



П. С. Гнатів¹, Н. І. Вега¹, О. М. Гриник², Н. Я. Лопотич¹, А. Д. Шовган²

¹ Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни, Україна

² Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ МЕТАБОЛІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ *QUERCUS ROBUR* L. ТА *CERCIDIPHYLLUM JAPONICUM* SIEBOLD ET ZUCC. В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ДОВКІЛЛЯ

Досліджено, що в різних умовах розташування та функціонального призначення зелених зон міст Львова та Дубляни відбуваються різні реакції досліджуваних деревних видів – дуба звичайного та багрянника японського – на зміни навколишнього природного середовища. Техногенні емісії зумовлюють певні зміни до фосфатизації, алкалізації та інтенсивного забруднення ґрунтів міських територій різного типу хімічними елементами та важкими металами від діяльності людини. Під час досліджень виявлено диференціацію метаболічних адаптацій від комплексного впливу урботехногенного середовища на рослини. Проаналізовано актуальні зміни хімічного складу листків дерев за показниками вмісту важких металів, азотистих та безазотистих метаболітів. Установлено істотно більше накопичення вмісту хімічних елементів в асиміляційному апараті дуба звичайного та багрянника японського у насадженнях на досліджуваних територіях, виявлено їх видоспецифічні особливості щодо золакумулятивної здатності. Багрянник японський виявився ефективним щодо очищення довкілля від забруднень декоративним деревним видом, який доцільно впроваджувати у зелені зони населених місць. Під впливом трансформації ґрунтових умов й забруднення в асиміляційних органах деревних рослин відбувалися структурно-метаболічні зміни, спрямовані на пристосування видів у нових для них умовах навколишнього середовища. Дуб звичайний демонстрував ознаки стійкості метаболізму асиміляційних органів до урботехногенних змін навколишнього середовища дещо краще, ніж інтродукований вид. З'ясовано, що багрянник японський проявив пластичність структури і пропорцій метаболітів листків, динамічно змінював її у новому для себе середовищі акліматизації і, при цьому виконував ефективну металоаккумуляційну функцію у зоні сильного техногенного забруднення – середовищі Львова.

Ключові слова: едафотоп; токсичні метали; метаболіти; фітомеліорація міста.

Вступ / Introduction

Основа адаптивних реакцій рослин урбанізованих екосистем сучасних населених місць базується на системі аутоєкологічної взаємодії організму та довкілля. Антропогенне навантаження на сьогодиншньому етапі розвитку урбаністичних екосистем шляхом забруднення поллютантами навколишнього середовища істотно видозмінює середовище та життєві функції рослин і їх біотопів [1, 3, 4, 5, 6, 9, 12]. Антропопресія, зокрема як один з її наслідків – зміни клімату, спричиняє причинно-наслідкові зміни як в окремих органах живих організмів [3, 11], так і загалом у ланцюгах життєвих процесів екосистем, наслідком чого є як негативні, так і корисні зміни у пристосуваннях деревних видів до існу-

вання в урбанізованих екосистемах.

Як відомо, певні рослинні види, завдяки своїй екологічній гнучкості та рекультивацийним властивостям, відіграють важливу середовище-стабілізаційну роль, зокрема в урбаністичних системах [1, 3]. Зелені рослини, які формують насадження в міському середовищі, часто виступають в ролі сорбентів різних поллютантів, чим істотно покращують середовище існування людини. Зважаючи на наявність насаджень різних типів у Львові та в околицях встановлено, що загальна площа приміських насаджень становить майже 33,3 тис. га та міських – 4,4 тис. га, наближено розраховано, що поверхня рослинної маси Львова теоретично становить 37-161 тис. м²/га, а показник листової поверхні –

Інформація про авторів:

Гнатів Петро Степанович, д-р біол. наук, професор, завідувач кафедри агрохімії та ґрунтознавства.

Email: pshnativ@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2519-3235>

Вега Наталія Ігорівна, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра агрохімії та ґрунтознавства.

Email: vega_natali@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2609-0393>

Гриник Олена Миколаївна, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра ботаніки, деревинознавства та недревних ресурсів лісу.

Email: o.hrynyk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-2710-6118>

Лопотич Наталія Ярославівна, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра екології.

Email: lopotichn@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2519-3235>

Шовган Анатолій Дмитрович, канд. біол. наук, доцент, кафедра ботаніки, деревинознавства та недревних ресурсів лісу.

Email: adshovhan56@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Гнатів П. С., Вега Н. І., Гриник О. М., Лопотич Н. Я., Шовган А. Д. Диференціація метаболічної адаптації *Quercus robur* L. та *Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc. в умовах техногенної трансформації довкілля. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 2. С. 31–37.

Citation APA: Hnativ, P. S., Veba, N. I., Hrynyk, O. M., Lopotych, N. Ya., & Shovhan, A. D. (2023). Differentiation of metabolic adaptation of *Quercus robur* L. and *Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc. in conditions of technogenic transformation of the environment. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(2), 31–37. <https://doi.org/10.36930/40330204>

майже 2,4. Разом з тим на сьогодні з низки причин простежується тенденція до зменшення таксономічного асортименту та, відповідно, біорізноманіття у міських насадженнях, незважаючи на доволі багату репрезентацію у ботанічних садах.

Об'єкт дослідження – диференціація метаболічної адаптації фотосинтезуючого апарату дуба звичайного (*Quercus robur* L.) та багрянника японського (*Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc.) в умовах техногенної трансформації довкілля.

