

ВПЛИВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ ІВАЗІЙНИХ МОЛЕЙ-СТРОКАТОК (LEPIDOPTERA, GRACILLARIIDAE) В УМОВАХ М. ДНІПРО

Голобородько К.К.¹, Кунах О.М.¹, Ситник С.А.², Ловинська В.М.²

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

goloborodko@ua.fm, kunah_olga@ukr.net, sytnyk.s.a@dsau.dp.ua, glub@ukr.net

У роботі представлено результати дослідження впливу важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd) на особливості поширення інвазійних видів молей-строкаток (Gracillariidae Stainton, 1854). У якості модельних об'єктів досліджень було обрано популяції трьох найпоширеніших інвазійних видів – каштанового мінер (Cameraria ohridella Deschka & Dimic, 1986) та двох робінієвих мінерів – Parectopa robiniella (Clemens, 1863) і Macrosaccus robiniella (Clemens, 1859). Дослідження проведено у межах Дніпровської міської агломерації (7 зелених зон у різних типах урболандшафтів м. Дніпро та на території природного заповідника Дніпровсько-Орільський). Моніторинг здійснено у вегетаційний період (липень-вересень) 2019–2021 рр., що відповідає періоду масового розселення трьох видів-інвайдерів. Нами встановлено, що різні види-інвайдери по-різному реагують на вміст різних важких металів у тканинах кормових рослин. Спільною рисою для фітофагів робінії звичайної виявився встановлений вплив вмісту цинку та свинцю на ступінь заселення листкових пластинок. Чим більший вміст вказаних елементів у тканині робінії, тим більше заселені такі листки обома видами-інвайдерами. Виявилось, що чим більший вміст важких металів (особливо цинку, міді та свинцю) у тканинах листків кормової рослини, тим більша кількість мін. Результати побудованих загальних лінійних моделей впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на кількість мін інвайдерів це продемонстрували. Побудовані лінійні моделі для робінієвих мінерів показали, що найбільш істотний вплив на заселення паркових урбоценозів чинить вміст міді у тканинах кормових рослин. Серед найпоширеніших у міському повітрі контаменантів найменший вплив на заселення інвазійних Gracillariidae має кадмій. Аналіз особливостей заселення C. ohridella гіркокаштанових насаджень у м. Дніпро також виявив схожий тренд. Чим більший вміст важких металів у тканинах кормових рослин, тим більший відсоток ураження листка. Особливо така залежність спостерігається для кадмію та свинцю. Висота насаджень A. hippocastanum над рівнем моря також впливає на особливості заселення C. ohridella. Як і в ситуації із заселенням комплексу робінієвих мінерів-інвайдерів, чим вище знаходяться насадження кормової рослини, тим більше відсоток ураження спостерігається для її листкових поверхонь. **Ключові слова:** біологічна інвазія, адвентивні види, Gracillariidae Stainton, 1854, міські екосистеми, важкі метали.

Influence of heavy metals on the peculiarities of the distribution of invasion leaf blotch miner moths (Lepidoptera, Gracillariidae) in the conditions of Dnipro. Holoborodko K., Kunach O., Sytnyk S., Lovynska V.

