

© Й.Ф. Рівіс, І.І. Саранчук, О.Я. Клим, О.Б. Дяченко, О.І. Стадницька, В.Д. Федак, О.О. Гопаненко, 2021
УДК 638.1:638.124, 577.12:546.3

DOI: 10.32636/agrosience.2022-(1)-1-6

ОСОБЛИВОСТІ НАГРОМАДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У БДЖОЛИНОМУ ОБНІЖЖІ (ПИЛКУ РОСЛИН) В РІЗНИХ ПРИРОДНИХ ЗОНАХ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

¹Йосип РІВІС доктор сільськогосподарських наук,

²Іван САРАНЧУК, ¹Олег КЛИМ, ¹Олександр ДЯЧЕНКО, ¹Ольга СТАДНИЦЬКА, ¹Василь ФЕДАК кандидати сільськогосподарських наук,

³Ольга ГОПАНЕНКО, кандидат біологічних наук

¹Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН,
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине, Львівський р-н, Львівська обл., 81115, Україна

²Буковинська державна дослідна станція,

³Львівська медична академія імені Андрея Крупинського.

e-mail: rivisjf@gmail.com

Підослідні пасіки клінічно здорових медоносних бджіл породи карпатська були відібрані на базі приватних пасічних господарств гірської, передгірної та лісостепової зон Львівської області. Для оцінки інтенсивності техногенного навантаження на довкілля, де знаходяться підослідні пасіки медоносних бджіл, визначався вміст Феруму, Цинку, Купруму, Хрому, Кобальту, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію в орному шарі ґрунту та бджолиному обніжжі (пилку рослин). Встановлено, що в напрямку від гірської до передгірної та далі до лісостепової зони Карпатського регіону зростає вміст Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію в орному шарі ґрунту та бджолиному обніжжі (пилку рослин). Одночасно в наведеному вище прикладі знижуються коефіцієнти переходу Цинку, Хрому та Ніколу із орного шару ґрунту в бджолине обніжжя; Цинку та Ніколу – у пилку із кульбаби лікарської; Цинку – в пилку із яблуні. У напрямку від гірської до передгірної і далі до лісостепової зони Карпатського регіону, через високий рівень важких металів, знижується льотно-збиральна щодо обніжжя (пилку) і медова продуктивність робочих бджіл. Високий рівень важких металів у бджолиному обніжжі (пилку рослин), отриманого з вуликів, розміщених у передгірній та особливо лісостеповій зонах Карпатського регіону, є наслідком урбанізації та індустріалізації території. Бджолине обніжжя та пилку із кульбаби лікарської і яблуні загалом можуть бути біоіндикаторами екологічного стану довкілля. Однак через оптимальний вміст важких металів найкращим біоіндикатором екологічного стану довкілля є пилку із кульбаби лікарської.

Ключові слова: природні зони Карпатського регіону, бджолине обніжжя, важкі метали, біоіндикатори.

Вступ. Джерела емісії важких металів і шляхи їх надходження в навколишнє середовище відрізняються різноманітністю, але загалом вони мають техногенне походження, як наслідок урбанізації та індустріалізації. Урбанізація та індустріалізація, зокрема, діяльність промисловості, сільського господарства, енергетики й транспорту, а також інтенсивне видобування корисних копалин – все це призвело до надходження у повітря, воду, ґрунт і рослини важких, у тому числі високотоксичних металів, зокрема, Плюмбуму, Кадмію й Арсену (Влізло В. В. і ін., 2012).

Міграція важких металів в об'єктах зовнішнього середовища спричинила нагромадження їх у ґрунтах і рослинах (Влізло В. В. і ін., 2012; Chibuike G. U., Obioma S. C. (2014). Як наслідок, одні види рослин поступилися місцем іншим і змінилися як строки їх цвітіння, так і умови медозбору бджолами (Боднарчук Г. Л., Гаврилюк О. І., Романенко Л. І., 2018; Ковка Н. О., Недашківський В. М., 2019). Наведене вище призвело також до накопичення важких металів у тканинах медоносних бджіл і продуктах бджільництва (Влізло В. В. і ін., 2012; Разанов С. Ф., Швець В. В., 2012; Loretta Y., Yong R. N., Thomas H. R., 2015). Все це відбивається на продуктивності бджолиних сімей та якісних показниках їх продукції (Loretta Y., Yong R. N.,

Thomas H. R., 2015). Тому актуальним є питання виробництва екологічно безпечних продуктів бджільництва. Тим більше, що продукція медоносних бджіл займає чільне місце в життєдіяльності людини. До якісних показників продукції медоносних бджіл ставляться дуже високі вимоги, оскільки на даний час Україна стала основним експортером медів у Європу.

У літературі є тільки фрагментарні дані щодо вмісту важких металів у бджолиному обніжжі та тканинах медоносних бджіл, які утримуються в різних природних зонах Карпатського регіону (Клим О. Я., 2020).

Враховуючи вищевикладене, метою роботи було визначити коефіцієнти переходу важких металів із орного шару ґрунту в бджолине обніжжя (пилку рослин) та вміст важких металів у згаданому матеріалі з рослин в різних природних зонах Карпатського регіону.

Матеріали та методи.

Підослідні пасіки клінічно здорових медоносних бджіл породи карпатська (*Apis mellifera* (L.) *carpatica*), були відібрані на базі приватних пасічних господарств гірської (сmt. Славське Сколівського району), передгірної (с. Нижня Стинава Стрийського району) та лісостепової (с.

