



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 504

© 2023

ВИКОРИСТАННЯ АПІІНДИКАЦІЇ ЗАДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕРЖАВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

О.М. Жукорський¹, А.М. Атарщикова²

¹доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН
¹Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця НААН
вул. Погребняка, 1, с. Чубинське Бориспільського р-ну Київської обл., 08321, Україна

²Інститут агроекології і природокористування НААН
вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна

^{1, 2}ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича»
вул. Академіка Заболотного, 19, м. Київ, 03680, Україна
e-mail: ¹o_zhukorskiy@ukr.net, ²anniatara@gmail.com
ORCID: ¹0000-0001-5381-8517, ²0000-0002-3343-5612

Надійшла 22.05.2023

Мета. Проаналізувати аспекти використання апііндикації забруднюючих речовин та можливості інтеграції цієї технології в державну систему моніторингу стану навколишнього природного середовища. **Методи.** Монографічний – для узагальнення результатів досліджень, отриманих зарубіжними і вітчизняними науковцями; порівняльний – для проведення порівняльної оцінки ефективності використання різних методів індикації забруднених територій за використання бджіл і продуктів бджільництва; ретроспективний аналіз – для вивчення періодів проведення досліджень з апііндикаційної тематики; абстрактно-логічний – для формування висновків і пропозицій щодо покращення стану екологічного моніторингу. **Результати.** Створення досконалої системи екологічного моніторингу об'єктів потребує розробки сучасних комплексних методологічних підходів до оцінки стану довкілля, зокрема методів біоіндикації території. Доведено, що використання бджіл як біоіндикаторів забруднення дає змогу створити мережу об'єктів моніторингу, що не потребує складного і дорогого обладнання, електропостачання або спеціалізованого персоналу. Професійно налаштована система апімоніторингу може надавати повний спектр інформації про стан навколишнього природного середовища, вказувати на зміни, що відбуваються, та прогнозувати нові. **Висновки.** Пасіки можна розглядати як готові підсистеми моніторингу стану навколишнього природного середовища. Метод апііндикації забезпечує низку економічних

переваг порівняно з поширеними фізико-хімічними методами визначення вмісту важких металів. Максимальна ефективність методу апііндикації можлива за використання цифрових технологій.

Ключові слова: біомоніторинг, Європейський зелений курс, комплексний збір екологічних даних, оцінка стану навколишнього природного середовища, бджоли, продукти бджільництва.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202307-06>

В умовах повномасштабного вторгнення РФ та необхідності повоєнного відновлення територій України гостро постає потреба у створенні сучасної системи моніторингу стану навколишнього природного середовища (НПС); водночас це є умовою Європейського зеленого курсу (ЄЗК). Система моніторингу, що діє наразі в Україні, забезпечує лише констатацію факту перевищення забруднення й не дає змоги отримати повну оцінку стану довкілля [1].

Створення системи моніторингу свого часу стало одним із найпроблемніших повоєнних завдань для Боснії і Герцеговини. Намагаючись розробити ефективні методи планування та методики відновлення довкілля, влада цієї країни, а також її суб'єкти почали активно імплементувати європейські норми [2].

Для планування заходів із відновлення НПС необхідно вже зараз оперативно фіксувати й аналізувати реальні обсяги завданої довкіллю шкоди. Система моніторингу, що діє в Україні, лише констатує факт забруднення, однак відомостей щодо стану довкілля недостатньо. Щоб забезпечити комплексний та систематичний збір екологічних даних, необхідно шукати альтернативні джерела інформації, застосовувати нові ідеї індикації та визначення шляхів міграції забруднення [1].

Відомо, що використання бджіл як біоіндикаторів дає можливість створити мережу об'єктів моніторингу території, і це не потребує складного та дорогого обладнання, електропостачання, залучення спеціалізованого персоналу. Організм бджіл здатний до біоаккумуляції — накопичення забруднюючих речовини у своїх тканинах. Забруднюючі речовини можуть концентруватися і в продуктах бджільництва. Оцінюючи їх кількість, можна робити

висновки щодо рівня забруднення навколишнього природного середовища та прогнозувати зміни його стану [3].

