

**БАР'ЄРНО-ОЗДОРОВЛЮВАЛЬНА РОЛЬ ЛІСУ
І ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В УРБОСЕРЕДОВИЩІ**

П.П. Яворовський, доктор сільськогосподарських наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Висвітлено фільтрацію шкідливих газів, природну фільтрацію, швидкість руху повітря і перепади радіаційної температури в деревних зелених насадженнях. Показано, що вміст іонів Pb^{2+} і Cd^{2+} залежить від умов місцезростання дерев, а пігментів, інтенсивність фотосинтезу й дихання в листках деревних рослин – від концентрації ртуті та свинцю у живильному середовищі.

Ключові слова: ліс і зелені насадження, шкідливі гази, пилоподібні частки, швидкість вітру, інтенсивність шуму та сонячної радіації, пігментний апарат, інтенсивність фотосинтезу й дихання, надлишкові концентрації ртуті та свинцю в живильному середовищі.

З'ясування впливу лісу і зелених насаджень загального користування на екологічні, мікрокліматичні, санітарно-гігієнічні й середовище-оздоровлювальні умови життя та здоров'я мешканців міст і населених пунктів міського типу з розвиненою хімічною промисловістю, гірничо-збагачувальними комбінатами та металургійними підприємствами є актуальною проблемою в Україні. Завдяки фотосинтетичній активності зелених рослин у атмосфері планети з'явилися кисень, озоновий шар і належні умови для біологічної еволюції, які академік В.І. Вернадський розглядав як первинну ланку кругообігу речовин та енергії в біосфері Землі.

Екологічна і санітарно-гігієнічна роль зелених насаджень полягає у створенні органічної речовини за рахунок фотосинтезу та забезпечення біосфери нашої планети киснем. Їх рекреаційне, природоохоронне і бар'єрно-оздоровлювальне значення найсуттєвіше виявляється у біологічному, фізичному, хімічному очищенні довкілля і повітря, насиченні останнього

фітонцидами, запобіганні водній та вітровій ерозії, зниженні рівня шуму й швидкості вітру тощо.

Біологічна фільтрація атмосферного повітря здійснюється поглинанням листками рослин шкідливих газів, які накопичуються в них і трансформуються. Показано [4], що гектар лісових насаджень поглинає з атмосферного повітря 0,4 т сірчистого газу, 0,1 т хлоридів та 20–25 кг фторидів.

При проходженні через крони дерев і кущів, трав'янисті й квіткові рослини тверді й аерозольні частинки осідають на поверхні листків, гілок та стовбурів. Як наслідок, відбувається механічне очищення повітря, тобто його природна фільтрація. За даними Г.М. Ілька та С.А. Анікіної [5,6], на кожному гектарі захисних зелених насаджень у зоні цементного заводу протягом року осідає 20 т пилоподібних часток. У регіонах з підвищеною кількістю опадів поглинальна здатність зелених насаджень зростає.

Ліс і зелені насадження, окрім очищення атмосферного повітря від шкідливих для людини домішок і збагачення атмосфери киснем, підвищують рівень іонізації повітря та насичення корисними для її здоров'я фітонцидами. Встановлено [10], що хвойно-листяні зелені насадження майже втричі збільшують кількість летких іонів з від'ємним зарядом, які забезпечують оздоровлення людей. Окрім того, фітонциди, як біологічно активні речовини, пригнічують ріст і розвиток шкідливих для людини мікроорганізмів.

