

УДК 581.1:502.521

## **ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ ПЕРОКСИДНОГО ОКИСНЕННЯ ЛІПІДІВ У ЛИСТКАХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ПІД ВПЛИВОМ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ**

© 2010 р. О. М. Піскова, В. М. Гришко

*Криворізький ботанічний сад*

*Національної академії наук України*

*(Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна)*

Досліджено акумуляцію промислових поллютантів та інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) в асиміляційних органах деревних рослин. Встановлені диференційовані зміни показників залежно від виду рослин. Визначення рівня та темпів акумуляції Zn, Ni, Pb та Cd в листках деревних рослин за умов забруднення дозволило розділити види на три групи: I – *Populus bolleana* Lauche, *Populus italica* (Du Roi) Moench та *Sorbus aucuparia* L. (фітоекстракційний потенціал перевищує фоновий рівень в 10 разів); II – *Acer negundo* L. і *Tilia cordata* Mill. (перевищення фонового рівня від 5 до 10 разів); III – *Aesculus hippocastanum* L. та *Betula pendula* Roth (перевищення не більше 5 разів). Протягом всього періоду досліджень у промисловій зоні найістотніше збільшення вмісту тіобарбітурової кислоти активних (ТБК-активних) сполук (більш ніж у 2,5 раза) виявлене для *B. pendula* та *A. hippocastanum*, що добре узгоджується з характером транслокації важких металів.

**Ключові слова:** *Populus bolleana* Lauche, *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Sorbus aucuparia* L., *Acer negundo* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill., акумуляція, важкі метали, процеси пероксидації, тіобарбітурової кислоти активні сполуки

Антропогенне забруднення екосистеми високоурбанізованих регіонів України призводить до різноманітних порушень функціонування живих організмів, і в першу чергу рослин. Пошкодження виявляються у зміні анатомо-морфологічних показників та фізіолого-біохімічних процесів, які призводять до зниження стійкості рослин та погіршення їх декоративних якостей (García et al., 1999; Настека, 2007). За обсягами надходження в ландшафти важкі метали, зокрема сполуки цинку, свинцю, кадмію та нікелю, посідають провідне місце і найінтенсивніше залучаються до біогеохімічного кругообігу (Усманов и др., 2001; Ганиятуллин, 2007). Серед ефектів токсичного впливу зазначених поллютантів на рослини особливу увагу привертає зміщення про-/антиоксидантної рівноваги у бік збільшення інтенсивно-

сті пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) (Клеточные ..., 2003; Гришко, Демура, 2008), адже саме активація процесів пероксидації – одна з ключових ланок між дією стресового фактора і реалізацією захисних реакцій організму (Барабой, 1991; Mishra, Choudhuri, 1999; Колупаєв, Карпец, 2007; Колупаєв, Карпец, 2008).

Зважаючи на те, що продукти ПОЛ є одним з визначальних показників характеру та інтенсивності стресового впливу важких металів на живі організми, метою нашої роботи було дослідити особливості акумуляції Zn, Pb, Cd і Ni та динаміку процесу пероксидації в асиміляційних органах деревних рослин під впливом промислових пилових викидів.

### **МЕТОДИКА**

Об'єктами досліджень були тополя Болле (*Populus bolleana* Lauche), тополя пірамідальна (*Populus italica* (Du Roi) Moench), клен ясеневий

---

*Адреса для кореспонденції:* Піскова Ольга Миколаївна, Криворізький ботанічний сад НАН України, вул. Маршала, 50, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., 50089, Україна, e-mail: piskovajaolga@rambler.ru

## ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

листяний (*Acer negundo* L.), липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.), береза повисла (*Betula pendula* Roth) та гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L.), що зростають на проммайданчику ЗАТ «Криворізький суриковий завод» (в зоні сильного забруднення) та у дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України (умовний контроль). Для аналізу відбиралися листки з середини крони південно-західної експозиції у фазі повного відособлення листка, на 5-10 добу фази завершення росту листка (початок фази) та 80-85 добу фази завершення росту листка (кінець фази). Вміст важких металів у рослинному матеріалі визначали на атомно-адсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна) за загальноприйнятими методами (Методические ..., 1989). Показники внутрішньотканинного забруднення листків розраховували за Ільїним і Степановою (Ільїн, Степанова, 1979). Ступінь розвитку ПОЛ оцінювали за вмістом ТБК-активних продуктів, визначення яких проводили на спектрофотометрі СФ-2000 (Росія) за загальноприйнятим методом (Камышников, 2000). Вміст білка в гомогенатах рослинних тканин визначали за реакцією з бромфеноловим синім (Greenberg, Gaddock, 1982).

