

УДК: 57.087.1:582.772.2

### **Моделювання впливу важких металів Pb та Hg на білковий обмін видів роду *Acer L.* в умовах планованого факторного експерименту** **М.М.Поворотня**

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара  
margo-marina85@mail.ru*

Досліджено вплив важких металів (ртуті та свинцю) на білковий обмін листків видів роду Клен в умовах планованого факторного експерименту. Виявлено інгібуючий вплив важких металів на вміст білків у листках досліджуваних видів. Побудування математичної моделі за допомогою регресійних рівнянь дозволяє визначити інтенсивність впливу важких металів на вміст білків у листках і характер цього впливу: інгібуючий чи стимулюючий. Коефіцієнти регресійних рівнянь кількісно відображають негативний ефект окремо ртуті, свинцю та обох металів сумісно, що якісно відрізняє даний метод від звичайного метода емпіричних даних без кількісної оцінки факторів впливу. Білоксинтезуюча система виявилася в більшій мірі чутливою до вмісту солей ртуті у розчині, ніж до солей свинцю. Обґрунтовано перспективність використання методу планованого факторного експерименту при дослідженні впливу важких металів на фізіолого-біохімічні показники рослин. Визначено більш стійкі види кленів для використання в озелененні територій в умовах антропо-техногенного пресингу зі значним вмістом важких металів.

**Ключові слова:** *білковий обмін, клен, ртуть, свинець, планований факторний експеримент, техногенний пресинг.*

### **Влияние тяжелых металлов Pb и Hg на белковый обмен видов рода *Acer L.* в условиях планируемого факторного эксперимента** **М.Н.Поворотня**

Исследовано влияние тяжелых металлов (ртути и свинца) на белковый обмен листьев видов рода Клен в условиях планируемого факторного эксперимента. Виявлено ингибирующее влияние тяжелых металлов на содержание белков в листьях исследуемых видов. Построение математической модели с помощью регрессионных уравнений позволяет определить интенсивность воздействия тяжелых металлов на содержание белков в листьях и характер этого воздействия: ингибирующее или стимулирующее. Коэффициенты регрессионных уравнений количественно отражают негативный эффект отдельно ртути, свинца и двух металлов вместе, что качественно отличает данный метод от обычного метода эмпирических данных без количественной оценки влияния этих факторов. Белоксинтезирующая система оказалась в большей степени чувствительной к содержанию солей ртути в растворе, чем к солям свинца. Обоснована перспективность использования метода планируемого факторного эксперимента при исследовании влияния тяжелых металлов на физиолого-биохимические показатели растений. Определены более устойчивые виды кленов для использования в озеленении территорий в условиях антропо-техногенного прессинга со значительным содержанием тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** *белковый обмен, клен, ртуть, свинец, планируемый факторный эксперимент, техногенный пресинг.*

### **The impact of heavy metals Pb and Hg on protein metabolism of species of the genus *Acer L.* in the conditions of planned factorial experiment** **М.М.Povorotnyaya**

The effect of heavy metals (mercury and lead) on protein metabolism in leaves of species of the genus *Acer* was investigated in the conditions of planned factorial experiment. The inhibitory effect of heavy metals on protein content was revealed in leaves. The mathematical model building using regression equations allows to determine the intensity of the impact of heavy metals on protein content in leaves and nature of this effect: inhibiting or stimulating. The coefficients of the regression equations quantitatively demonstrate the negative effect of mercury and lead separately and together, that qualitatively distinguishes this method from conventional methods of empirical data without quantitative assessment of impacts. Protein synthesis system was more sensitive to the mercury salts in solution than to the lead salts. The prospects of planned factorial experiment in the study of the influence of heavy metals on physiological and biochemical indexes of plants was justified. The most resistant species of maple were defined for using in gardening areas in conditions of anthropological and technological pressure with a high content of heavy metals.