Предмет дослідження – дерева *Quercus robur* L. та *Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc. в урбаністичних екосистемах міст Львова та Дубляни.

Мета роботи – з'ясувати тенденції метаболічної адаптації під дією антропогенного впливу в межах зеленої зони Львова та визначити стійкість і функціональне пристосування досліджуваних видів у процесі техногенної трансформації довкілля.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі **основні завдання дослідження**: з'ясувати особливості метаболічної адаптації дерев *Quercus robur* L. та *Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc. в умовах техногенної трансформації довкілля; проаналізувати хімічний склад листків досліджуваних видів, зокрема звернути увагу на наявний вміст важких металів, азотистих та безазотистих метаболітів; встановити тенденції до можливості накопичення хімічних елементів в асиміляційному апараті досліджуваних видів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Таким явищем, як функціональне пристосування, метаболічна адаптація, техногенне забруднення і як наслідок – зміна властивостей едафотопів, аналіз росту та розвитку рослин в умовах урбанізованого середовища, приділено за останні роки значну увагу. Відповідно загальний стан рослинності та їх використання в зеленому господарстві міст варто розглядати не тільки як елемент асортименту, а і його подальше функціональне пристосування до едафотопів урболандшафтів і як вид, що має властивості "утилізатора" важких металів ґрунту, індикатор негативних змін у трансформованому довкіллі й очищувач повітря водночас [1].

У багатьох наукових доробках можна відзначити певні тенденції змін едафотопів (переважно чорноземі опідзолені і темно-сірі опідзолені ґрунти) впродовж певного періоду часу з урахуванням впливу різних антропогенних чинників.

Зокрема, як наголошує С. С. Волощинська [12], наявність важких металів у ґрунтах урбоекосистем щорічно збільшується і призводить до відповідних змін у складі насаджень великих міст. Питанню агрохімічних властивостей профілю трансформованих ґрунтів з різною інтенсивністю освоєння приділено багато уваги [1, 2, 4], про що свідчать дані істотної зміни як хімічного складу ґрунтів, так і видового складу рослинності. Деякі види не пристосовуються до інтенсивності впливу урбогенних систем.

Як свідчать результати досліджень, через інтенсивність різних техногенних пресів на довкілля, зокрема в межах Львова, в едафотопі вуличних насаджень міститься більше, порівняно з іншими модельними насадженнями, важких металів: цинку, міді, кадмію, свинцю і нікелю [1, 3].

Згідно з попередніми дослідженнями, дерева дуба звичайного, липи серцелистої та клена гостролистого,

що ростуть у приміських насадженнях, акумулювали у листках у перерахунку на суху масу менше зольних речовин, ніж у паркових насадженнях міста Львова [1, 2]. Тому, зважаючи на наявність значної кількості джерел поллютантів, які мають вплив на вуличні насадження, в таких умовах виявлено значне збільшення вмісту зольних сполук у листках дерев дуба та багрянника. Ця тенденція також характерна і для інших деревних видів – їхня локалізація в межах вуличних насаджень, особливо розташованих на узбіччях вулиць з інтенсивним рухом автомобільного транспорту призводить до збільшення вмісту зольних елементів у їхньому листі [1, 2, 3].

На підставі аналізу літературних даних виникло питання потреби в дослідженні диференціації метаболічних адаптацій деревних видів на прикладі дуба звичайного та багрянника японського в межах паркової частини та вуличних насаджень міста.

Водночас, варто зважати, що до складу урбогенних ландшафтів входять не тільки місцеві, а й екзотичні для цих територій види деревних рослин, зокрема й *Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc. Тому такі території часто мають більшу видову різноманітність, ніж ті, що ростуть у сусідніх місцевих екосистемах. З одного боку, високе видове різноманіття є корисним для мінімізації вразливості екосистеми до шкідників і порушень нормального функціонування. З іншого боку, варто враховувати певний ризик для стану екосистеми, якщо ці екзотичні види є інвазивними рослинами і становлять небезпеку для місцевих видів [2, 3].

В урбаністичних системах деревним видам належить потужна середовищестабілізаційна роль, тому дослідження видового різноманіття в комплексі із трофічністю є актуальним і потребує застосування різних методологічних підходів.

Матеріали та методи дослідження. Модельні насадження вибирали з урахуванням умов, які можуть відобразити найтипівіші для висвітлення проблематики питання. У якості вуличних (придорожних) насаджень дуба звичайного використано насадження по вул. Глибочкій (м. Львів), а багрянника японського – по вул. Угорській (м. Львів). За даними спостережень упродовж 2018-2022 рр. ці насадження піддавалися найсильнішому впливу транспорту і забудови. У якості паркових насаджень вибрано Дендропарк Ботанічного саду Національного лісотехнічного університету України (НЛТУ України), який є частиною зеленої зони Львова, а у якості замських насаджень – парк Львівського національного університету природокористування (ЛНУП) у Дублянах, який прийнято за місцевість із малозмієними техногенним тиском екоумовами – тобто в якості контролю.

Для комплексного дослідження диференціації метаболічної адаптації здійснено аналіз властивостей ґрунту. Зокрема, оцінено такі показники: реакція ґрунтового розчину (відповідно до ДСТУ 10390:2001); вміст гумусу (відповідно до ДСТУ 4289:2004); обмінні катіони кальцію та магнію – за методикою Центрального науково-дослідного інституту агрохімічного обслуговування (ЦІНАО) (відповідно до ГОСТ 26487-85); доступні форми фосфору і калію (відповідно до ДСТУ 4405:2005); вміст азоту лужногідролізованого – за Корнфільдом. Вміст важких металів у ґрунті визначили за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометра С-115-1М у полум'ї ацетилен-повітря згідно з методиками ЦІНАО [8] з

використанням базових потужностей Львівського проектно-технологічного центру "Держгрунтохорона" [2].

