ботанічний сад НАН України,

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет
vitgryshko@i.ua

Вищі організми в процесі еволюції не виробили спеціалізованих пристосувань і механізмів, що забезпечують їм пріоритетний захист від надлишкового забруднення довкілля важкими металами. Виживання рослин на техногенно забруднених територіях, очевидно, забезпечується за рахунок механізмів надійності, лабільності, репараційних і преадаптаційних можливостей їх функціональних систем. Метою досліджень було оцінити особливості транслокації нікелю, цинку, кадмію, плюмбуму і купруму з ґрунту до асиміляційних органів рослин та інтенсивність процесів пероксидації в листках. Проаналізовано дані вмісту важких металів у листках вкорінених у субстраті (чорнозем звичайний) живців *Populus italica* (DuRoi) Moench, *P. deltoides* Marsh., *P. simonii* Corr., *P. candicans* Ait. в модельних експериментах за дії впродовж двох місяців розчинами суміші сполук важких металів у гранично допустимій концентрації (ГДК), 5 ГДК і 10 ГДК. Максимальний рівень акумуляції іонів цинку та кадмію в листках вивчених видів встановлено у *P. italica* і *P. deltoides*. При внесенні до ґрунту важких металів у концентраціях 5 і 10 ГДК в асиміляційних органах рослин цих видів акумулювалось в 2,4 і 2,9 рази більше йонів цинку, ніж у *P. simonii* і *P. candicans* відповідно. За результатами проведених експериментів досліджені види розподілені на групи з високим та низьким рівнем транслокації металів до листків. Вміст ТБК-активних продуктів пероксидації і первинних продуктів процесу пероксидного окиснення ліпідів, у більшості випадків, інтенсивніше підвищується у видів секції *Tacamahaca* (*P. simonii* і *P. candicans*), ніж у видів секції *Aegerus* (*P. simonii* і *P. candicans*). Встановлене може пояснюватись більшою інтенсивністю функціонування антиоксидантних систем захисту клітин у

останньої групи видів навіть за більшої акумуляції йонів важких металів у тканинах листків.

Populus italica, *P. deltoides*, *P. simonii*, *P. candicans*, важкі метали, акумуляція, пероксидація ліпідів

Під впливом різних глобальних процесів – природних, а в останній час і антропогенних, змінюються умови життя на Землі. Поряд зі змінами клімату, за господарської діяльності людини створюються нові, специфічні екосистеми, в яких повинні, а іноді і вимушені, виживати рослини [7, 8, 12]. Постійно ведуться роботи з інтродукції різних видів рослин у різноманітні екотопи. З цих причин на всіх напрямках наукової і господарської діяльності стає необхідною оцінка адаптивного потенціалу рослин [9, 11 19].

На відміну від природних абіотичних факторів (висока, або низька температура, надлишок, або дефіцит вологи та ін.), що діють на рослинні організми, як правило, не тривалий час, емісії промислових виробництв часто впливають на рослини протягом всього онтогенезу. Вищі організми в ході еволюції не виробили спеціалізованих пристосувань і механізмів, що забезпечують їм пріоритетний захист від надлишкового забруднення довкілля [9, 17]. Виживання рослин на техногенно забруднених територіях, очевидно, забезпечується за рахунок механізмів надійності, лабільності, репараційних і преадаптаційних можливостей їх функціональних систем, здатності організмів до фізіолого-біохімічної адаптації [6, 20].

Тому однією з основних проблем сучасної біології є виявлення впливу на рослинні організми екологічних стресів. Дослідженням пристосувальних змін та перебігу фізіологічних процесів, що відбуваються під їх впливом, займається екологічна фізіологія, яка останнім часом активно розвивається [13, 17, 23]. Саме фізіологічна пластичність визначає перспективи виживання та продуктивності рослин, що безпосередньо пов'язано з використанням у народному господарстві стійких видів до дії тих чи інших стресових факторів. У зв'язку зі збільшенням забруднення навколишнього середовища важкими металами, значно підвищився інтерес до вивчення їх впливу на адаптаційні можливості та толерантність рослин. Одним з основних джерел надходження важких металів у довкілля є промислові

викиди підприємств гірничо-рудного комплексу. В Європі найвища концентрація останніх зосереджена на території Криворізького залізрудного басейну, тому дослідження вищезазначених питань в регіоні набуває ще більшої актуальності.