**Key words:** *protein metabolism, maple, mercury, lead, planned factorial experiment, technogenic pressure.*

## Вступ

Промислове забруднення урбанізованих територій виступає гострою проблемою сьогодення. Високий вміст важких металів у навколишньому середовищі, основним джерелом яких є хімічна та важка промисловість, автотранспорт, підприємства теплоенергетики, деструктивно впливає на екосистему в цілому і здоров'я людини зокрема (Алексеев, 1987). Рослинність виключає з навколишнього середовища забруднюючі речовини, накопичуючи їх. Для виконання санітарно-гігієнічної функції у промислових містах широко використовуються деякі види кленів (*A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L.), які є стійкими до природно-кліматичних умов степової зони, стійкі до дії поллютантів, мають значну поглинаючу поверхню та високі декоративні якості. Вивчення біохімічних реакцій інших видів роду Клен на вплив важких металів є перспективним з метою подальшого використання в озелененні міст стійких видів даного родового комплексу.

Активність білок-синтезуючої системи, як маркер активності клітинного метаболізму, виступає індикатором при аналізі стійкості рослин до стресових факторів навколишнього середовища (Волчевська-Козак, Киפורук, 1998; Шакирова, 2001). У відповідь на дію стресора відмічаються динамічні зміни вмісту легкорозчинних фракцій білка (Голов'янюк, Косаківська, 2006; Долгова, 2004), на відміну від структурних білків. Синтез стресових білків індують стресові фактори навколишнього середовища, в тому числі іони важких металів  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$  (Пастухова, 2008), присутність яких у навколишньому середовищі, як і вплив на людину, останнім часом зростає. Стимулюючий вплив на синтез білків виявлено за низьких концентрацій важких металів ( $10^{-5}$  М –  $10^{-8}$  М), тоді як високі концентрації інгібують білковий синтез ( $10^{-1}$  М –  $10^{-4}$  М). Загалом, білок, як продукт експресії генів, є показником адаптивності рослинного організму через зміни стану генетичного апарату для забезпечення інформаційної можливості синтезу стресових білків (Косаківська, 1996). При цьому відзначається, що значна різноманітність досліджуваної ознаки, тобто дисперсія, вказує на більшу чутливість системи, яка є менш пристосованою до конкретних умов існування, але в більшій мірі здатна до адаптації у змінних умовах навколишнього середовища. Таким чином, актуальним є аналіз стійкості системи і виявлення чутливості чи стабільності системи у змінних умовах існування з можливістю подальшого прогнозування стійкості системи за умов стабільних чи змінних факторів навколишнього середовища. Так, за умов широкого діапазону норми реакції, вид здатний до адаптації як при зниженні, так і при зростанні інтенсивності фактора, тоді як при вузькому діапазоні норми реакції адаптивний потенціал різко знижується. У природних умовах адаптація є відповіддю системи на безліч факторів. Для виокремлення впливу важких металів – найбільш небезпечних речовин, що відносять до I і II класу небезпеки для здоров'я людини, використовується модельний експеримент з двома факторами.

Моделювання змін фізіологічних параметрів біологічних систем під впливом певних факторів в лабораторних умовах як метод дослідження широко використовується для трав'янистих рослин. Особливість дослідження полягає у формуванні модельного експерименту зі змінними параметрами для деревних рослин і подальшим створенням прогностичної моделі відповіді фізіологічних параметрів з кількісною оцінкою впливу кожного з факторів.

Метою дослідження було визначення впливу важких металів на білковий обмін видів роду *Acer* L. у модельному факторному експерименті, виявлення більш стійких видів для подальших рекомендацій використання видів на забруднених територіях, обґрунтування прогностичної моделі відповіді системи на дію ртуті і свинцю.

Побудування математичної моделі активності білок-синтезуючої системи рослин у відповідь на дію таких важких металів, як ртуть і свинець, дає можливість у кількісній формі показати вплив даних факторів на систему, що вивчається. Методом багатофакторного планованого експерименту можливо кількісно оцінити вплив кожного з металів окремо і сумісно на білковий обмін та, відповідно, на стійкість рослин.

## Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами слугували десять видів роду *Acer* L. колекції ботанічного саду Дніпропетровського національного університету ім. О.Гончара, три з яких є аборигенними (*A. platanoides* L., *A. campestre* L., *A. tataricum* L.), інші – інтродуковані з різних регіонів. Вміст розчинних фракцій білка у листках за умов впливу важких металів визначали за методом М.М.Брадфорд (1976). Для закладки модельного експерименту використовували сформовані пагони рослин, що закінчили лінійний ріст. Пагони відбирали з середньої частини крони з повністю сформованими листками. Відбір проводили з