Швидкість вітру усередині міських зелених насаджень порівняно з рухом повітря у полі зменшується у 3 рази, а в лісі вона практично не перевищує 1 м/сек. Так, за даними Д.С. Лахно [8], улітку і восени швидкість вітру в лісостанах знаходиться в межах 0,8–1,1 м/с, водночас як у міських зелених насадженнях загального користування (невеликі парки і сквери) – 2,1–3,2 м/с. Зелені насадження підвищують рівень відносної вологості повітря (ВВП) з квітня по вересень: із поверхні, вкритої рослинністю, випаровується на порядок більше вологи, ніж з поверхні без рослинності. Перепад ВВП повітря у лісі і забудованій частині міста становить 20 %, абсолютна вологість повітря вранці у лісі нижча на 0,2- 0,4 мб порівняно з міськими зеленими насадженнями,

вдень – вища на 1 мб. Над поверхнею газонів ВВП порівняно з поверхнями без рослинності вища, тоді як температура – нижча [11].

З'ясовано [10], що інтенсивність шуму на територіях із зеленими насадженнями у 10 разів менша, ніж на не озеленених, а деревостани листяних видів рослин відбивають до $\frac{3}{4}$ звукової енергії.

Радіаційна температура на території лісу і зелених насаджень у два з лишком разів менша, ніж на відкритих місцях. У зелених насадженнях регулювання інтенсивності сонячної радіації відбувається завдяки перепаду температур між затіненою та освітленою поверхнями. У тіні щільнокронного деревостану теплова радіація нижча на 5^0 С, ніж у тіні будівель та споруд, а радіаційна температура в лісах лісостепової зони України порівняно з відкритими просторами становить 54,9-73,4 %. Альbedo деревних рослин і трав є вищим, порівняно з альbedo міських споруд [10].

Значна частина лівобережної частини м. Києва в зоні заводу «Радикал» забруднена сполуками ртуті та свинцю з перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК) у десятки разів. Рослини гіркокаштана звичайного у м. Києві потерпають від техногенного забруднення навколишнього природного середовища.

Мета дослідження – виявити дію на пігментний апарат, інтенсивність фотосинтезу й дихання листків видів деревних рослин надлишкових концентрацій ртуті та свинцю у живильному середовищі, а також вплив свинцю та кадмію на функціональний стан гіркокаштана звичайного у вуличних насадженнях м. Києва.

Методика дослідження. Рівень забруднення у системі ґрунт–рослина аналізували за вмістом іонів Pb^{2+} і Cd^{2+} . Уміст свинцю і кадмію визначали атомно-абсорбційним методом на приладі ААС [7]. Кількість хлорофілів і каротиноїдів у сіянцях деревних рослин встановлювали спектрофотометричним методом [12], інтенсивність фотосинтезу та дихання – вимірювали інфрачервоним оптико-акустичним газоаналізатором ПІАМ-5 [14].

Результати досліджень. Показано, що функціональний стан рослин гіркокаштана звичайного у вуличних насадженнях Києва свідчить про небезпечні рівні накопичення іонів Pb^{2+} і Cd^{2+} у ґрунті й фітомасі (листки, корені), які знаходяться за межею толерантності, адаптивності та виживання. Зафіксовано суттєве ураження листкової пластинки і листяного покриву крони крайовим й міжжилковим некрозом та хлорозом, що досягало майже 100 % із наступною її дефоліацією. Ростові процеси за маркерними біоіндикаційними показниками (річний приріст, ширина і довжина центрального сегмента листків, площа та біомаса листка) пригнічувалися. Причиною катастрофічного функціонального стану рослин гіркокаштана звичайного є кризовий рівень накопичення токсичних елементів у ґрунті та фітомасі рослин.

Міські зелені насадження рослин гіркокаштана звичайного являють собою ефективні біоаккумулятори забруднюючих довкілля фітотоксичних речовин. В умовах техногенного забруднення довкілля міста зелені вуличні насадження вимушені акумулювати шкідливі фітотоксичні елементи у надлишкових концентраціях, які порушують процеси катіонно-аніонного балансу, мінерального живлення, активність ферментних систем, проникність клітинних мембран та інтенсивність фотосинтезу [6].

