

Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ПОВОРОТНЯ МАРИНА МИКОЛАЇВНА

УДК 582.746.51:[504.5:621.311.22](477.63)

**ЕКОЛОГО-ФІЗІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ ВИДІВ РОДУ *ASER*
У ТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ
ДНІПРОПЕТРОВЩИНИ**

03.00.16 – екологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Дніпропетровськ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі фізіології та інтродукції рослин Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
Зайцева Ірина Олексіївна,
Дніпропетровський національний університет
імені Олеся Гончара,
кафедра фізіології та інтродукції рослин, професор

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
Парпан Василь Іванович,
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника, кафедра біології та
екології, завідувач

кандидат біологічних наук, старший науковий
співробітник,
Гришко Віталій Миколайович,
Криворізький ботанічний сад НАН України,
заступник директора з наукової роботи, завідувач
відділу фізіології рослин та біології ґрунтів

Захист відбудеться “___” _____ 2016 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.051.04 для захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук у Дніпропетровському національному університеті імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 72, корп. 17, факультет біології, екології та медицини, ауд. 711.

З дисертацією можна ознайомитись у Науковій бібліотеці Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України за адресою: 49050, м. Дніпропетровськ, вул. Казакова, 8.

Автореферат розісланий “___” _____ 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат біологічних наук, доцент

А. О. Дубина

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з найважливіших проблем екології є з'ясування механізмів стійкості й адаптації рослин за дії несприятливих факторів як природного, так й антропогенного генезису. Особливої актуальності ця проблема набуває у напівпосушливих районах степової зони з низьким рівнем залісненості, в яких головну роль з оптимізації екологічного стану мають відігравати деревні насадження. Потужним джерелом забруднення довкілля, а для Дніпропетровщини – найбільш вагомим чинником екологічної небезпеки виступають теплові електростанції (Жданов, 2008, Сердюк, 2008), у складі викидів яких значне місце посідають важкі метали, в тому числі Pb і Hg – найбільш токсичні і небезпечні для людини і навколишнього середовища. Екологічно безпечним шляхом зниження техногенного навантаження являється оптимізація стану зелених насаджень, основним компонентом яких у Степовому Придніпров'ї є клени.

Ефективність виконання захисної та середовищеперетворюючої функції зеленими насадженнями обумовлюється їх стійкістю, яка в степових умовах, згідно з основними положеннями теорії О. Л. Бельгарда (1971), насамперед визначається ступенем відповідності лісорослинних умов місцезростання екологічним потребам рослин і корелює зі стійкістю рослин та їх здатністю до поглинання і накопичення забруднюючих речовин в техногенних умовах (Коршиков, 1995, Кохно, 2004, Nagemeyer, 1996). На сьогодні досить повно вивчено роль *A. platanoides*, *A. tataricum* і *A. campestre* як компонентів природних фітоценозів у Степовому Придніпров'ї (Аксенова, 1975, Тарасов, 2005), окремих видів кленів у складі насаджень промислових підприємств та урбофітоценозів (Безсонова, 1998, Кохно, 1967), проте дані щодо функціонування кленів у штучних насадженнях в зоні безпосередньої дії токсичних викидів теплових електростанцій досить обмежені (Парпан, 2008, Миленька, 2008), а для Придніпровського регіону відсутні.

На сьогодні недостатньо вивчено екологічний потенціал дендрологічних ресурсів ботанічного саду ДНУ, зокрема видів роду *Acer* щодо впровадження їх у культурфітоценози техногенних та урбанізованих територій Дніпропетровщини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планами науково-дослідних робіт НДІ біології та кафедри фізіології та інтродукції рослин Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара у рамках держбюджетних наукових тем: «Фізіологічні основи стійкості деревних інтродуцентів до абіотичних стрес-факторів (2010 - 2012 рр., № ДР 0103U000345); «Фізіолого-біохімічні основи інтродукції деревно-чагарникових рослин у степовій зоні» (2008 - 2009 рр., № ДР 0108U000631).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи було встановити еколого-фізіологічні особливості стійкості видів кленів, їх фітомеліоративні функції в умовах впливу аерогенних полутантів теплових електростанцій, зокрема – найбільш екологічно небезпечних – Pb і Hg, та оцінити перспективність використання інтродукованих видів роду *Acer* в озелененні урбанізованих територій Степового Придніпров'я.

Для досягнення мети вирішували такі задачі:

- провести аналіз екологічної та структурно-функціональної ролі кленів в насадженнях культурфітоценозів степової зони;

- визначити роль видів роду *Acer* у формуванні захисних насаджень на промислових територіях урбанізованих ландшафтів на прикладі теплових електростанцій в умовах Степового Придніпров'я;

- визначити особливості акумуляції важких металів Pb і Hg та інших в ґрунтах та рослинних тканинах;

- визначити тест-параметри стійкості видів кленів до стресових гідротермічних умов та пріоритетних забруднювачів в зоні дії викидів ТЕС за показниками водного режиму, активності білкового та вуглеводного обмінів, антиоксидантної системи, морфоанатомічної структури вегетативних органів рослин;

- визначити фітофізіологічні параметри індикації рівня забруднення навколишнього середовища викидами ТЕС;

- оцінити адаптаційний потенціал нових інтродукованих видів кленів колекції ботанічного саду та рівень їх стійкості до пріоритетних забруднювачів теплових електростанцій;

- оцінити фітомеліоративний ефект видів роду *Acer* та визначити найбільш перспективні види для впровадження в урбофітоценози на екологічно небезпечних промислових територіях в зоні дії викидів теплових електростанцій в умовах Степового Придніпров'я.

Об'єкт досліджень – процеси адаптації кленів в насадженнях урбофітоценозів Степового Придніпров'я.

Предмет досліджень – вплив екологічних факторів та техногенного забруднення викидами ТЕС на екофізіологічні особливості видів роду *Acer*. Методологічною основою опрацювання результатів роботи є порівняльний аналіз даних у межах роду, емпірико-статистичний аналіз функціональних зв'язків досліджуваних параметрів, побудування математичної моделі.

Методи досліджень – екобіохімічні, морфоанатомічні, фізіологічні, експериментальні, статистичні, планування модельного експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше проведена кількісна оцінка токсичних металів Pb і Hg, як пріоритетних забруднювачів у складі викидів теплових електростанцій Дніпропетровщини на прикладі Придніпровської та Криворізької ТЕС. Установлено чутливі тест-параметри фізіологічного стану та метаболічної активності рослин для індикації ступеня техногенного навантаження на довкілля викидами ТЕС в умовах Степового Придніпров'я. Доведено, що за комплексної дії пріоритетних забруднювачів ТЕС та водно-температурного стресу, вирішальну роль у формуванні посухостійкості рослин відіграє білковий обмін, низькотемпературного стресу – кількісний та якісний склад неструктурних вуглеводів у пагонах, які забезпечують кріопротекторні властивості рослин.

Уперше виявлено чутливі до Pb і Hg елементи анатомічної структури пагонів кленів – перидерма, паренхіма і твердий луб, які можуть бути використані як діагностичні параметри рівня забруднення навколишнього середовища.

Уперше розроблено методологію кількісного аналізу стійкості деревних інтродуцентів роду *Acer* у колекційних насадженнях ботанічного саду та прогнозування їх реакції на вплив пріоритетних забруднювачів ТЕС, на основі чого

проведено оцінку можливостей їх залучення в культурфітоценози техногенних територій в умовах степової зони. Установлено ступінь біоремедіаційних властивостей окремих видів кленів, які базуються на акумулятивній здатності, стійкості до гідротермічного стресу та впливу Pb і Hg на метаболізм рослин.

Уточнено і розширено уявлення про характер впливу важких металів на рослини. Доповнено уявлення про виключну роль оксидативних ферментів, водорозчинних форм білків, неструктурних форм вуглеводів у формуванні стійкості до абіотичних стресових факторів.

Практичне значення отриманих результатів. На основі отриманих даних щодо стійкості рослин до урботехногенних та гідротермічних факторів Степового Придніпров'я рекомендовано асортимент видів кленів, які доцільно використовувати для озеленення промислових територій. Встановлено діагностичні критерії оцінки стійкості інтродукованих видів кленів та прогнозування їх стану в техногенних умовах. Розроблено рекомендації щодо використання нових видів кленів для підвищення ефективності функціонування системи озеленення техногенно забруднених територій та санітарно-захисних зон.

Результати досліджень використовуються у науково-дослідній роботі ботанічного саду та кафедри фізіології та інтродукції рослин факультету біології, екології та медицини Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара при викладанні дисциплін «Фізіологія та біохімія рослин», «Ландшафтна організація міських територій», «Фізіологія адаптацій рослин», «Фітоіндикація та фітомоніторинг стану довкілля».

Особистий внесок здобувача. Дисертація є повністю завершеною самостійною науковою роботою здобувача. На основі поставленої проблеми автором особисто виконано інформаційний пошук та аналіз наукової літератури, самостійно відібрано матеріал з різних пробних майданчиків міста та області, проведено експериментальні дослідження на базі лабораторії кафедри фізіології та інтродукції рослин Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара. Інтерпретовано експериментальний матеріал, проведено його статистичну обробку, формування висновків і практичних рекомендацій. У наукових працях висвітлено матеріали експериментальних досліджень дисертації. Права співавторів у спільних публікаціях не порушено.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались у доповідях VI міжнародної наукової конференції "Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку", (Донецьк, 2010), V міжнародній науково-практичній конференції "Урбоєкосистеми: проблемы и перспективы развития" (Ишим, 2010), міжнародній науковій конференції "Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах і дендропарках" (Київ, 2010), міжнародній науково-практичній конференції "Інноваційні агротехнології в умовах глобального потепління" (Мелітополь, 2009), XI конференції молодих вчених "Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів" (Київ, 2010), міжнародній конференції молодих вчених "Актуальні проблеми ботаніки та екології" (Ялта, 2010), II міжнародній науково-практичній конференції "Рослини та урбанізація" (Дніпропетровськ, 2011), II міжнародній науковій конференції

студентів, аспірантів та молодих учених "Фундаментальні та прикладні дослідження в біології" (Донецьк, 2011), у роботі XIII з'їзду Українського ботанічного товариства (Київ, 2011), у матеріалах XI міжнародної наукової конференції "Сахаровские чтения 2011: экологические проблемы XXI века" (Минск, 2011), всеросійській науковій конференції "Ботанические сады в современном мире: теоретические и прикладные исследования" (Москва, 2011), V міжнародній конференції молодих вчених "Біорізноманіття. Екологія. Адаптація. Еволюція." (Одеса, 2011), V міжнародній науковій конференції "Биологическое разнообразие. Интродукция растений" (Санкт-Петербург, 2011), всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів "Екологічна безпека держави" (Київ, 2013), міжнародній науково-практичній конференції студентів та молодих вчених "Актуальні питання теоретичної медицини" (Суми, 2013), V науково-практичній конференції "Біологічні дослідження – 2014" (Житомир, 2014), міжнародній науковій конференції "Інтродукція, збереження та моніторинг рослинного різноманіття" (Київ, 2014), міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми та перспективи досліджень рослинного світу" (Ялта, 2014).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 30 наукових робіт (18 з яких – самостійні), у тому числі 8 статей, 7 з яких входять до міжнародних наукометричних баз даних, 6 – статті у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого МОН України, 22 публікації – у матеріалах доповідей конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, списку використаних джерел (455 найменувань, з них 87 латиницею) і 2 додатків. Обсяг основного тексту 150 сторінок. Робота містить 44 рисунки, 44 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТІЙКОСТІ ВИДІВ РОДУ *ACER* ТА РОЛЬ ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ В ОПТИМІЗАЦІЇ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО І ТЕХНОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА

У розділі обґрунтовується перспективність інтродукції та впровадження в озеленення видів роду *Acer* в Україні. Надано комплексну біоекологічну характеристику видів роду Клен, їх систематику (Пояркова, 1949), морфологічні ознаки, аналіз природних ареалів зростання (Кохно, 1967), екологічну роль кленів у фітоценозах степової зони.