Тополі (*Populus* L.) належать до швидкозростаючих високопродуктивних порід, які широко використовуються в озелененні та народному господарстві. Завдяки цим особливостям, види зазначеного роду є найбільш вдалим об'єктами серед деревної рослинності для дослідження фізіолого-біохімічних змін, що виникають в процесі інтоксикації важкими металами [5, 10, 20]. Для послаблення впливу інших екологічних факторів на деревні таксони, вивчення вищезазначених процесів доцільно здійснювати в модельних дослідах. Так, дослідженнями В. П. Бессонової зі співавт. показано, що за чутливістю до кожного з важких металів: хрому, цинку, мангану та феруму за морфометричними показниками вегетативних органів сіянці деревних рослин різних видів утворюють наступний ряд: катальпа бігніонієвидна > клен гостролистий > акація біла > бирючина звичайна. Найвищі критичні концентрації важких металів в експерименті встановлено для бирючини звичайної, а найнижчі – для клену гостролистого [3]. Проте на сьогодні лишається поза увагою визначення впливу комплексного забруднення на фізіолого-біохімічні процеси в рослинах та їх стійкість. Тому метою роботи було оцінити особливості транслокації іонів важких металів до листків тополь та встановлення специфіки розвитку окислювальних процесів у тканинах листків за надлишкового вмісту в ґрунті комплексу сполук важких металів.

Матеріали та методи досліджень

Об'єктами досліджень обрано *Populus italica* (DuRoi) Moench, *P. deltoides* Marsh., *P. simonii* Corr., *P. candicans* Ait. У лабораторних дослідах нижню частину однорічних живців тополь для кращого укорінення на 18 год. замочували в 2 % розчині гетероауксину і потім висаджували в глиняні вазони об'ємом 0,7 л. Укорінені живці поливали водопровідною водою та 1 раз на тиждень протягом 2-х місяців сумішшю

сполук важких металів у перерахунку на іон металу в концентраціях 1, 5 і 10 гранично допустимих концентрацій (ГДК). ГДК для нікелю становила 3 мг/кг ґрунту, купруму – 3, цинку – 23, плюмбуму – 30, кадмію – 4. В якості джерел важких металів використовували наступні сполуки CdSO_4 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, CuSO_4 , ZnSO_4 , $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}\cdot\text{Pb}(\text{OH})$. Контрольні рослини не зазнавали дії важких металів і поливались водопровідною водою. Рослини вирощували при природному рівні освітленості і температурі +25–30 °С.

Вміст важких металів визначався на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна) згідно загальноприйнятих методів [21]. Інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) вивчали за накопиченням первинних (дієнових кон'югатів), проміжних (дієнкетони) та кінцевих (ТБК-активні продукти) сполук [15]. Вміст білка в гомогенатах рослинних тканин визначали за методом Ch. S. Greenberg та Rh. R. Gaddock за реакцією з бромфеноловим синім [24]. Аналітична повторність визначення вмісту важких металів і продуктів ПОЛ була 4-разовою. Статистична обробка експериментальних даних проводилась за загальноприйнятими методами параметричної статистики на 95 %-вому рівні значущості за Л. З. Румшинським [22].

Результати та їх обговорення

Згідно з результатами наших досліджень, в асиміляційних органах тополь за дії всіх трьох концентрацій суміші сполук важких металів рівень накопичення токсикантів вищий, ніж за умов контролю. Найбільша кількість йонів купруму серед досліджених видів тополь за умов дії важких металів міститься в листках *P. candicans*. Так, в органах асиміляції зазначеного виду іонів купруму акумулюється, за дії мінімальної концентрації на 10–22 %, за дії 5 ГДК – на 26–47 % і за максимальної – в 1,6–2,2 рази більше, ніж у *P. italica*, *P. deltoides* та *P. simonii* за аналогічних варіантів досліду (табл. 1). Наявні експериментальні дані, представлені в таблиці 1 свідчать, що найбільш інтенсивно відбувається транслокація нікелю до листків *P. candicans* та *P. simonii*, рівень накопичення якого за

– Питання біоіндикації та екології. 2019. Вип. 24, № 2 –

низької концентрації в 2,6, а за найбільших в 4,1–4,6 рази, відповідно, перевищував показники контролю.