Мета досліджень — охарактеризувати аспекти використання апііндикації забруднюючих речовин та можливість її інтеграції в державну систему моніторингу стану навколишнього природного середовища задля підвищення ефективності оцінювання рівня його забруднення.

Матеріали і методи досліджень. Матеріалом для досліджень слугували зарубіжні та вітчизняні наукові публікації з оцінювання можливості використовувати організми бджіл і продукти бджільництва як індикатори стану навколишнього середовища. Під час досліджень використовували такі методи: монографічний — для узагальнення літературних даних зарубіжних і вітчизняних авторів; порівняльний — для проведення порівняльного оцінювання ефективності застосування методів індикації забруднення за використання бджіл та продуктів бджільництва; ретроспективний аналіз — для вивчення періодів проведення досліджень з апііндикаційної тематики; абстрактно-логічний — для формування висновків і пропозицій щодо покращення стану екологічного моніторингу.

Результати досліджень. Актуальним завданням під час створення системи екологічного моніторингу об'єктів є розробка сучасних комплексних методологічних підходів до оцінювання стану довкілля, зокрема методів біоіндикації території [4].

Біоіндикація хімічного забруднення за допомогою медоносних бджіл та продуктів бджільництва (апііндикація) — надзвичайно важлива методика, що використовується і для підтвердження потенційного негативного впливу, який чинять на бджіл важкі метали, пестициди, радіоактивні речовини,

Методи та матриці, що їх українські вчені використовують для біоіндикації забруднювачів у продуктах бджільництва

Матриця	Метод	Джерело
Тканини організму медоносних бджіл	Атомно-абсорбційної спектрофотометрії (вміст Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, Co)	Ковальчук І.І., Федорук Р.С. [6]
Мед, пилок, прополіс	Атомно-адсорбційної спектрофотометрії, за ДСТУ 4497:2005 (вміст Pb, Cd, As)	Руденко С.С., Баглей О.В. [7]
Ґрунт, рослини-медоноси, мед	Атомно-адсорбційної спектроскопії, тонкошарової хроматографії (вміст Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Co, Cr)	Постоєнко В.О., Галенко Р.С. [4]
Мед	Інверсійної вольтамперометрії (вміст Zn, Cd, Pb, Cu)	Білорус Н.В. [8]
Обніжжа кульбаби та гречки, вощина	Атомно-абсорбційної спектрофотометрії (вміст Fe, Zn, Cu, Ni, Cd)	Ковальчук І.І., Федорук Р.С., Рівіс Й.Ф., Саранчук І.І. [9]
Перга, мед, стільники	Атомно-абсорбційної спектрометрії з автоматизацією в графітовій кюветі	Дубін О. М., Василенко О. В. [10]
Ґрунт, рослини, мед	З використанням індикаторного амальгамового електроду	Lukash O., Strilets S. [11]
Мед	Вольтаметрії (вміст Zn, Cd, Cu, Pb)	Курчук О. [12]
Мед	Атомно-сорбційний (вміст Pb, Cd)	Разанов С.Ф. [13]
Мед	Високоєфективної газової хроматографії (залишки пестицидів хлорорганічної групи — ДДТ та його метаболітів, ГХЦГ (α -, β -, γ -ізомерів))	Скрипка Г.А. [14]
Мед, продукти бджільництва	Газової хроматографії (порівняльний аналіз вмісту хлорорганічних і фосфорорганічних пестицидів)	Скрипка Г.А., Касянчук В.В. [15]

наноматеріали та наночастинки, і для визначення стану навколишнього природного середовища, а також впливу бойових дій на екосистеми [3]. У таблиці узагальнено інформацію про вивчення можливостей біоіндикації українськими науковцями із зазначенням використаних ними матриць та методів. Загалом медоносна бджола є і біоіндикатором, і пасивним біоаккумулятором, що робить її ідеальним суб'єктом моніторингу великих територій, навіть у регіонах з малорозвиненою інфраструктурою [5].