Миклашів Львівського району) зон Львівської області, де різні природно-кліматичні умови й екологічна ситуація.

Для оцінки інтенсивності техногенного навантаження на довкілля, де знаходяться піддослідні пасіки медоносних бджіл, визначався вміст важких металів (Феруму, Цинку, Купруму, Хрому, Кобальту, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію) в орному шарі ґрунту, бджолиному обніжжі та пилку з кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale* Wigg.) й яблуні (*Malus domestica* (Borkh.) Borkh.). При цьому визначалися коефіцієнти переходу важких металів із ґрунту в бджолине обніжжя та у пилку із кульбаби лікарської і яблуні. Одночасно аналізувалося значення рівня важких металів, у тому числі токсичних, бджолиного обніжжя та пилку з кульбаби лікарської й яблуні для організму медоносних бджіл, бджолиних стільників і вуликів у різних природних зонах Карпатського регіону. Вміст важких металів у відібраних зразках орного шару ґрунту, бджолиного обніжжя та пилку з кульбаби лікарської й яблуні визначався за чинним на даний час державним стандартом на атомно-абсорбційному спектрофотометрі Селмі-115 (Лопач С. Н., Чубенко А. В., Бабиш П. Н., 2001).

Для уточнення видової приналежності відібраного пилку проводилися ідентифікаційні дослідження за допомогою комп'ютерних програм «LUCIA» (Laboratory Colour Image Analysis) і «Pollen Data Bank». Ці програми дають можливість визначити основні параметри пилкового зерна, відзнятого відеокамерою з мікроскопа, шляхом накладання зображень та порівняння з еталонними зразками.

Отриманий цифровий матеріал опрацьовано методом варіаційної статистики з використанням критерію Стьюдента (Ібатуллин І. І., Жукорський О. М., 2017). Вираховувалися середні арифметичні величини (M) та похибки середніх арифметичних ($\pm m$). Різниця вважалася вірогідною за $p < 0,05$. Для розрахунків використана комп'ютерна програма Origin 6.0, Microsoft Excel.

Результати та обговорення.

Стан довкілля на об'єктах дослідження контрольної гірської зони, що розташована в смт. Славське Сколівського району, за шестиступеневою шкалою загальної забрудненості навколишнього середовища в Україні вважається умовно чистим (1 ступінь) (Заставний Ф., 2011). На цій території власних промислових викидів найменше. Стан довкілля дослідної передгірної зони (с. Нижня Стинава, Стрийський район) характеризується помірним забрудненням (2 ступінь). Дослідна лісостепова зона (с. Миклашів, Львівський район) знаходиться в забрудненій (3 ступінь) зоні, яка межує з дуже забрудненою (4 ступінь).

Отже, території, на котрих вибрані пасіки для дослідження впливу якості природного довкілля на чистоту продукції бджільництва, представляють усі зони забруднення Карпатського регіону та цілком відображають екоситуацію в Західній Україні.

Встановлено, що в орному шарі ґрунту, бджолиному обніжжі та пилку з кульбаби лікарської і яблуні передгірної та лісостепової зон Карпатського регіону, порівняно з умовно чистою гірською зоною, є вірогідно більший вміст Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому й Ніколу та особливо Плюмбуму і Кадмію (табл. 1, 2, 3 і 4).

Таблиця 1. Валовий вміст важких металів, у тому числі токсичних, в орному шарі ґрунту в різних природних зонах Карпатського регіону, $г \cdot 10^{-3}/кг$ повітряно-сухої маси ($M \pm m$, $n=3$)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	14325,00 \pm 294,214	15184,29 \pm 454,862*	16573,04 \pm 294,429**
Цинк, Zn	47,58 \pm 4,488	78,52 \pm 3,722**	96,13 \pm 4,890***
Купрум, Cu	21,60 \pm 1,391	34,56 \pm 1,828**	45,64 \pm 2,264***
Кобальт, Co	11,76 \pm 0,375	13,63 \pm 0,560**	17,20 \pm 1,830***
Хром, Cr	41,69 \pm 2,283	63,65 \pm 3,584**	87,53 \pm 4,163***
Нікол, Ni	21,24 \pm 1,625	41,33 \pm 2,512***	59,42 \pm 3,214***
Плюмбум, Pb	19,37 \pm 0,784	25,83 \pm 1,442*	33,30 \pm 2,870***
Кадмій, Cd	2,03 \pm 0,088	2,60 \pm 0,115*	3,20 \pm 0,271***

Примітка. Тут і далі різниця вірогідні порівняно з гірською зоною: * – $p < 0,05-0,02$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Таблиця 2. Вміст важких металів, у тому числі токсичних, у бджолиному обніжжі в різних природних зонах Карпатського регіону, $г \cdot 10^{-3}/кг$ повітряно-сухої маси ($M \pm m$, $n=3$)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	33,52 \pm 0,830	37,11 \pm 0,781*	43,39 \pm 2,253**
Цинк, Zn	34,39 \pm 1,91	39,20 \pm 0,900*	42,72 \pm 0,872**
Купрум, Cu	2,01 \pm 0,089	3,02 \pm 0,169*	4,20 \pm 0,170***
Кобальт, Co	1,01 \pm 0,029	1,14 \pm 0,050*	1,44 \pm 0,112***
Хром, Cr	4,10 \pm 0,177	5,02 \pm 0,180*	6,68 \pm 0,149***
Нікол, Ni	0,58 \pm 0,015	0,65 \pm 0,015*	0,74 \pm 0,023**
Плюмбум, Pb	0,13 \pm 0,007	0,16 \pm 0,009*	0,21 \pm 0,012**
Кадмій, Cd	0,04 \pm 0,003	0,07 \pm 0,007*	0,10 \pm 0,009**