Досліди проводили у триразових біологічному та аналітичному повтореннях. Статистична обробка експериментальних даних виконувалася за загальноприйнятими методами параметричної статистики при 95% рівні значущості (Доспехов, 1985).

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз вмісту токсикантів в асиміляційних органах контрольних деревних рослин свідчить, що як у фазі повного відособлення листка, так і на 5-10 добу фази завершення росту листка свинець акумулювався найінтенсивніше (рис. 1). Його найвищий вміст (від 1,34 до 1,54 мкг/г сирової речовини) був зафіксований у *T. cordata* та *S. aucuparia*. Максимальний рівень цинку у першій та другій фазах морфогенезу листка був характерним для *A. negundo* (0,83 та 1,07 мкг/г сирової речовини відповідно). А от у листках *A. hippocastanum* його концентрація на даних етапах дослідження була у 3,3-5,5 рази меншою. До того ж, необхідно зазначити, що цей вид також мінімально накопичує свинець та нікель. Високий рівень акумуляції останнього як у фазі повного відособлення листка, так і на початку фази завершення росту листка спостерігався у фотосинтезуючих органах *P. bolleana* та *B. pendula* (рис. 1). Вміст кадмію в аси-

міляційних органах більшості видів інтактних рослин був у межах від 0,02 до 0,08 мкг/г сирової речовини.

Узагальнені розрахунки концентрації забруднюючих речовин в листках деревних рослин в умовах забруднення промисловими викидами ЗАТ «Криворізький суриковий завод» свідчать, що найбільше серед усіх досліджуваних поллютантів накопичувався цинк, який належить до класу високонебезпечних сполук (Ґрунтово-геохімічне ..., 2004; Ганиятуллин, 2007). Як у фазі повного відособлення листка, так і на 5-10 добу фази завершення росту листка максимальна його кількість була характерною для *P. italica* і в 13 та 23 рази відповідно перевищувала даний показник у інтактних рослин (рис. 2). Дещо нижчий вміст цинку (5,00-8,15 мкг/г сирової речовини) спостерігався в асиміляційних органах *S. aucuparia* та *P. bolleana*, тоді як в листках *A. hippocastanum* його концентрація виявилася найнижчою.

Практично вдвічі меншими у фазу повного відособлення листка виявилися концентрації нікелю та свинцю порівняно з цинком (рис. 2). Найбільша інтенсивність їх акумуляції була також характерною для *P. italica*, *S. aucuparia* та *P. bolleana* (вміст обох металів знаходився у межах від 2,00 до 2,73 мкг/г сирової речовини). Необхідно зазначити, що на початку фази завершення росту листка спостерігалася незначне зростання кількості нікелю в фотосинтезуючих органах деревних рослин, тоді як темпи акумуляції свинцю зростали майже в три рази порівняно з фазою повного відособлення листка. Причому високі рівні накопичення останнього (5,00-11,64 мкг/г сирової речовини), поряд з *P. italica*, *S. aucuparia* та *P. bolleana*, були притаманні і *A. negundo*.

Досить інтенсивним в умовах зони сильного забруднення виявилася накопичення кадмію (рис. 2). Так, уже у фазі повного відособлення листка його вміст в органах асиміляції переважної більшості видів був вищим більш, ніж у три рази відносно інтактних рослин. Причому в листках *B. pendula* концентрація кадмію була максимальною. Між тим, на початку фази завершення росту листка поряд з *B. pendula* досить високі рівні даного токсиканту були притаманні *P. italica* та *P. pungens* (0,55-0,62 мкг/г сирової речовини).

Аналіз вмісту поллютантів в листках деревних рослин в період, коли ще активно не розвинулись процеси старіння і пов'язаний з цим відтік органічних сполук із листків в інші орга-