Як відомо, йони цинку, плюмбуму та кадмію належать до високонебезпечних для рослин елементів. У результаті досліджень процесів транслокації вищезазначених йонів до різних органів тополь встановлено певну видоспецифічність. Серед видів тополь за умов контролю, найбільшим акумулятором плюмбуму (12,0 мг/г сухої речовини) та кадмію (5,3 мг/г сухої речовини) в асиміляційних органах є *P. simonii*, тоді як за дії важких металів найбільш інтенсивно відбувається транслокація йонів цинку та кадмію до листків *P. italica* і *P. deltoides*. Так, в органах асиміляції останніх за дії 1 ГДК йонів цинку акумулюється в 1,3–3,2 рази більше, ніж за аналогічних умов дослід у *P. simonii* та *P. candicans* (табл. 1).

У результаті дії суміші важких металів в розмірі 5 та 10 ГДК в асиміляційних органах *P. italica* і *P. deltoides* йонів цинку в середньому в 2,4 і 2,9 рази більше, ніж у *P. simonii* і *P. candicans*, відповідно. Таким чином, підвищення концентрацій діючої речовини токсикантів у субстраті для вирощування дослідних рослин та відповідне збільшення вмісту рухомих форм йонів цинку, плюмбуму та кадмію призводить до суттєвої акумуляції цих елементів в асиміляційних органах тополь.

Найвищі темпи транслокації купруму та нікелю до листків встановлено у *P. simonii*, кадмію – у *P. italica*, а плюмбуму – у *P. deltoides*. При обговоренні отриманих даних слід враховувати, що різний рівень стійкості рослин до дії йонів важких металів може обумовлюватися певною інтенсивністю перебігу вже початкових процесів поглинання їх рослинами. За К. Д. Каракис [16], надходження важких металів у рослинні організми відбувається у наступні основні етапи: збагачення йонами вільного простору апопласту (за рахунок обмінної адсорбції, дифузії та пасивної фізико-хімічної адсорбції); подолання мембранного бар'єру – проникнення йонів у симпласт; радіальне пересування по тканинах кореня і судинних провідних пучках до листків.

Таблиця 1 – Вміст деяких важких металів в органах асиміляції видів тополь за умов модельного досліду, мг/г сухої речовини

Table 1 – Content of some heavy metals in assimilation organs of poplar species under model experiment conditions, mg/g dry matter

Варіант досліду	Cu (n=4)	Zn (n=4)	Ni (n=4)	Pb (n=4)	Cd (n=4)
<i>P. italica</i>					
Контроль	6,7±0,37	30,9±0,37	5,1±0,18	8,8±0,90	2,4±0,22
1 ГДК	8,5±0,42*	73,1±5,41*	6,6±0,35*	24,8±1,15*	6,5±0,38*
5 ГДК	11,1±0,15*	105,4±2,60*	10,2±0,58*	34,0±0,50*	11,0±0,80*
10 ГДК	13,7±0,09*	220,1±5,20*	15,8±0,23*	56,5±2,65*	14,7±0,73*
<i>P. deltoides</i>					
Контроль	5,5±0,33	38,4±1,21	4,3±0,29	3,5±0,25	3,8±0,14
1 ГДК	7,3±0,07*	89,9±3,62*	4,7±0,24*	10,3±1,0*	9,7±0,52*
5 ГДК	8,0±0,07*	124,9±3,27*	12,0±0,81*	15,3±0,90*	15,5±0,95*
10 ГДК	10,0±0,50*	157,3±3,49*	14,6±0,64*	23,5±0,66*	20,3±0,50*
<i>P. candicans</i>					
Контроль	2,9±0,16	37,3±1,48	9,7±0,52	2,5±0,25	2,3±0,14
1 ГДК	9,4±0,33*	54,4±2,46*	25,2±1,79*	4,0±0,25*	3,2±0,22*
5 ГДК	15,1±0,44*	64,9±2,60*	31,0±1,47*	5,5±0,25*	4,3±0,14*
10 ГДК	21,6±0,63*	94,0±4,92*	39,7±2,60*	12,3±0,90*	4,7±0,22*
<i>P. simonii</i>					
Контроль	1,6±0,09	20,1±1,38	8,3±0,55	12,0±0,75	5,3±0,29
1 ГДК	6,4±0,41*	28,2±1,74*	21,6±1,22*	18,0±0,87*	6,3±0,29*
5 ГДК	10,2±0,43*	29,9±0,67*	27,4±1,62*	24,8±0,87*	7,3±0,14*
10 ГДК	13,3±0,82*	35,8±0,17*	38,2±1,74*	62,0±2,95*	7,8±0,22*