Висока акумулююча здатність рослин гіркокаштана звичайного одночасно визначає чутливість до дії надмірних концентрацій токсичних елементів. Нині у м. Києві гіркокаштанові насадження знаходяться у катастрофічному стані: наприкінці червня – початку липня листки крони буріють, а у липні – серпні відбувається дефоліація крони, що спричиняє відмирання гілок та усихання дерев. Отже, проблема виживання деревних рослин гіркокаштана звичайного є достатньо гострою, і чіткої відповіді щодо причин їх відмирання немає.

Встановлено взаємозв'язок між рівнем техногенного забруднення в урбоекосистемі міста та ступенем ураження функціонального стану рослин гіркокаштана звичайного.

Гіркокаштанові насадження київських вулиць зазнають багатофакторної дії різних властивих мегаполісу стресових чинників. У проведених дослідженнях нами вирізнено тільки частину з них, проти яких рослинний організм не має достатньо ефективних детоксикуючих біохімічних і фізіологічних захисних механізмів. Невпинне зростання кількості автотранспорту на вулицях м. Києва супроводжується підвищенням концентрації іонів Pb^{2+} і Cd^{2+} у ґрунті та фітомасі рослин гіркокаштана звичайного. Як наслідок, концентрація іонів Pb^{2+} (рухома форма) у ґрунті в зоні кореневої системи рослин залежно від їх розташування вздовж автотраси та інтенсивності руху автотранспорту знаходилась у межах 10,7 (просп. Ю. Гагаріна) і 51,4 ГДК (просп. Науки), що за нормативними оцінками є кризовими [3].

Свинець і кадмій належать до найнебезпечніших важких металів, рівень техногенного забруднення якими довкілля м. Києва катастрофічно зростає. Крім того, вони є найтоксичнішими, мають високий акумулювативний ефект, не піддаються біодеградації та практично не виводяться із рослинного організму. Токсичність дії іонів Pb^{2+} і Cd^{2+} на молекулярному й клітинному рівнях вивчено та висвітлено у науковій літературі [1]. Надмірні концентрації важких металів Pb і Cd є стресовими чинниками, і реакції-відповіді рослинного організму на їх дію розвиваються за одним і тим же механізмом. Під впливом Pb і Cd відбувається дезінтеграція мембранних систем клітин та підвищення їх проникності внаслідок активації перекисного окиснення мембранних ліпідів, що зумовлює зміни активності ферментних систем, порушення синтезу білків, деградації молекул хлорофілу з наступним гальмуванням фотосинтетичних процесів [15].

Виявлено, що річний приріст, площа і маса листків одновікових рослин гіркокаштана звичайного у вуличних насадженнях вздовж доріг з різною інтенсивністю руху автотранспорту, зокрема: проспектів Науки й Гагаріна порівняно з контролем (лісовий масив «Феофанія») менша відповідно на 25 і

40, 20 і 35 та 20 і 30 %, а концентрація іонів Pb^{2+} і Cd^{2+} у ґрунті та фітомасі коливається в межах 10,7-51,4 ГДК.

Порушення обмінних процесів і амінокислотного метаболізму за дії надлишків ртуті і свинцю спричиняє зниження вмісту пігментів у листках деревних видів рослин (табл. 1).

1. Вміст пігментів у листках сіяців деревних рослин за дії підвищеної концентрації ртуті і свинцю у живильному середовищі