модельних екземплярів, що мають характерні для виду морфо-фізіологічні ознаки і є рослинами генеративного віку. Закладено 4 варіанти досліду: контрольні витримували у дистилляті, три дослідні – у розчинах солей (Некрасова, Киселева, 2008). У першому варіанті досліду пагони витримували у водному розчині солі ртуті  $Hg(NO_3)_2 \cdot H_2O$ , у другому – у водному розчині солі свинцю  $PbSO_4 \cdot H_2O$ , у третьому варіанті – у водному розчині сумішей цих солей. Концентрація діючої речовини у всіх розчинах складала 0,1 М – концентрація, що не призводить до загибелі клітин, проте інгібує фізіологічні процеси, в першу чергу білковий синтез (Пастухова, 2008).

Математичну обробку виконували за загальноприйнятими методиками та з використанням регресійного аналізу. Побудування адекватної математичної моделі відповіді білок-синтезуючої системи на вплив ртуті та свинцю здійснювали за допомогою програми STATGRAPHICS Plus 5.0 (Гавриленко, 2012). Суттєвість коефіцієнтів регресії визначали за допомогою критерію Стюдента, адекватність лінійної моделі – за допомогою критерію Фішера.

### Результати та обговорення

За результатами досліджень встановлено достовірне зниження вмісту білка у листках всіх видів за умов впливу Hg та сумісного впливу обох металів (рис. 1). Подібну особливість реакції білкової системи у відповідь на дію важких металів, яка проявляється у зниженні вмісту білків та активності ферментів, як результат порушення реплікації ДНК, відмічають й інші автори (Пастухова, 2008; Хромих, Більчук, 2009). Свинець у більшості видів також виступає інгібітором білкового синтезу, крім видів *A. semenovii*, у якого виражений стимулюючий вплив, і видів *A. negundo*, *A. campestre*, у контрольних і дослідних варіантах яких не відмічено достовірної різниці вмісту білка у листках. Зниження вмісту легкорозчинних форм білків у листках досліджуваних видів може бути наслідком впливу активних форм кисню, що генеруються у рослинних тканинах під впливом важких металів. При цьому відбувається окислення білків, ліпідів, ДНК, РНК і, відповідно, деструкція даних сполук. Кількісний аналіз впливу важких металів на вміст водорозчинних білкових фракцій, закономірності та специфічні особливості відповіді на дію важких металів та диференціацію досліджуваних видів за ступенем чутливості до останніх визначали за коефіцієнтами рівнянь регресії (табл. 1).

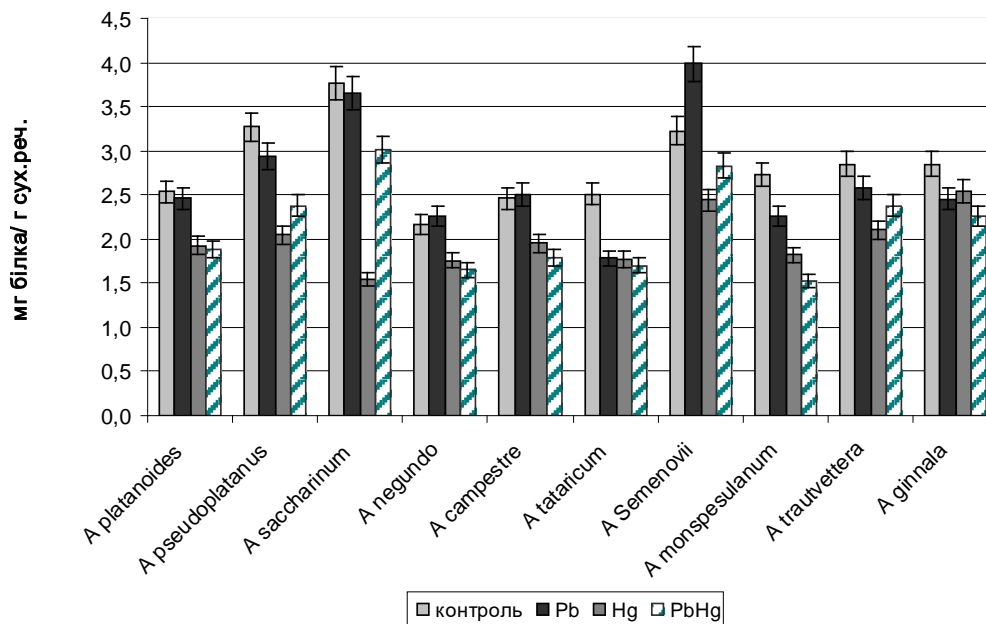


Рис. 1. Вміст білка у листках видів роду *Acer L.* за умов впливу важких металів в модельному експерименті

Для опису поведінки системи з двома змінними факторами ( $2^2$ ) використовується модель, яка має вигляд:  $Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_{12}X_{12}$ .