Розкрито роль місцевих видів кленів у формуванні природних лісів Степового Придніпров'я за типологічною схемою О. Л. Бельгарда (1950, 1971).

Розглянуто характер впливу хімічних поллютантів промислового середовища на метаболічні реакції рослин (Бессонова, 2005, Горелов, 1998, Демура, 2003, Жданов, 2008, Чемерис, 2007). Проаналізовано літературні дані щодо фітомеліоративної здатності рослин, що виражається коефіцієнтами накопичення, які складають для різних видів від 1,5 до 6,5 (Капелюш, 2009, Миленька, 2009) відносно різних важких металів. Показано, що найстійкішими і тривало діючими поллютантами є важкі метали, дія яких спричиняє окислювальний стрес у рослин (Иванов, 2003, Ernst, 1992, Nagemeyer, 1996). Описано вплив промислових емісій на морфо-фізіологічні параметри рослин.

Проведено аналіз складу та обсягів викидів найбільш екологічно небезпечних підприємств Дніпропетровщини – Придніпровської та Криворізької теплових електростанцій, пріоритетними забруднювачами яких є ртуть і свинець. Встановлено, що саме ТЕС є найпотужнішим джерелом забруднення компонентів біогеоценозів ртуттю серед усіх джерел антропогенного походження.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ, МЕТОДІВ ТА РАЙОНУ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Район досліджень за фізико-географічним районуванням належить до степової зони, за ґрунтово-кліматичним – до типового степу (Клімат України, 2003). Коефіцієнт зволоження становить близько 0,8, річна кількість опадів від 400 до 490 мм. Ґрунти представлені чорноземами звичайними мало- та середньогумусними різної потужності.

Гідротермічні умови періоду досліджень (2008-2010 рр.) були несприятливими для рослин. Середньомісячні температури перевищували норму на $+0,4^{\circ}\text{C}$ – $+5,4^{\circ}\text{C}$ протягом періоду вегетації, найбільше – у липні-серпні, кількість опадів була меншою за норму на 30-70 %, що обумовило настання глибокої посухи (рис. 1).

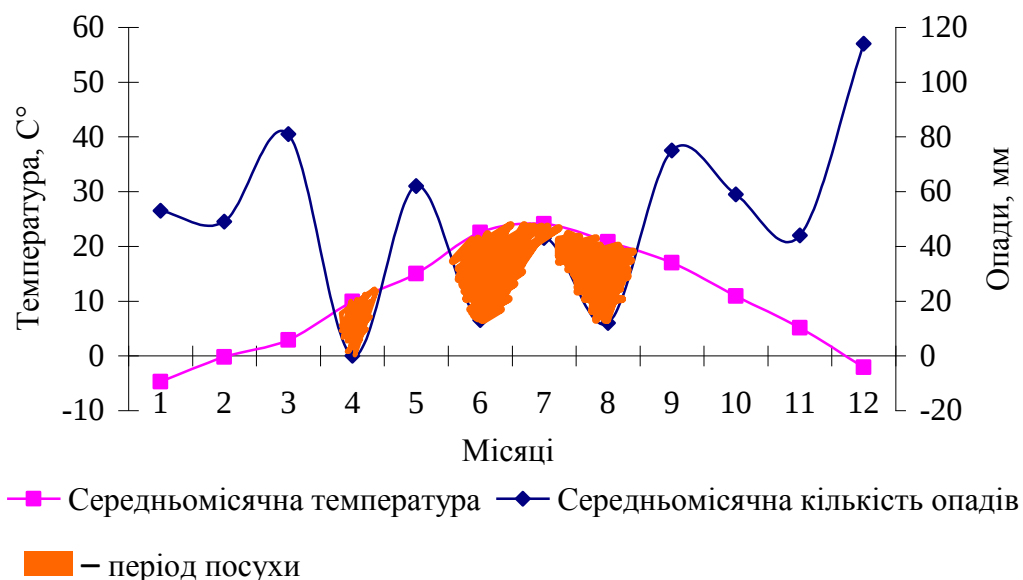


Рис. 1. Кліматограма за 2009 рік

Дослідження проводили на 6-ти пробних майданчиках міста і області, які обиралися за різним рівнем урбо- і техногенного навантаження: у зоні активного впливу викидів ТЕС – Криворізька ТЕС (I пр. м., м. Зеленодольськ), Придніпровська ТЕС (II пр. м., м. Дніпропетровськ) – 500 м від ТЕС; на різних відстанях від ТЕС у напрямку переважаючих вітрів – III пр. м. (4000 м, житловий масив «Сокіл», м. Дніпропетровськ), IV пр. м. (7000 м, с. Дослідне, м. Дніпропетровськ); за умов фонових рівня забруднення (V пр. м. – ботанічний сад ДНУ); в екологічно чистому районі (VI пр. м. – контроль, с. Зоряне Межовського р-ну Дніпропетровської обл.).

Об'єктами досліджень на V пр. м., у ботанічному саду ДНУ, служили 10 видів роду *Acer*, з яких три аборигенні (*A. platanoides* L., *A. tataricum* L., *A. campestre* L.), інші інтродуковані з різних регіонів: *A. pseudoplatanus* L. (Європа, Кавказ), *A. semenovii* Rgl. (Середня Азія), *A. ginnala* Maxim. (Далекий Схід, Китай),

A. monspessulanum L. (Південна Європа, Середземномор'я), *A. trautvetteri* Medw. (Кавказ), *A. saccharinum* L., *A. negundo* L. (Північна Америка). На інших пробних майданчиках об'єктами досліджень були: *A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. negundo* L. і *A. tataricum* L. на VI пр. м.

У ході виконання роботи були реалізовані основні етапи експериментальних досліджень, які полягають у визначенні параметрів анатомічної будови пагонів кленів, фізіологічних та біохімічних процесів за дії техногенних факторів. Фізіологічні дослідження проводили у динаміці протягом вегетаційного (однорічні пагони, листки) та осінньо-зимового періоду (пагони) відповідно до фаз сезонного росту і розвитку рослин. Для аналізів використовували сиру або суху вегетативну масу.

Відбір проб ґрунту проводили за методом конверта з кожної пробної ділянки відповідно до ГОСТ 17.4.3.01-83, для агрохімічних визначень – за ДСТУ 4287:2007. Визначення вмісту важких металів у ґрунтах і рослинах – Pb, Hg, Cu, Zn, Cd здійснювали методом атомно-адсорбційної спектрометрії на атомному спектрографі ААС-115-М1 у режимі роботи полум'я за ГОСТ 26932-86 (Рижук та ін., 2003, Основи..., 2000). Екстракцію важких металів проводили 2н розчином HCl (Методические указания..., 1981, Славин, 1971).

Водний режим рослин характеризували за показниками загальної обводненості листя, денного і залишкового водного дефіциту, інтенсивності транспірації ваговим методом (Шматько, 1985), водоутримуючу здатність листків визначали за методом «в'янення» (Кушниренко, 1975), оцінювали швидкість зміни ваги висічок у часі з наступною інтерпретацією кінетичних кривих водообміну (Безуглов, 1975) у відповідній модифікації для листків деревних порід (Зайцева, 2004). Фракційний склад води визначали з використанням 30%-вого розчину сахарози рефрактометричним методом (Гусев, 1978) з попереднім визначенням найбільш оптимальних строків експозиції висічок з листків кленів у гіпертонічному розчині. Осмотичний тиск тканин листків визначали рефрактометрично з використанням серії розчинів сахарози із зростаючим осмотичним потенціалом від 0,15 до 3,61 Мпа.

Білковий обмін рослин визначали за динамікою легкорозчинних білків у листках і пагонах. Кількісний вміст білків визначали за методом M. Bradford (1976) з використанням барвника кумасі блакитного і боратного буфера для екстракції білків.

Вміст форм неструктурних вуглеводів – суми цукрів, відновлюючих цукрів і сахарози – визначали об'ємним йодометричним методом за X. Н. Починком (1976).

Інтенсивність процесів біологічного окислення визначали за показниками активності ферментів антиоксидантної системи у свіжому рослинному матеріалі у 5-кратній повторності. Активність каталази визначали газометричним методом (Практикум, 1990), гваяколпероксидази – фотокolorиметричним методом з використанням субстрату гваяколу (Ніколайчук, 2005).

Для визначення анатомічної структури та гістохімії однорічних пагонів рослинний матеріал фіксували у 96 % етанолі у 5-ти повторностях (5 пагонів) з кожного виду. З кожної повторності аналізували по 5 поперечних зрізів. Зрізи забарвлювали у 5% спиртовому розчині флороглюцину та розчині Люголя (Пермяков, 1988).

Методом багатофакторного планованого експерименту визначали вплив ртуті і свинцю на водний режим та вміст білків у листках кленів. Закладали 4 варіанти досліду: контрольні витримували у дистилаті, три дослідні – у водних розчинах солей (Руководство, 2008) – $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (1й варіант), $\text{PbSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (2й варіант), у розчині сумішей цих солей (3й варіант). Концентрація діючої речовини у всіх розчинах складала 0,1 М (Пастухова, 2008). Відбір проб здійснювали на 4, 8 та 12 добу експерименту.

Побудування математичної моделі активності білок-синтезуючої системи рослин у відповідь на дію важких металів ртуті і свинцю здійснювали за допомогою програмного пакета Statistica 6.0.

Для розрахунку загальної акумулюючої здатності досліджуваних рослин проводили вимірювання морфометричних показників “модельних” (усереднених за величиною і габітусом) рослин, які зростають у складі масивних насаджень неповної зімкнутості напівосвітленої структури, тобто у стриятливих фітоценотичних умовах (Гришко, 2002, Врештак, 1992).

Математичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою статистичного та регресійного аналізу. Обчислення статистичних показників та кореляційного зв'язку між досліджуваними параметрами проводили за загальноприйнятими методами (Приседський, 1999) з використанням коп'ютерної програми MS Excel. Достовірність розрахованих параметрів визначали за допомогою критерію Стюдента на рівні значимості 0,05 та U-критерію Манна–Уїтні для малих виборок. Статистичні показники контрольних та дослідних груп порівнювали за допомогою критерію Фішера з урахуванням поправки Бонферроні (Гланц, 1999).

ВМІСТ МЕТАЛІВ У РІЗНИХ КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА УМОВ ТЕХНОГЕННОГО ПРЕСИНГУ

Найбільш небезпечними за кількістю та токсичністю викидів на території Дніпропетровської області серед 763 підприємств є Придніпровська ТЕС (ПдТЕС) та Криворізька ТЕС (КрТЕС), середньорічні сумарні викиди яких складають близько 85 та 146 тис тонн відповідно (Екологічний паспорт..., 2009, Регіональна доповідь..., 2010). Основним паливом для ТЕС являється вугілля, що містить у своєму складі велику кількість важких металів, у тому числі Pb, Hg, які відносяться I та II класу небезпеки. Вміст ртуті у вугіллі є незначним порівняно з іншими металами (табл. 1), проте відомо, що саме спалювання вугілля забруднює всі структурні компоненти біогеоценозів ртуттю, а також свинцем і кадмієм (Шувар, 2009). Сполуки ртуті є специфічною складовою викидів ТЕС і складають 65 % від загального обсягу антропогенного забруднення ртуттю навколишнього середовища. Викиди ТЕС щороку становлять більше 100 кг Hg та 15 т Pb, залежно від обсягів використаного вугілля (табл. 2).

Акумуляція важких металів ґрунтами і рослинами є показником екологічної небезпечності, так як ртуть та свинець мало піддаються детоксикації компонентами біогеоценозу. Едафотопи зони впливу ТЕС відзначаються підвищеним вмістом важких металів (більше за ГДК у 1,5-2,5 рази), порівняно з фоновим і контрольним (рис. 2).

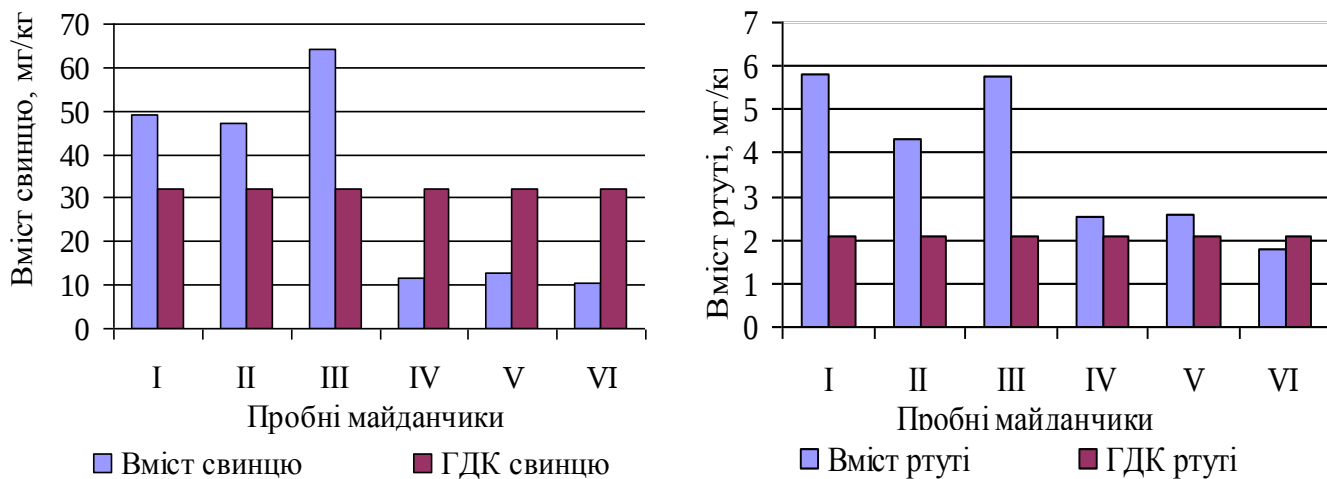
Вміст важких металів у вугіллі Придніпровської та Криворізької ТЕС

Досліджуваний елемент	ПдТЕС, мг/кг	КрТЕС, мг/кг
Цинк	32,82	29,89
Марганець	26,09	16,36
Свинець	7,47	8,59
Мідь	2,41	1,95
Миш'як	0,10	0,10
Кадмій	0,049	0,032
Ртуть	0,05	0,10

Обсяги викидів Pb та Hg тепловими електростанціями

ТЕС	Обсяги вугілля т/рік	Кількість металів у викидах ТЕС, т/рік	
		Pb	Hg
Криворізька	3 млн	25,77	0,30
Придніпровська	2 млн	14,94	0,10

Зростання вмісту важких металів у ґрунтах встановлено для локальних едафотопів КрТЕС (Hg – 5,83, Pb – 49,24, As – 10,89 мг/кг), ПдТЕС (Cd – 7,33 мг/кг) (рис. 2) та едафотопів на відстані 2 км (Hg – 8,44, Cd – 6,26 мг/кг) та 4 км від ПдТЕС (Hg – 5,77, Pb – 64,35 мг/кг). Вміст ртуті у ґрунтах за безпосереднього впливу викидів КрТЕС, порівняно з ПдТЕС, є більшим на 35% – 5,83 мг/кг, що обумовлено більшими обсягами використовуваного вугілля (табл. 2) та підтверджує виключну роль продуктів згоряння вугілля у забрудненні навколишнього середовища ртуттю. Максимальне зростання концентрації сполук ртуті встановлено для едафотопів на відстані 2 км від джерела забруднення (4 ГДК), для сполук свинцю – 4 км (2 ГДК). На відстані 7 км рівень вмісту досліджуваних металів у ґрунтах знижується до ГДК.



I пр.м. Криворізька ТЕС

II пр.м. Придніпровська ТЕС

III пр.м. 4 км від Придніпровської ТЕС

IV пр.м. 7 км від Придніпровської ТЕС

V пр.м. Ботанічний сад

VI пр.м. Контроль

Рис. 2. Вміст ртуті і свинцю в едафотопах Дніпропетровщини на різних пробних майданчиках

Рослинні компоненти екосистем активно поглинають інгредієнти промислових викидів. Диференційна металакумулююча здатність вегетативних органів кленів, крім видових особливостей, обумовлюється концентрацією важких металів у ґрунтах, на що вказує наявність кореляційних зв'язків між акумуляцією важких металів листками кленів та вмістом їх у ґрунтах: відносно ртуті $R=0,74$, свинцю – $R=0,63$.

У листках кленів на відстані 0,5 км від ТЕС (II пр.м.) найбільшу акумулюючу здатність до Pb мають *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, коефіцієнт накопичення яких 4,5 та 5,7 відповідно, до ртуті – *A. saccharinum* – 8,8 (табл. 3). На відстані 4 км від ТЕС (III пр. м.), де розташований житловий масив, встановлено максимальний рівень накопичення важких металів як едафотопами, так і листками кленів. Найкращою вибірковою здатністю до акумуляції свинцю характеризується *A. pseudoplatanus* (з коефіцієнтом накопичення свинцю 9,3), ртуті – *A. platanoides*, (9,0).

Таблиця 3

Коефіцієнти накопичення важких металів листками кленів на різних відстанях від джерела забруднення

Вид	Пробний майданчик	Коефіцієнт накопичення			
		Hg	Pb	Cd	As
<i>A. platanoides</i>	II (500 м)	3,13	4,50	1,80	2,08
	III (400 м)	9,00	5,50	3,13	2,28
	IV (7000 м)	3,38	3,80	1,73	2,09
<i>A. pseudoplatanus</i>	II (500 м)	2,50	5,71	4,50	6,00
	III (400 м)	4,38	9,29	4,25	4,00
	IV (7000 м)	2,63	5,00	3,75	2,58
<i>A. saccharinum</i>	II(500 м)	8,75	2,08	1,71	4,20
<i>A. negundo</i>	II (500 м)	3,57	2,92	2,08	3,86
	III (400 м)	6,43	4,17	1,42	9,14
	IV (7000 м)	5,00	3,50	1,67	3,14

Акумуляція важких металів листовими платинками кленів за умов фонових забруднень міста (ботанічний сад) не перевищує 0,15 мг/г сух. реч. Найменший вміст у листках встановлено для Hg – від 0,04 до 0,08 мг/г, вміст інших важких металів (Pb, Cd, As) варіює в діапазоні від 0,07 до 0,15 мг/г. Перевищення вмісту вище зазначених величин у листках порівняно з фоновією територією встановлено до 5-8 разів на I пр. м. (Криворізька ТЕС) та II пр. м. (Придніпровська ТЕС).

Hg-акумулююча здатність вегетативних органів кленів проявляється достовірним ($p < 0,05$) зростанням концентрацій у 3 – 8 разів (до 0,20 – 0,35 мг/г на I, II пр. м.) та до 14 разів на відстані 4 км (до 0,35 – 0,72 мг/г) (рис. 3).

Перевищення вмісту свинцю і кадмію – у 2 – 6 разів (до 0,45 мг/г), а миш'яку – у 3 – 5 разів (до 0,72 мг/г) на I, II пр. м.

Максимальні перевищення фонових концентрацій Hg, Pb, Cd, As у листках видів роду *Acer* встановлено на 4-кілометровій відстані до Придніпровської ТЕС (III пр. м.): Hg – до 14 разів (*A. platanoides*: 0,05 мг/г на V пр. м., 0,72 мг/г на III пр. м.) (рис. 3), Pb – до 9 разів (*A. pseudoplatanus*: 0,07 мг/г та 0,65 мг/г), Cd – до 4 разів (*A. pseudoplatanus*: 0,08 мг/г та 0,34 мг/г), As – до 9 разів (*A. negundo*: 0,07 мг/г та 0,64 мг/г відповідно). На 7-кілометровій відстані від Придніпровської ТЕС (IV пр. м.) перевищення вмісту Cd, As у листках кленів варіює в діапазоні 160–250 %, Hg, Pb – 400–600 %, що на 10–50 % менше за вміст даних металів на відстані 500 м від джерела забруднення.