Вид деревних рослин	Варіант досліджу*	Вміст пігментів у листках, мг/г сирової речовини		
		хлорофіл <i>a</i>	хлорофіл <i>b</i>	каротиноїди
Дуб червоний	1	2,91 ± 0,17	1,42 ± 0,06	0,71 ± 0,04
	2	2,23 ± 0,12	1,09 ± 0,06	0,60 ± 0,03
	3	2,04 ± 0,16	0,98 ± 0,05	0,53 ± 0,03
Гіркокаштан звичайний	1	2,83 ± 0,16	1,46 ± 0,04	0,64 ± 0,04
	2	1,95 ± 0,11	0,93 ± 0,03	0,50 ± 0,04
	3	1,84 ± 0,12	0,97 ± 0,07	0,54 ± 0,03
Клен гостролистий	1	3,70 ± 0,12	1,75 ± 0,08	0,84 ± 0,02
	2	2,06 ± 0,11	0,94 ± 0,06	0,58 ± 0,03
	3	1,49 ± 0,08	0,76 ± 0,06	0,45 ± 0,02
Тополя канадська	1	2,18 ± 0,13	0,98 ± 0,03	0,57 ± 0,03
	2	1,47 ± 0,09	0,96 ± 0,06	0,48 ± 0,02
	3	0,96 ± 0,07	0,48 ± 0,04	0,39 ± 0,02

* 1 – контроль (оптимальний вміст живильних речовин);

2 – надлишок ртуті у живильному середовищі (600 мкг/л);

3 – надлишок свинцю у живильному середовищі (10 мг/л).

Результати досліджень впливу підвищеної концентрації ртуті на вміст пігментів у листках деревних рослин за її надлишку в живильному середовищі (600 мг/л), порівняно з контролем (оптимальний вміст живильних речовин), свідчать про зменшення вмісту хлорофілу *a* у листках рослин клена гостролистого – на 44,3 %, тополі канадської – 32,6, гіркокаштана звичайного – 33,0 та дуба червоного – 23,4 %. Водночас відбувалося зниження нагромадження хлорофілу *b* у листках рослин клена гостролистого – на 46,3 %, гіркокаштана звичайного – 36,3, дуба червоного – 23,2 і тополі канадської – 2,0 % та кількості каротиноїдів у листках рослин клена гостролистого – на 31,0 %, гіркокаштана звичайного – 21,9, дуба червоного – 15,5 і тополі канадської – на 15,8 %.

Дія підвищеної концентрації свинцю у живильному середовищі (10 мг/л) порівняно з контролем (оптимальний вміст живильних речовин) зумовлювала зменшення концентрації хлорофілу *a* у листках рослин клена гостролистого – на 59,7 %, тополі канадської – 56,0, гіркокаштана звичайного – 35,0 та дуба червоного – 29,9 %. Водночас визначено зниження кількості каротиноїдів у листках рослин клена гостролистого – на 46,4, тополі канадської –31,6, дуба червоного – 25,4 та гіркокаштана звичайного –15,6 %.

Отже, за екстремальних умов дії фітотоксичних елементів встановлено суттєвіше зменшення вмісту в листках хлорофілу *a* і хлорофілу *b* порівняно з каротиноїдами. За ступенем стійкості пігментного апарату до дії надлишкової концентрації ртуті і свинцю у живильному середовищі деревні види рослин розташовано в наступній послідовності: дуб червоний > гіркокаштан звичайний > клен гостролистий > тополя канадська.

Вища стійкість каротиноїдів порівняно з хлорофілом *a* і хлорофілом *b* пов'язана з їх захисною функцією в клітині, яка виявляється в інактивації активних форм кисню й тепловому розсіюванні світлової енергії. Стан пігментного комплексу рослин виступає як інтегральний показник, який характеризує стійкість деревних видів рослин до поллютантів [2].

У проведених модельних дослідах надмірна кількість іонів ртуті і свинцю у живильному середовищі спричинила зменшення концентрації пігментів та співвідношення хлорофіл *a* / хлорофіл *b*. Надлишок ртуті і свинцю в живильному середовищі знижував рівень інтенсивності фотосинтезу і газообміну у листках сіянців деревних рослин (табл.2,3).