Іноземні дослідники займаються тематикою біоіндикації близько 30 років, і впродовж цього часу виникало чимало суперечок стосовно можливості використання бджіл та продуктів бджільництва для виявлення різних типів забруднювачів. Наприклад, у дослідженні італійських вчених [16] не виявлено високих концентрацій важких металів у зразках меду, та все ж встановлено, що їх відносна кількість зменшується в такому порядку: Cr > Pb > Cd. Ці дані дещо

відрізняються від результатів інших вчених, імовірно, через те, що зразки відбиралися на екологічно чистих територіях. Тож автори зазначають, що мед не завжди є надійною матрицею для біоіндикації важких металів. Проте у випадку надмірного забруднення навколишнього середовища він цілком може бути репрезентативним біоіндикатором. Більш інформативними та придатними для оцінювання ступеня забруднення НПС важкими металами зарекомендували себе такі матриці, як пилок, прополіс, віск та тіла медоносних бджіл.

Проаналізуємо більш пізніші наукові роботи іноземних науковців. Дослідження авторів праці [17] показало, що медоносні бджоли накопичували різні кількості важких металів і що вміст деяких із них залежав від місцевості, де відбиралися проби. Це не суперечить висновкам італійських дослідників.

У Західній Франції (Пеї-де-ла-Луар) дослідження проводили за програмою Ветеринарного центру дикої природи та

екосистем, що стосувалася використання медоносних бджіл для моніторингу забруднення навколишнього середовища свинцем, поліциклічними ароматичними вуглеводнями та пестицидами. Три матриці, відібрані з вуликів на вісімнадцяти пасіках, були проаналізовані на наявність свинцю [18]. Зразки збирали впродовж чотирьох різних періодів у 2008–2009 рр. Найнижчі концентрації забруднення виявлено в меді. Кількість свинцю у пилку та тілах бджіл була майже однаковою. Дослідники з Туреччини виявили, що рівень забруднення тіл медоносних бджіл такими токсичними елементами, як свинець та кадмій, був дещо вищий, ніж рівень забруднення меду [19]. У висновках автори наголошують на можливості використання і меду, і бджіл для біоіндикації свинцю та кадмію.

Після 2008 р. кількість публікацій з біоіндикаційної тематики зросла, що, можливо, пов'язано зі збільшенням забруднення або з модернізацією аналітичного обладнання. У праці іспанських дослідників [20] вказано, що біомоніторинг за використанням бджол медоносної дав змогу зібрати важливу й якісну інформацію, яка свідчить про просторові та часові відмінності в концентраціях важких металів. Загалом місця відбору зразків для проведення біомоніторингу за використання медоносних бджіл слід включити до систем, що застосовуються для моніторингу та контролю забруднення повітря в містах, оскільки вони доповнюють інформацію, надавану фізичними та хімічними еталонними методами.

Основна мета дослідження авторів праці [21] полягала в тому, щоб провести кореляцію між вмістом важких металів у зразках меду та забрудненням навколишнього середовища в результаті промислової діяльності, яка здійснюється в цій місцевості [21]. Зразки меду збирали в районі міста Бая-Маре, що раніше було відоме як одне з найзабрудненіших міст Румунії. Концентрацію металів у меді порівнювали з їх концентрацією в повітрі, пилу та ґрунті впродовж досліджуваного періоду часу. Результати показали високу кореляцію між вмістом металів у меді та повітрі і дещо нижчу між вмістом металів у меді та ґрунті. Концентрація міді та цинку як

у навколишньому середовищі (повітря та ґрунт), так і в меді коливалася несуттєво та відповідала допустимим межах у досліджуваній період. Сильне забруднення меду свинцем і кадмієм, особливо до 2008 р., значною мірою пов'язане з викидами цих металів у повітря заводами кольорової металургії Romplumb SA та Cuprom SA. У 2005 р. вміст свинцю в повітрі значно перевищував допустиму норму, а вміст свинцю в меді був у 100 разів вищий за максимально допустимий рівень. Після модернізації Romplumb SA у 2008–2009 рр. концентрації свинцю та кадмію в повітрі помітно знизилась.