Із наведених у таблицях 1, 2, 3 і 4 даних також видно, що в орному шарі ґрунту, бджолиному обніжжі та пилку з кульбаби лікарської і яблуні лісостепової зони Карпатського регіону міститься найвищий рівень досліджуваних важких металів. При цьому вміст Пльомбуму і Кадмію в орному шарі ґрунту в наведеній вище зоні є дещо більшим за гранично допустиму концентрацію. Вважається, що

зростання вмісту Пльомбуму в орному шарі ґрунту пов'язано з інтенсивним рухом автотранспорту (Manning R., 2006), а Кадмію – з внесенням меліорантів і мінеральних добрив, насамперед, відповідно фосфогіпсу та суперфосфату (Вожегова Р. А., Влащук А. М., Дробіт О. С., 2021; Саранчук І. І., Рівіс Й. Ф., 2008).

Таблиця 3. Вміст важких металів, у тому числі токсичних, у пилку з кульбаби лікарської в різних природних зонах Карпатського регіону, $\text{г}\cdot 10^{-3}/\text{кг}$ повітряно-сухої маси ($M\pm m, n=3$)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	30,48±0,876	41,78±0,922***	51,77±1,230***
Цинк, Zn	42,02±1,020	54,35±0,640***	63,81±0,856***
Купрум, Cu	3,17±0,111	5,17±0,091***	6,89±0,214***
Кобальт, Co	10,25±0,494	12,37±0,452*	13,83±0,235**
Хром, Cr	3,21±0,121	5,53±0,184***	6,76±0,300***
Нікол, Ni	0,43±0,020	0,67±0,026**	0,95±0,040***
Пльомбум, Pb	0,98±0,035	1,93±0,042***	2,69±0,123***
Кадмій, Cd	0,04±0,006	0,11±0,006**	0,15±0,009***

Таблиця 4. Вміст важких металів, у тому числі токсичних, у пилку з яблуні у різних природних зонах Карпатського регіону, $\text{г}\cdot 10^{-3}/\text{кг}$ повітряно-сухої маси ($M\pm m, n=3$)

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	14,16±0,440	19,24±0,338***	24,68±0,288***
Цинк, Zn	16,72±0,323	23,54±0,336***	29,00±0,480***
Купрум, Cu	1,19±0,046	2,06±0,073***	2,94±0,049***
Кобальт, Co	1,06±0,056	1,30±0,043*	1,48±0,037**
Хром, Cr	1,10±0,057	2,34±0,192**	2,97±0,051***
Нікол, Ni	0,11±0,010	0,22±0,011*	0,33±0,015***
Пльомбум, Pb	0,42±0,011	0,67±0,029**	1,08±0,030***
Кадмій, Cd	0,02±0,003	0,04±0,003*	0,08±0,005**

Особливо вагомо у бджолиному обніжжі та пилку з кульбаби лікарської і яблуні підвищується рівень небезпечного елемента першого класу токсичності Кадмію – у 2,5–4,0 рази, порівняно з умовно чистим гірським довкіллям. Також помітно збільшується концентрація Хрому – елемента другого класу токсичності (у 1,6–2,7 рази).

Слід звернути увагу також на те, що пилки з кульбаби лікарської є значно активнішим акумулятором важких металів, у тому числі токсичних, порівняно з пилком із яблуні. Практично усі важкі метали в середньому удвічі більшої кількості нагромаджуються у пилку з кульбаби лікарської, ніж у пилку з яблуні.

Отримані дані характеризують рівень техногенного забруднення довкілля на підслідних територіях. Високий рівень Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому, Ніколу, Пльомбуму та Кадмію у повітрі і ґрунтах є причиною збільшення їх концентрації в бджолиному обніжжі та пилку з кульбаби лікарської і яблуні, отриманих у передгірній та лісостеповій зонах Карпатського регіону. Все це є наслідком більшої урбанізації та індустріалізації наведених вище територій.

Встановлено, що в Карпатському регіоні дуже високий коефіцієнт переходу з орного шару ґрунту в бджолине обніжжя та пилки з кульбаби лікарської і яблуні має Цинк (табл. 5, 6 і 7). Набагато нижчі коефіцієнти мають Купрум і Хром, ще нижчі – інші метали. Найнижчі коефіцієнти переходу з орного шару ґрунту в бджолине обніжжя та пилки з кульбаби лікарської і яблуні мають Пльомбум та особливо Ферум.

Слід відмітити, в Карпатському регіоні Кобальт має дуже високий коефіцієнт переходу з орного шару ґрунту в пилки з кульбаби лікарської (табл. 6). Це, можливо, пов'язано з високим рівнем синтезу протеїнів у тканинах кульбаби лікарської. Як відомо, Кобальт входить в склад такого ензиму, як ціанкобаламін, який сильно стимулює процеси синтезу протеїнів у рослинних і тваринних тканинах (Окон В., 2016).