The paper presents the results of a study of the influence of heavy metals (Zn, Cu, Pb, Cd) on the peculiarities of the distribution of invasive species of leaf blotch miner moths (Gracillariidae Stainton, 1854). Populations of the three most common invasive species, the chestnut miner (Cameraria ohridella Deschka & Dimic, 1986) and two robinium miners Parectopa robiniella (Clemens, 1863) and Macrosaccus robiniella (Clemens, 1859), were selected as model objects. The study was conducted within the Dnipro urban agglomeration (7 green areas in different types of urban landscapes of the Dnipro and in the nature reserve Dnipro-Orilsky). Monitoring was carried out during the vegetation period (July-September) 2019–2021, which corresponds to the period of mass resettlement of three species-invaders. We found that different species of invaders react differently to the content of different heavy metals in the tissues of forage plants. A common feature of Robinia phytophagous was the established effect of zinc and lead on the degree of population of leaf blades. The greater the content of these elements in the fabric of the robinia, the more populated such leaves by both species-invaders. It turned out that the higher the content of heavy metals (especially zinc, copper and lead) in the tissues of the leaves of the forage plant, the greater the number of mines. The results of the constructed general linear models of the influence of the content of heavy metals and the height of the relief on the number of miners of the insiders demonstrated this. The constructed linear models for robinium miners showed that the most significant influence on the population of park urbocoenoses is exerted by the copper content in the tissues of forage plants. Among the most common contaminants in urban air, cadmium has the least impact on the population of invasive Gracillariidae. Analysis of the peculiarities of C. ohridella settlement of bitter chestnut plantations in Dnipro also revealed a similar trend. The higher the content of heavy metals in the tissues of forage plants, the higher the percentage of leaf damage. This dependence is especially observed for cadmium and lead. The height of A. hippocastanum stands above sea level also affects the population of C. ohridella. As in the situation with the settlement of the complex of robinium miners-invaders, the higher the plantings of the forage plant, the greater the percentage of damage observed for its leaf surfaces. **Key words:** biological invasion, adventitious species, Gracillariidae Stainton, 1854, urban ecosystems, heavy metals.

Постановка проблеми. Важкі метали виступають пріоритетними токсичними забруднювачами. Вони становлять надзвичайну небезпеку як забруд-

нювачі природного середовища, які навіть у порівняно малих концентраціях можуть негативно впливати на різні організми [1; 2].

Біологічні наслідки забруднення важкими металами природного середовища виявляються, насамперед, у прямій токсичній дії на організм, що призводить до ураження їх фізіологічних систем. Не винятком є й реакція видів-інвайдерів на вміст важких металів у новому для них середовищі [2].

Актуальність дослідження. Особливий інтерес становить вивчення адаптаційних можливостей нових інвазійних видів, які вперше потрапляють до нових екосистем зі сталим екологічним режимом та сформованим токсикологічним фоном. У такому випадку нові види можуть або загинути, не витримавши тиску антропогенних чинників, або, навпаки, адаптуватися до нових умов.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Нашими дослідженнями встановлено [3; 4], що за умов адаптації до нового середовища, яка здійснюється на біохімічному та клітинному рівні, створюються передумови виживання популяції інвазійного виду [5]. У результаті вдалої адаптації до факторів нового середовища, відбувається швидке поширення інвайдера новими територіями [6–9], завдяки чому формується й новий ареал виду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Представники класу Insecta утворюють найбільшу за чисельністю інвазійну групу організмів у сучасній Біосфері, а кількість їх нових вторгнень збільшується експоненціально [10]. Така ситуація оцінюється, як глобальна загроза для різних галузей економіки та оточуючого середовища [11].

Більшість з фітофагів-інвайдерів поширилися разом зі своїми кормовими рослинами, незважаючи на те що, фіто-санітарні та карантинні норми міжнародних перевезень стають більш суворими, торгівля та перевезення екзотичних рослин планетою лишається провідним шляхом для поширення інвазійних фітофагів [12].

Серед інвазійних комах-фітофагів досить активно проявляють себе різноманітні мінери [13], багато їх видів широко відомі, як небезпечні шкідники сільськогосподарських культур, інші наносять збитки лісовому та садово-парковому господарству [14]. Листкові мінери живуть всередині листка кормової рослини, живляться паренхімою або епідермісом, утворюючи таким чином порожнини, які отримали назву «міни» [15].