Таблиця 1.  
 Рівняння регресії, які характеризують активність білок-синтетичної системи видів роду *Acer L.* за умов впливу важких металів

Вид		Рівняння
<i>A. platanoides L.</i>	К. гостролистний	$2,213 - 0,031X_1 - 0,295X_2 + 0,005X_{12}$
<i>A. pseudoplatanus L.</i>	К. несправжньо-платановий	$2,658 - 0,002X_1 - 0,445X_2 + 0,167X_{12}$
<i>A. saccharinum L.</i>	К. цукристий	$2,994 + 0,342X_1 - 0,714X_2 + 0,397X_{12}$
<i>A. negundo L.</i>	К. ясенелистий	$1,960 - 0,002X_1 - 0,254X_2 - 0,051X_{12}$
<i>A. campestre L.</i>	К. польовий	$2,176 - 0,029X_1 - 0,306X_2 - 0,053X_{12}$
<i>A. tataricum L.</i>	К. татарський	$1,941 - 0,200X_1 - 0,205X_2 + 0,166X_{12}$
<i>A. semenovii Rgl.</i>	К. Семенова	$3,120 + 0,286X_1 - 0,586X_2 - 0,093X_{12}$
<i>A. monspesulanum L.</i>	К. монпельйський	$2,082 - 0,192X_1 - 0,409X_2 + 0,045X_{12}$
<i>A. trautvetteri Medw.</i>	К. траутветтера	$2,478 - 0,001X_1 - 0,235X_2 + 0,137X_{12}$
<i>A. ginnala Maxim.</i>	К. прирічний	$2,524 - 0,171X_1 - 0,126X_2 + 0,029X_{12}$

Примітка:  $X_1$  – Pb;  $X_2$  – Hg.

Від'ємний знак при коефіцієнтах рівняння вказує на негативний вплив кожного з факторів окремо і при їх сумісній дії на активність білоксинтезуючої системи кленів. Фактор, який має більший коефіцієнт, відповідно, в більшій мірі впливає на відповідь системи, обумовлюючи відхилення останньої від нормальної реакції. Силу впливу кожного з факторів можливо визначити кількісно за величиною коефіцієнтів регресії. Наявність сумісного впливу Pb та Hg на вміст водорозчинних білків визначали за коефіцієнтом  $X_{12}$ .

За результатами аналізу рівнянь регресії кожного з досліджуваних видів встановлено негативний вплив ртуті та свинцю на вміст водорозчинних фракцій білка. Досліджувані важкі метали пригнічують синтез білків, що може бути обумовлено зниженням функціональної активності нуклеїнових кислот, а також лімітуванням синтезу енерговмісних сполук внаслідок гальмування процесів дихання і фотосинтезу. Слід також зазначити, що свинець пригнічує процеси полімеризації пептидів у білки (Goring, 1989). Інгібіторні властивості ртуті та свинцю можуть пояснюватись, крім того, деструктивною направленістю процесів щодо існуючих білків. Реакція зниження вмісту водорозчинних фракцій білка у листках рослин є характерною реакцією білоксинтезуючої системи на вплив важких металів, про що свідчать дані й інших авторів (Іванченко, 2009).

Нашими дослідженнями виявлено видоспецифічні, кількісно оцінені особливості для різних видів рослин роду *Acer L.* Крім того, різниця коефіцієнтів  $X_1$  та  $X_2$  надає можливість диференціювати силу впливу кожного з металів. При цьому встановлено, що лімітуючий вплив Hg у 2–10 разів потужніший за вплив іншого фактора – свинцю відповідної концентрації та до 100 разів – фактора сумісного впливу ( $Hg^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ). Така особливість може бути пояснена токсичним впливом ртуті на білковий обмін за рахунок зв'язування  $Hg^{2+}$  із сульфгідратними групами білкових молекул і їх блокуванням (Скугорева, 2006).