Дослідження вибраних показників життєвих метаболічних функцій проводили відповідно до обраних груп рослин, морфолого-біометричні ознаки яких були максимально близькі між собою. Дослідний матеріал відбирали з гомогенних груп рослин у кількості 7-10 особин однакового або близького віку. Для кожної видової групи у визначених точках відбору з використанням телескопічної штанги завдовжки 5 м на відповідних висотах відібрали по 25-35 типових та однорідних за станом і розмірно-якісними показниками здорових листків. Дослідження було сфокусовано на змінах метаболічного складу сухої речовини листків у період піку їхньої фізіологічної активності впродовж літа. Аналіз зразків проводили у дворазовій повторності за такими показниками, як: вміст золи (методом "мокрого" озеленення за Лебедянцевим), вміст клітковини (за Геннебергом-Штоманом), вміст ліпідів (за Рушковським) у відсотках у перерахунку на суху речовину. Величину вмісту водорозчинних цукрів визначали перманганатним методом (метод Бертрана) з відновленням оксиду міді [10]. Обсяги крохмалю в листках визначали біхроматометричним методом. Аналіз здійснювали на підставі осадження йоду. Вміст загального азоту визначали за Кельдаєм з наступним перерахунком на вміст протеїнів (біл-

ки й азотовмісні речовини). Величину вмісту безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) обчислювали як різницю між сумарною величиною всіх виявлених аналітичним шляхом органічних і мінеральних компонентів та кількістю абсолютно сухої речовини листків [1]. Статистичне опрацювання отриманих результатів виконали за допомогою *MS Excel, Statistica 10*.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and discussion

Природні та кліматичні умови Львова, його зеленої зони та околиць сприятливі для вирощування широкого асортименту декоративних і фіто-меліоративних як місцевих, так і інтродукованих деревних видів. Разом з тим, в містових умовах, зокрема, такого великого, як Львів, де забудова займає площу близько 13 тис. га, локальні кліматичні умови є істотно змінені під комплексною дією різних екологічних та антропогенних чинників. Саме з цієї причини едафотопи (переважно темносірі опідзолені ґрунти й чорноземи лучні) у насадженнях Львова зазнали істотних змін. Зокрема, за результатами аналізів агрохімічних властивостей профілю трансформованих ґрунтів до глибини 0-20 см встановлено (таблиця), що урбоземи Львова мають нижчі значення вмісту гумусу, азоту й магнію.

Таблиця. Вміст гумусу й доступних поживних речовин в 0-20 см пласті ґрунтів дослідних об'єктів (точність дослідів паралельних аналізів є достовірною на 5 %-му рівні значущості) / The content of humus and available nutrients in the 0-20 cm layer of soils of experimental objects (the precision of the experiment of parallel analyzes is reliable at the 5 % level of significance)

Тип зеленої зони	№ пробної площі	Гумус, %	N _{легкогідролізованний} , мг/кг	P ₂ O ₅ р _{ухомий} , мг/кг	K ₂ O обмінний, мг/кг	Ca обмінний, мг/кг	Mg обмінний, мг/кг	pH сольове	Гідролітична кислотність, мг-екв/100 г ґрунту	Сума ввібраних основ, мг-екв/100 г ґрунту
Паркова зона м. Дубляни	I	3,27	109,2	125	115	5,0	1,8	4,95	4,92	13,75
Дендропарк Ботанічного саду НЛТУ України (м. Львів)	II	2,28	100,8	62	101	6,7	1,0	5,10	4,05	13,75
Вуличні насадження м. Львів	III	2,74	103,6	128	175	8,5	0,7	6,13	2,74	30,00

Натомість, едафотопи вулиць Львова мають найбільший вміст рухомого фосфору, обмінного калію й кальцію, близьку до нейтральної реакцію. Окрім цього, вміст найбільшої (з-поміж дослідних об'єктів) кількості основ свідчить про значний обсяг емісії біофільних та інших сполук у ґрунти містової забудови.

Встановлено, що для вуличних едафотопів характерними є сприятливіші, з огляду на мінеральне живлення рослин, показники порівняно із біднішими ґрунтами парку Ботанічного саду НЛТУ України. Однак несприятливі водно-фізичні властивості цих ґрунтів нівелюють певні агрохімічні переваги [6]. Отже, виявлено істотні зміни умов мінерального живлення рослин урбанізованих територій, які залежать передусім від ступеня інженерного перетворення середовища (технозем, техноґрунт, тверде покриття, забудова) [1, 5, 6, 9].

Для сучасних міських і техногенних ландшафтів характерним є значне забруднення шкідливими речовинами [4, 5, 12]. За здійсненими дослідженнями найвиразніше простежується чітка тенденція до зростання забруднення ґрунтів цинком, свинцем і кадмієм у напрямку від околиць Львова (Дубляни) до Ботанічного саду та центральних вулиць (рис. 1).

Для едафотопу вуличного насадження характерним є найвищий вміст міді, цинку, свинцю, кадмію і нікелю, порівняно з рештою досліджуваних насаджень. Це є черговим підтвердженням існування інтенсивної техно-

генної пресії на довкілля Львова, особливо на центральну частину міста.