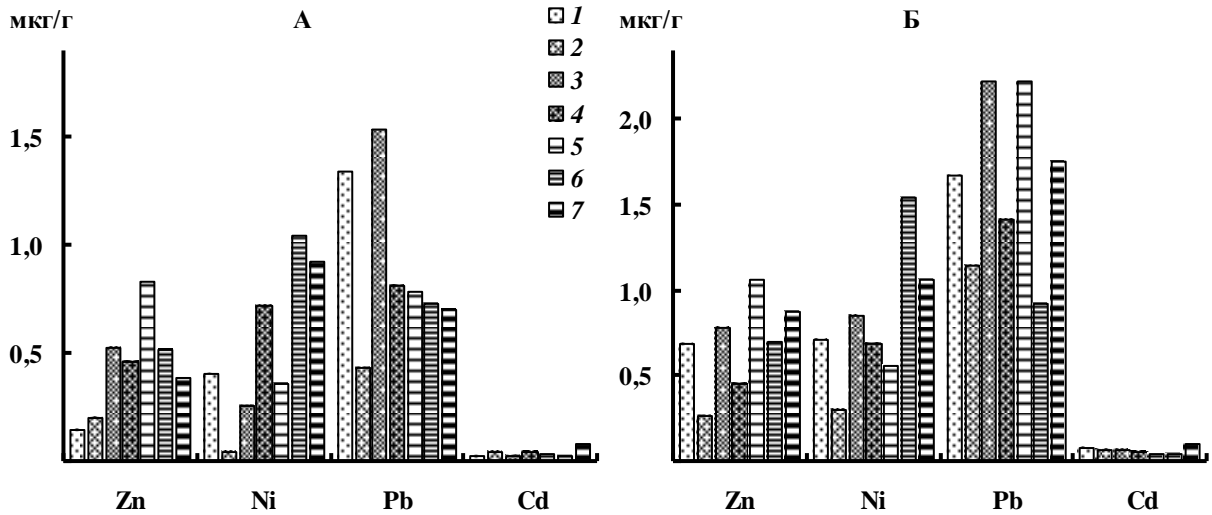


Рис. 1. Вміст важких металів (мкг/г сирової речовини) в асиміляційних органах контрольних деревних рослин у фазі повного відособлення листка (А) та на 5-10 добу фази завершення росту листка (Б):

1 – *Sorbus aucuparia*, 2 – *Aesculus hippocastanum*, 3 – *Tilia cordata*, 4 – *Populus italica*, 5 – *Acer negundo*, 6 – *Populus bolleana*, 7 – *Betula pendula*.

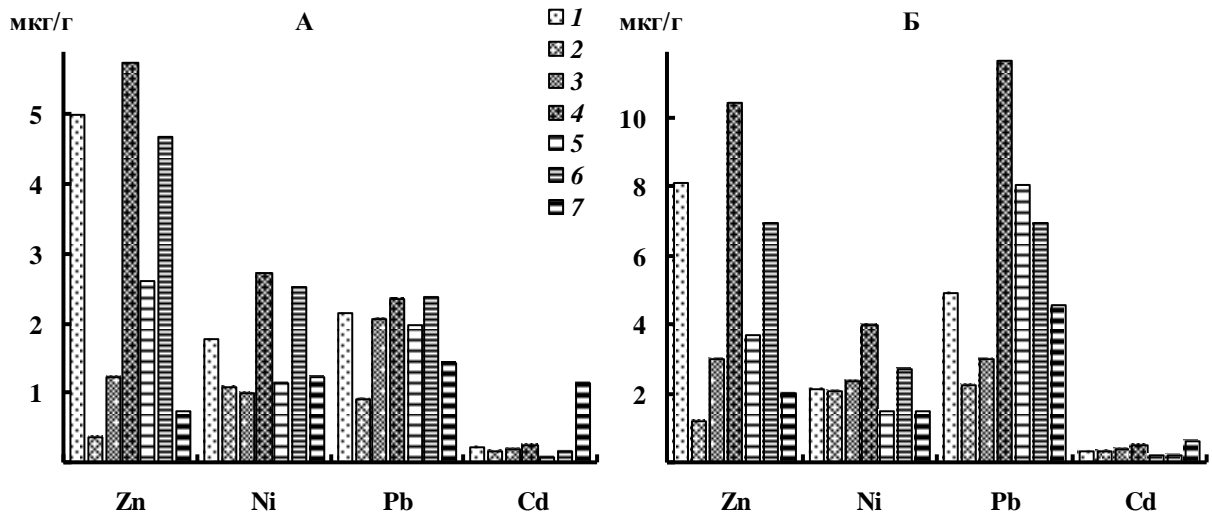


Рис. 2. Вміст важких металів (мкг/г сирової речовини) в асиміляційних органах деревних рослин у зоні сильного забруднення у фазі повного відособлення листка (А) та на 5-10 добу фази завершення росту листка (Б):

1 – *Sorbus aucuparia*, 2 – *Aesculus hippocastanum*, 3 – *Tilia cordata*, 4 – *Populus italica*, 5 – *Acer negundo*, 6 – *Populus bolleana*, 7 – *Betula pendula*.

ни, найбільш об'єктивно відображає загальну закономірність накопичення важких металів (Взаємодія ..., 1997; Ганятуллин, 2007).

Так, найвищий вміст цинку на 80-85 добу фази завершення росту листка серед інтактних рослин був у *A. negundo* і *T. cordata* і становив 2-3 мкг/г сирової речовини (табл. 1). Мінімальний рівень даного поллютанту, як і на попередніх етапах досліджень, був характерним для *A. hip-*

*rocastanum* (0,40 мкг/г сирової речовини), у якого виявилася і найнижча концентрація нікелю – 0,79 мкг/г сирової речовини. Проте, в листках *P. bolleana*, *P. italica* та *T. cordata* нікелю містилося найбільше.