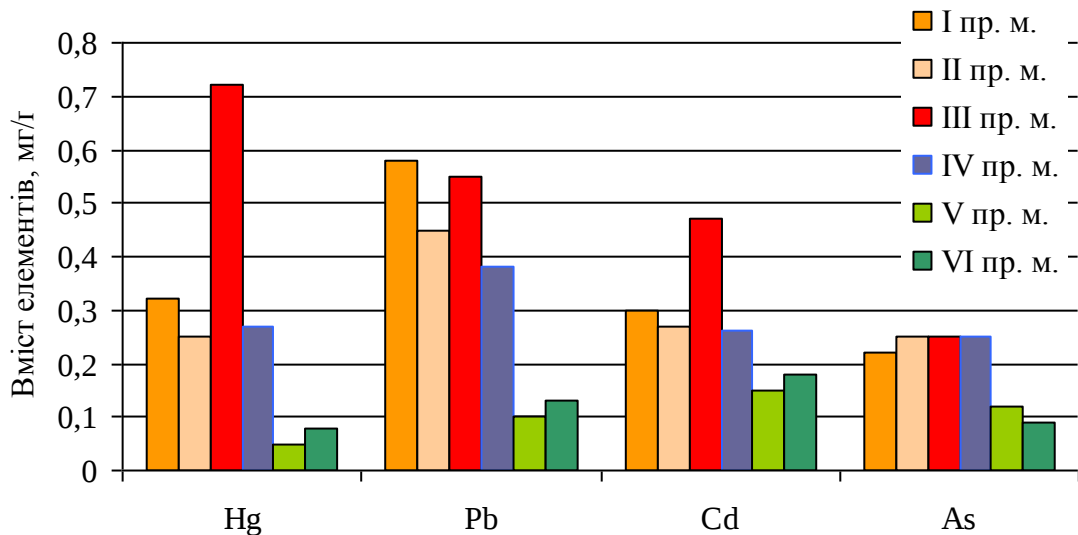


Рис. 3. Вміст важких металів у листках *A. platanoides*

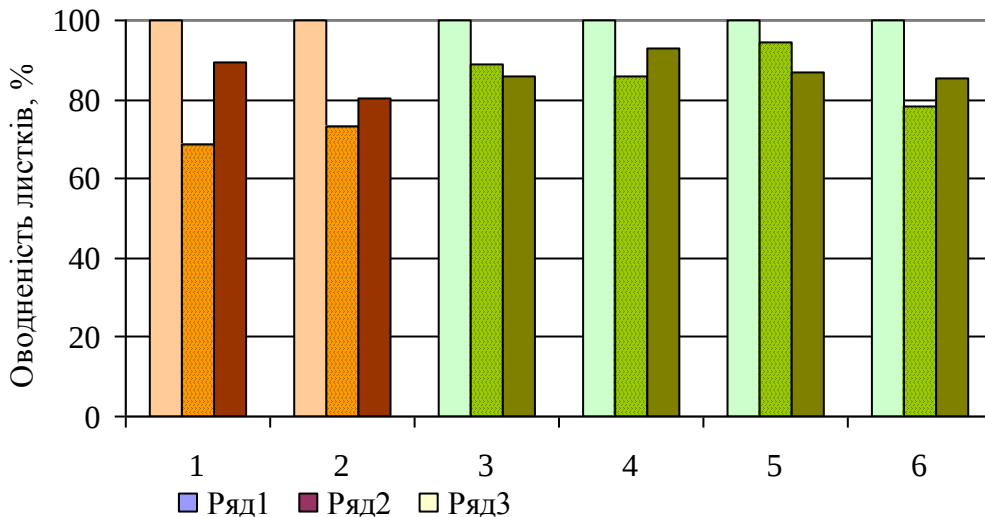
Встановлено наявність потужного техногенного пресингу інгредієнтів викидів ТЕС на відстанях до 7 км на компоненти біогеоценозу.

ОСОБЛИВОСТІ ВОДООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ВИДІВ РОДУ *ACER* ЗА ДІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ТА ВИКИДІВ ТЕС

В умовах фонового забруднення за показниками загального рівня оводненості тканин клени проявляють себе як мезофітні (*A. pseudoplatanus*, *A. negundo*, *A. campestre*, *A. trautvetteri* із загальним вмістом води 74,33 %–68,67 %), мезоксерофітні (*A. platanoides*, *A. saccharinum*, *A. ginnala*, *A. monspessulanum* – 65,47 %–64,33 % води) та ксерофітні види (*A. tataricum*, *A. semenovii*) із вмістом води 56,61 % і 61,73 % за умов достатнього вологозабезпечення.

Під час тривалої посухи (червень-серпень) у видів першої групи оводненість знижується поступово – на 8–18 % від загального рівня оводненості, а при гострому водному стресі відбувається швидке і більш значне зневоднення тканин – на 17–25%, що свідчить про недостатню адаптованість цих порід. У видів ксерофітної групи під час тривалої посухи відбувається значне зниження вмісту води – на 25–30 % і оводненість досягає найнижчих значень серед усіх досліджуваних видів (33,95 % та 43,26 % відповідно). Проте за умов гострого водного стресу у даних видів втрачається менша кількість води (10–20 %) (рис. 4), тобто ці види є більш пристосованими до умов нестійкого зволоження у степовій зоні. За цією ознакою до групи найбільш стійких видів можна віднести і *A. monspessulanum*, у якого при досить високому загальному рівні оводненості листків реакція на тривалий та короткочасний водний стрес схожа з видами *A. tataricum* і *A. semenovii* (рис. 4); інші види характеризуються помірним зниженням рівня водненості.

В умовах промислового забруднення встановлено підвищення вмісту води на 6–20 % при достатньому вологозабезпеченні, тоді як при настанні глибокої посухи відбувається зневоднення (на 10–15 %) порівняно з умовним контролем. Максимальне зниження рівня загальної оводненості за сумісної дії посухи і поллютантів відзначено для *A. saccharinum*.



1 - *A. tataricum*, 2 - *A. semenovii*, 3 - *A. platanoides*, 4 - *A. saccharinum*,
5 - *A. ginnala*, 6 - *A. monspessulanum*

Рис. 4. Оводненість листків у серпні відносно початкового вмісту води у червні (ряд 1) після тривалої посухи (ряд 2) та посухи після достатнього зволоження (ряд 3) у видів кленів в умовах ботанічного саду ДНУ

Водний дефіцит більшості видів ботанічного саду становить близько 20 %, що характеризує їх як достатньо витривалі. Деякі клени мають підвищений ВД (*A. platanoides*, *A. tataricum*, *A. semenovii*, – 40,4; 30,3; 34,3 % відповідно), наряду з високою інтенсивністю транспірації (81,6; 51,0; 85,2 гН₂О/год·м²). *A. negundo*, *A. campestre*, *A. monspessulanum*, *A. trautvetteri*, *A. pseudoplatanus* характеризуються збалансованістю водного режиму, про що свідчить низький водний дефіцит (17,6–21,3 %) при інтенсивній транспірації (74,4–121,2 гН₂О/год·м²). На промисловій території відзначено достовірне збільшення водного дефіциту на 144–197 %, крім *A. platanoides*, інтенсивності транспірації – на 11–145 %.

Встановлено підвищення водоутримуючої здатності тканин в умовах техногенної зони ПдТЕС у 1,5-3 рази у *A. negundo* і *A. platanoides*, що може бути обумовлено зростанням осмотичних властивостей клітин внаслідок накопичення ексклатів у внутрішньоклітинному середовищі.

Порівняльний аналіз вмісту форм зв'язаної і вільної води у листках видів роду *Acer* показав, що у зоні впливу викидів ТЕС вміст фракцій зв'язаної води зростає на 13 % у *A. pseudoplatanus* і знижується у північно-американських видів на 30–47 %, що вказує на їх недостатню стійкість до важких металів (табл. 4).

Осмотичний потенціал всіх видів II пр. м. достовірно зростає на 31–43 %, порівняно V пр. м. (фоновий рівень) і варіює в діапазоні 0,46–0,90 моль, що наряду зі зниженням швидкості загальної водовіддачі формує стійкість кленів до гідротермічного стресу, який підсилюється забрудненням.

В умовах промислового забруднення відмічається тенденція до збереження обводненості листя та водоутримувальної здатності кленів. Ця особливість позитивно позначається на стійкості рослин до стресових умов навколишнього середовища.

Фракційний склад води у тканинах листя кленів за різних умов забруднення

	Вміст зв'язаної води,	Вміст вільної води, %
Види, що зростають на території з фоновим рівнем забруднення		
<i>A. platanoides</i>	66,25 ± 6,56*	33,75 ± 2,54*
<i>A. pseudoplatanus</i>	60,11 ± 4,22	39,89 ± 1,55
<i>A. saccharinum</i>	82,34 ± 2,32	17,66 ± 2,98
<i>A. negundo</i>	83,96 ± 3,64	16,04 ± 2,13
<i>A. campestre</i>	76,82 ± 4,65	23,18 ± 1,44
<i>A. tataricum</i>	57,02 ± 3,84	42,98 ± 2,58
<i>A. trautvetteri</i>	64,86 ± 4,52	35,14 ± 3,31
<i>A. semenovii</i>	85,88 ± 4,11	14,12 ± 1,06
<i>A. ginnala</i>	74,90 ± 5,29	25,10 ± 2,44
<i>A. monspessulanum</i>	74,04 ± 4,04	25,95 ± 1,07
Види, що зростають на території Придніпровської ТЕС		
<i>A. platanoides</i>	69,76 ± 2,29*	30,24 ± 2,98*
<i>A. pseudoplatanus</i>	68,48 ± 2,03	31,52 ± 2,53
<i>A. saccharinum</i>	43,71 ± 1,41	56,29 ± 1,09
<i>A. negundo</i>	59,15 ± 3,37	40,85 ± 2,21

Примітка * – $t_{\text{досл}}/t_{\text{табл}} \leq 1$ різниця статистичних параметрів контролю та дослідів не достовірна

МЕТАБОЛІЗМ КЛЕНІВ ЗА УМОВ ВПЛИВУ РТУТІ, СВИНЦЮ ТА ІНШИХ ІНГРЕДІЄНТІВ ВИКИДІВ ТЕС

Толерантність до важких металів як результат взаємодії генотипу з навколишнім середовищем, обумовлює в першу чергу фізіологічні та біохімічні зміни в рамках відгуку рослин на токсичний вплив. За дії техногенних чинників констатовано достовірне зростання вмісту водорозчинних фракцій білків у листках порівняно з фоновією та контрольною територіями (рис. 5).