2. Інтенсивність фотосинтезу у листках сіянців деревних видів рослин за дії підвищеної концентрації ртуті і свинцю у живильному середовищі

Вид деревних рослин	Інтенсивність фотосинтезу, мг CO_2 /дм ² год		
	контроль (оптимальний вміст живильних речовин)	надлишок ртуті, 600 мг/л	надлишок свинцю, 10 мг/л
Дуб червоний	4,05±0,07	3,59±0,08	3,81±0,18
Гіркокаштан звичайний	4,48±0,18	3,87±0,11	3,44±0,09
Липа широколиста	4,89±0,12	4,02±0,17	3,56±0,22

3. Інтенсивність дихання у листках сіянців деревних видів рослин за дії підвищеної концентрації ртуті і свинцю у живильному середовищі

Вид деревних рослин	Інтенсивність фотосинтезу, мг CO ₂ /дм ² год		
	контроль (оптимальний вміст живильних речовин)	надлишок ртуті, 600 мкг/л	надлишок свинцю, 10 мг/л
Дуб червоний	31±3	26±2	23±3
Гіркокаштан звичайний	44±3	29±3	32±4

Надлишок іонів ртуті в живильному середовищі порівняно з контролем (оптимальний вміст живильних речовин у живильному середовищі) зумовив зменшення інтенсивності фотосинтезу у листках липи широколистої – на 17,8 %, гіркокаштана звичайного – 13,6 і дуба червоного – 11,4, а надлишок свинцю – на 27,2 %, 23,2 та 5,9 %. Встановлено, що найчутливішими до надлишків ртуті і свинцю виявилися рослини гіркокаштана звичайного і липи широколистої. Дуб червоний відрізнявся підвищеною стійкістю до дії цих металів. Надлишок ртуті у живильному середовищі порівняно з контролем (оптимальний вміст живильних речовин) спричинив порушення інтенсивності дихання сіянців деревних видів рослин в умовах забруднення живильного середовища ртуттю (див. табл. 3).

Висновки. Зелені насадження, які поглинають шкідливі гази і сполуки важких металів, знижують рівень шуму та осаджують пилоподібні частки, виступають природним бар'єром і біоаккумулятором між довкіллям та людиною, сповільнюють швидкість вітру, регулюють інтенсивність сонячної радіації, виділяють фітонциди. Вони позитивно впливають на умови рекреації і оздоровлення мешканців міст і промислових населених пунктів.

Бар'єрно-оздоровлювальна роль лісу і зелених насаджень проявляється:

- у районах із забрудненням атмосферного повітря шкідливими газами 1 га лісових насаджень поглинає 0,4 т сірчаного газу, 0,1 т хлоридів та 25 кг фосфатів. При проходженні через крони дерев і кущів, трав'янисті й квіткові рослини твердих й аерозольних частинок на 1 га зелених насаджень щорічно осідає 20 т пилоподібних часток;

- швидкість вітру в міських зелених насадженнях порівняно з рухом повітря в полі зменшується у 3 рази, абсолютна вологість повітря вранці у лісі нижча на 0,2-0,4 мб порівняно з міськими насадженнями, вдень навпаки – у лісі вона вища приблизно на 1 мб;

- інтенсивність шуму на територіях із зеленими насадженнями у 10 разів менша, ніж на не озелених територіях, зокрема деревостани листяних видів здатні відбивати до $\frac{3}{4}$ звукової енергії;

- радіаційна температура в лісах лісостепової зони України порівняно з відкритими поверхнями становить 54,9 – 73,4 %, а теплова сонячна радіація у тіні щільнокронних деревостанів є нижчою до 5° С, ніж у тіні будівель та споруд;

- річний приріст, площа і маса листків одновікових дерев гіркокаштана звичайного у вуличних насадженнях уздовж доріг з різною інтенсивністю руху автотранспорту, зокрема: проспектів Науки та Гагаріна у м. Києві порівняно з контролем (лісовий масив «Феофанія»), відрізняються відповідно на 25 і 40, 20 і 35 та 20 і 30 %, а концентрація іонів Pb^{2+} і Cd^{2+} у ґрунті та фітомасі дерев коливається в межах 10,7-51,4 ГДК;

- за ступенем стійкості пігментного апарату, інтенсивністю фотосинтезу і дихання до дії надлишкової концентрації ртуті й свинцю у живильному середовищі деревні види рослин розташовуються у такій послідовності: дуб червоний > гіркокаштан звичайний > клен гостролистий > тополя канадська;

- для забезпечення очищення довкілля від хімічних сполук ртуті та свинцю рекомендується створювати зелені насадження з деревних видів рослин, які відзначаються високим ступенем накопичення металів.