Контрольні рослини *P. italica*, *T. cordata*, *A. negundo* та *B. pendula* наприкінці фази завершення росту листка найінтенсивніше, з поміж усіх металів, акумулювали свинець – від 2,95

**ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ**

**Таблиця 1. Вміст важких металів в асиміляційних органах деревних рослин (мкг/г сирової речовини) на 80-85 добу фази завершення росту листка**

Пробна ділянка	Zn		Ni		Pb		Cd	
	M±m	З <sup>p</sup> <sub>л</sub>	M±m	З <sup>p</sup> <sub>л</sub>	M±m	З <sup>p</sup> <sub>л</sub>	M±m	З <sup>p</sup> <sub>л</sub>
<i>Populus bolleana</i>								
Умовний контроль	1,11±0,03	—	2,34±0,11	—	1,53±0,06	—	0,11±0,01	—
Зона сильного забруднення	11,87±0,48*	10,56	4,81±0,08*	2,10	8,45±0,11*	5,50	0,44±0,02*	4,43
<i>Populus italica</i>								
Умовний контроль	1,48±0,03	—	2,04±0,10	—	2,95±0,11	—	0,13±0,01	—
Зона сильного забруднення	16,79±0,41*	11,38	6,46±0,05*	3,10	14,03±0,17*	4,68	0,88±0,01*	6,81
<i>Sorbus aucuparia</i>								
Умовний контроль	1,31±0,04	—	1,37±0,01	—	2,30±0,09	—	0,13±0,01	—
Зона сильного забруднення	11,08±0,42*	8,40	3,45±0,07*	2,86	7,03±0,20*	3,14	0,87±0,01*	7,54
<i>Acer negundo</i>								
Умовний контроль	2,89±0,08	—	1,09±0,05	—	3,14±0,06	—	0,11±0,01	—
Зона сильного забруднення	8,23±0,20*	2,78	3,44±0,11*	3,20	10,25±0,12*	3,29	0,45±0,01*	4,26
<i>Tilia cordata</i>								
Умовний контроль	2,05±0,08	—	1,90±0,09	—	3,25±0,01	—	0,12±0,01	—
Зона сильного забруднення	6,32±0,11*	3,14	3,72±0,18*	2,00	4,87±0,14*	1,52	0,72±0,02*	6,61
<i>Aesculus hippocastanum</i>								
Умовний контроль	0,40±0,01	—	0,79±0,03	—	2,44±0,12	—	0,14±0,01	—
Зона сильного забруднення	4,24±0,16*	10,48	3,44±0,06*	4,48	3,67±0,07*	1,50	0,53±0,03*	3,50
<i>Betula pendula</i>								
Умовний контроль	1,38±0,03	—	1,51±0,10	—	3,21±0,22	—	0,23±0,02	—
Зона сильного забруднення	6,64±0,08*	4,98	2,86±0,14*	1,88	6,29±0,13*	1,97	0,81±0,01*	3,62

**Примітка.** З<sup>p</sup><sub>л</sub> – індекси внутрішньотканинного забруднення листків деревних рослин; \* – статистично достовірна різниця відносно контролю за  $p < 0,05$ .

до 3,25 мкг/г сирової речовини. Поряд з цим в асиміляційних органах *P. bolleana* його кількість була мінімальною (табл. 1). Як і на попередніх етапах морфогенезу листка вміст кадмію був практично однаковим в усіх видів, за винятком *B. pendula*, у якої концентрація даного токсиканту була вдвічі більшою, ніж у інших деревних рослин.

У зоні сильного забруднення на 80-85 добу фази завершення росту листка зберігалася тенденція найінтенсивнішого накопичення цинку органами асиміляції. Його кількість в листках *P. italica*, *P. bolleana* та *S. aucuparia* перевищувала таку у контрольних рослин більш ніж у 8-11 разів (табл. 1), що добре узгоджується з даними інших дослідників (Взаємодія ..., 1997; Гришко, Данильчук, 2007).

Процеси поглинання та транслокації свинцю у *P. italica*, *A. negundo* та *P. bolleana* в умовах промислового майданчика наприкінці фази завершення росту листка відбувалися з досить

високою інтенсивністю, про що свідчить зростання його вмісту більш ніж у п'ять разів порівняно з інтактними рослинами (табл. 1). Досить високі абсолютні значення вмісту нікелю були притаманні *P. italica* (6,46 мкг/г сирової речовини) та *P. bolleana* (4,81 мкг/г сирової речовини). В листках *B. pendula* рівень вищевказаного токсиканту був найменшим. На 80-85 добу фази завершення росту листка в асиміляційних органах *P. italica* та *S. aucuparia* спостерігалася зростання вмісту кадмію у 6,8-7,0 разів як за абсолютними значеннями, так і за показниками внутрішньотканинного забруднення.