Останні десятиліття саме мінери привертають велику увагу, через збільшення кількості інвазій [16; 17]. Багато мінерів-інвайдерів колонізували великі площі лісів у новому ареалі, дають постійні спалахи чисельності, що призводить до серйозних екологічних і економічних наслідків [18]. Біологічні інвазії чужорідних видів на міських об'єктах озеленення можна віднести до екологічних катастроф. Проникаючи на нову територію із сприятливими умовами, такі види за відсутності природних ворогів швидко збільшують свою чисель-

ність і безперешкодно поширюються міськими насадженнями [19–21].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Одним з провідних факторів забруднення міського середовища є вміст полутантів різного походження у атмосферному повітрі. Деревна рослинність в урбоекосистемах відчуває постійний вплив такого забруднення, що відображається, у тому числі, підвищенням вмісту важких металів у тканинах листків. Фітофаги, як консументи першого порядку, відчувають вплив вмісту важких металів, а певні їх концентрації навіть можуть впливати на процеси життєдіяльності личинок стадій розвитку. Отже, вплив важких металів може розглядатись, у тому числі, як один із лімітуючих факторів міського середовища.

Наукова новизна. Уперше отримано дані, що показують вплив важких металів на механізми адаптації інвазійних видів мінерів до нового середовища.

Метою роботи було встановити особливості впливу важких металів на процес поширення інвазійного комплексу молей-строкаток (Gracillariidae) в умовах м. Дніпро.

Матеріали і методи роботи. Для з'ясування особливостей заселення та життєдіяльності видів-інвайдерів у міському середовищі було проведено дослідження в межах агломерації м. Дніпро, територія якої характеризується набором багатьох екологічних чинників, що, ймовірно, можуть впливати на популяції мінерів.

Для проведення досліджень з метою з'ясування впливу міської агломерації на стан популяцій інвазійних Gracillariidae у м. Дніпро протягом 5 років (2017–2021 рр.) було здійснено моніторингові спостереження на 8 пробних ділянках. Для цих цілей було обрано основні за площею паркові урбоценози, розміщені у різних ландшафтних умовах (рис. 1).

Для дослідження вмісту важких металів у листкових пластинках кормових рослин інвазійних Gracillariidae методом атомно-абсорбційного аналізу було використано і підготовлено 120 проб. Дослідний матеріал було відібрано у восьми паркових зонах м. Дніпро та природному заповіднику «Дніпровсько-Орільський».

Листя середньої формації по 5 штук відбирали на річному вегетативному прирості з нижньої третини крони південної експозиції в суху ясну погоду в липні-вересні 2019–21 рр. від п'яти дерев, уражених інвайдерами на кожній пробній ділянці.

Листкові пластинки кормових рослин Gracillariidae дегідрували у фарфорових тиглях за допомогою сушильної шафи при $t^{\circ} = 100^{\circ}\text{C}$. Електронними вагами AXIS AD500 сухий залишок листків гіркокаштану звичайного зважували з точністю до 0,001 г (необхідна маса для аналізу становила 0,5–1,0 г). Потім у муфельній печі при $t^{\circ} = 450^{\circ}\text{C}$ проводили зоління.

Золу насипали до конічної колби та додавали 0,5 мл концентрованої азотної кислоти та 0,5 мл бідистильованою води. Отриманий розчин доводили 10 мл дистилату та фільтрували за допомогою беззолних фільтрів, далі промивали тигель 10 мл бідистильованою води та доводили об'єм розчину до 25 мл. У пробах аналізувався вміст таких елементів, як цинк, мідь, свинець, кадмій.

Вміст важких металів в уражених мінерами листових пластинках визначали з використанням методу атомно-абсорбційної спектrophотометрії на спектrophотометрі ААС-30 за стандартною методикою І. П. Хавезова (1983). Результати розраховували за формулою:

$$C_0 = C_1 \times V / P,$$

де C_0 – показник вмісту важких металів у листових пластинках *A. hippocastanum*, мг/кг сухої маси;

C_1 – концентрація металу в 1 мл розчину (мкг/мл);

V – об'єм розчину, мл;

P – маса наважки листових пластинок гіркого каштану (суха маса), г.