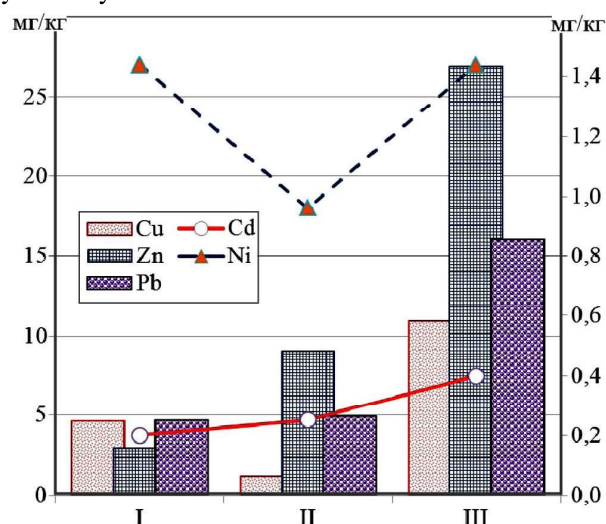


Рис. 1. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах міст Львова і Дубляни, мг/кг / The content of mobile forms of heavy metals in the soils of Lviv and Dublyany, mg/kg: I – паркова зона Дублян / park zone of the city of Dublyany; II – паркова зона Львова (парк Ботанічного саду НЛТУ України) / park zone of Lviv (park of the Botanical Garden of the UNFU); III – вулиці Львова (вуличні насадження по вул. Глибочкій та Угорській, м. Львів) / streets of Lviv (street plantings on Hlyboka and Uhorska Streets, Lviv)

На зростання вмісту низки хімічних елементів у листках рослин істотний вплив має техногенне забруднення довкілля, зокрема транспортні полютанти (рис. 2).

В усіх досліджуваних насадженнях виявлено забруднення важкими металами фотосинтезуючого апарату дерев як дуба, так і багрянника. Потрібно відзначити, що для дерев дуба зростання вмісту важких металів у листі спостерігається від паркових насаджень Дублян, насаджень Ботанічного парку НЛТУ України та до вуличних насаджень м. Львова, де їхній вміст є максимальний. Дослідження було зосереджено на вмісті цинку, свинцю, міді та кадмію. Натомість вміст переважної більшості досліджуваних важких металів у фотосинтезуючому апараті дерев багрянника підвищується від насаджень Ботанічного саду НЛТУ України, паркових насаджень Дублян до вуличних насаджень Львова, де вміст практично усіх досліджуваних важких металів набуває максимальних значень аналогічно до дуба. Встановлено, що дерева дуба звичайного мають властивість нагромаджувати у своїх асиміляційних органах вищий вміст цинку й свинцю, порівняно із деревами багрянника японського. Також потрібно відзначити здатність до активнішого засвоєння цим інтодуцентом важких металів, за винятком цинку, у найменш забруднених з точки зору техногенних полютантів насадженнями у парку Дублян, та найбільш забрудненими вуличними насадженнями Львова, порівняно із Дендропарком Ботанічного саду НЛТУ України. У бідніших едафотобах процес засвоєння важких металів багрянником японським загалом є гірший, порівняно із рештою досліджуваних насаджень.

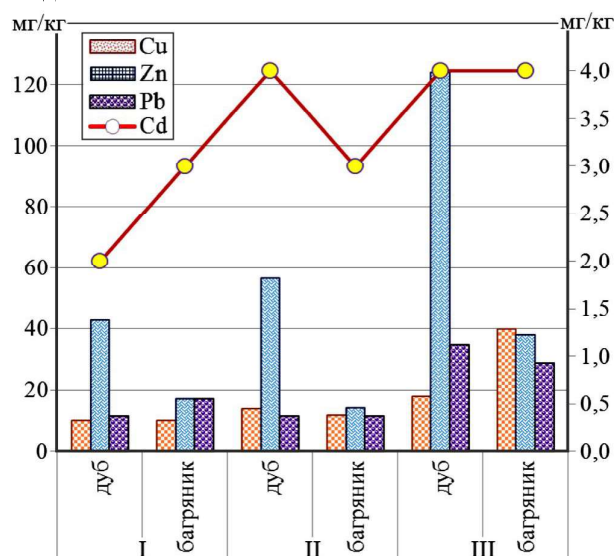


Рис. 2. Вміст важких металів Cu, Zn, Pb та Cd у золі листків, мг/кг у сухій речовині / Content of heavy metals Cu, Zn, Pb and Cd in leaf ash, mg/kg in dry matter: I – паркова зона Дублян / park zone of the city of Dublyany; II – паркова зона Львова (парк Ботанічного саду НЛТУ України) / park zone of Lviv (park of the Botanical Garden of the Ukrainian National Forestry University); III – вулиці Львова (вуличні насадження по вул. Глибокій та Угорській, м. Львів) / streets of Lviv (street plantings on Hlyboka and Uhorska Streets, Lviv)

Порівнюючи дослідження метаболічної адаптації дуба звичайного, липи серцелистої та клена гостролистого, які ростуть у приміському лісі, встановлено, що дерева цих таксонів акумулювали у сухій масі листків менше зольних речовин, ніж у парку Львова [1, 3]. Встановлено, що вище забруднення речовинами-полю-

тантами призводить до підвищеного накопичення вмісту зольних елементів у фотосинтезуючому апараті дуба і багрянника, як і інших таксонів. Сукупний негативний вплив аероemisійного тиску та техногенні зміни в едафотопі призводить до тенденції підвищеного засвоєння золи та зольних елементів листям багрянника та дуба. Потрібно відзначити, що ця тенденція сильніше проявляється у дерев багрянника, порівняно із деревами дуба.