Примітка: * – дані достовірні при $p < 0,05$

Тобто, транспорт і надходження важких металів у рослинний організм відбувається двома шляхами: апопластичним – переважно у вегетативні органи і симпластичним – у репродуктивні. Контрольну ж функцію надходження йонів важких металів до рослин виконує біологічний фільтр симпласту [14]. Найбільші темпи накопичення високонебезпечних важких металів характерні для *P. italica* та *P. deltoides*.

Отже, в результаті виконаних досліджень види тополь можна поділити на 2 групи. До першої належать види з високим рівнем акумуляції йонів цинку, плумбуму та кадмію (*P. italica* та *P. deltoides*), а до другої (*P. simonii* і *P. candicans*) – з низьким рівнем. Водночас отримані результати модельних експериментів дозволяють припустити, що у *P. italica* та *P. deltoides*, ймовірно, існують певні фізіолого-біохімічні механізми, які зумовлюють більшу акумуляцію високонебезпечних елементів, тоді як менш токсичних металів для рослин вони накопичують менше.

Аналіз літературних даних свідчить, що першою стрес-відповіддю на дію будь якого токсиканту чи стрес-фактору в органах асиміляції рослин є порушення антиоксидантного статусу клітини, що призводить до інтенсифікації вільнорадикальних процесів і збільшення продуктів ПОЛ. Найнебезпечнішою і однією з перших сполук в цьому процесі є активні форми кисню, зокрема $O_2^{\bullet-}$. Проте необхідно враховувати, що в клітинах є завжди певний пул таких сполук, які можуть утворюватися в рослинних клітинах і за рахунок ензиматичних реакцій в апопласті, і при функціонуванні електронно-транспортних систем мітохондрій. Вважається, що супероксид-радикал майже не проникає через біомембрани. Хоча відомо, що при низьких значеннях рН $O_2^{\bullet-}$ протонується в форми гідропероксид-радикала і, таким чином, може проходити через мембранні бар'єри [18]. Цей радикал також надзвичайно активний хімічно і руйнує майже будь-яку органічну молекулу. Діючи на SH-групи, гістидинові і інші амінокислотні залишки білків, $HO^{\bullet}$ викликає денатурацію останніх та інактивує ферменти. У ліпідному шарі клітинних мембран він ініціює реакції ланцюгового окислення ліпідів, що призводить до пошкодження мембран, порушення їх функцій і загибелі клітин [4]. Такі дані, певною мірою, пояснюють

результати наших попередніх досліджень [7, 13]. Під впливом комплексу токсичних сполук відбувається посилення інтенсивності процесів ПОЛ у клітинних мембранних структурах, про що свідчать дані щодо вмісту дієнових кон'югатів, дієнкетонів та ТБК-активних продуктів [1, 2, 15].

Згідно результатів проведених досліджень, які наведені в таблиці 2, уміст усіх вивчених продуктів в асиміляційних органах видів тополь при впливі трьох концентрацій статистично достовірно збільшується відносно контролю.