Підвищений коефіцієнт переходу Цинку з орного шару ґрунту в бджолине обніжжя та пилки з кульбаби лікарської і яблуні, очевидно, викликаний тим, що цей мінеральний елемент вкрай необхідний для нормального функціонування та високої активності чоловічих гаметофітів (Технічні умови. ДСТУ 3127–95). Він, можливо, також вкрай

необхідний для нормального функціонування та високої активності жіночих гаметофітів (Швец В. В., 2017). Вищенаведене, очевидно, пов'язане з тим, що Цинк входить в склад ензимів, які сприяють утворенню з поліненасичених жирних цілої низки біологічно активних речовин, котрі причетні до відтворювальної здатності рослинних організмів (Morris J. A., Khettry A. Seitz E. W., 1979). Якщо в тваринних організмах головними біологічно активними речовинами, причетними до відтворювальної здатності, є простагландини (Окоп В., 2016), то в рослинних – оксиліпіни (Технічні умови. ДСТУ 3127–95). Слід відмітити те, що простагландини та оксиліпіни синтезуються відповідно в тваринних і рослинних тканинах із поліненасичених жирних кислот лінолевої та ліноленової (Porrini C., Sabatini A. G., Girotti S., 2003; Vishchur V. Y., Saranchuk I. I., Gutiy B. V., 2016).

Високий рівень переходу Цинку з орного шару ґрунту в бджолине обніжжя та пилок з кульбаби лікарської і яблуні, очевидно, буде мати велике

значення для організму бджіл. Зокрема, він буде дуже необхідний для нормального функціонування й високої активності чоловічих і жіночих гамет та, як наслідок, яйцекладки бджолиних маток (Adamchuk L. et al., 2016).

Встановлено, що в напрямку від гірської до передгірної та далі до лісостепової зони Карпатського регіону зменшується засвоєння рослинами деяких важких металів. Цей факт підтверджено зниженням коефіцієнтів переходу Цинку, Хрому та Ніколу із орного шару ґрунту в бджолине обніжжя; Цинку та Ніколу – у пилок із кульбаби лікарської; Цинку – в пилок із яблуні (табл. 5, 6 і 7). Причому зниження коефіцієнтів переходу важких металів із орного шару ґрунту в бджолине обніжжя та пилок із кульбаби лікарської і яблуні найбільш виражено в лісостеповій зоні Карпатського регіону. Очевидно, в цій природній зоні рослини вже менше можуть захищатися від надмірного надходження до них важких металів.

Таблиця 5. Коефіцієнти переходу важких металів, у тому числі токсичних, із орного шару ґрунту в бджолине обніжжя в різних природних зонах Карпатського регіону

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	0,002	0,002	0,003
Цинк, Zn	0,723	0,499	0,444
Купрум, Cu	0,093	0,087	0,092
Кобальт, Co	0,086	0,084	0,084
Хром, Cr	0,098	0,079	0,076
Нікол, Ni	0,027	0,016	0,012
Плюмбум, Pb	0,007	0,006	0,006
Кадмій, Cd	0,020	0,027	0,031

Таблиця 6. Коефіцієнти переходу важких металів, у тому числі токсичних, із орного шару ґрунту в пилок з кульбаби лікарської в різних природних зонах Карпатського регіону

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	0,002	0,003	0,003
Цинк, Zn	0,883	0,692	0,664
Купрум, Cu	0,147	0,150	0,151
Кобальт, Co	0,872	0,908	0,804
Хром, Cr	0,076	0,087	0,077
Нікол, Ni	0,020	0,016	0,016
Плюмбум, Pb	0,051	0,075	0,081
Кадмій, Cd	0,020	0,042	0,047

Таблиця 7. Коефіцієнти переходу важких металів, у тому числі токсичних, із орного шару ґрунту в пилок з яблуні в різних природних зонах Карпатського регіону

Метал та його символ	Природні зони Карпатського регіону		
	Гірська	Передгірна	Лісостепова
Ферум, Fe	0,001	0,001	0,001
Цинк, Zn	0,351	0,300	0,302
Купрум, Cu	0,055	0,060	0,064
Кобальт, Co	0,090	0,095	0,086
Хром, Cr	0,026	0,037	0,034
Нікол, Ni	0,005	0,005	0,006
Плюмбум, Pb	0,022	0,026	0,032
Кадмій, Cd	0,010	0,015	0,025



Встановлено також, що від гірської до передгірної та далі до лісостепової зони Карпатського регіону зростає засвоєння рослинами деяких важких металів. Цей факт підтверджено підвищенням коефіцієнтів переходу Кадмію із орного шару ґрунту в бджолине обніжжя; Плюмбуму та Кадмію – у пилок із кульбаби лікарської; Хрому та особливо Купруму, Плюмбуму та Кадмію – в пилок із яблуні (табл. 5, 6 і 7).

Слід відмітити, що в лісостеповій зоні Карпатського регіону, порівняно з гірською, в орному шарі ґрунту є досить високий вміст пробіотичних Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому та Ніколу. Наведені вище важкі метали в допустимих кількостях вкрай необхідні для нормальної життєдіяльності рослинних тканин. Але підвищений в орному шарі ґрунту рівень токсичних Плюмбуму та Кадмію, очевидно, здатний нівелювати позитивний вплив пробіотичних важких металів на згадувані тканини.