Загалом асиміляційний апарат дерев багрянника японського практично удвічі активніше поглинає мінеральні речовини, порівняно із дубом звичайним. Це є свідченням, з одного боку, кращої акліматизації та, як причини – кращого мінерального живлення виду в трансформованому міському середовищі Львова. З іншого боку, дерева багрянника мають значно потужніші властивості до нейтралізації хімічних сполук як з ґрунту, так і, нехай і частково, з повітря, порівняно із дубом звичайним. Свідченням цього є потрапляння хімічних елементів у тканини листків шляхом так званого позакореневого живлення [1, 3].

Відомо, що практично усі ростові процеси, а також фотосинтез та обмінні процеси були б неможливі без участі такого елемента мінерального живлення, як азот. Встановлено, що асиміляція тканинами листків азотних сполук в умовах паркових насаджень Дублян у дерев дуба становить 2,26 % сухої маси листків, а у багрянника – 1,3 %, що є найнижчим значенням вмісту серед досліджуваних насаджень. Також потрібно зауважити, що в цих умовах ґрунт має найвищий вміст азоту та гумусу, з-поміж усіх досліджуваних насаджень. Одночасно умови для насаджень Ботанічного саду НЛТУ України сприяють активізації асиміляції тканинами листків дуба звичайного до 2,60 % сухої речовини листків, а у багрянника – на 0,57 %, що значно помітніше. Зменшення асиміляції азоту обома деревними видами відзначено в умовах вуличних насаджень Львова, де відзначено найскладніші умови щодо забруднення техно- та антропогенного навантаження на довкілля: у тканинах листя дуба – до 2,45, а у багрянника – до 1,35 % сухої маси листків. Встановлено, що такий інтродукований вид, як багряник японський здатний до засвоєння меншої кількості азоту, порівняно із аборигенним дубом звичайним і має стрімкішу реакцію на техногенне перетворення довкілля.

Унаслідок істотного впливу передусім полютантів на антропонозовані екосистеми, до яких зокрема належить і урбоекосистема Львова, відбувається зміна вмісту хімічних елементів як забруднювачів атмосферного повітря, його температури. Внаслідок комплексного впливу чинника техногенного забруднення змінюються фізико-хімічні показники ґрунтів, пришвидшується процес дегуміфікації. Відслідковуються також зміни у вмісті хімічних речовин-полютантів у атмосферній та ґрунтовій водах. Сукупно всі перераховані чинники істотно впливають на фізіологічні процеси у тканинах рослин, наслідком чого є зміна співвідношення компонентів метаболізму та асиміляції у листках дерев [1, 3, 7].

За результатами здійснених досліджень можна стверджувати, що відбулися певні зміни, унаслідок яких вміст структурних та енергопластичних речовин у тканинах листків аборигенного виду та успішно акліматизованого інтродуцента мають істотні відмінності (рис. 3).

Значення показника пропорції клітковини у досліджуваних деревних видів мають істотні відмінності: у

дуба звичайного показник пропорційності клітковини майже втричі, а в умовах Ботанічного саду НЛТУ України – вдвічі, порівняно із багрянником японським. Одночасно листки багрянника містять майже на 30 % більше водорозчинних вуглеводів (зокрема і безазотистих екстрактів), порівняно із листками дуба звичайного (рис. 4).

Листки дуба, внаслідок видових особливостей по-мірно засвоювати зольні елементи й асимілювати порівняно більше азоту, ніж листки багрянника, синтезують більшу кількість білків. Незважаючи на те, що багрянник, як інтродукований вид, має відмінності у пропорції енергопластичних речовин, проблем у пристосуванні цього виду до умов довкілля немає. Співвідношення структурних і водорозчинних вуглеводів у сухій речовині листків свідчить про вищу, порівняно із інтродукованим, адаптованість аборигенного виду до умов росту в межах свого природного ареалу [1, 3, 7].

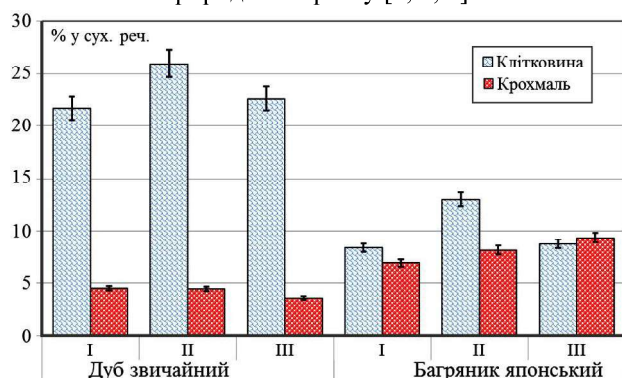


Рис. 3. Утворення полімеризованих метаболітів листками деревних видів у різних умовах росту / Formation of polymerized metabolites by leaves of tree species under different growth conditions: I – паркова зона Дубляну / park zone of the city of Dublyany; II – паркова зона Львова (парк Ботанічного саду НЛТУ України) / park zone of Lviv (park of the Botanical Garden of the Ukrainian National Forestry University); III – вулиці Львова (вуличні насадження по вул. Глибокій та Угорській, м. Львів) / streets of Lviv (street plantings on Hlyboka and Uhorska Streets, Lviv)