За висновками Бущенко А.П. [22], велику кількість важких металів містять ґрунти у вирвах. Зокрема, концентрація титану в них може у 150 разів перевищувати допустимий рівень, сульфатів — у 2,5 раза. Крім того, фіксується підвищений вміст ванадію, свинцю та кадмію. Актуальна карта екологічних наслідків від ведення бойових дій в Україні та пов'язаних із ними ризиків, зокрема зруйнованої інфраструктури населених пунктів, є у вільному доступі на сайті ecodozor.org [23].

Метод апіомоніторингу також застосовували для відстеження змін стану НПС, спричинених довгостроковим антропогенним забрудненням у районі Баварії (Німеччина) навесні 2002 р. [24]. У цьому дослідженні концентрації в меді таких елементів, як В, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd та Pb, порівнювали з концентраціями важких металів у зразках австрійського та грецького меду [25]. В усіх австрійських зразках вони були вищими. Це можна пояснити більшим вмістом важких металів у середньостатистичному австрійському ґрунті через еродовані рудоносні гірські породи Альп. Водночас використаний німецькими дослідниками метод засвідчив, що він є досить рентабельним, може слугувати ефективним способом ідентифікації мікроелементів на великій території (понад 200 км²). Оскільки бджолиний вулик можна розглядати як сталу систему відбору проб, біомоніторинг за допомогою медоносних бджіл може бути привабливим способом довгострокового оцінювання антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

Дослідниками з Угорщини проаналізовано вміст 14 елементів (Mo, Cd, Co, Ni, Pb, As,

Ba, Sr, Cu, Mn, Fe, Zn, B, Mg) у ґрунті, соняшнику, квітках акації та зразках меду на умовно чистих територіях [26]. Коефіцієнти кореляції між концентраціями цих елементів у меді та ґрунті утворюють такий ряд (вказано в порядку спадання ймовірності): $Cu > Ba > Sr = Ni > Zn > Mn = Pb > As$. Зроблено висновок, що найсильніші кореляції між вмістом у ґрунті і меді властиві для Cu, Ba та Sr. Автори рекомендують провести подібні дослідження на більш забруднених територіях.

Згідно з даними публікації [27] медоносні бджоли мають великий потенціал як організми, що можуть використовуватися для біоіндикації забруднюючих речовин, оскільки відповідають критеріям відбору біоорганізмів для оцінювання забруднення навколишнього середовища. Результати дослідження засвідчили, що концентрації Mn, Cd, Pb, Ni та Cr у тілах медоносних бджіл і зразках бджолиного меду з промислових зон і місць загоряння транспортних засобів були значно вищими, ніж значення, отримані в результаті аналізу зразків, зібраних в агро- та урбоекосистемах. Установлено зв'язок між концентраціями важких металів у тілах медоносних бджіл і проаналізованих зразках меду. Кореляційний аналіз вмісту важких металів у бджолиних тілах і меді свідчить про спільне походження більшості з виявлених металів.

У спільній праці польських і словацьких дослідників [28] метою було дослідити шляхи потрапляння токсичних металів із тіл медоносних фуражних бджіл до бджолиного меду, зумовлені екологічним станом навколишнього середовища. Ступінь забруднення бджолиних тіл токсичними металами залежав від екологічної чистоти НПС, найбільше забруднення спостерігали у промислово розвиненому районі. Бджолині тіла — ефективний бар'єр, що запобігає переходу кадмію у мед, у той час як вміст нікелю у них був майже однаковий. Концентрація алюмінію була значно вищою в меді, ніж у бджолиних тілах, на підставі чого робиться припущення про можливість вторинного забруднення меду. Автори доводять, що бджоли, виконуючи функцію біофільтрів стосовно токсичних металів, запобігають забрудненню меду.