Найбільш чутливими до дії важких металів за однакової концентрації металів виявились *A. saccharinum* та *A. semenovii*. Максимальний негативний ефект на білковий обмін цих видів спостерігається під впливом ртуті, коефіцієнт регресії, що відображає дію цього фактору ( $X_2$ ) від 3 до 7 разів перевищує негативний ефект ртуті у інших видів, до 10 разів перевищує ефект іншого фактора – свинцю. Під впливом свинцю відзначається зростання вмісту білка у *A. semenovii*, що вказує на нестабільність білкової системи у стресових умовах, хоча подібні результати стимуляції білкового обміну важкими металами відзначали й раніше (Филоник, 2005).

Мінімальний негативний ефект ртуті ( $A_2=0,126$ ) відмічено для *A. ginnala*. Коефіцієнти регресії, що показують вплив ртуті на білковий режим кленів інших видів, коливаються у межах від 0,205 у *A. tataricum* до 0,445 у *A. pseudoplatanus*. Можна припустити, що даний діапазон є нормою реакції білкової системи на вплив ртуті для досліджуваних видів кленів.

Під дією свинцю відзначається значно менший негативний вплив на активність білоксинтезуючої системи, так як в рівняннях, що описують вміст водорозчинних білків деяких видів, відповідні коефіцієнти малозначущі, а вплив практично відсутній ( $A_1=0,001-0,002$ ). Так, види *A. pseudoplatanus*, *A. trautvetteri* характеризуються незначимим коефіцієнтом впливу Pb, відповідно як і

північноамериканський вид *A. negundo*. Така особливість може вказувати на певні механізми детоксикації кожного з відзначених видів, обумовлюючи стійкість до дії свинцю.

Незначний вплив свинцю, що описується у рівняннях коефіцієнтом, рівним 0,03, відмічено для аборигенних видів *A. platanoides* та *A. campestre*. Слід зазначити, що рівняння регресії для цих видів є ідентичними (позитивний сумісний вплив ртуті та свинцю у *A. platanoides* можна не враховувати:  $A_1=+0,005$ ), відповідно характер відповіді білоксинтетичної системи на вплив ртуті та свинцю в обох видів підпорядковується однаковим регресійним моделям. Таким чином, можна спрогнозувати відповідь білкової системи одного виду, знаючи особливості відповіді іншого в умовах забруднення важкими металами, що є важливим при інтродукційних дослідженнях і в питаннях розширення видового різноманіття рослин на техногенно забруднених територіях.

Подібна еквівалентність рівнянь відмічається для видів *A. tataricum*, що є аборигенним видом, та інтродуцентом з Далекого Сходу – *A. ginnala*. За величиною коефіцієнтів відзначається більша стійкість до дії важких металів у *A. ginnala* при більш високих абсолютних показниках вмісту розчинного білка, про що свідчить коефіцієнт  $A_0$ . Для даних видів значення коефіцієнту впливу свинцю знаходиться на середньому рівні порівняно з іншими видами кленів, проте коефіцієнт дії ртуті нижчий у 1,5–2 рази за такий у більшості інших видів. Сумісний вплив металів позитивно впливає на функціонування білкової системи (коефіцієнт  $A_{12}=+0,166$  та  $+0,029$  для *A. tataricum* та *A. ginnala* відповідно). Отримані регресійні рівняння описують дані види як стійкі до впливу важких металів за показниками білкового обміну. Відомо, що *A. tataricum* та *A. ginnala* є стійкими до гідротермічного і сольового (*A. tataricum*) стресів. Відповідно, можна стверджувати, що дані статистичного аналізу кількісно, у порівнянні з іншими видами роду, підтверджують уявлення про стійкість до впливу важких металів видів, які в умовах природного ареалу здатні витримувати фізіологічну та фізичну посуху.

Для всіх досліджуваних видів сумісний вплив металів виявився незначним, за винятком *A. saccharinum*, що може вказувати на підвищену чутливість цього виду та нестабільність білкової системи. Проте високий коефіцієнт  $A_0$  (високі показники абсолютного вмісту водорозчинних білків) вказує на позитивний характер адаптивних реакцій *A. saccharinum*. Відмічається підвищення активності білоксинтезуючої системи при сумісному впливі ртуті і свинцю, на що вказує коефіцієнт  $A_{12}$ . Тобто сумісний вплив даних металів спричиняє стимулюючий ефект на білкову систему, що може бути обумовлено антагоністичною дією обох металів у рослинному організмі, заміщенням свинцем більш токсичної ртуті. У деяких видів сумісний ефект незначний, майже відсутній, вміст білків залишається стабільним (*A. pseudoplatanus*, *A. trautvetteri*, *A. negundo*).