За внесення суміші сполук важких металів у концентрації 1 ГДК вміст дієнових кон'югатів у *P. italica* та *P. deltoides* збільшується в 2,2–2,3 рази. Зі збільшенням концентрації сполук в ґрунті до 5 ГДК встановлено збільшення до 4 разів, а при 10 ГДК – в середньому в 9 разів відносно контролю.

Таблиця 2 – Вміст продуктів пероксидного окиснення ліпідів у листках тополь у модельному досліді ($M \pm m$)

Table 2 – Content of lipid peroxidation products in poplar leaves in model experiment ($M \pm m$)

Види	Варіант дослідів			
	Контроль (n=4)	1 ГДК (n=4)	5 ГДК (n=4)	10 ГДК (n=4)
Дієнові кон'югати, одиниці оптичної густини/г сирої речовини				
<i>P. italica</i>	0,052±0,008	0,119±0,008*	0,208±0,005*	0,541±0,031*
<i>P. deltoides</i>	0,108±0,008	0,236±0,027*	0,406±0,056*	0,788±0,048*
<i>P. candicans</i>	0,037±0,006	0,169±0,010*	0,328±0,015*	0,644±0,019*
<i>P. simonii</i>	0,049±0,006	0,145±0,016*	0,411±0,032*	0,789±0,059*
Дієнкетони, одиниці оптичної густини/г сирої речовини				
<i>P. italica</i>	0,025±0,002	0,059±0,003*	0,120±0,007*	0,222±0,015*
<i>P. deltoides</i>	0,019±0,001	0,042±0,001*	0,082±0,002*	0,158±0,001*
<i>P. candicans</i>	0,011±0,001	0,045±0,002*	0,080±0,002*	0,158±0,004*
<i>P. simonii</i>	0,009±0,001	0,047±0,001*	0,097±0,003*	0,193±0,002*
ТБК-активні продукти, мМ/мг білка				
<i>P. italica</i>	0,153±0,004	0,308±0,007*	0,732±0,020*	1,469±0,030*
<i>P. deltoides</i>	0,080±0,006	0,187±0,005*	0,414±0,014*	0,816±0,026*
<i>P. candicans</i>	0,140±0,008	0,479±0,014*	1,075±0,074*	1,753±0,126*
<i>P. simonii</i>	0,125±0,009	0,341±0,006*	0,768±0,013*	1,807±0,038*

Примітка: * – дані достовірні при $p < 0,05$

В той час як у *P. simonii* та *P. candicans*, що вирощували при мінімальній концентрації важких металів, їх кількість збільшується в 3,8 рази, при 5 ГДК – в 8,5 та 10 ГДК – більше, ніж у 14 разів. Водночас зі зростанням концентрації металів у ґрунті відбувається подальше накопичення в листках тополь не тільки первинних продуктів пероксидного окиснення, а й проміжних та кінцевих. Так, під впливом мінімальної концентрації важких металів уміст дієнкетонів в асиміляційному апараті *P. italica* і *P. deltoides* підвищується в середньому в 2,3, тоді як у варіанті досліду за внесення 5 ГДК – в 4,5 та 10 ГДК – в 8,5 разів. Кількість вищезгаданого продукту ПОЛ *P. simonii* і *P. candicans* у аналогічних варіантах досліду збільшується в 3; 6,9 і до 14 разів, відповідно. Порівнюючи значення абсолютних величин, можна констатувати, що вміст ТБК-активних продуктів більш інтенсивно зростає у видів секції *Tacamahaca*, ніж у видів секції *Aegerus*. За дії максимальної концентрації суміші сполук важких металів концентрація одних з кінцевих продуктів процесу ПОЛ в середньому на 36 % більша у видів першої групи, ніж останньої.

Висновки

1. Внесення до ґрунту важких металів у концентраціях 1, 5 і 10 ГДК призводить до дозозалежної видоспецифічної активації процесів транслокації йонів купруму, цинку, кадмію, нікелю і плюмбуму до асиміляційних органів рослин. Найвищі темпи транслокації купруму та нікелю до листків встановлено у *P. simonii*, кадмію – у *P. italica*, а плюмбуму – у *P. deltoides*.