Українські науковці також широко досліджують систему біоіндикації забруднення навколишнього природного середовища як важкими металами й пестицидами, так і радіонуклідами. Тема є актуальною, дослідження проводять з 2007 р., використовуючи результати аналізу міграції елементів в ланцюгах ґрунт — рослина, рослина — мед, рослина — бджола, а також у більш широкому, ґрунт — рослина — медонос — мед [4, 29, 7, 13, 9, 10]. Зокрема, в праці [29] зазначено, що встановлені закономірності міграційної здатності важких металів в ланцюгу ґрунт — рослина можуть використовуватися в моніторингових дослідженнях для прогнозування рівнів забруднення компонентів навколишнього середовища. Автори праці [7] зазначають, що для проведення апімоніторингу з метою отримання належної оцінки екологічної ситуації районів Чернівецької області потрібно дослідити й проаналізувати усі матриці продуктів бджільництва.

Порушення екологічної рівноваги у природі впливає в першу чергу на ґрунт та рослини, оскільки вони є головними акумуляторами. Загалом більшість важких металів у мікрокількостях необхідні для нормального функціонування живих організмів; у високих концентраціях та у разі прояву синергічного ефекту вони стають небезпечними забруднювачами природного середовища [29].

Внаслідок повномасштабних бойових дій на території України в докілья потрапляє незліченна кількість токсикантів, продуктів згорання боєприпасів, уламків зруйнованої цивільної та військової техніки, об'єктів інфраструктури, а також паливно-мастильних матеріалів від пересування важкої техніки. Забруднюючі речовини, що потрапляють у навколишнє середовище і залишаються в ньому впродовж тривалого часу, а також рухомі форми мікроелементів здатні мігрувати ланцюгами харчування біологічних організмів, становлячи безпосередню загрозу здоров'ю населення через свою токсичність, канцерогенність і мутагенність [30].

Бджолина сім'я, збираючи сировину для своєї продукції на ділянці площею 12–28 км², несе інформацію про екологічний стан території в радіусі 2–3 км довкола вулика. Кілька пасік, розташованих у певній

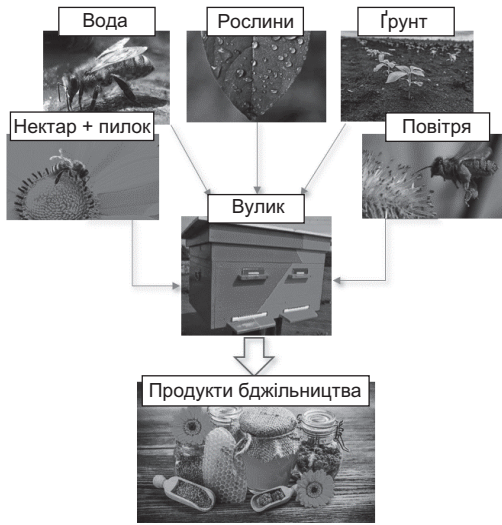


Рис. 1. Схеми накопичення забруднювачів у вулику

місцевості, можна розглядати як готову моніторингову мережу для збору комплексу екологічних характеристик оточуючого середовища. У місцях, де для оцінювання екологічного стану довілля необхідна

додаткова інформація, можна використовувати пересувні пасіки [13, 9].

На рис. 1 подано схему накопичення забруднювачів у вулику (продуктах бджільництва), побудовану за аналогією до схеми, запропонованої у праці італійських вчених [5].

На території України бджільницькі підприємства розміщуються нерівномірно. Найінтенсивніше ця галузь розвивається у зоні Лісостепу — в середньому 7 бджолиних сімей на 100 га сільськогосподарських культур [10].

За даними ресурсу Grand Expert, Україна — один із найбільших світових виробників меду, а також другий (після Китаю) за величиною експортер цього продукту до Євросоюзу. Зокрема, у 2017 р. частка України в загальних поставках меду до Євросоюзу становила близько 17,8%. Впродовж останніх п'яти років обсяги експорту меду в його країни зросли більш ніж у чотири рази [31].

На рис. 2 подано мапу України, на якій зазначені місця розташування бджільницьких підприємств.



Рис. 2. Мапа пасік, зареєстрованих на території України (за даними сайту Grand Expert [32])

Професійно налаштована система аплімоніторингу може надавати повний спектр інформації про стан забруднення навколишнього природного середовища, сигналізувати про зміни та прогнозувати їх. Максимальний ефект метод апліндакації забезпечує за використання цифрових технологій.