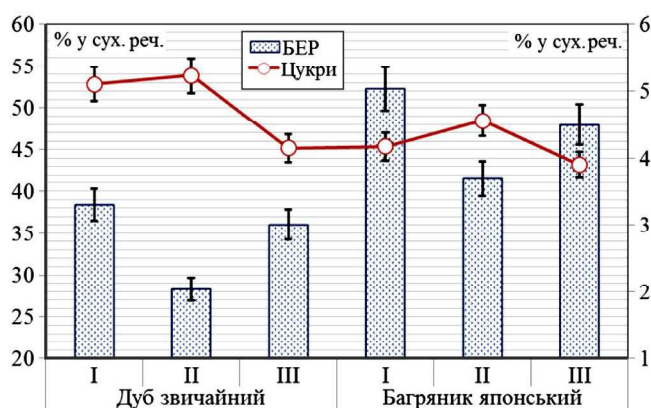


Рис. 4. Співвідношення цукрів та решти безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) у хімічному складі сухої речовини листків деревних видів у різних умовах росту / The ratio of sugars and other non-nitrogenous extractive substances in the chemical composition of the dry matter of the leaves of tree species under different growth conditions: I – паркова зона Дубляну / park zone of the city of Dublyany; II – паркова зона Львова (парк Ботанічного саду НЛТУ України) / park zone of Lviv (park of the Botanical Garden of the Ukrainian National Forestry University); III – вулиці Львова (вуличні насадження по вул. Глибокій та Угорській, м. Львів) / streets of Lviv (street plantings on Hlyboka and Uhorska Streets, Lviv)

Підвищений вміст цукрів, який репрезентується крохмалем, у листках дерев багрянника японського свідчить про наявність труднощів у метаболізмі вуглеводів або вказує на проблеми переміщення цих цукрів у рослині, зокрема: у складних з екологічної точки зору забруднень довкілля локаціях – в умовах вуличних насаджень Львова. Подібна відповідь рослин на багатьох вже раніше досліджуваних деревних видів, разом із багрянником, була саме у складних умовах зростання [1]. Отже, зважаючи на здатність багрянника японського активно асимілювати зольні сполуки, можна стверджувати про значну санувальну функцію насаджень з домінуванням цього деревного виду в умовах міської забудови зі значним техногенним забрудненням на території великих населених пунктів.

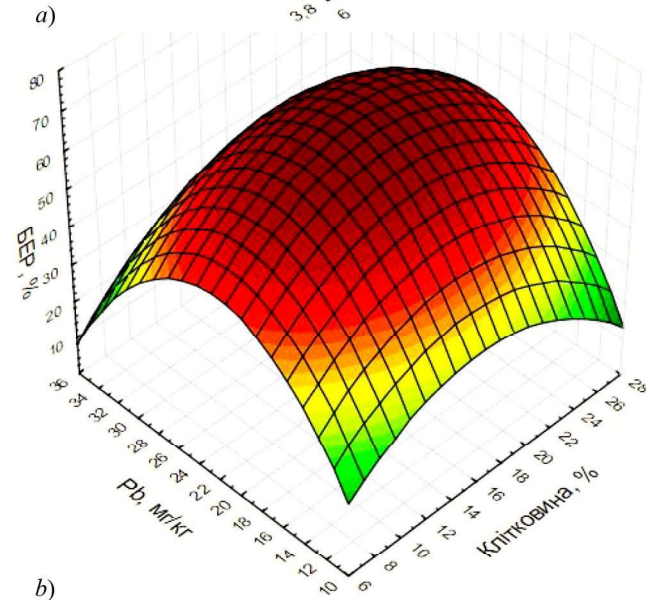
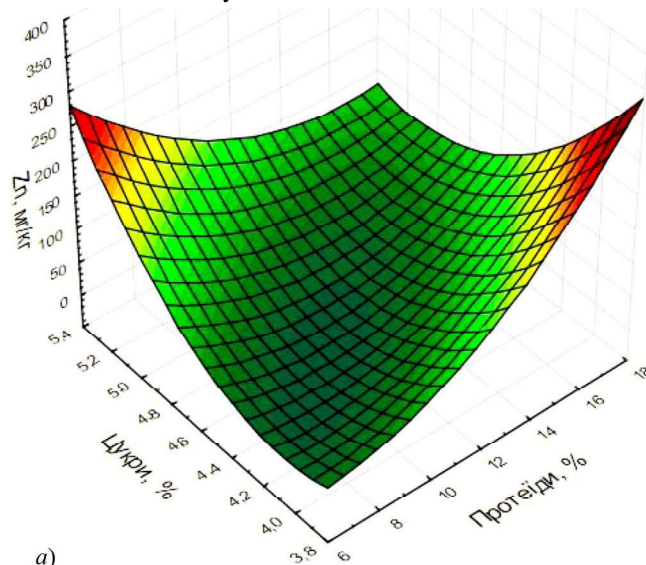


Рис. 5. 3D-модель регресії зв'язків співвідношення протеїнів до цукрів та асиміляції цинку (а) і нагромадження безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) за зростання асиміляції свинцю на утворення клітковини (б) у сухій масі листків деревних / 3D-regression model of the relationship between the ratio of proteins to sugars and assimilation of zinc (a) and the accumulation of nitrogen-free extractive substances (NES) with the growth of assimilation of lead on the formation of fiber (b) in the dry mass of leaves of trees

Наслідком процесів, які порушують структуру та функції рослинного вкриття, є зниження рівня стабільності екосистем різних рангів, зокрема погіршується їх-

ня стійкість та адаптація їх деревних компонентів. Новим чинником формування адаптогенезу рослин в умовах антропогенного середовища є змни та істотне перетворення середовища Львова з близького до природного на урботехногенне, подібно до змін у потужних промислових регіонів [1, 5, 7]. Тому одним із перспективних способів покращити якість уже перетвореного навколишнього середовища у великих містах є впровадження добре пристосованих до складних умов довкілля інтродуцентів, одним з яких є багряник японський.