Вище наведені важкі метали пилку причетні до обмінних процесів у тканинах і пилку рослин та в тканинах організму бджіл. Зокрема, за високого рівня Ферум здатний стимулювати пероксидні процеси в тканинах і пилку рослин та в тканинах організму бджіл, знижуючи при цьому найбільш цінні його складові – амінокислоти, поліненасичені жирні кислоти та жиророзчинні вітаміни (Detsyk Y. et al., 1999). З іншого боку, в пилку є такі важкі метали, як Цинк і Купрум, які в тканинах і пилку рослин та в тканинах організму бджіл за фізіологічно обумовленого рівня можуть діяти навпаки, адже вони є складовими такого ензиму, як супероксиддисмутаза, який сильно гальмує розвиток пероксидних процесів. І це при тому, що Купрум в лімфі бджіл виконує таку ж функцію, як Ферум у крові людини та тварин – окисно-відновну (Kabata-Pendias A., 2004). За фізіологічно обумовленого рівня антипероксидною дією володіють також такі важкі метали, як Нікол і Хром. Від Кобальту через ензим ціанкобаламін залежить інтенсивність синтезу протеїнів в рослинних і тваринних тканинах (Окоп В., 2016). Вважається, що незалежно від концентрації такі важкі метали пилку рослин, як Плюмбум і Кадмій, є токсикантами для організму бджіл (Дидів А. І., 2019).

Слід відмітити, що за високого рівня всі досліджувані важкі метали пилку рослин в організмі бджіл стають токсикантами (Chimanuki H., Knox D. A., Feldlaufer M. L., 1992). При цьому важкі метали у лімфі бджіл інтенсивніше зв'язуються з сульфгідрильними групами термостійких протеїнів та транспортуються в хітин (Статистичний щорічник Львівської області за 2012 рік). В останньому важкі метали депонуються.

Важкі метали пилку рослин через травний канал і воскові залози надходять в бджолині стільники (Ковальський Ю. В., 2015). В останніх важкі метали поводяться так само, як в організмі бджіл (Chimanuki H., Knox D. A., Feldlaufer M. L., 1992). Крім того, усі важкі метали пилку рослин у великих

кількостях здатні знижувати міцність стінок бджолиних стільників (Feldlaufer M. L. Knox D. A., Lusby W. R., 1993). Небажаною для організму личинок і дорослих бджіл є наявність в складі бджолиних стільників великої кількості токсичних Плюмбуму та Кадмію (Miyazaki M., Araki M., Okamura K., 2013). Також недобрим знаком є велика кількість токсичних Плюмбуму та Кадмію у вулику (Younus H., 2018).

У всьому світі ведуться пошуки засобів біоіндикації екологічного стану довкілля (Дідух Я. П., 2012). Це пов'язано з тим, що важкі метали, як і інші забруднювачі навколишнього середовища, мають неоднаковий рівень переходу з ґрунту в кореневу систему, з кореневої системи в стебло, з стебла в суцвіття та з суцвіття в пилок (Саранчук І. І., 2011).

Вважаємо, що в наших умовах найкращим біоіндикатором екологічного стану довкілля, через оптимальний вміст важких металів, є пилок із *Taraxacum officinale* Wigg. Нами пилок із кульбаби лікарської для біоіндикації екологічного стану довкілля використовується вже давно (Di Miceli M., Bosch-Bouju C., Layé S., 2020). Позитивним в цьому біоіндикаторі є те, що він дозволяє визначати різні рівні нагромадження важких металів і тим самим дає більше інформації. Зараз цей пилок для біоіндикації екологічного стану довкілля почали використовувати і інші вчені (Ібатуллін І. І., Жукорський О. М., 2017). Але для біоіндикації екологічного стану довкілля вони використовують показники зміни форми пилкового зерна з дископодібного на лінзоподібний та особливості проростання насіння *Taraxacum officinale* Wigg. Цими методами не встановлюється вплив різного рівня досліджуваних факторів екологічного стану довкілля, а лише визначається різкий перехід морфологічних і функціональних показників пилку рослин із одного стану в інший. Тобто, цей спосіб біоіндикації екологічного стану довкілля є нижчого рівня.

Висновки

У передгірній та лісостеповій зонах Карпатського регіону, порівняно з гірською, встановлено більший валовий вміст усіх досліджуваних нами важких металів (Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту, Хрому, Ніколу, Плюмбуму та Кадмію) в орному шарі ґрунту. Перевищення гранично допустимої концентрації у 1,1 рази виявлено щодо рівня Плюмбуму та Кадмію лише в лісостеповій зоні.

У бджолиному обніжжі та пилку з кульбаби лікарської і яблуні передгірної зони Карпатського регіону, порівняно з гірською, встановлено підвищення рівня Кадмію відповідно в 1,8, 2,8 і 2,0 рази та Хрому відповідно в 1,2, 1,7 і 2,1 рази, а лісостепової – відповідно в 2,5, 3,8 і 4,0 рази та 1,6, 2,1 і 2,7 рази.

У пилку з кульбаби лікарської різних природних зон Карпатського регіону вміст досліджуваних



важких металів, у тому числі токсичних, є в 2,35–2,60 рази більшим, ніж у пилюку з яблуні.

У гірській, передгірній та лісостеповій зонах Карпатського регіону встановлено високі коефіцієнти переходу Цинку в ланцюгу: ґрунт – бджолине обніжжя (відповідно 0,723, 0,499 і 0,444) та пилок із кульбаби лікарської (0,883, 0,692 і 0,664) і яблуні (відповідно 0,351, 0,300 і 0,302).