Викладення основного матеріалу. У якості модельних об'єктів досліджень було обрано популяції трьох найпоширеніших інвазійних видів родини молей-строкаток (*Gracillariidae* Stainton, 1854): каштанового мінера (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986), та двох робінієвих мінерів – *Parectopa*

robinella (Clemens, 1863) і *Macrosaccus robinella* (Clemens, 1859). Дослідження із впливу важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd) на міські популяції комплексу мінерів-інвайдерів робінії показали достовірні відмінності за типами урбоєкосистем (рис. 2 та рис. 3).

Також нами встановлено, що різні види-інвайдери по-різному реагують на вміст різних важких металів у тканинах кормових рослин.

Спільною рисою для фітофагів робінії звичайної виявився встановлений вплив вмісту цинку та свинцю на ступінь заселення листових пластинок. Чим більший вміст вказаних елементів у тканині робінії, тим більше заселені такі листки обома видами-інвайдерами.

Виявилось, що чим більший вміст важких металів (особливо цинку, міді та свинцю) у тканинах листків кормової рослини, тим більша кількість мін. Результати Загальних лінійних моделей впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на кількість мін обох інвайдерів, трофічно пов'язаних із робінією звичайною, в умовах м. Дніпро (табл. 1 та табл. 2) це продемонстрували.

Побудовані лінійні моделі для обох видів показали, що найбільш істотний вплив на заселення паркових урбоценозів чинить вміст міді у тканинах кормових рослин. Серед найпоширеніших у міському повітрі контаменантів найменший вплив на заселення інвазійних *Gracillariidae* має кадмій.



Рис. 1. Карта розташування пробних площ:

1 – парк Дружби народів, 2 – парк Мануйлівський, 3 – природний заповідник «Дніпровсько-Оріельський», 4 – парк ім. Т. Г. Шевченка, 5 – парк Лазаря Глоби, 6 – Ботанічний сад ДНУ, 7 – парк 40-річчя визволення Дніпра, 8 – парк Придніпровський

Особливо цікавими виявились дані, що демонструють вплив важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd) на особливості заселення паркових урбоценозів *M. robiniella*. Як бачимо з таблиці 1, найістотніше значення за роки спостережень встановлено лише для вмісту міді у тканинах кормової рослини.

Аналіз особливостей заселення *C. ohridella* гіркокаштанових насаджень у м. Дніпро також виявив схожий тренд. Як видно з рисунку 4, чим більший вміст важких металів у тканинах кормових рослин, тим більший відсоток ураження листка. Особливо така залежність спостерігається для кадмію та свинцю.