Для кращого розуміння та візуалізації фізіологічних процесів розроблено 3D-модель площини регресії нагромадження цинку в листках під впливом співвідношення функціональних метаболітів: протеїнів і цукрів, яка показує зростаючу асиміляцію забруднювача у разі пропорційного збільшення білкових метаболітів і цукрів (рис. 5,а). У разі порушення їхньої пропорції, а відповідно життєвості рослин, проникнення цинку стрімко збільшується.

Друга площина регресії (див. рис. 5,б) показує, як нагромадження в листках свинцю за щораз більшої пропорції клітковини зумовлює утворення більшої кількості без азотистих екстрактивних речовин, що містять цукри, крохмаль і прості вуглеводи.

Техногенні емісії призводять до зміни біогеохімічних показників трофності ґрунтового профілю 0–20 см, зокрема до зміни концентрації важких металів (міді (Cu), цинку (Zn), свинцю (Pb), кадмію (Cd) та нікелю (Ni)) у ньому, цим самим призводять до збільшення їхнього надходження у листки дерев. Це явище особливо чітко прослідковується в листках дерев багряника японського за вмістом міді та в листках дерев дуба звичайного – за вмістом цинку.

У листках дерев дуба звичайного в екотопі Дендропарку Ботанічного саду НЛТУ України (місце з найкращими для дерев умовами зеленої зони Львова) виявлено значно більше вмісту цинку, а листках дерев з вуличних насаджень Львова – фактично утричі більше, порівняно із зеленою зоною Дублян.

Обговорення результатів дослідження. Питання щодо інтенсивності забруднення едафотопів урбогенних територій розглядають за різними принципами як вітчизняні науковці, так і за кордоном. Якщо розглядати питання комплексно, то треба відзначити істотні зміни екосистем різного рангу (відповідно до їхньої стійкості й адаптації деревних компонентів), присутність факту ослаблення стабільності і зокрема порушення структури й функції рослинного покриву.

Перетворення природного середовища Львівщини в урботехногенне, подібне до видозмін у потужніших промислових регіонах, стає новим чинником адаптогенезу рослин в техногенно-трансформованому середовищі [1, 2, 3, 11]. Видове різноманіття досліджуваних територій виступає предметом досліджень, а для порівняльної характеристики вибирали два різні таксони – природного ареалу та інтродуцент. Завдяки порівняльному аналізу показано тенденції щодо перспектив використання інтродуцентів в якості фітомеліорантів, які добре пристосовані й здатні функціонувати у складних умовах урбанізованого довкілля з різним рівнем антропопресії, що сприятиме покращенню якості перетвореного довкілля у великих містах.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше здійснено аналіз диференціації метаболічних адаптацій до комплексного впливу урботехногенного середовища на місцевий та інтродукований деревні види. Проаналізовано актуальні зміни хімічного складу листків досліджуваних деревних видів за показниками вмісту важких металів, азотистих та безазотистих метаболітів на різних дослідних об'єктах з різним ступенем антропогенного та техногенного навантаження. З'ясовано особливості накопичення хімічних елементів в асиміляційному апараті дуба звичайного та багряника японського в міських умовах, виявлено їх видоспецифічні особливості щодо зоолокумулятивної здатності.

Практична значущість результатів дослідження – отримані результати щодо вмісту хімічних елементів в листі слугуватимуть основою для проведення досліджень і заходів із контролю за використанням місцевого та інтродукованого видів у межах не тільки паркової частини міста, а й у вуличних насадженнях, які будуть виступати в якості об'єкта із середовищестабілізаційною роллю, при цьому визначаючи позитивні чи негативні зміни довкілля.

Висновки / Conclusions

Антропогенне навантаження і зміна властивостей едафотопів в зелених насадженнях Львова і його околиць комплексно впливають на функціональний стан рослин і властивості ґрунту, призводячи до незворотних змін.

Проводячи дослідження визначених деревних видів з'ясовано, що фотосинтезуючий апарат дерев багряника японського у міських насадженнях Дублян і Львова асимілював майже удвічі більше усіх зольних сполук порівняно із фотосинтезуючим апаратом дерев дуба звичайного. Багряник японський, зв'язуючи різні хімічні елементи (зокрема і важкі метали) у тканинах листків і сануючи у такий спосіб повітря і ґрунт, здатний утримувати більший вміст полютантів, порівняно із дубом звичайним та має значні кращі перспективи для використання в озелененні, порівняно із ним. Виявлена ефективність так званої утилізаційної здатності акліматизованого інтродуцента призвела до пригнічування синтезу клітковини у листках, наслідком чого стало збільшення загальної кількості водорозчинних вуглеводів та запасу крохмалю, а також збільшення їхнього вмісту у тканинах. Зважаючи на доволі значний вміст полютантів в асиміляційному апараті дерев багряника японського не виявлено ознак негативного впливу цього явища на ріст та розвиток дерев цього виду загалом та, зокрема, на габітус і формування крони та на декоративні властивості. Водночас, виразне розбалансування складу сухих речовин у листках дерев багряника, порівняно з листками дерев дуба звичайного, може слугувати індикатором щодо перебігу негативних змін у трансформованому довкіллі, або також свідчити про гірші природні умови росту інтродуцента, оскільки в оптимальних умовах Дендропарку Ботанічного саду НЛТУ України склад і вміст метаболітів у листках дерев багряника мали оптимальне співвідношення.