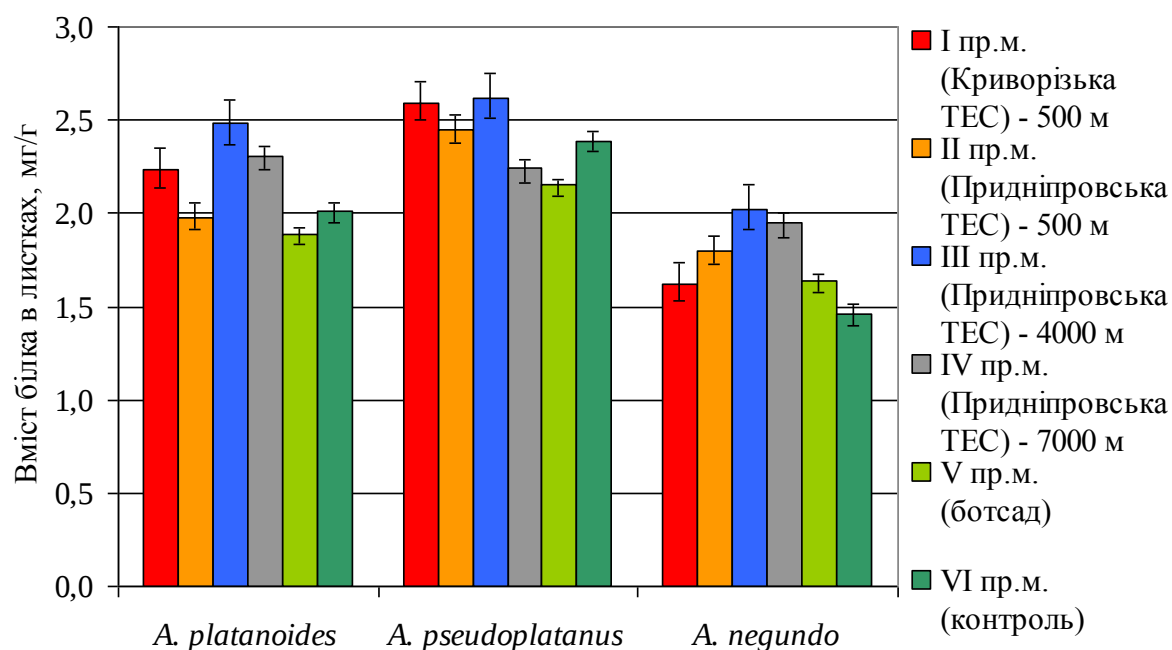


Рис. 5. Вміст білків у листках кленів за умов різного рівня забруднення

Максимальний вміст білків відзначено у листках видів *A. pseudoplatanus*, *A. platanoides* з I і III пр. м. (2,23–2,62 мг/г). Встановлено наявність тісних прямих кореляційних зв'язків між акумуляцією важких металів листками та вмістом у них білків. Найвищий коефіцієнт кореляції виявлено між вмістом білків та концентрацією Pb у листках *A. pseudoplatanus* (0,89), між вмістом білків та концентрацією Hg у листках *A. pseudoplatanus*, *A. platanoides*, *A. negundo* (0,77–0,79). Вміст білків у листках даних видів можна використовувати як тест-параметр для визначення рівня забруднення навколишнього середовища ртуттю та свинцем.

За умов фонових забруднень при гідротермічному стресі високий вміст білків у листках спостерігається у посухостійких видів *A. tataricum*, *A. saccharinum*, *A. monspessulanum*, *A. ginnala*, що обумовлює і підвищення осмотичного потенціалу. При оптимізації гідротермічних умов вміст білка у листках всіх видів ботанічного саду, крім *A. negundo*, знижується, що доводить адаптивну роль білків у період посухи.

В умовному контролі (ботанічний сад) виявлено подібний характер динаміки вмісту білків у листках *A. negundo* і *A. tataricum* та *A. trauvetteri*, *A. pseudoplatanus* та *A. campestre*, *A. platanoides* та *A. monspessulanum*, що вірогідно є проявом закону гомологічних рядів на фізіологічному рівні. На основі цього можна прогнозувати в інтродуцентів колекції ботанічного саду відповідний характер білкового обміну і на промисловій території.

Вміст білків у пагонах кленів в умовах високого рівня техногенного впливу на початку вегетації нижчий на 25–40 % (1,14–1,61 мг/г), ніж за умов фонових забруднень (1,60–2,33 мг/г). У липні і серпні, під впливом сумісної дії посухи та інгредієнтів викидів ТЕС, у *A. negundo* і *A. platanoides* вміст білків у пагонах зростає на 6–17 % (до 1,71–2,67 мг/г), порівняно з V пр. м.

Вміст неструктурних форм вуглеводів у листках *A. platanoides*, *A. saccharinum* промислового майданчика в період посухи достовірно знижується до 2 разів, порівняно з фоновим забрудненням та незначно зростає (на 15 %) у *A. negundo* (рис. 6).

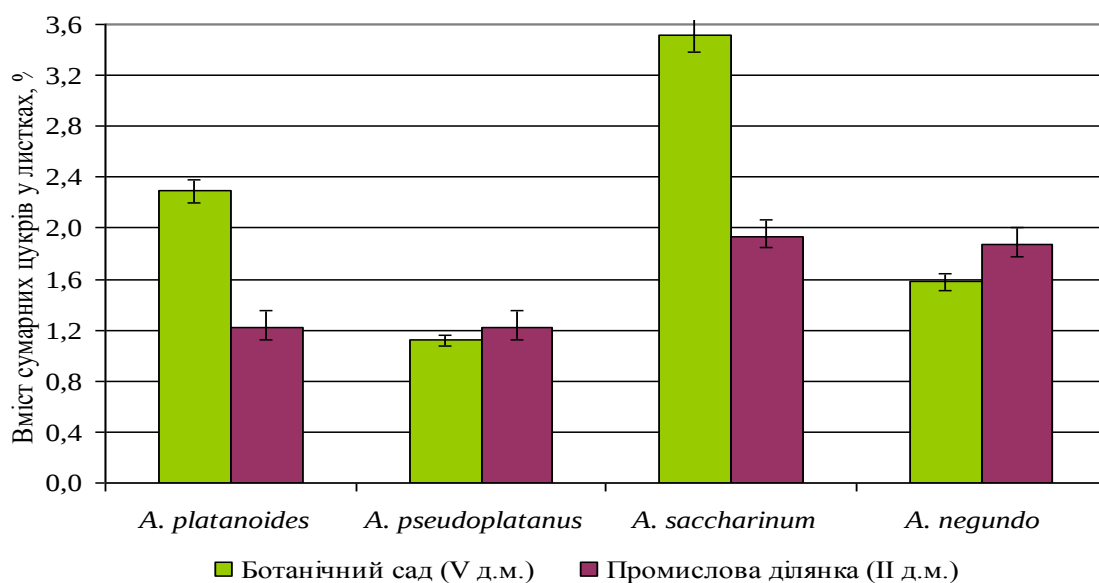


Рис. 6. Вміст сумарних цукрів у листках за умов різного рівня забруднення в період посухи

В умовах фонового забруднення найбільше підвищення вмісту цукрів в період посухи відзначено в листках *A. campestre*, *A. platanoides*, *A. saccharinum* (2,29–3,52 %). Протягом періоду вегетації низький вміст сумарних цукрів встановлено для посухостійких видів (0,43–2,01 %). В період гідротермічного стресу вміст цукрів у пагонах знижується, а в листках зростає, тобто затримується відтік асимілятів, що є адаптивною реакцією (рис. 7).

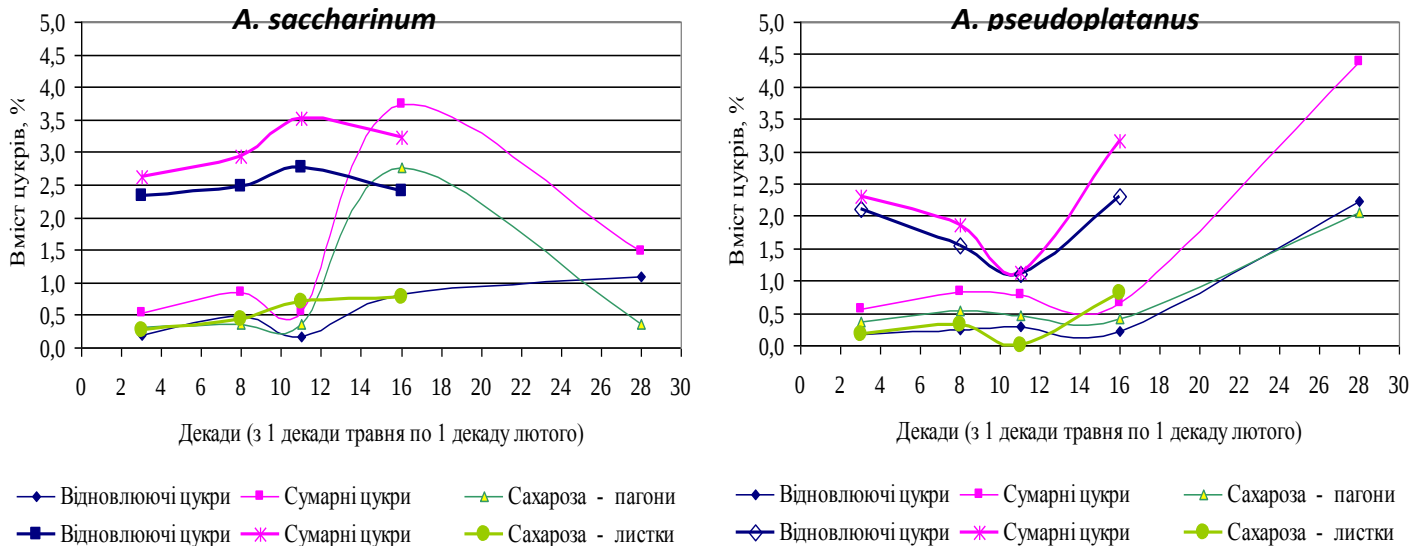


Рис. 7. Динаміка вмісту фракцій неструктурних вуглеводів у листках і пагонах кленів

Підвищення вмісту сумарних цукрів у пагонах всіх видів кленів в умовах різного рівня забруднення в період відносного спокою у 2–5 разів (до 4,73 %), порівняно з іншими періодами (0,20–1,58 %) підтверджує виключну роль неструктурних форм вуглеводів у формуванні зимостійкості. Встановлено, що зростання вмісту цукрів відбувається за рахунок відновлюючих форм.

Активність окисно-відновних ферментів (каталази і пероксидази) у листках кленів у зоні впливу ПдТЕС зростає до 3-х разів порівняно з фоновією територією. Більшою мірою активується каталаза з максимальними показниками у видів *A. pseudoplatanus* та *A. platanoides* (432 та 519 мкМоль H_2O_2 /г·хв), активність пероксидази варіює в діапазоні 5,85–43,48 мкМоль гваякола/г·хв (табл. 5).

Підвищення активності як каталази, так і пероксидази є показником наявності окисативного стресу для рослин і може бути використано як діагностичний параметр рівня техногенного забруднення.

В умовах ботанічного саду більша активність каталази притаманна видам з мезофітними властивостями, нижча – для видів з мезоксерофітними властивостями.

За особливостями реакції антиоксидантної системи встановлено сходний рівень каталазної активності видів, що представлені і на контрольних, і на промислових майданчиках з видами роду *Acer* колекційного фонду ботанічного саду, наприклад *A. saccharinum* і *A. semenovii*, *A. tataricum*; *A. pseudoplatanus* і *A. campestre*; *A. negundo* і *A. monspessulanum*. У видів родового комплексу *Acer*, споріднених за філогенетичним походженням, але приурочених до різних екоотопів природного зростання, у стресових екологічних умовах району досліджень спостерігається фенотипічний прояв сходних відповідних реакцій.