Від гірської до передгірної та далі до лісостепової зони Карпатського регіону знижуються коефіцієнти переходу Цинку, Хрому й Ніколу із орного шару ґрунту в бджолине обніжжя (відповідно з 0,723 до 0,444, з 0,098 до 0,076 і з 0,027 до 0,012); Цинку й Ніколу – у пилок із кульбаби лікарської (відповідно з 0,883 до 0,664 і з 0,020 до 0,016); Цинку – в пилок із яблуні (з 0,351 до 0,302) та підвищуються коефіцієнти переходу Кадмію з орного шару ґрунту в бджолине обніжжя (з 0,004 до 0,010); Плюмбуму й Кадмію – у пилок із кульбаби лікарської (відповідно з 0,051 до 0,081 і з 0,020 до 0,047); Хрому, Купрум, Плюмбуму й Кадмію – в пилок із яблуні (відповідно з 0,026 до 0,034, з 0,055 до 0,064, з 0,022 до 0,032 і з 0,010 до 0,25).

Список використаної літератури

- Adamchuk L. et al. (2016) Environmental biomonitoring by means beekering products / Biodiversity after the Chernobyl accident. 11–18. [Online] Available at: <https://www.slpk.sk/eldo/2018/dl/9788055215150/9788055215150.pdf>. [Accessed 7 October 2021].
- Bodnarchuk H. L., Havryliuk O. I., Romanenko L. I. (2018) Beekeeping of the Ukrainian Carpathians. *Beekeeping of Ukraine*. 3, 6–14. (In Ukrainian).
- Bohdanov H. O. and others (2003) Fatty acids of plant pollen (bee pollen) and their role in metabolic processes and life of bees. *Animal biology*. 5 (1/2), 149–159. (In Ukrainian).
- Bohdanov H. O. and others (2005) Biological assessment of bee pollen. *Scientific Bulletin of the Lviv National Academy of Veterinary Medicine S. Z. Gzhytsky*. 7 (1), 227–239. (In Ukrainian).
- Burdge G. C. (2018) Polyunsaturated fatty acid metabolism. Academic Press et AOCS Press. 252 p.
- Chibuike G. U., Obiora S. C. (2014) Heavy metal polluted soils: effect on plants and bioremediation methods. *Applied and Environmental Soil Science*. 12 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/752708>.
- Chimanuki H., Knox D. A., Feldlaufer M. L. (1992) Honey bee disease interactions: the impact of chalkbrood on other honey bee brood diseases. *American bee journal*. 132, 735–736.
- Detsyk Y., Perejaslov A., Chooklin S., Fedoriv V. (1999) Proinflammatory cytokine inhibition in the complex management of acute pancreatitis. *Digestion*. 60, 372 p.
- Di Miceli M., Bosch-Bouju C., Layé S. (2020) PUFA and their derivatives in neurotransmission and synapses: a new hallmark of synaptopathies. *Proceedings of the Nutrition Society*. 79 (4), 388–403.
- Didukh Ya. P. (2012) Basics of bioindication. Kyiv: Scientific opinion, 344 p. (In Ukrainian).
- Dobson H. E. M. (1998) Survey of pollen and pollenkitt lipids – chemical cues to flower visitors? *American journal of botany*. 75, 180–182.
- Dominguez R. et al. (2019) Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*. 8 (10), 429–460. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>.
- Dydiv A. I. (2019) Agroecological aspects of cadmium and lead accumulation in *Brassica oleracea* var. *capitata* L. and *Beta vulgaris* L. in the conditions of the Western Forest-Steppe: author's ref. dis. for science. degree of Cand. s.-g. Science: special. 03.00.04 - biochemistry. Lviv. 24 p. (In Ukrainian).
- Fedoruk R. S., Romaniv L. I. (2013) Reproductive function of queen bees under the conditions of feeding bees with soybean flour of native and transgenic varieties. *Animal biology*. 15 (3), 140–149. (In Ukrainian).
- Feldlaufer M. L., Knox D. A., Lusby W. R. (1993) Antimicrobial activity of fatty acids against *Bacillus larvac*, the causative agent of American foulbrood disease. *Apidologie*. 24, 95–99.
- Feldlaufer M. L., Lusby W. R., Knox D. A. (1993) Isolation and identification of linoleic acid as an antimicrobial agent from the chalkbrood fungus. *Ascosphaera apis*. *Apidologie*. 24, 89–94.
- Halatiuk O. Ye. (2006) Diseases of bees and basics of beekeeping. Zhytomyr: Polissya. 286 p.
- Hopanenko O. O. (2016) Peroxide processes and lipid composition of blood plasma, liver and skeletal muscles of rabbits in acute L-arginine-induced pancreatitis and its correction: author's ref. dis. for science. degree of candidate of biol. Science: special. 03.00.04 - biochemistry. Lviv. 20 p. (In Ukrainian).
- Ibatullin I. I., Zhukorskyi O. M. (2017) Methodology and organization of scientific research in animal husbandry: a guide. Kyiv: Agrarian Science, 328 p. (In Ukrainian).
- Iskra R. Ya. (2013) Biochemical processes in animals under the action of various chromium compounds (III): author's ref. dis. for science. degree of Dr. Biol. Science: special. 03.00.04 - biochemistry. Lviv. 44 p. (In Ukrainian).
- Kabata-Pendias A. (2004) Soil-plant transfer of trace elements – an environmental tissue. *Geoderma*. 122, 143–149.
- Klym O. Ya. (2020) Intensity of accumulation of heavy metals and fatty acids in tissues and products of bees in the conditions of the West of Ukraine: author's ref. dis. for science. degree of Cand. s.-g. Science: special. 03.10.16-ecology. 24 p. (In Ukrainian).
- Komarova I. (2018) Taraxacum officinale as bioindicator of heavy metal accumulation in soil Danish Scientific Journal (DSJ) Istedgade 1041650 København V Denmark, 8, 10–12. [Online] Available at: <https://www.danish-journal.com> [Accessed 7 October 2021].
- Kovalskiy Yu. V. (2015) Functional features of an organism and productivity of honey bees under the influence of exogenous factors: author's ref. dis. for the degree of doc. s.-g. Sciences: 03.00.13 - physiology of the person and animals. Lviv, 43 p. (In Ukrainian).
- Kovka N. O., Nedashkivskiy V. M. (2019) Duration and periods of flowering of the main nectar pollinators in the forest-steppe conditions of the right bank. *Livestock of Ukraine*. 4, 36–39. (In Ukrainian).
- Kurliak I. M. (2009) Migration of mobile forms of lead and zinc in the vegetative part of plants and the animal body against the background of enterosorbents: author's ref. dis. for science. degree of Cand. s.-g. Science: special. 03.00.16 - ecology. Lviv, 20 p. (In Ukrainian).
- Lopach S. N., Chubenko A. V., Babych P. N. (2001) Statistical methods in biomedical research using Excel. K. : Marton, 408 p. (In Ukrainian).
- Loretta Y., Yong R. N., Thomas H. R. (2015) Fate and Transport of Lead Pollution Along a Highway Corridor. *Geoenvironmental engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1680/geimogacl.32774.0012>
- Manning R. (2006) Fatty acid composition of pollen and the effect of two dominant fatty acids (linoleic and oleic) in pollen and flour diets on longevity and nutritional