Інтерпретація результатів планованого факторного експерименту з використанням математичної моделі кількісно описує характер впливу ртуті та свинцю, як окремо, так і двох металів одночасно. Визначено не лише знак впливу, позитивний чи негативний, а й силу впливу кожного з металів.

У ході дослідження визначено кількісний вплив кожного з факторів, якими виступали ртуть і свинець. За результатами аналізу встановлено ряд закономірностей. Відзначено подібність реакцій видів, що мають філогенетичну спорідненість та займають схожі природні ніші у природних ареалах розповсюдження (*A. tataricum*, *A. ginnala*), у аборигенних видів Степового Придніпров'я (*A. platanoides*, *A. campestre*), у найменш стійких видів (*A. saccharinum* та *A. semenovii*). За показниками регресійних рівнянь визначено характер активності білоксинтезуючої системи видів роду Клен у відповідь на вплив важких металів. Види, що мають ідентичні рівняння регресії відповідно до аборигенних видів за показниками білкового обміну, є стійкими і можуть бути рекомендовані до широкого залучення в озеленення промислових територій (*A. trautvetteri*, *A. ginnala*) та територій з незначним забрудненням ртуттю – *A. pseudoplatanus*. За допомогою коефіцієнтів регресії визначено найбільш чутливі та стійкі до впливу важких металів види.

Загалом, метод регресійних рівнянь дає можливість визначити особливості білкового обміну, як передумову стійкості виду до окремих максимально значущих факторів навколишнього середовища, наприклад, важких металів, та визначити характер відповіді системи на виокремлений фактор.

### Список літератури

- Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142с. /Alekseyev Yu.V. Tyazhelyye metally v pochvakh i rasteniyakh. – L.: Agropromizdat, 1987. – 142s./
- Волчевська-Козак О.Є., Кифорук І.М. Білковий комплекс рослин ріпака при абіотичних стресах // Онтогенез рослин у природному та трансформованому середовищі. Мат. міжн. конф. – Львів, 1998. –