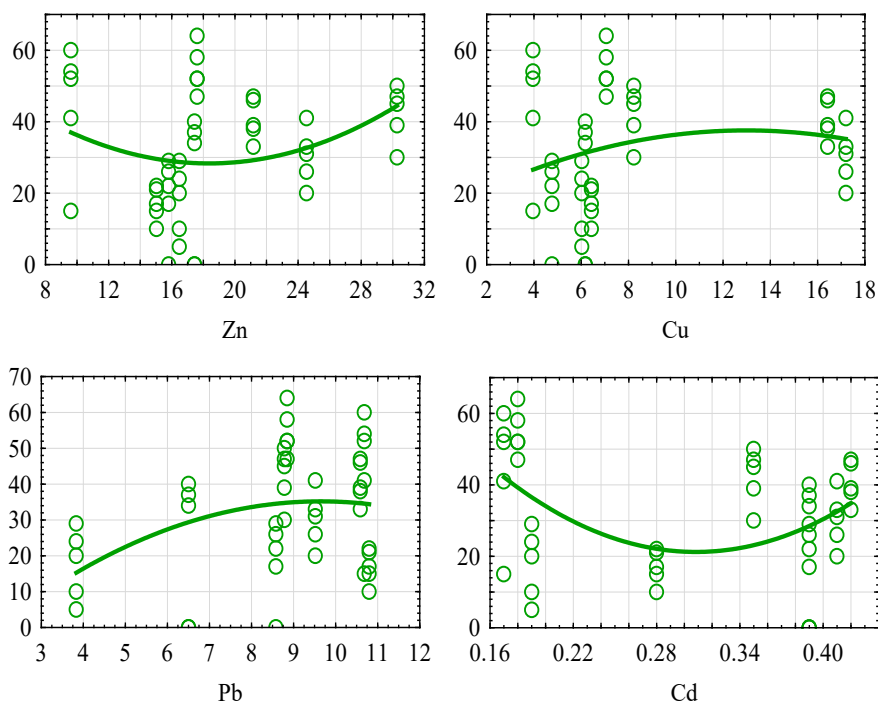


Рис. 2. Залежність кількості мін *P. robiniella* (ось ординат) від вмісту важких металів (ось абсцис, у мкг/г)

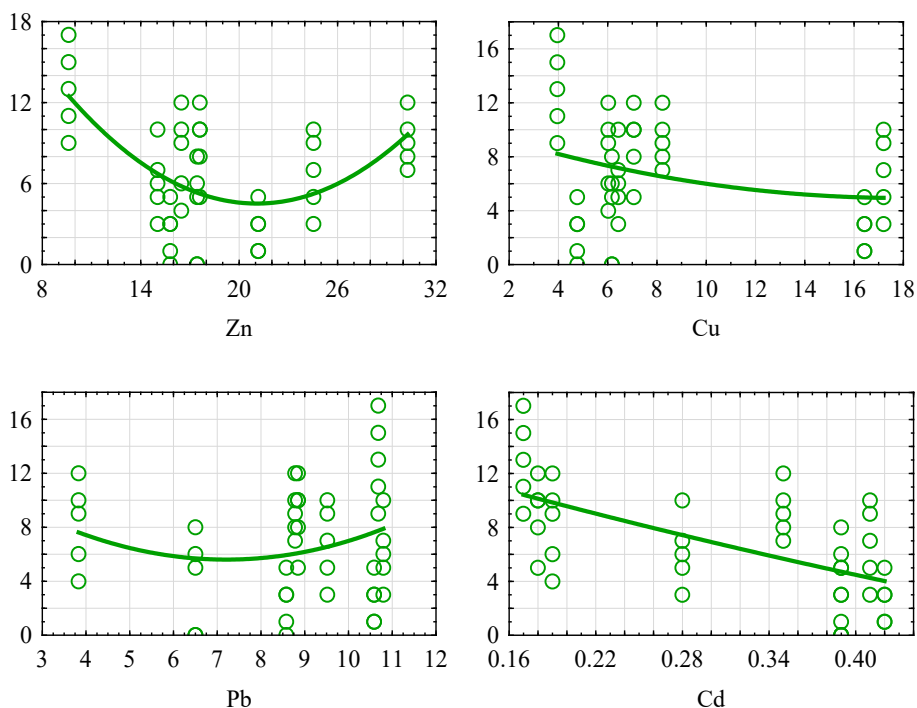


Рис. 3. Залежність кількості мін *M. robiniella* (ось ординат) від вмісту важких металів (ось абсцис, у мкг/г)

Висота насаджень *A. hippocastanum* над рівнем моря також впливає на особливості заселення *C. ohridella*. Як і в ситуації із заселенням комплексу робінієвих мінерів-інвайдерів, чим вище знаходяться насадження кормової рослини, тим більше відсоток ураження спостерігається для її листових поверхонь.

Результати Загальної лінійної моделі (табл. 3) впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на ступінь заселення *C. ohridella* насаджень *A. hippocastanum* у різних урбоценозах м. Дніпро

чітко демонструють наявність залежності від цих предикторів.

Висновки. За результатами статистичної обробки даних, найбільша кількість мін інвазійних Gracillariidae на листках кормових рослин зареєстрована в екологічно сприятливих для життєдіяльності кормових рослин екосистемах, де ключовими чинниками були вік рослини, положення насадження дерев над рівнем моря, а для міських насаджень – вміст важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd) у тканинах листків.