- composition of honey bees (*Apis mellifera*). Australasian Digital Theses Program. [Online] Available at: <https://researchrepository.murdoch.edu.au/vital/access/manager/Repository/wmdu:495>. [Accessed 7 October 2021].
- Markowicz D. H. (2004) Fatty acid composition and palynological analysis of bee (*Apis*) pollen loads in the states of Sao Paulo and Minas Gerais, Brazil. *Journal of Apicultural Research*. 43 (2) 35–39.
- Matin G., Kargar N., Buyukisik H. B. (2016) Biomonitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*. 90 (5), 331–335.
- Mishchenko O. A. and others (2020) Influence of nest structure and age of the uterus on bee production of protein feed. *Bulletin of Agricultural Science*. 10 (811), 27–32. (In Ukrainian).
- Miyazaki M., Araki M., Okamura K. (2013) Assimilate translocation and expression of sucrose transporter, OsSUT1, contribute to high-performance ripening under heat stress in the heat-tolerant rice cultivar Genkitsuksushi. *J. of Plant Physiol*. 170 (18), 1579–1584.
- Morris J. A., Khettry A., Seitz E. W. (1979) Antimicrobial activity of aroma chemical and essential oils. *Journal of the American oil society*. 56, 595–603.
- Nedashkivskiy V. M. (2016) Influence of soy milk hydrolyzate on bee colony production of drone larvae and homogenate. Technology of production and processing of livestock products. Coll. Science. work. White Church. 2, 78–81. (In Ukrainian).
- Okon B. (2016) The role of prostaglandins in livestock production. *Global Journal of Agricultural Sciences*. 15 (1), P. 27–30.
- Osman D. et al. (2021) The requirement for cobalt in vitamin B12: A paradigm for protein metalation *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*. 1868 (1), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2020.118896>.
- Petschow B. W., Batema R. P., Ford L. L. (1996) Susceptibility of *Helicobacter pylori* to bactericidal Properties of medium-chain monoglycerides and free fatty acids. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 40, 302–306.
- Ponce de León I., Hamberg M., Castresana C. (2015) Oxylipins in moss development and defense. *Front Plant Sci*. 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00483>.
- Porrini C., Sabatini A. G., Girotti S. (2003) Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination. *Apiacta*. 38, 63–70.
- Purać J. et al. (2019) Identification of a metallothionein gene in honey bee *Apis mellifera* and its expression profile in response to Cd, Cu and Pb exposure *Mol. Ecol*. 28 (4), 731–745.
- Rau B. M., Krüger C. M., Schilling M. K. (2005) Anti-cytokine strategies in acute pancreatitis: pathophysiological insights and clinical implication. *Rocz. Akad. Med. Białymst*. 50, 106–115.
- Razanov S. F. and others (2019) Estimation of forest nectar-pollinating trees and efficiency of their use in the honey conveyor of bees in the conditions of Vinnytsia region. *Agriculture and forestry: coll. Science. etc. VNAU*. 12, 214–224. (In Ukrainian).
- Razanov S. F., Shvets V. V. (2012) Influence of organic and mineral fertilizers and soil moisture level on lead concentration in pollen. *Agroecological journal*. 4, 38–41. (In Ukrainian).
- Rivis Y. F. and others (2017) Quantitative chromatographic methods for the determination of individual lipids and fatty acids in biological material / Methodical manual: second edition, clarified and supplemented. Lviv: SPOLOM. 161 p. (In Ukrainian).
- Saranchuk I. I. (2011) Fatty acid composition and content of heavy metals in bee pollen and bee tissues depending on environmental conditions: author's ref. dis. for science. degree of Cand. s.-g. Science: special. 03.00.04 - biochemistry. Lviv, 18 p. (In Ukrainian).
- Saranchuk I. I. et al. (2021) Effect of various amounts of sunflower oil in feed additives on breast tissues functional condition, reproductivity and productivity of honey bees *Ukrainian journal of ecology*. 11 (1), 344–349.
- Saranchuk I. I., Rivis Y. F. (2008) Fatty acid composition of bee pollen depending on environmental conditions. *Animal biology*. 10 (1/2), 236–244. (In Ukrainian).
- Sehin T. and others (2018) Changes in the fatty acid composition of *Chlorobium limicola* IMB K-8 cells under the influence of copper (II) sulfate. *Microbiological Journal*. 80 (3), 40–52. (In Ukrainian).
- Shvets V. V. (2017) Intensity of lead, cadmium, zinc and copper contamination of lands and protein products of beekeeping in the right-bank forest-steppe conditions. *Ecology and environmental protection*. 5, 204–214. (In Ukrainian).
- Specifications. DSTU 3127-95 (1995) Bee pollen (flower pollen) and its mixtures. [Effective 1995-02-21], Kyiv, 26, Information and documentation). (In Ukrainian).
- Statistical Yearbook of Lviv Region for 2012. (2013) Lviv: Main Department of Statistics in Lviv Region, II, 271 p. (In Ukrainian).
- Stoliar O. B. (2004) The role of metallothioneins in the detoxification of copper, zinc, manganese and lead ions in freshwater fish and mollusks: author's ref. dis ... Dr. Biol. Science: special. 03.00.04 - biochemistry. Lviv. 30 p. (In Ukrainian).
- Vishchur V. Y., Saranchuk I. I., Gutiy B. V. (2016) Fatty acid content of honeycombs depending on the level of technogenic loading on the environment. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol*. 24 (1), 182–187.
- Vishchur V. Ya. (2013) The content of fatty acids and heavy metals in the tissues of bees and bee products at different intensities of man-made load on the environment: author's ref. dis. for science. degree of Cand. s.-g. Science: special. 03.00.04 - biochemistry. Lviv. 17 p. (In Ukrainian).
- Vlizlo V. V. and others (2012) Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine: handbook. Lviv, 759 p. (In Ukrainian).
- Vozhehova R. A., Vlashchuk A. M., Drobit O. S. (2021) Improving the ecological and reclamation condition of soils on the basis of smart specialization. Proceedings of the X All-Ukrainian scientific-practical conference of young scientists "Actual problems of agro-industrial production of Ukraine: sustainable development of agriculture in climate change." with. Obroshyne, November 11, 2021 Lviv-Obroshyne. 15–16. (In Ukrainian).
- Yang S. (2021) Evaluating and comparing the natural cell structure and dimensions of honey bee comb cells of chinese bee, *apis cerana cerana* (hymenoptera: apidae) and italian bee, *apis mellifera ligustica* (hymenoptera: apidae) *J. Insect. Sci*. 21 (4), DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab042>.
- Younus H. (2018) Therapeutic potentials of superoxide dismutase. *Int. J. Health Sci*. 12 (3), 88–93.
- Zastavnyi F. (2011) Ukraine. Nature, population, economy. Lviv: Apriori, 504 p. (In Ukrainian)