2. Надлишковий уміст іонів важких металів у листках спричинює зростання ТБК-активних продуктів пероксидації і первинних продуктів процесу пероксидного окиснення ліпідів. У більшості випадків інтенсивніше зазначені процеси відбуваються у видів секції *Tacamahaca* (*P. simonii* і *P. candicans*), ніж у видів секції *Aegerus* (*P. simonii* і *P. candicans*).

Література:

1. Бессонова В. П. Влияние тяжелых металлов на антиоксидантную систему листьев сеянцев *Ligustrum vulgare*

L. u Syringia vulgaris L. Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. 1992. № 8(344). С. 136–142.

2. Бессонова В. П. Влияние тяжелых металлов и полистимулина К на антиоксидантную систему клеток листьев чины душистой. Физиология и биохимия культурных растений. 1992. 24, № 2. С. 147–153.

3. Бессонова В. П., Нємченко М. В., Іванченко О. Є. Верхня критична концентрація важких металів в листках сіянців деревних рослин. Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку. Київ : Логос, 2009. Т. 2. С. 263–267.

4. Владимиров Ю. А. Свободные радикалы в биологических системах. Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 12. С. 13–19.

5. Гиниятуллин Р. Х. Биоконсервация металлов в надземных органах тополя бальзамического в условиях промышленного загрязнения. Вести Московского гос. ун-та леса. Лесной вестник. 2007. № 1. С. 53–56.

6. Гришко В. Н., Данильчук А. В. Содержание продуктов перекисного окисления липидов у тополей в условиях загрязнения. Интродукция растений. 2004. № 2. С. 54–59.

7. Гришко В. М., Сициков Д. В., Піскова О. М., Данильчук О. В., Маїталер Н. В. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека. Донецьк : Донбас, 2012. 304 с.

8. Гладков Е. А. Влияние комплексного взаимодействия тяжелых металлов на растения мегаполисов. Экология. 2007. № 1. С. 71–74.

9. Гуральчук Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. Київ : Логос, 2006. 208 с.

10. Данильчук О. В., Гришко В. М. Оцінка стану насаджень тополь на промислових майданчиках гірничорудних підприємств. Агробіологія: збірник наукових праць, 2012. 8(94). С. 57–60.

11. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). Москва : Агрорус, 2001. Т. 1. 780 с.

12. Заварзин Т. А. Роль биоты в глобальных изменениях климата. Физиология растений. 2001. 48, № 3. С. 306–314.

13. Зубровська О. М., Гришко В. М. Інтенсивність процесів пероксидного окиснення ліпідів та функціональний стан деревних насаджень при забрудненні довкілля важкими металами. *Український ботанічний журнал*, 2019, 76(5). С. 458–468.

14. Иванов В. Б., Быстрова Е. И., Серегин И. В. Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия. *Физиология растений*. 2003. Т. 50, № 3. С. 445–454.

15. Камышиников В. С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике: в 2 т. Минск: Беларусь, 2000. Т. 2. 463 с.

16. Каракис К. Д., Рудакова Э. В. Механизмы поступления некоторых тяжелых металлов в растения. *Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений*. Киев: Наук. думка, 1984. С. 37–43.

17. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях. Под ред. Е. Л. Кордюм. Киев: Наук. думка, 2003. 278 с.

18. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Активные формы кислорода и стрессовый сигналинг у растений. *Украинский биохимический журнал*. 2014. Т. 86, № 4. С. 18–35.

19. Косаківська І. В. Екологічний напрям у фізіології рослин: досягнення й перспективи. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2007. 39, № 4. С. 279–290.

20. Кулагин А. А. Изменение дыхания листьев тополя бальзамического в условиях загрязнения окружающей среды металлами. *Сибирский экол. журнал*. 2007. Т. 14, № 1. С. 47–51.

21. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Москва: ЦИНАО. 1989. 62 с.

22. Румишинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. Москва: Наука. 1971. 192 с.

23. Bessonova V. P., Ivanchenko O. E. Free radical oxidation and proline content as indicators of urban tree vitality (the case of Dnipro city parks, Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. Т. 7, № 3. С. 146–153.

24. Greenberg Ch. S., Gaddock Rh. R. Rapid single step membrane protein assay. *Clin. Chem*. 1982. 28, № 7. P. 1726–1728.