На підставі розрахунків акумуляції Zn, Ni, Pb та Cd в листках деревних рослин в умовах техногенного забруднення види були розподілені на 3 групи: I – рослини з високим рівнем акумуляції більшості важких металів (перевищує більше ніж у 10 разів фоновий рівень) – *P. bolleana*, *P. italica* та *S. aucuparia*; II – рослини з середнім рівнем акумуляції (перевищує фоновий рівень від 5 до 10 разів) – *A. negundo* і

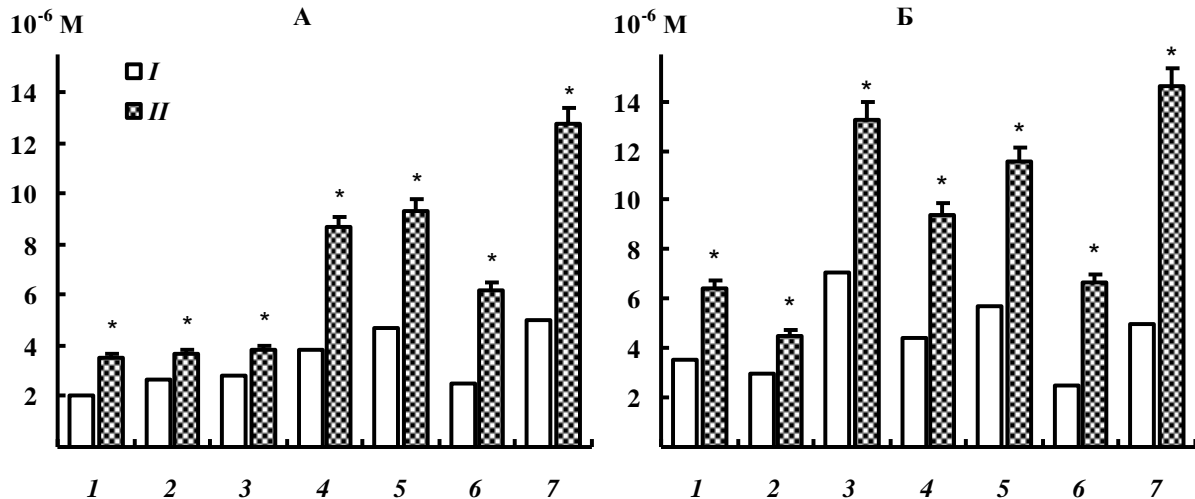


Рис. 3. Вміст ТБК-активних продуктів в листках деревних рослин ( $10^{-6}$  М МДА/мг білка) у фазі повного відособлення листка (А) та 5-10 добу фази завершення росту листка (Б):

I – умовний контроль; II – зона сильного забруднення;

1 – *Populus bolleana*; 2 – *Populus italica*; 3 – *Acer negundo*; 4 – *Tilia cordata*; 5 – *Sorbus aucuparia*; 6 – *Aesculus hippocastanum*; 7 – *Betula pendula*;

\* – статистично достовірна різниця відносно контролю за  $p < 0,05$ .

*T. cordata*; III – рослини з низьким рівнем акумуляції (не перевищує фоновий рівень більше ніж у 5 разів) – *A. hippocastanum* та *B. pendula*.

Відомо, що токсична дія більшості важких металів спричиняє розвиток оксидативного стресу і супроводжується різноманітними перебудовами метаболізму рослин, зумовленими як безпосереднім окисненням ліпідів мембран, так і накопиченням продуктів пероксидації, особливо вторинних, і їх взаємодією з клітинними макромолекулами (Mishra, Choudhuri, 1999; Клеточные ..., 2003; Таран та ін., 2004). Кількість тіобарбітурової кислоти активних (ТБК-активних) сполук вважається важливим показником ступеня впливу різних чинників на організм, вивчення якого дозволяє певною мірою оцінити функціональний стан організму та його неспецифічну адаптаційну здатність (Барбой, 1991; Гришко, Демура, 2008).

Аналіз вмісту продуктів пероксидації в асиміляційних органах контрольних деревних рослин свідчить, що в усіх видів як у фазі повного відособлення листків, так і на 5-10 добу фази завершення їх росту спостерігалася практично однакова тенденція (рис. 3). Найбільш інтенсивно процеси ПОЛ відбуваються в фотосинтезуючих органах *B. pendula*, *S. aucuparia* та *T. cordata*, що, на нашу думку, певною мірою пояснюється досить значними темпами біологічної акумуляції нікелю та кадмію. Проте, при інтерпретації цих даних необхідно враховувати

і видоспецифічність розвитку процесів вільнорадикального окиснення.