Активність окисно-відновних ферментів у листках видів роду *Acer*

Вид	Активність каталази, мкМольН ₂ О ₂ / г·хв.	Активність пероксидази, мкМоль гваякола/г·хв.
Ботанічний сад (V пр. м.)		
<i>A. platanoides</i>	325,28 ± 7,84	3,89 ± 0,52
<i>A. pseudoplatanus</i>	261,17 ± 9,86	28,95 ± 2,39
<i>A. saccharinum</i>	97,20 ± 5,63	5,64 ± 0,27*
<i>A. negundo</i>	53,66 ± 3,97	34,72 ± 1,15
<i>A. tataricum</i>	95,74 ± 6,30	9,65 ± 0,55
<i>A. campestre</i>	216,46 ± 15,74	14,37 ± 1,30
<i>A. monspessulanum</i>	40,29 ± 2,45	4,41 ± 0,24
<i>A. trautvetteri</i>	218,48 ± 5,00	14,03 ± 1,59
<i>A. ginnala</i>	140,28 ± 4,40	9,55 ± 0,48
<i>A. semenovii</i>	103,70 ± 9,01	2,07 ± 0,38
Придніпровська ТЕС (II пр. м.)		
<i>A. platanoides</i>	519,01 ± 5,82	6,86 ± 0,57
<i>A. pseudoplatanus</i>	431,79 ± 11,68	37,34 ± 6,77
<i>A. saccharinum</i>	305,99 ± 8,94	5,85 ± 0,93*
<i>A. negundo</i>	24,40 ± 0,88	43,48 ± 0,27

Примітка * – $t_{\text{досл}}/t_{\text{табл}} \leq 1$ різниця статистичних параметрів контролю та дослідів не достовірна

АНАТОМІЧНА БУДОВА ПАГОНІВ КЛЕНІВ НА ТЕРИТОРІЯХ З РІЗНИМ РІВНЕМ ЗАБРУДНЕННЯ

В умовах впливу викидів ТЕС спостерігаються достовірні зміни співвідношень гістологічних параметрів однорічних пагонів кленів, спрямованих на посилення ксероморфних ознак. Потовщення покривної тканини обумовлено її захисними функціями. Найістотніше збільшення шару перидерми відзначено для *A. pseudoplatanus* – у 1,5 разів (84,7 мкм), порівняно з фоною територією (55,8 мкм), коленхіми – до 30 % (до 78,5–98,1 мкм у різних видів). Відзначено потовщення м'якого лубу у мезофітних видів *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*: від 106 до 175 мкм та від 108 до 122 мкм на V та II пр. м. відповідно. Товщина деревини зменшується у зоні дії ТЕС, найбільшою мірою у *A. saccharinum* (на 23,2 %).

Кількість судин знижується на 19–40 % (найбільше у *A. platanoides* – з 48 до 28), зменшується їх діаметр на 14–24 % (з 23–30 до 19–28 мкм). У всіх видів з промислової ділянки простежується зменшення діаметру судин.

Відзначено підвищення відносного вмісту запасного крохмалю у пагонах кленів території ПдТЕС (3,00–4,25 балів за 5-ти бальною шкалою), порівняно з видами колекції ботанічного саду (2,00–3,80 балів), як реакція адаптації на техногенний стрес.

ВПЛИВ РТУТІ ТА СВИНЦЮ НА МЕТАБОЛІЗМ РОСЛИН РОДУ *ACER* У МОДЕЛЬНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ

У модельному експерименті досліджували вплив окремих факторів (Hg, Pb, Hg+Pb) на динаміку вмісту білків у листках кленів в залежності від часу впливу. В ході модельного експерименту встановлено інгібуючий вплив на білоксинтезуючу систему у перші 4 доби дослідження. Особливо чітко це простежується відносно ртуті (рис. 8). Відзначена особливість відноситься до первинної індуктивної стресової реакції за теорією Г.Сельє (1979). Стосовно дії свинцю, такої чіткої залежності не спостерігається. При подальшій дії стрес-факторів відбувається стабілізація вмісту білка у листках кленів, який у деяких видів досягає рівня контролю і навіть перевищує його, що визначається як фаза репарації (тобто адаптації). При цьому напруженість водного стану клітин зростає (водний дефіцит на 4 добу варіює в діапазоні 19–51 %, 8 добу – 30–61 %, 12 добу – 58–74 %).

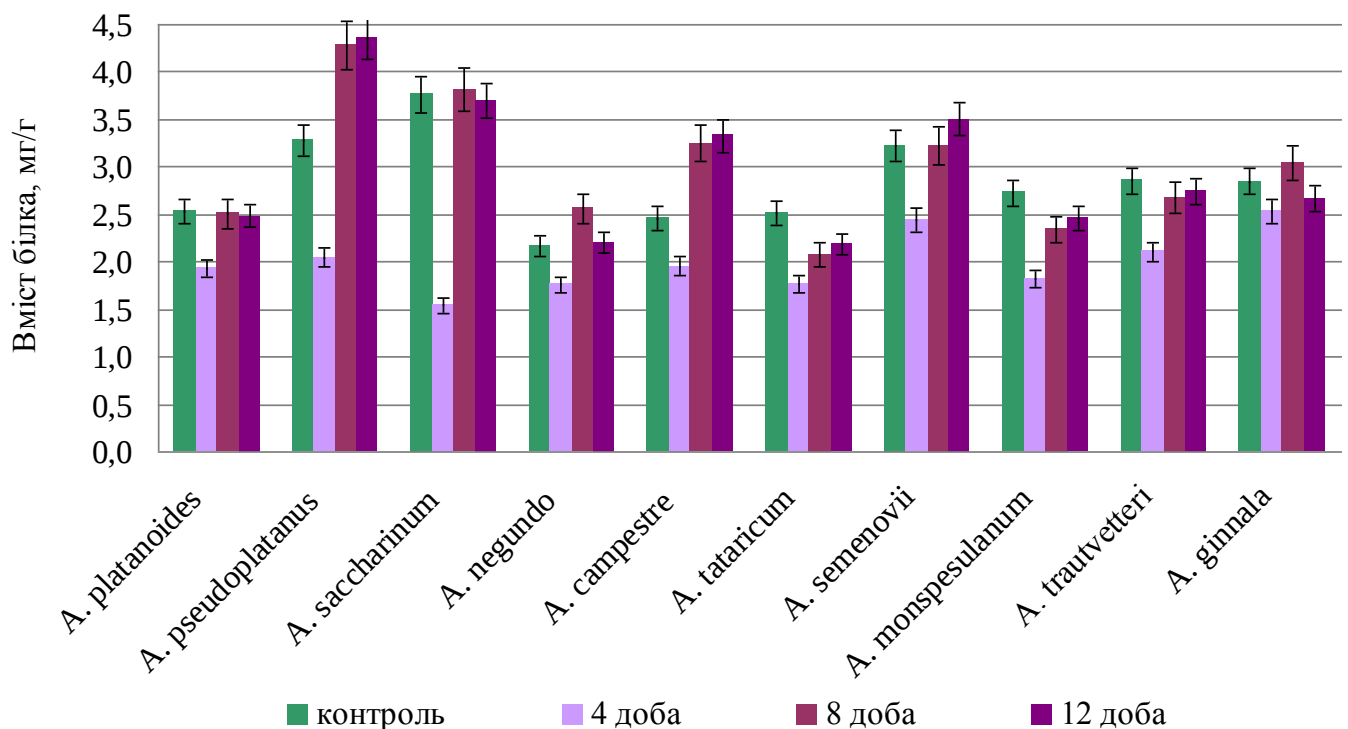


Рис. 8. Характер впливу ртуті на вміст легкокорозчинних білків у листках кленів у модельному експерименті

Коефіцієнти регресійних рівнянь показують, що пригнічуючий вплив Hg на вміст білків у листках у 2-10 разів потужніший за вплив іншого фактору – Pb відповідної концентрації та до 100 разів – фактору сумісного впливу ($\text{Hg}^{2+} + \text{Pb}^{2+}$). Токсичний вплив ртуті на білковий обмін обумовлюється зв'язуванням Hg^{2+} з сульфгідратними групами білкових молекул і їх блокуванням (Скугорева, 2006).

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВИДІВ РОДУ *ACER* З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ СТАНУ ТЕХНОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА

Оцінка фітоіндикаційних можливостей рослин у районах з підвищеним техногенним навантаженням обумовлюється їх акумулюючою здатністю. В якості рослин – біоіндикаторів забруднення середовища викидами ТЕС можна рекомендувати *A. platanoides* – на фоні найбільш інтенсивного безпосереднього

впливу викидів КрТЕС (100–500 м), *A. saccharinum* – відповідно, в зоні безпосередньої дії викидів ПдТЕС (100–500 м), *A. negundo* – на середніх і далеких відстанях від ТЕС (4000 м, 7000 м) за критерієм вмісту важких металів у листках.

Величина і ефективність фільтрації повітря від шкідливих домішок визначається передусім площею листового апарату і обсягами безпечного накопичення токсикантів в листках, які є індивідуальними для кожного виду рослин. Кількісна оцінка загальних біометричних характеристик (фітомаси, об'єму крони) показує, що в середньому найбільшу фітомасу розвивають *A. pseudoplatanus* і *A. saccharinum* (283 та 251 кг/на дерево), які характеризуються високою щільністю крони, більшими розмірами крони і листків. Дещо нижчі показники у *A. platanoides*, *A. campestre* і *A. trautvetteri* – 182, 199 та 98 кг/д. До групи з невеликими обсягами накопиченої фітомаси слід віднести *A. negundo*, *A. tataricum*, *A. monspessulanum*. Найнижчі значення фітомаси у *A. semenovii* і *A. ginnala* (10 та 7 кг/д.).

Найбільша кількість Hg і Pb на I, II, III пр. м. акумулюється рослинами *A. pseudoplatanus*. В умовному контролі провідна роль у накопиченні металів належить *A. saccharinum*. Перспективними при створенні фітомеліоративних насаджень можна вважати стійкі *A. negundo* і *A. platanoides* з високими акумулятивними здатностями.

Серед видів колекції ботанічного саду можна прогнозувати високий фітомеліораційний потенціал *A. tataricum*, *A. monspessulanum*, *A. semenovii*. Впровадження цих видів у склад захисних та озеленувальних насаджень у техногенних умовах південно-східної України дозволить оптимізувати просторову структуру насаджень, підвищити їх декоративно-естетичні та фітомеліоративні функції.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі з позиції системного підходу узагальнено теоретичну базу щодо питання дослідження впливу антропогенних та екологічних факторів довкілля на деревні рослини на прикладі кленів. Досліджено та отримано практичні результати з рекомендаціями щодо збереження біорізноманіття в умовах техногенного навантаження.

1. Проведено аналіз екологічної та структурно-функціональної ролі кленів в природних і штучних насадженнях культурфітоценозів степової зони. Визначено виключну роль кленів, зокрема *A. platanoides*, *A. campestre*, у підтриманні лісового типу фітоценозу, *A. tataricum* – у напівосвітлених насадженнях. Провідну роль в озелененні промислових територій відіграють *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. negundo*.