Таблиця 1

Результати загальної лінійної моделі впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на кількість мін *P. Robiniella* ($R^2_{adj} = 0,48$, $F = 7,8$, $p < 0,001$)

Вплив	Сума квадратів	Ступені вольності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень	Бета-регресійні коефіцієнти
Константа	2170,4	1	2170,4	14,75	<0,001	–
висота	537,7	1	537,7	3,65	0,06	0,25±0,13
Рік	2170,7	1	2170,7	14,75	<0,001	0,42±0,11
Zn	1288,0	1	1288,0	8,75	0,01	0,43±0,15
Cu	0,2	1	0,2	0,00	0,97	–0,01±0,17
Pb	1146,0	1	1146,0	7,79	0,01	0,34±0,12
Cd	1606,1	1	1606,1	10,92	<0,001	–0,50±0,15
Помилка	5591,4	38	147,1	–	–	–

Таблиця 2

Результати загальної лінійної моделі впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на кількість мін *M. robiniella* ($R^2_{adj} = 0,81$, $F = 33,9$, $p < 0,001$)

Вплив	Сума квадратів	Ступені вольності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень	Бета-регресійні коефіцієнти
Константа	174,81	1	174,81	56,33	<0,001	–
H	83,21	1	83,21	26,81	<0,001	–0,40±0,08
Рік	176,40	1	176,40	56,84	<0,001	0,49±0,06
Zn	38,92	1	38,92	12,54	<0,001	0,31±0,09
Cu	10,87	1	10,87	3,50	0,07	0,19±0,10
Pb	55,72	1	55,72	17,96	<0,001	0,30±0,07
Cd	376,94	1	376,94	121,46	<0,001	–0,98±0,09
Помилка	117,93	38	3,10	–	–	–

Таблиця 3

Результати загальної лінійної моделі впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на ступінь заселення *C. ohridella* ($R^2_{adj} = 0,81$, $F = 33,9$, $p < 0,001$)

Вплив	Сума квадратів	Ступені вольності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень	Бета-регресійні коефіцієнти
Константа	0,61	1	0,61	301,84	<0,001	–
H	0,67	1	0,67	332,82	<0,001	–5,64±0,31
Zn	0,68	1	0,68	339,36	<0,001	6,63±0,36
Cu	0,60	1	0,60	300,97	<0,001	–3,37±0,19
Pb	0,08	1	0,08	40,90	<0,001	–0,70±0,11
Cd	0,74	1	0,74	368,09	<0,001	3,09±0,16
Помилка	0,07	34	0,00	–	–	–