Представлені на рис. 3 результати свідчать, що кількість ТБК-активних продуктів в органах асиміляції рослин із зони сильного забруднення перевищує таку в тканинах контрольних рослин. Так, у листках *P. bolleana* у фазі повного відособлення листка вміст вторинних продуктів пероксидації зростав на 70% до контролю. У наступній фазі їх кількість збільшувалася на 83%. Для *P. italica* за умов зони сильного забруднення характерне підвищення концентрації ТБК-активних сполук у фотосинтезуючих органах на 40% (фаза повного відособлення листка) та на 52% (5-10 доба фази завершення росту листка) порівняно з інтактними рослинами. Отже, види з високим рівнем акумуляції більшості важких металів, до яких належать тополі, мають досить низький рівень вільнорадикальних процесів, який не перевищує такий у контрольних рослин більш ніж у 1,8 раза (рис. 3). На нашу думку, це можна пояснити підвищеною інтенсивністю функціонування антиоксидантних систем у *P. bolleana* та *P. italica*, що зумовлює їх порівняно більшу стійкість в умовах техногенного впливу (Гришко, Данильчук, 2004). Проте зазначимо, що у *S. aucuparia*, яка також належить до згаданої групи рослин, спостерігається істотніше зростання вмісту ТБК-активних сполук (у два рази більше відносно контролю) як у фазі повного відособлення лис-

## ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

**Таблиця 2. Вміст ТБК-активних сполук в листках деревних рослин на 80-85 добу фази завершення росту листка за комплексної дії важких металів ( $10^{-6}$  М МДА/мг білка)**

Пробна ділянка	M±m	V, %	% до контролю	t <sub>st</sub>
<i>Populus bolleana</i>				
Умовний контроль	8,38±0,44	9,2	—	—
Зона сильного забруднення	13,86±0,50	6,1	165,4	8,29
<i>Populus italica</i>				
Умовний контроль	4,79±0,24	8,7	—	—
Зона сильного забруднення	8,49±0,23	4,6	177,2	11,21
<i>Sorbus aucuparia</i>				
Умовний контроль	6,41±0,31	8,3	—	—
Зона сильного забруднення	13,75±0,39	4,9	214,5	14,77
<i>Acer negundo</i>				
Умовний контроль	9,11±0,17	3,1	—	—
Зона сильного забруднення	17,46±0,43	4,3	191,6	18,16
<i>Tilia cordata</i>				
Умовний контроль	5,60±0,12	3,6	—	—
Зона сильного забруднення	10,72±0,53	8,7	191,5	9,28
<i>Aesculus hippocastanum</i>				
Умовний контроль	3,68±0,17	8,1	—	—
Зона сильного забруднення	7,21±0,17	4,0	195,9	14,85
<i>Betula pendula</i>				
Умовний контроль	5,47±0,18	5,7	—	—
Зона сильного забруднення	16,02±0,51	5,5	292,7	19,62

тка, так і на початку фази завершення росту листка.

Необхідно відзначити, що у *A. negundo* (вид із середнім коефіцієнтом біологічної акумуляції) у фазі повного відособлення листка спостерігається незначна активація процесів ПОЛ (у 1,4 раза) відносно контролю і, навпаки, на 5-10 добу фази завершення росту листка – інтенсифікація вільнорадикальних процесів збільшується у два рази. На відміну від цього, в листках *T. cordata*, яка також належить до вищезгаданої групи рослин, концентрація вторинних продуктів пероксидації в обидві зазначені фази була більшою у два рази порівняно з інтактними рослинами.

Найістотніше збільшення вмісту ТБК-активних сполук (понад 2,5 раза) у зоні сильного забруднення як у фазі повного відособлення листка, так і на початку фази завершення росту листка властиве для видів з низьким рівнем акумуляції цинку, нікелю, свинцю та кадмію (*A. hippocastanum* та *B. pendula*).

Проте на 80-85 добу фази завершення росту листка спостерігався інший характер розподілу контрольних видів рослин за рівнем вторинних продуктів пероксидації в їх асиміляційних органах (табл. 2). Так, максимальний вміст ТБК-активних сполук був характерний

для *A. negundo*. Дещо нижчою виявилася їх концентрація в листках *P. bolleana* ( $8,38 \times 10^{-6}$  М МДА/мг білка). Очевидно, цей факт зумовлений видоспецифічними особливостями функціонування рослинних організмів наприкінці вегетаційного періоду на тлі загального виснаження антиоксидантних систем. Натомість у листках *A. hippocastanum* спостерігався найнижчий рівень вільнорадикальних процесів.