2. Встановлено максимальний рівень забруднення едафотопів інгредієнтами викидів теплових електростанцій – ртуттю та свинцем – на відстані 2 – 4 км від джерела забруднення (житловий масив) з перевищенням рівня ГДК по Hg у 4 рази, по Pb – у 2 рази. Показано високий рівень акумулятивної здатності кленів, встановлено наявність кореляційних зв'язків між акумуляцією важких металів листками кленів та вмістом їх у ґрунтах: відносно ртуті R=0,74, свинцю – R=0,63. Найкращою вибірковою здатністю відносно свинцю характеризується *A. pseudoplatanus* (з коефіцієнтом накопичення 9,3), ртуті – *A. platanoides*, (з

коефіцієнтом накопичення 9,0), що сприяє вилученню з навколишнього середовища токсикантів.

3. Установлено, що антропогенні та екологічні чинники індукують водний стрес у інтродукованих і аборигенних видів кленів, що виражається у зниженні загального рівня оводненості на 5 – 15 % у результаті підвищення інтенсивності транспірації – до 87 %, що спричинює в свою чергу підвищення денного водного дефіциту до двох разів та осмотичного потенціалу – до 30 %. Стійкий рівень оводненості характерний для *A. pseudoplatanus*. Визначено, що адаптивною реакцією рослин до ксеротермних умов, що підсилюються поллютантами, виступає збільшення фракції зв'язаної води на промисловій ділянці до трьох разів у *A. saccharinum* в порівнянні з видами умовно чистої зони за рахунок збільшення вмісту осмотично активних речовин.

4. Експериментально підтверджено протекторну роль білків при гідротермічному стресі та, особливо, за сумісного впливу техногенного навантаження. В умовах посухи високий вміст білків встановлено для *A. tataricum*, *A. saccharinum*, *A. monspessulanum*, *A. ginnala*. Максимальний вміст білків у пагонах всіх досліджуваних видів (від 1,7 до 2,9 мг/г) відзначено у фазах фізіологічного та відносного спокою. Гідротермічний стрес індукує зростання вмісту білка у *A. pseudoplatanus*, *A. negundo*, *A. campestre*, *A. monspessulanum*, що підтверджує важливу осмотичну роль білків. На промисловому майданчику підвищення вмісту білків до 25 % виявлено у *A. negundo* (від 1,5 до 2,0 мг/г). Найбільш стабільними є метаболічні процеси у *A. pseudoplatanus*, що виражається високим вмістом та вузьким діапазоном коливань показників білкового обміну на різних промислових ділянках (від 2,2 до 2,6 мг/г), і є показником високої стійкості до промислових емісій.

5. Встановлено наявність тісних прямих кореляційних зв'язків між акумуляцією важких металів листками та вмістом у них білків. Найвищий коефіцієнт кореляції (0,89) виявлено між вмістом білків та концентрацією Pb у листках *A. pseudoplatanus*, між вмістом білків та концентрацією Hg (0,77–0,79) у листках *A. pseudoplatanus*, *A. platanoides*, *A. negundo*., що можна використовувати як діагностичний параметр при визначенні рівня забруднення навколишнього середовища ртуттю та свинцем.

6. Визначено осмопротекторну роль сумарних цукрів, в тому числі – відновлюючих, та запасного крохмалю у пагонах кленів у фазі фізіологічного спокою. Встановлено, що адаптивною реакцією на забруднення ртуттю та свинцем у кленів виступає підвищення вмісту сумарних цукрів до двох разів у зимовий період (від 2,5 % до 4,7 % у *A. platanoides*) та підвищення вмісту крохмалю у *A. saccharinum*.

7. Установлено, що важкі метали стимулюють активність антиоксидантної системи у відповідь на оксидативний стрес. В умовах техногенного впливу активність оксидоредуктаз зростала до трьох разів (від 70 до 250 мкМоль H_2O_2 /г·хв у *A. saccharinum*), що свідчить про високий рівень стресу та активацію систем захисту.

8. Морфоанатомічна структура тканин пагонів за впливу викидів ТЕС змінюється в бік зростання захисних функцій (потовщення покривних тканин однорічних пагонів на 10–30 % внаслідок підвищення активності коркового камбію, тоді як у камбію провідної системи активність знижується) та посилення ксероморфних ознак (зменшення кількості судин та їх діаметра).

9. В умовах факторного експерименту вперше визначено кількісний вплив ртуті і свинцю на основні метаболічні параметри: показники водного дефіциту та вмісту білків. З використанням регресійних рівнянь встановлено, що ртуть має на порядок більшу інгібуючу силу впливу, порівняно зі свинцем за однакової концентрації металів.

10. Розроблено рекомендації щодо впровадження нових видів роду *Acer* в урбофітоценози на екологічно небезпечних промислових територіях та захисних зонах теплових електростанцій в умовах Степового Придніпров'я на основі схожих (гомологічних) фізіологічних реакцій серед видів колекції ботанічного саду та видів з промислових ділянок на посуху. За цим критерієм більш посухостійкі види роду Клен (*A. tataricum*, *A. semenovii*, *A. ginnala*, *A. monspessulanum* та *A. campestre*) є перспективними для озеленення промислових територій з пріоритетними забруднювачами Hg і Pb. *A. pseudoplatanus* є максимально стійким в умовах техногенного пресингу за всіма фізіологічними параметрами, відповідно як і види з подібними реакціями (*A. campestre*, *A. platanoides*, меншою мірою *A. trautvetteri*). Адаптивний потенціал цих видів дозволить забезпечити ефективність біоре mediaційної функції насаджень як активного середовищеперетворюючого фактора на промислових територіях в умовах Степового Придніпров'я.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз

1. Голикова М.М., Зайцева І.О. Структурно-функціональні особливості адаптації видів роду *Acer* в умовах Степового Придніпров'я / М.М. Голикова, І.О. Зайцева // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія Біологія. Екологія. – 2009. – Вип. 17, Т. 2. – С.30–36. (планування і проведення експерименту, аналіз і узагальнення результатів, написання рукопису)
2. Голикова М.М. Вплив промислового забруднення на елементи анатомічної структури пагонів кленів / М.М. Голикова // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. – Львів, 2011. – Вип. 57. – С. 242–248.
3. Поворотня М. М., Зайцева І. О. Фенотипічна мінливість листків рослин роду *Acer* L., інтродукованих у степову зону України / М.М. Поворотня, І.О. Зайцева // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія Біологія. Екологія. – 2014. – № 2. – С. 133–145 (планування і проведення експерименту, аналіз і узагальнення результатів, написання рукопису).
4. Поворотня М.М. Моделювання впливу важких металів Pb та Hg на білковий обмін видів роду *Acer* в умовах планованого факторного експерименту / М.М. Поворотня // Вісник Харків. націон. ун-ту. Серія Біологія. – 2015. – Вип. 25. – С. 320–325.
5. Зайцева І. О., Поворотня М. М. Кількісна оцінка впливу гідротермічних факторів на водний обмін деревних рослин роду *Acer* в умовах степової зони / І. О. Зайцева, М. М. Поворотня // Екологія та ноосферологія. – 2015. – Т. 26, № 1–2. – С. 25–33. (планування і проведення експерименту, аналіз і узагальнення результатів, написання статті).

Статті у фахових виданнях України, які входять до переліку МОНУ

6. Зайцева І.О., Голикова М.М. Особливості водного режиму кленів в умовах гідротермічного стресу та техногенного навантаження / І.О. Зайцева, М.М. Голикова // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2010. – Вип. 15, № 1. – С.53–63. *(планування і проведення експерименту, аналіз і узагальнення результатів, написання рукопису).*

Статті у наукових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних

7. Зайцева І.О., Поворотня М.М. Кількісна оцінка функціонального зв'язку оводненості тканин листя та гідротермічних факторів вегетаційного періоду / І.О. Зайцева, М. М. Поворотня // Вісник Дніпропетр. держ. агро-екон. ун-ту – 2014. – № 2, С. 163–169. *(планування і проведення експерименту, аналіз і узагальнення результатів, написання рукопису).*

8. Поворотня М.М. Особливості вуглеводного обміну кленів за різних умов техногенного навантаження у Степовому Придніпров'ї / М.М. Поворотня // Питання степового лісознавства та лісової рекультиваци земель. – Дніпропетровськ: Ліра, 2015. – Вип. 44. – С. 138–145.

Матеріали наукових конференцій

9. Голикова М.М. Роль показників вмісту білка та оводненості у формуванні адаптивних функцій представників роду *Acer* / М.М. Голикова, І.О. Зайцева // Рослини та урбанізація: Матеріали I міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпропетровськ, 21-23 листопада 2007 р.). – Дніпропетровськ, 2007. – С. 115–117. *(проведення експерименту, узагальнення результатів, написання рукопису).*

10. Голикова М.М. Особливості фізіолого-біохімічних механізмів стійкості видів роду *Acer* L., інтродукованих у Степове Придніпров'я / М.М. Голикова // Інтродукція, селекція та захист рослин: Матеріали II міжнар. наук. конф. (м. Донецьк, 6–8 жовтня 2009). – Донецьк, 2009. – Т. 1. – С. 206–207.

11. Голикова М. М. Інтенсивність транспірації інтродукованих видів кленів / М.М. Голикова // Промислова ботаніка : стан та перспективи розвитку : Матеріали VI міжнар. наук. конф. (м. Донецьк, 4–7 жовтня 2010 р.). – Донецьк, 2010. – Т. 1. – С. 135–137.

12. Голикова М.М. Білковий обмін вегетативних органів видів роду *Acer* у річному циклі розвитку / М.М. Голикова, І.О. Зайцева // Запорожський медичний ж-л. – 2008. – № 2, Т. 2 // Рослини в оптимізації довкілля : Матеріали міжнар. наук. конф. (12–15 травня 2008). – С. 47–48. *(проведення експерименту, узагальнення результатів, написання рукопису).*

13. Голикова М.М. Особливості водного обміну представників роду *Acer* / М.М. Голикова // Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах і дендропарках : Матеріали міжнар. наук. конф. присвяченої 75-річчю заснування Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України (15-17 вересня 2010 р.). – Київ, 2010. – С. 449–451.

14. Голикова М.М. Фізіологічні особливості адаптації видів роду *Acer* при інтродукції у степову зону / М.М. Голикова // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. „Інноваційні агротехнології в умовах глобального потепління” (Мелітополь–Кирилівка, 4-6 червня 2009 р.). – Мелітополь–Кирилівка, 2009. – С. 230–233.