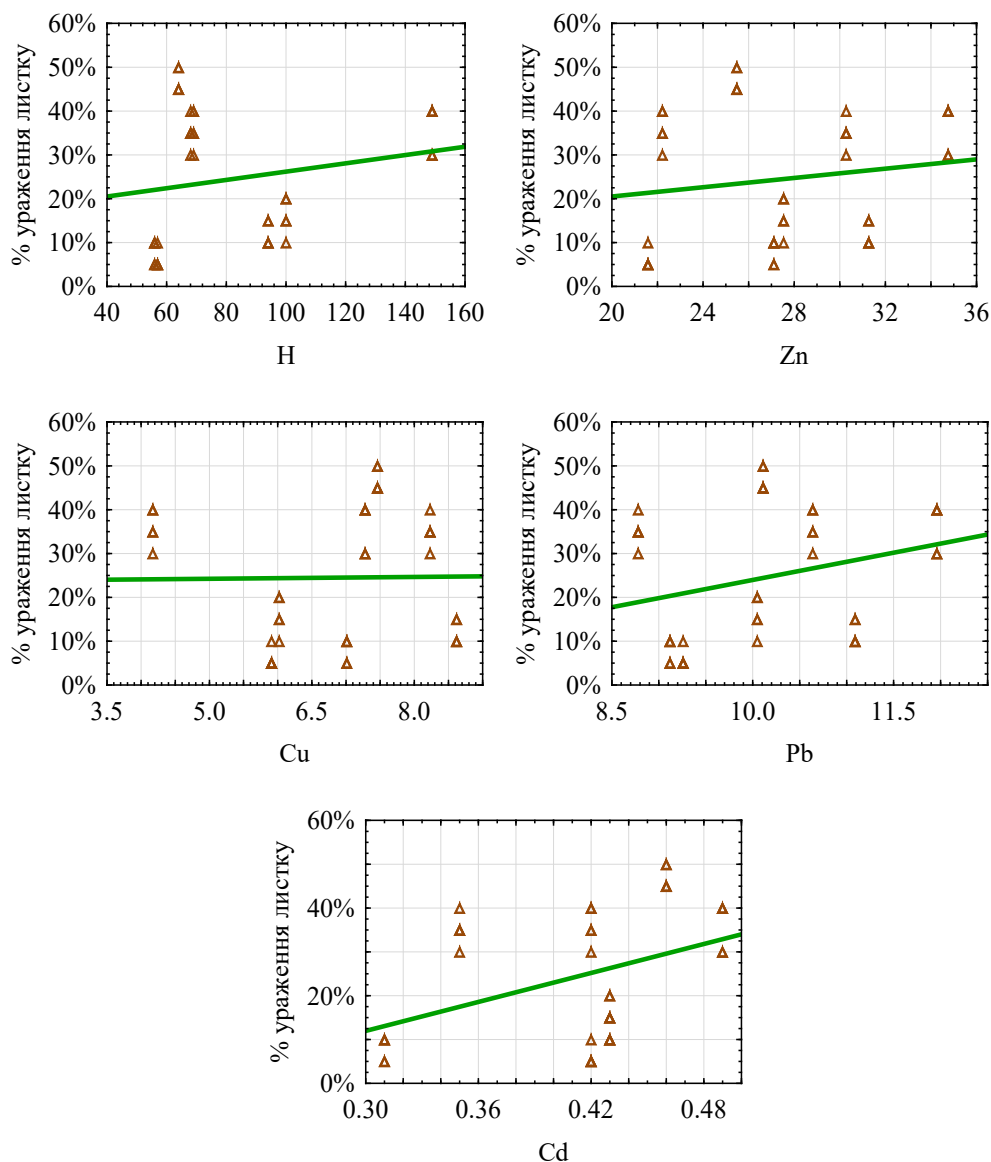


Рис. 4. Залежність ураження *C. ohridella* листку *A. hippocastanum* (вісь ординат) від вмісту важких металів (вісь абсцис, у мкг/г) та висоти рельєфу (вісь абсцис, м)

Література

1. Opp C., Hahn J., Zitzer N., Laufenberg G. Heavy Metal Concentrations in Pores and Surface Waters during the Emptying of a Small Reservoir. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2015. 3, 66–72. <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.310011>
2. Marenkov O., Holoborodko K., Voronkova Y., Gorban V. Effect of zinc and cadmium ions on histostructure of antennal glands of marbled crayfish *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis* (Decapoda). *Acta Biol. Univ. Daugavp*, 2017. 17 (2), 219–224. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183094158>
3. Маренков О. М., Голобородько К. К., Воронкова Ю. С., Нестеренко О. С. Вплив іонів цинку та кадмію на масу тіла, плодючість і стан тканин і органів *Procambarus fallax* f. *virginalis* (Decapoda, Cambaridae). *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 2017. 8 (4), 628–632. <https://doi.org/10.15421/021796>
4. Voronkova Y. S., Marenkov O. M., Holoborodko K. K. Liver antioxidant system of the Prussian carp and pumpkinseed as response to the environmental change. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018, 8 (1), 749–754. https://doi.org/10.15421/2017_276
5. Holoborodko K. K., Marenkov O. M., Gorban V. A., Voronkova Y. S. The problem of assessing the viability of invasive species in the conditions of the steppe zone of Ukraine. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 2016, 24 (2), 466–472. <https://doi.org/10.15421/011663>
6. Голобородько К. К.; Русинов В. І.; Селютіна О. В. Інвазійні молі-строкатки (Gracillariidae Stainton, 1854) фауни Ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2018, 47, 87–91.