Наведені в табл. 2 дані свідчать, що наприкінці фази завершення росту листка за умов техногенного забруднення в асимілюючих органах переважної більшості деревних рослин спостерігалася аналогічна вищевказаній тенденція до підвищення кількості ТБК-активних сполук порівняно з інтактними рослинами. Так, наприклад, в листках *P. bolleana* та *P. italica*, які належать до першої групи рослин, вміст вторинних продуктів ПОЛ був лише у 1,7 раза більшим за контроль. Для групи видів з середнім рівнем акумуляції важких металів (*A. negundo* та *T. cordata*) концентрація ТБК-активних сполук перевищувала таку у інтактних рослин в 1,9 раза. Натомість в листках *B. pendula* (вид з низьким рівнем акумуляції токсикантів) рівень вторинних продуктів пероксидації був у три рази вищим відносно контрольних рослин.

Підсумовуючи результати досліджень, слід зауважити, що визначення рівня акумуляції Zn, Ni, Pb та Cd в листках деревних рослин в умовах техногенного забруднення дозволило розділити всі види на три групи: I – рослини з високим рівнем акумуляції більшості важких металів (перевищує більше ніж у 10 разів фоновий рівень) – *P. bolleana*, *P. italica* та *S. ausiparia*; II – рослини з середнім рівнем акумуляції (перевищує фоновий рівень від 5 до 10 разів) – *A. negundo* і *T. cordata*; III – рослини з низьким рівнем акумуляції (не перевищує фоновий рівень більше ніж у 5 разів) – *A. hippocastanum*, *P. pungens* та *B. pendula*. Встановлено, що в процесі морфогенезу асимілюючих органів рослин в умовах промислового майданчика у переважної більшості видів з високим рівнем акумуляції важких металів спостерігається досить низький вміст у листках ТБК-активних сполук, що свідчить про їх більшу пристосованість. Водночас для рослин з низьким рівнем акумуляції важких металів характерне суттєвіше збільшення інтенсивності ПОЛ (понад 2,5 раза), що може відображати їх меншу стійкість до забруднення докілья сполуками важких металів.

*Робота виконана за проектом № 36-10 «Транслокація важких металів і фтору в системі "грунт-рослина" та підвищення стійкості рослин за дії абіотичних факторів» цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з проблем сталого розвитку, раціонального природокористування та збереження навколишнього середовища.*

## ЛІТЕРАТУРА

- Барабой В.А. Механізми стресса и перекисное окисление липидов // Успехи соврем. биологии. – 1991. – Т. 111. – С. 923-931.
- Взаємодія рослин з техногенно забрудненим середовищем / Коршиков І.І., Котов В.С., Михеєнко І.П. та ін. – К.: Наук. думка. – 1997. – 175 с.
- Ганятуллин Р.Х. Биоконсервация металлов в надземных органах тополя бальзамического в условиях промышленного загрязнения // Вестн. Мос. гос. ун-та леса. Лес. вестн. – 2007. – № 1. – С. 53-56.
- Гришко В.М., Данильчук О.В. Акумуляція деяких важких металів тополями та особливості міграції елементів у системі «грунт-рослина» // Інтродукція рослин. – 2007. – № 3. – С. 84-91.
- Гришко В.М., Демура Т.А. Інтенсивність акумуляції кадмію і нікелю та рівень їх фітотоксичності за сумісної дії на проростки кукурудзи // Доп. НАН України. – 2008. – № 5. – С. 120-122.
- Гришко В.Н., Данильчук А.В. Содержание тяжелых металлов и продуктов перекисного окисления липидов у тополей в условиях загрязнения // Интродукция растений. – 2004. – № 2. – С. 54-59.
- Грунтово-геохімічне обстеження урбанізованих територій. Методичні рекомендації / Укладачі: Бальюк С.А., Фадєєв А.І., Мірошніченко М.М. – Х.: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського» УААН. – 2004. – 54 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- Ильин В.Б., Степанова М.Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва-растение // Почвоведение. – 1979. – № 11. – С. 61-67.
- Камышников В.С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике. – Минск: Беларусь, 2000. – Т. 2. – С. 207.
- Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Под ред. Е.Л. Кордюм. – Киев: Наук. думка. – 2003. – 277 с.
- Колунаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Окислительный стресс и состояние антиоксидантной системы в колеоптилях пшеницы при действии пероксида водорода и нагрева // Вісн. Харків. націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2008. – Вип. 2 (14). – С. 42-52.
- Колунаев Ю.Є., Карпець Ю.В. Активні форми кисню як посередники в індукванні теплостійкості проростків пшениці саліциловою кислотою // Физиология и биохимия культ. растений. – 2007. – Т. 39, № 3. – С. 242-248.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М., 1989. – 62 с.
- Настека Т.М. Види роду *Armeniaca* Mill. в урбанізованому середовищі // Рослини та урбанізація. Мат-ли Першої науково-практичної конф. (Дніпропетровськ, 21-23 листопада 2007 р.). – Дніпропетровськ: ООО ТПГ «Куница», 2007. – С. 218-220.
- Таран Н.Ю., Оканенко О.А., Бацманова Л.М., Мусієнко М.М. Вторинний оксидний стрес як елемент загальної адаптивної відповіді рослин на дію несприятливих факторів докілья // Физиология и биохимия культ. растений. – 2004. – Т. 36, № 1. – С. 3-14.

## ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

- Усманов Т.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений. – М.: Логос. – 2001. – 224 с.
- Greenberg Ch.S., Gaddock Rh.R. Rapid single step membrane proteine assay // Clin. Chem. – 1982. – V. 28, № 7. – P. 1726-1728.
- Garcia A., Baquedano F.J., Navarro P., Castillo F.J. Oxidative stress induced by copper in sunflower plants // Free Rad. Res. – 1999. – V. 31. – P. 51-57.
- Mishra A., Choudhuri M.A. Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice // Biol. Plant. – 1999. – V. 42, № 3. – P. 409-415.

Надійшла до редакції  
26.05.2010 р.

## FEATURES OF HEAVY METALS ACCUMULATION AND LIPIDS PEROXIDATION INTENSITY IN LEAVES OF WOODY PLANTS UNDER INDUSTRIAL POLLUTIONS INFLUENCE

O. M. Piskova, V. M. Gryshko

*Kryvyi Rig Botanical Garden  
National Academy of Sciences of Ukraine  
(Kryvyi Rig, Dnipropetrovsc reg., Ukraine)*

The intensity of industrial pollutants accumulation and lipids peroxidation in the assimilatory organs of arboreal plants have been investigated. It was set that the differential changes of the investigated indexes which depend of the plants specie. Determination of level and rates of Zn, Ni, Pb and Cd accumulation in the leaves of woody plants in the conditions of different contamination level allowed to separate species into three groups: I – *Populus bolleana* Lauche, *Populus italica* (Du Roi) Moench and *Sorbus aucuparia* L. (phytoextractional potential exceeds the base-line level in 10 times); II – *Acer negundo* L. and *Tilia cordata* Mill. (exceeding the base-line level from 5 to 10 times); III – *Aesculus hippocastanum* L. and *Betula pendula* Roth. (exceeding no more then 5 times). During the all research period in industrial zone the most essential increase of tiobarbituric acid active (TBA-active) compounds content (more than in 2,5 times) was significant for *B. pendula* and *A. hippocastanum*, that well conforms to character of heavy metals translocation.

**Key words:** *Populus bolleana* Lauche, *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Sorbus aucuparia* L., *Acer negundo* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill., accumulation, heavy metals, processes of peroxidation, tiobarbituric acid active compounds

## ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЕРОКСИДНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ЛИСТЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

О. Н. Писковая, В. Н. Гришко

*Криворожский ботанический сад  
Национальной академии наук Украины  
(Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина)*

Исследована аккумуляция промышленных поллютантов, а также интенсивность пероксидного окисления липидов (ПОЛ) в ассимиляционных органах древесных растений. Установлены дифференцированные изменения показателей в зависимости от вида растений. Определение уровня и темпов аккумуляции Zn, Ni, Pb и Cd в листьях древесных растений в условиях разного уровня загрязнения позволило разделить виды на три группы: I – *Populus bolleana* Lauche, *Populus italica* (Du Roi) Moench и *Sorbus aucuparia* L. (фитоэкстракционный потенци-



## **ПІСКОВА, ГРИШКО**

ал превышает в 10 раз фоновый уровень); II – *Acer negundo* L. и *Tilia cordata* Mill. (превышение фонового уровня от 5 до 10 раз); III – *Aesculus hippocastanum* L. и *Betula pendula* Roth. (превышение не более 5 раз). В течение всего периода исследований в промышленной зоне наиболее существенное увеличение содержания тиобарбитуровой кислоты активных (ТБК-активных) соединений (более чем в 2,5 раза) свойственно для *B. pendula* и *A. hippocastanum*, что хорошо согласуется с характером транслокации тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** *Populus bolleana* Lauche, *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Sorbus aucuparia* L., *Acer negundo* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill., аккумуляция, тяжелые металлы, процессы пероксидации, тиобарбитуровой кислоты активные соединения