15. Голикова М.М. Осмотичний потенціал інтродукованих кленів / М.М. Голикова // Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів : Матеріали XI конф. молодих вчених (22–24 червня 2010 р.). – Київ, 2010. – С. 37–39.
16. Голикова М.М. Вплив абіотичних факторів на осмотичний потенціал кленів / М.М. Голикова // Актуальні проблеми ботаніки та екології: Матеріали міжнар. конф. молодих учених (Ялта, 21-25 вересня 2010 р.). – Сімферополь, 2010. – С. 190–191.
17. Голикова М.Н. Роль кленов в озеленении промышленного центра в условиях юго-востока Украины / М. Н. Голикова, И. А. Зайцева // Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития: Материалы V науч.-практ. конф. (Ишим, 25–26 марта, 2010). – Ишим, 2010. – Вып. 5. – С. 62–64. *(планування і проведення експерименту, аналіз і узагальнення результатів, написання рукопису).*
18. Голикова М.М. Активність пероксидази кленів при інтродукції у Степове Придніпров'я / М.М. Голикова // Фундаментальные и прикладные исследования в биологии: Материалы II междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Донецк, 19-22 сентября 2011 г.). – Донецк, 2011. – С. 183–184.
19. Голикова М.Н. Характер накопления тяжелых металлов в листьях клёнов / М.Н. Голикова // Сахаровские чтения 2011: экологические проблемы XXI века : Материалы XI-й междунар. науч. конф. (Минск, 19-20 мая 2011). – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – С. 177–178.
20. Голикова М.Н. Особенности белкового обмена кленов / М.Н. Голикова, И.А. Зайцева // Ботанические сады в современном мире : теоретические и прикладные исследования: Материалы всерос. науч. конф. с междунар. уч-ем, посвященной 80-летию со дня рождения академика Л.Н. Андреева (Москва, 5–7 июля 2011 г.). – Москва, 2011. – С. 119–123. *(проведення експерименту, узагальнення результатів, написання рукопису).*
21. Golikova M.M. Catalase activity under hydrothermal stress / M.M. Golikova // Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution.: Proceedings of the V international young scientists conference dedicated to 160th anniversary from the birth of professor Frants Kamenskiy (Odessa, June 13–17, 2011). – Odessa, 2011. – P. 136–137.
22. Голикова М.Н. Коллекция кленов ботанического сада Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара / М.Н. Голикова // Биологическое разнообразие. Интродукция растений : Матеріали V междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 15-17 ноября 2011 г.). – Санкт-Петербург, 2011. – С. 53–56.
23. Голикова М.М. Закономірність накопичення важких металів у листках кленів на різних відстанях від джерела забруднення / М.М. Голикова // Матеріали XIII з'їзду Українського ботанічного товариства (Львів, 19-23 вересня 2011 р.). – Львів, 2011. – С. 422.
24. Голикова М.М. Зміна вмісту білка в листках кленів за умов дії солей ртуті та свинцю / М.М. Голикова // Рослини та урбанізація: Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. (29–30 листопада 2011 р.). – Дніпропетровськ, 2011. – С. 74–75.
25. Голикова М.М. Біоремедіаційна роль кленів у промисловому місті / М.М. Голикова, Ю.В. Супонько // Актуальні питання теоретичної та клінічної медицини : Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. студентів та молодих вчених

(Суми, 10-12 квітня 2013 р.). – Суми, 2013. – С. 86. *(проведення експерименту, узагальнення результатів, написання рукопису).*

26. Голикова М.М. Теплові електростанції як одне з основних джерел забруднення атмосферного повітря / М.М. Голикова // Екологічна безпека держави : тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених. – Київ, 2013. – С. 115.

27. Поворотня М.М. Характер впливу ртуті та свинцю на білковий обмін рослин роду *Acer* в умовах модельного експерименту / М.М. Поворотня // Біологічні дослідження – 2014 : Збірник наук. праць V Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студ. – Житомир, 2014. – С. 83–85.

28. Поворотня М.М. Особливості вуглеводного обміну вегетативних органів кленів при інтродукції у степову зону України / М.М. Поворотня // Проблемы и перспективы исследований растительного мира : Материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных (Ялта, 13-16 мая 2014 г.). – Ялта, 2014. – С. 237.

29. Поворотня М.М. Особливості анатомічної будови однорічних пагонів кленів при інтродукції у Степове Придніпров'я / М.М. Поворотня // Інтродукція, збереження та моніторинг рослинного різноманіття : Матеріали Міжнар. наук. конф. (Київ, 20-24 травня 2014 р.). – Київ, 2014. – С. 200–201.

30. Яценко О.А. Екологічний потенціал видів роду *Acer* в умовах інтродукції у Дніпропетровському ботанічному саду / О.А. Яценко, М.М. Голикова, І.О. Зайцева // Фундаментальні та прикладні дослідження в біології : Матеріали III міжнар. наук. конф. студ., аспір., молод. учених. – Донецьк, 2014. – С. 37–38 *(закладка і проведення експерименту, написання рукопису).*

АНОТАЦІЯ

Поворотня М. М. Еколого-фізіологічний аналіз стійкості роду *Acer* в техногенних умовах теплових електростанцій Дніпропетровщини. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 – Екологія. Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена узагальненню теоретичних засад і розробці наукових підходів до оцінки стійкості та здатності виконувати фітомеліоративну роль деревними рослинами на прикладі представників родового комплексу Клен.

Досліджено особливості і характер накопичення ртуті, свинцю та інших важких металів у ґрунтах і листках представників роду *Acer* в умовах Степового Придніпров'я. Показано вплив ртуті та свинцю на фізіолого-біохімічні показники видів роду Клен. Доведено індуктивну дію стресових чинників на білковий обмін, активність оксидоредуктаз, інтенсивність накопичення крохмалю. Вивчено характер анатомічної перебудови гістологічних елементів, що виражається у потовщенні покривних тканин в умовах забруднення.

Визначено ряд індикаційних параметрів, що можна використовувати для діагностики рівня забруднення навколишнього середовища ртуттю та свинцем : вміст білка в листках, активність каталази в листках, товщина перидерми, вміст крохмалю в однорічних пагонах. Розглянуто особливості водного режиму кленів та показано механізми підтримання водного балансу рослиною за рахунок осмотично

активних речовин за умов будь-якого рівня забруднення, що вказує на високий адаптивний потенціал родового комплексу Клен. Надано практичні рекомендації щодо використання кленів в озелененні промислово забруднених територій, в тому числі – важкими металами.

Ключові слова: важкі метали, ртуть, свинець, клени, теплові електростанції, забруднення довкілля, адаптація.

АННОТАЦИЯ

Поворотная М. М. Эколого-физиологический анализ устойчивости рода *Acer* в техногенных условиях тепловых электростанций Днепропетровщины. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.16 – Экология. Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепропетровск, 2016.

Диссертация посвящена обобщению теоретических основ и разработке научных подходов к оценке устойчивости и способности выполнять фитомелиоративные функции древесными растениями на примере представителей родового комплекса Клен.

Исследованы особенности и характер накопления ртути, свинца и других тяжелых металлов компонентами биогеоценоза. Определено превышение ПДК ртути и свинца в почвах на расстоянии до 7 км от ТЭС с максимальными значениями на удалении 2 и 4 км (4 ПДК по Hg, 2 ПДК по Pb).

Установлена высокая аккумуляционная способность клёнов по отношению к тяжёлым металлам. Максимальные коэффициенты накопления листьями определены по свинцу для вида *A. pseudoplatanus* (9,3), по ртути – *A. platanoides* (9,0), что указывает на высокую фитомелиоративную способность представителей рода *Acer* в условиях Степного Приднпровья.

Исследовано влияние ртути и свинца на физиолого-биохимические показатели видов рода *Acer*. Доказано индуктивное действие стрессовых факторов на белковый обмен, активность оксидоредуктаз, интенсивность накопления крахмала. Установлено увеличение содержания белка в вегетативных органах на промышленных территориях до 25 % с максимальными значениями в условиях наибольшего загрязнения (2,48–2,62 мг/кг). Определено наличие тесных прямых корреляционных связей между аккумуляцией тяжёлых металлов листьями и содержанием в них белков. Показано повышение активности каталазы и пероксидазы до двух раз на промышленной площадке. Выяснено влияние выбросов ТЭС на углеводный обмен, что выражается в увеличении содержания неструктурных углеводов в побегах в зимний период до двух раз (от 2,5 % до 4,7 % у *A. platanoides*).

Изучен характер анатомической перестройки гистологических элементов, который выражается в утолщении покровных тканей в условиях загрязнения и ксерофитизацией структурных элементов тканей.

Определен ряд индикационных параметров, которые можно использовать для диагностики уровня загрязнения окружающей среды ртутью и свинцом: содержание белка в листьях, активность каталазы в листьях, толщина перидермы, содержание крахмала в однолетних побегах.

Рассмотрены особенности водного режима кленов и показаны механизмы поддержания водного баланса тканями за счет осмотически активных веществ в условиях любого уровня загрязнения и гидротермического стресса.

В ходе модельного эксперимента с помощью коэффициентов корреляции количественно определена сила токсического воздействия Hg, что на порядок превышает эффект от воздействия свинца.

Даны практические рекомендации по использованию кленов в озеленении промышленно загрязненных территорий, в первую очередь – тяжелыми металлами.

Ключевые слова: тяжелые металлы, ртуть, свинец, клены, тепловые электростанции, загрязнение окружающей среды, адаптация.

ANNOTATION

Povorotnya M. M. Ecological and Physiological Stability Analysis of genus *Acer* in terms of anthropogenic conditions of Dnipropetrovsk thermoelectric power station. – Manuscript.

Dissertation for the PhD Degree in specialty 03.00.16 – Ecology. Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, 2016.

The thesis is devoted to generalization of theoretical principles and developing scientific approaches to assess the stability and ability to perform the phyto-meliorative role by woody plants by the example of the representatives of Maple generic complex.

It is investigated features and nature of the accumulation of Hg, Pb and other heavy metals in the leaves of the representative of genus *Acer* in the conditions of Steppe Dnieper area. It is shown the influence of mercury and lead on physiological and biochemical indices of species of the genus *Acer*. It is proved the inductive effect of stressors on protein metabolism, oxidoreductases activity, intensity of starch accumulation. It is studied the character of the anatomical adjustment of histological elements, resulting in thickening of tissues covering in terms of pollution. It is determined a number of indicative parameters which could be used to diagnose the level of mercury and lead pollution: the protein content in the leaves, catalase activity in leaves, periderm thickness, the starch content in one-year shoots. It is dealt with the peculiarities of water regime of maples and shown the mechanisms of maintaining the water balance of plant organisms by osmotic active substances at high level of pollution, which indicates a high adaptive capacity of *Acer* generic complex.

Practical recommendations are given for usage of gardening maples in the industrially contaminated areas, in particular those which are polluted with heavy metals.

Key Words: heavy metals, Mercury, Lead, maples, thermoelectric power stations, environmental pollution, adaptation.

Підписано до друку 28.04.2016 р. Формат 60×84 1/16. Папір
офсетний. Друк офсетний. Гарнітура “Times New Roman”. Ум.
авт. арк. 0,9. Тираж – 100 прим. Зам. № 81.

Друкарня Ліра
вул. Наукова, 5, м. Дніпропетровськ, 49050. Тел. (0562) 46-62-85.
Свідоцтво про внесення до Держреєстру
ДК № 188 від 19.09.2000