- C. 193. /Volchevska-Kozak O.Ye., Kyforuk I.M. Bilkovyy kompleks roslin ripaka pri abiotychnykh stresakh // Ontogenez roslin u prirodnomu ta transformovanomu seredovysshchi. Mat. mizhn. konf. – Lviv, 1998. – S. 193./
- Гавриленко А.К. Планирование и обработка эксперимента в пакете STATGRAPHICS. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2012. – 30с. /Gavrilenko A.K. Planirovaniye i obrabotka eksperimenta v pakete STATGRAPHICS.– Yekaterinburg: Izd-vo UrGUPS. – 2012. – 30s./
- Голов'янку І.А., Косаківська І.В. Вплив температурних стресів на якісний та кількісний склад білків різних органів *Phaseolus vulgaris* L. на ранніх етапах вегетативного розвитку // Мат. XII з'їзду Українського ботанічного товариства. – Одеса, 2006. – С.424. /Golov'yanko I.A., Kosakivs'ka I.V. Vplyv temperaturnykh stresiv na yakisnyy ta kilkisnyy sklad bilkiv riznykh organiv *Phaseolus vulgaris* L. na rannikh etapakh vegetatyvnogo rozvytku // Mat. XII z'yizdu Ukrayinskogo botanichnogo tovarystva – Odesa, 2006. – S.424./
- Долгова Л.Г. Вміст сумарних білків в річному циклі представників роду *Deutzia* Thunb., інтродукованих у степову зону України // Тези доп. міжн. наук. конф., присвяченої 150-річчю ботанічного саду Львівського нац. ун-ту. – Львів, 2004. – С. 15–17. /Dolgova L.G. Vmist sumarnykh bilkiv v richnomu tsykli predstavnykiv rodu *Deutzia* Thunb., introdokovanykh u stepovu zonu Ukrainy // Tezy dop. mizhn. nauk. konf., prysvyachenoї 150-richchyu botanichnogo sadu Lvivskogo nats. un-tu. – Lviv, 2004. – S. 15–17./
- Іванченко О.Є. Вплив важких металів на метаболізм азоту рослин // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя. – 2009. – С. 69–79. /Ivanchenko O. Ye. Vplyv vajkih metaliv na metabolizm azotu roslin // Pitannya bioindikacii ta ekologii. – Zaporizhzhya. – 2009. – S. 69-79./
- Косаківська І.В. Особливості функціонування білкової системи в умовах стресу // Укр. бот. журн. – 1996. – Т.53, №3. – С. 238–251. /Kosakivska I.V. Osoblyvosti funktsionuvannya bilkovoyi systemy v umovakh stresu // Ukr. bot. zhurn. – 1996. – T. 53, №3. – S. 238–251./
- Пастухова Н.Л. Детоксикация тяжелых металлов у растений // Проблемы экологии та охорони природи техногенного регіону: міжвід. зб. наук. праць / Відп. ред. С.В.Беспалова. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – Вип.8. – С. 218–225. /Pastukhova N.L. Detoksikatsiya tyazhelykh metallov u rasteniy // Problemy ekologii ta okhorony pryrody tekhnogennogo regionu: mizhvid. zb. nauk. prats'. / Vidp. red. S.V.Bespalova. – Donetsk: DonNU, 2008. – Vyp.8. – S. 218–225./
- Некрасова Г.Ф., Киселева І.С. Руководство к лабораторным и практическим занятиям. – Екатеринбург: Уральский государственный университет, 2008. – 157с. /Nekrasova G.F., Kiseleva I.S. Rukovodstvo k laboratornym i prakticheskim zanyatiyam. – Yekaterinburg: Uralskiy gosudarstvennyy universitet. – 2008. – 157s./
- Скугорева С.Г. Действие нитрата ртути (II) на рост и развитие проростков ячменя, выращенных на гидропонике // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: научный и образовательный аспекты: Матер. Всерос. науч. шк. – Киров, 2005. – С. 81–84. /Skugoreva S.G. Deystviye nitrata rtuti (II) na rost i razvitiye prorstkov yachmenya, vyrashchennykh na gidroponike // Aktualnyye problemy regionalnogo ekologicheskogo monitoringa: nauchnyy i obrazovatelnyy aspekty: Mater. Vseros. nauch. shk. – Kirov, 2005. – S. 81–84./
- Филоник І.А. Комплексное действие гербицида фронтьер и тяжелых металлов на систему протеолиза и белковый обмен в зерне кукурузы при прорастании // Актуальные проблемы экологии. Мат. I межд. науч. конф. – Гродно, 2005. – Ч.2. – С. 54–57. /Filonik I.A. Kompleksnoye deystviye gerbitsida front'yer i tyazhelykh metallov na sistemu proteoliza i belkovyy obmen v zerne kukuruzy pri prorstanii // Aktualnye problemy ekologii. Mat. I mezhd. nauch. konf. – Grodno, 2005. – Ch.2. – S. 54–57./
- Хромих Н.О., Більчук В.С. Активність глутатіон-S-трансферази проростків кукурудзи за комбінованого впливу високої температури та важких металів // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2009. – Вип.17, т.2. – С. 122–126. /Khromykh N.O., Bil'chuk V.S. Aktyvnist' glutation-S-transferazy prorstkiv kukurudz za kombinovanogo vplyvu vysokoyi temperatury ta vazhkykh metaliv // Visnyk Dnipropetrovskogo universytetu. Biologiya. Ekologiya. – 2009. – Vyp.17, t.2. – S. 122–126./
- Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. – Уфа: Гилем, 2001. – 160с. /Shakirova F.M. Nespetsificheskaya ustoychivost rasteniy k stressovym faktoram i yeye regulyatsiya. – Ufa: Gilem, 2001. – 160s./
- Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Anal. Biochem. – 1976. – Vol.72. – P. 248–254.
- Goring H. Biochemical changes of *Aesculus hippocastanum* under influence of heavy metals // Miner. Nutr. Plants. Tras. Int. Symp. Plants Nutr. – 1989. – Vol.9, №6. – P.103–109.

Представлено: Ю.В.Лихолат / Presented by: Yu.V.Lykholat

Рецензент: В.В.Жмурко / Reviewer: V.V.Zhmurko

Подано до редакції / Received: 15.11.2015