FEATURES OF SOME HEAVY METALS ACCUMULATION BY ASSIMILATION ORGANS OF *POPULUS* L. SPECIES AND THE DEVELOPMENT OF PEROXIDATION PROCESSES

¹Danylchuk O. V., ¹Gryshko V. M., ²Pavliukova N. F.

¹Kryvyi Rih Botanic Garden,

²Dnipro State Agrarian and Economic University

vitgryshko@i.ua

Unlike natural abiotic factors (high or low temperature, excess, or deficiency of moisture, etc.), which usually affect plant organisms for a long time, industrial production emissions often affect plants throughout the ontogeny. Higher organisms, in the course of evolution, have not developed specialized devices and mechanisms that provide them with priority protection against excess pollution by heavy metals. Survival of plants in anthropogenically contaminated territories is obviously ensured by the mechanisms of reliability, lability, reparation and pre-adaptation capabilities of their functional systems. The purpose of the research was to evaluate the features of translocation of nickel, zinc, cadmium, plumbum, and cuprum from soil to plant assimilation organs and the intensity of leaf peroxidation processes. The content of heavy metals in leaves rooted in the substrate (common chernozem) from cuttings of *Populus italica* (DuRoi) Moench, *P. deltoides* Marsh., *P. simonii* Corr., *P. candicans* Ait is analyzed. During the experiment, the cuttings were exposed to the solution of a mixture of heavy metal compounds at the maximum permissible concentration (MPC), 5 MPC and 10 MPC for two months. The MPC for nickel was 3, cuprum – 3, zinc – 23, plumbum – 30, cadmium – 4 mg/kg of soil. As sources of heavy metals, mixtures of salts (CdSO_4 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, CuSO_4 , ZnSO_4 , $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} \cdot \text{Pb}(\text{OH})$) were used. Control plants were not exposed to heavy metals. The content of heavy metals was determined with the atomic absorption spectrophotometer after annealing the plant material. The content of peroxidation products was evaluated spectrophotometrically. The plants were grown at

natural light and temperature levels of + 25–30 °C. The maximum level of accumulation of zinc and cadmium ions in the leaves of the studied species is found in *P. italica* and *P. deltoides*. Thus, when heavy metals were introduced into the soil at concentrations of 5 and 10 MPC, the assimilation organs of plants of these species accumulated 2.4 and 2.9 times more zinc ions than *P. simonii* and *P. candicans*, respectively. According to the results of the experiments, the investigated species are divided into groups with high and low levels of metal translocation to the leaves. The content of TBA-active peroxidation products, and in most cases the primary products of the lipid peroxidation process, is more intense in species of the Tacamahaca (*P. simonii* and *P. candicans*) section than in the species of the Aegerus (*P. simonii* and *P. candicans*) sections. This can be explained by the higher intensity of functioning of antioxidant cell protection systems in the latter group of species, even with the higher accumulation of heavy metal ions in leaf tissues.

DOI <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/2-06>

УДК 582.632.1:581.45:504.05

**ФІТОІНДИКАЦІЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ ЗА СТУПЕНЕМ
ПОШКОДЖЕННЯ ЛИСТКОВОЇ ПЛАСТИНКИ
BETULA PENDULA ROTH.**

Крупей К. С., Обруч К. І.*, Михайличенко А. А.**

Запорізький державний медичний університет

Запорізький національний університет*

Запорізький навчально-виховний комплекс № 63**

krupeyznu@gmail.com

Розроблено спосіб визначення стану атмосферного повітря за ступенем ураження листової пластинки *Betula pendula* Roth. хлорозами та некрозами. Перевагою представленого способу є його економічність, швидкість та простота виконання порівняно з відомими аналогами. Показана залежність показника різниці в інтенсивності кольору листків (dE) берези повислої від ступеня некротичного пошкодження листової пластинки. Максимальна різниця в інтенсивності кольору відмічена у здорових зелених листків (46–56 ум. од.). Комплексний стан довкілля в Шевченківському районі м. Запоріжжя протягом усього періоду