**Features of accumulation of heavy metals in bee pollen (pollen of plants) in different natural areas of the Carpathian region**¹Josyp RIVIS, doctor of agricultural sciences,²Ivan SARANCHUK, ¹Oleh KLYM, ¹Oleksandr DIACHENKO, ¹Olga STADNYTSKA,¹Vasyl FEDAK, candidates of agricultural sciences,³Olha HOPANENKO, candidate of biological sciences

Institute of Agriculture of Carpathian Region NAAS,

Bukovyna State Agricultural Experimental Station of NAAS,

Lviv Medical Academy of Andrei Krupynskyi.

Experimental apiaries of clinically healthy honey bees of the Carpathian breed were selected on the basis of private apiaries of mountain, foothill and forest-steppe zones of Lviv region. The content of iron, Ferrum, Cuprum, Chromium, Cobalt, Nickel, Plumbum and Cadmium in the arable layer of soil and bee pollen was determined to assess the intensity of man-made load on the environment where the experimental apiaries of honey bees are located. It has been established that in the direction from the mountain to the foothills and further to the forest-steppe zone of the Carpathian region the content of Ferrum, Zinc, Cuprum, Cobalt, Chromium, Nickel, Plumbum and Cadmium in the arable soil layer and bee pollen increases. At the same time, in the above direction, the coefficients of transition of Zinc, Chromium and Nickel from the arable layer of soil to bee pollen are reduced; Zinc and Nickel – in dandelion pollen; Zinc – in apple pollen. In the direction from the mountain to the foothills and further to the forest-steppe zone of the Carpathian region, due to the high level of heavy metals, decreases the flight-harvest relative to the foothills (pollen) and honey productivity of worker bees. The high level of heavy metals in bee pollen obtained from hives located in the foothills and especially the forest-steppe zones of the Carpathian region is a consequence of urbanization and industrialization of the territory. Bee pollen, dandelion pollen and apple in general can be bioindicators of the ecological state of the environment. However, due to the optimal content of heavy metals, the best bioindicator of the ecological state of the environment is dandelion pollen.

Key words: natural areas of the Carpathian region, bee pollen, heavy metals, bioindicators.

Отримано: 8.02.2022