7. Holoborodko K. K., Rusynov V. I., Seliutina O. V. Addition to analysis of morphological parameters of mines on two invasive leaf-mining Lepidoptera species ((*Parectopa robinella* (Clemens, 1863) and *Phyllonorycter robinella* (Clemens, 1859)) on black locust. *Problems of bioindications and ecology*. 2018, 23 (2), 134–141. <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2018-23/2-09>
8. Голобородько К. К., Русинов В. І., Пахомов О. Є. Білоакацієва міль-строкатка (*Parectopa robinella* Clemens, 1863) у паркових зонах м. Дніпро. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*. 2020. 1, 37–43. <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2020-1-05>
9. Голобородько К. К., Селютіна О. В., Крайник Ю. М., Пахомов О. Є. Комплекс інвазійних Лускокрилих (Lepidoptera) на території Національного природного парку «Великий Луг». *Український ентомологічний журнал*. 2020, 1–2 (18), 30–35. <https://doi.org/10.15421/282004>
10. Seebens H., Blackburn T. M., Dyer E. E. et al. The global rise in emerging alien species results from increased accessibility of new source pools. *PNAS*. 2018. 115 (10), 2264–2273.
11. Aukema J. E., Leung B., Kovacs K. Economic impacts of non-native forest insects in the continental United States. *PLoS ONE*. 2011. 6 (9): e24587.
12. Liebhold A. M., Brockerhoff E. G., Garrett L. J. Live plant imports: the major pathway for forest insect and pathogen invasions of the US. *Front Ecol Environ*. 2012, 10. 135–143.
13. Kirichenko N., Augustin S. and Kenis M. Invasive leafminers on woody plants: a global review of pathways, impact, and management. *Journal of Pest Science*. 2018. First Online: 29 June 2018.
14. Ellis W. Leafminers and plant galls of Europe. Plant parasites of Europe: leafminers, gallers and fungi. 2018. <http://bladmineers.nl/>. Accessed 5 Feb 2018.
15. Hering M. E. Biology of the leafminers. Junk's, Gravenhage. 1951, 420.
16. Šefrova H. Invasions of Lithocolletinae species in Europe – causes, kinds, limits and ecological impact (Lepidoptera, Gracillariidae). *Ecologia (Bratislava)*. 2003. 22 (2). 132–142.
17. van Nieukerken E., Wagner D., Baldessari M. *Antispila oinophylla* new species (Lepidoptera, Heliozelidae), a new North American grapevine leafminer invading Italian vineyards: taxonomy, DNA barcodes and life cycle. *ZooKeys*. 2012. 170, 29–77.
18. Sweeney J., Meating J., Goble T. Effect of dosage and treatment frequency of efficacy of TreeAzin Systematic Insecticide for protecting foliage from the beech leaf-mining weevil and preventing mortality of American beech in high value urban environments. SERG International 2017 workshop. Proceedings, 7–9 Feb 2017. *Nat Resour Can Can For Serv* 46: 1124–1132.
19. Jagiello E., Baraniak E., Guzicka M., Karolewski P., Ukowski A., Giertych M. J. One step closer to understanding the ecology of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae): The effects of light conditions. *European Journal of Entomology*, 2019. 116, 42–51.
20. Percival G. C., Barrow I., Noviss K. et al. The impact of horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka and Dimic) on vitality, growth and reproduction of *Aesculus hippocastanum* L. *Urban For. Urban Green*. 2011, 10. 11–17.
21. Seliutina O. V., Shupranova L. V., Holoborodko K. K., Shulman M. V., Bobylev Y. P. Effect of *Cameraria ohridella* on accumulation of proteins, peroxidase activity and composition in *Aesculus hippocastanum* leaves. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. 11 (2), 299–304. <https://doi.org/10.15421/022045>