Список літератури

1. Біологія каштанів / [Григорюк І.П., Машковська С.П., Яворовський П.П., Колесніченко О.В.]. – К. : Логос, 2004. – 380 с.

2. Григорюк І.П. Біологічні основи оптимізації продукційного процесу деревних рослин у стресових умовах / Яворовський П.П. – К. : АграрМедіаГруп, 2013. – 277 с.
3. Гуральчук Ж.З. Надходження та детоксикація важких металів у рослинах / Зб. наук. пр., присвяч. 100-річчю від дня народження акад. АН УРСР та ВАСГНІЛ П.А.Власюка (гол. ред. В.В. Моргун). – К. : Логос, 2005. – С. 330–358.
4. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь / Докучаев В.В. – М. : Сельхозгиз, 1953. –152 с.
5. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения / Илькун Г.М. – К. : Наук. думка, 1978. – 246 с.
6. Илькун Г.М. Очищення повітря рослинами від сполук свинцю / Г.М. Илькун, М.О. Маховська– Укр. ботан. журн. – 1978. – 35 , № 3. – С. 246–251.
7. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений / Ермаков А.И., Арасимович В.В., Яраш Н.П. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 400 с.
8. Залеская Л.С. Ландшафтная архітектура / Л.С.Залеская, Е.Н.Микулина – М. : Стройиздат, 1979. – 236 с.
9. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды / Коршиков И.И. – К. : Наук. думка, 1996. – 238 с.
10. Лаптев О.О. Інтродукція та акліматизація рослин з основами озеленення. – К. : Фітосоціоцентр, 2001. – 127 с.
11. Лаптев А.А. Зеленые богатства Киева и его окрестностей / Барановский Е.Д. – К. : Урожай, 1996. – 116 с.
12. Починок К.Н. Методы биохимического анализа растений / К.Н. Починок –К. : Наук. думка, 1976. – 334 с.
13. Практикум по физиологии растений / [под ред. И.И. Гунара]. – М. : Колос, 1972. – 168 с.
14. Фотосинтез и продукционный процесс / [под ред. Б.И. Гуляева]. – К. : Наук. думка, 1983. – 144 с.

15. Функціональний стан гіркокаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) в умовах техногенного забруднення довкілля Київського мегаполісу / [Радченко В.Г., Луцишин О.Г., Палапа Н.В., Яворовський П.П., Коломієць Н.В., Ковальова О.М., Тесленко І.К.]. – Екологія та ноосферологія. – 2010. – 21. – № 1–2. – С. 4–18.

16. Richardson S. D. The effect of leaf age the rate of photosynthesis in detached leaves of tree seedlings / *Acta Bot. Neerl.* – 1957. – № 5. – P. 445–457.

Освещено фильтрацию вредных газов, природную фильтрацию, скорость движения воздуха и изменения радиационной температуры в древесных зелёных насаждениях. Показано, что содержание ионов Pb^{2+} и Cd^{2+} зависит от условий местопроизрастания деревьев, а пигментов, интенсивность фотосинтеза и дыхания листьев древесных растений – от концентрации ртути и свинца в питательной среде.

Ключевые слова: *лес и зеленые насаждения, вредные газы, пылеподобные частицы, скорость ветра, интенсивность шума и солнечной радиации, пигментный аппарат, интенсивность фотосинтеза и дыхания, избыточные концентрации ртути и свинца в питательной среде.*