References

1. Hnativ, P. S. (2014). Functional diagnosis in dendroecology. Lviv, 361.
2. Hnativ, P. S., Lagush, N. I., & Haskevich, O. V. (2019). Morphological and physical and chemical diagnostics of soils. Education manual, Lviv: Magnolia-2006, 170 p.
3. Hnativ, P. S., Lopotych, N. J., Parkhuts, B. I., Haskevych, O. V., & Veba, N. I. (2020). Urban trees assimilation efficiency and assessment of environment quality. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(1), 151–157. https://doi.org/10.15421/2020_24
4. Jevsieieva, M. V., Zvuzdecka, N. S., & Panchenko, T. I. (2011). Environmental safety zone roadside soil on the content of lead compounds. *Collection of the scientific articles of "III of Allukrainian convention of environmentalists with international participation"*, 2, 622–624.
5. Korshykov, I. I., & Hnativ, P. S. (2003). Urbotechnogenic environment as an integral factor in adaptation of plants. *Industrial ecology*, 3, 78–82.
6. Kucherjavyj, S. V. (2003). Street spaces are already greening in Lviv and ecological features of their development. *Sciences announer of Ukrainian SFEU*, 11(5), 323–326.
7. Kuziv, R. (2001). The influence of environmental factors on the intensity of photosynthesis in rock oak and common oak seedlings. *Proceedings of the Scientific Society named after Shevchenko*, Vol. 7. *Ecological collection of the National Academy of Sciences*. Lviv, 252–263.
8. Methodical pointing on determination of heavy metals in soils of farm lands and products of plant-grower. (1992). Moscow, 61 p.
9. Mirzak, O. V. (2002). Environmental features edafotops urban areas steppe zone of Ukraine (on the example of Dnepropetrovsk). Dnipropetrovsk, 20 p.
10. Pochynok, H. M. (1976). Methods of biochemical analysis of plants. Kyiv: Science. Dumka, 5–77.
11. Polovyu, V., Hnativ, P., Chojnicki, J., Lahush, N., Ivaniuk, V., Avhustynovych, M., Haskevych, O., Lukashchuk, L., & Lukyanik, N. (2022). Changes in agrochemical soils indices of West of Ukraine under the impact of approval and aridization of the climate. *Soil Science Annual*, 73(1). <https://doi.org/10.37501/soilsa/146855>
12. Voloschynska, S. S. (2012). Heavy metals in soils urboecosystem s. Kovel. Scientific announcer of the Chernivtsi university. *Biology (Biological systems)*, 4(2), 145–148.

P. S. Hnativ¹, N. I. Veba¹, O. M. Hrynyk², N. Ya. Lopotych¹, A. D. Shovhan²

¹ Lviv National Environmental Sciences University, Dublyany, Ukraine

² Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

DIFFERENTIOATION OF METABOLIC ADAPTATION OF *QUERCUS ROBUR* L. AND *CERCIDIPHYLLUM JAPONICUM* SIEBOLD ET ZUCC. IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC TRANSFORMATION OF THE ENVIRONMENT

The paper presents some results of the research of green zones in Lviv Region. We studied different reactions of the studied tree species such as common oak and katsura to changes in the natural environment in connection with the trends in technogenesis, which were revealed in shear reactions of metabolic adaptation in different location and functional purposes of the green zones of Lviv and Dublyany. Technogenic emissions cause certain changes to phosphatization, alkalization and intensive soil contamination of urban areas with various types of chemicals and heavy metals as a result of human activity. In the course of our research, the differentiation of metabolic adaptations from the complex impact of the urbotechnogenic environment on plants was revealed. Current changes in the chemical composition of tree leaves were analyzed according to indicators of the content of heavy metals, nitrogenous and non-nitrogenous metabolites. Significantly more accumulation of the content of chemicals in the assimilation apparatus of common oak and katsura tree in the plantations in the studied territories was found, and also their species-specific features in terms of ash-accumulative capacity were clarified. Katsura tree appeared to be an efficient decorative tree species considering cleaning the environment from pollution, which should be introduced into the green areas of populated areas. Under the influence of the transformation of soil state and pollution, some structural and metabolic changes took place in the assimilative organs of woody plants, aimed at species adaptation to new for them environmental conditions. The common oak showed some signs of resistance of the metabolism of the assimilation organs to urbotechnogenic changes in the environment somewhat better than the introduced species. Therefore, the comparative characteristics of the two species enabled concluding that katsura tree showed plasticity in the structure and proportions of leaf metabolites, dynamically changed it in a new acclimatization environment and, at the same time, performed an effective metal accumulation function in the area of strong technogenic pollution, in particular, the environment of the city of Lviv.

Keywords: assimilation; heavy metals; plant adaptation; greening the city.