Згідно з директивою комісії ЄЗК цифрові технології є важливим фактором, який сприяє досягненню цілей сталого розвитку програми Зеленого курсу у різних секторах. Комісія вживатиме заходів задля досягнення того, щоб цифрові технології, як-от штучний інтелект, 5G, хмарні та граничні обчислення, пришвидшували й максимізували вплив Європейської політики на боротьбу зі зміною

клімату та охорону довкілля. Нові можливості для дистанційного моніторингу забруднення повітря і води, оптимального використання енергії та природних ресурсів забезпечує діджиталізація [33]. Для моніторингу стану ґрунтів і рослинності, для створення баз геоданих та методик дешифрування основних впливів від військових дій науковці України також використовують знімки космічних супутників [34]. Поєднуючи результати цифрових технологій із результатами аналітичних методів аналізу зразків ґрунту, рослин, тїл бджіл та продуктів бджільництва, вчені отримують інформативні дані для визначення актуального стану навколишнього природного середовища.

Висновки

На підставі аналізу результатів досліджень, отриманих зарубіжними та українськими науковцями, зроблено такі висновки. Бджільницькі підприємства можна вважати готовими підсистемами моніторингу стану навколишнього природного середовища. Метод апліндакації має економічно переваги порівняно з поширеними фізико-хімічними методами визначення вмісту важких металів: не потребує складного і дорогого обладнання, електропостачання, спеціалізованого персоналу. Перевагою методу також можна вважати широкий спектр забруднюючих речовин, які ідентифікуються за допомогою таких продуктів бджільництва, як мед, обніжка, віск, перга, прополіс, а також тїл бджіл. Ефективному застосуванню цього методу сприяє велика кількість

пасік на території держави. Найточніші наукові висновки дослідники отримують за аналізу ланцюга бджоли — продукти бджільництва. Особливої актуальності метод набуває через підвищення забрудненості навколишнього природного середовища у зв'язку з повномасштабними воєнними діями в Україні. Адже речовини, що виділяються в довкілля внаслідок вибухів, горіння та корозії техніки, потрапляють у природні об'єкти, збираються бджолами з ентомофільних рослин та переносяться у вулики. У такому разі мед напевне може слугувати біоіндикатором забруднення. Звичайно, заключний висновок стосовно достовірності і повноти даних, отримуваних методом апліндакації, потребує проведення сучасних експериментальних досліджень.

Zhukorskiy O.¹, Atarshchykova A.²

¹M.V.Zubets Institute of Animal Breeding and Genetics of NAAS, 1 Pohrebniak Str., vil. Chubynske, Borispil district, Kyiv oblast, 08321, Ukraine; ²Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS, 12 Metrolohichna Str., Kyiv, 03143, Ukraine; ^{1,2}NSC «P.I. Prokopovych Institute of beekeeping», 19 Akademik Zabolotnyi Str., Kyiv, 03680, Ukraine; e-mail: ¹o_zhukorskiy@ukr.net, ²anniatara@gmail.com; ORCID: ¹0000-0001-5381-8517, ²0000-0002-3343-5612

The use of API-indication to improve the efficiency of the state monitoring system of contaminated territories

Goal. To analyze the aspects of the use of the indication of polluting substances and the possibility of integrating this technology into the state system of monitoring the state of the surrounding natural environment. **Methods.** Monographic — for summarizing the results of research obtained by foreign and domestic scientists; comparative — to conduct a comparative assessment of the effectiveness of using different methods of indicating contaminated areas using bees and beekeeping products; retrospective analysis — to study the periods of research on API-indication topics; abstract-logical — for the formation of conclusions and proposals for improving the state of environmental monitoring. **Results.**

The creation of a perfect system of environmental monitoring of objects requires the development of modern complex methodological approaches to the assessment of the state of the environment, in particular methods of bioindication of the territory. It was proven that the use of bees as bioindicators of pollution made it possible to create a network of monitoring facilities that did not require complex and expensive equipment, power supply, or specialized personnel. A professionally configured API-monitoring system can provide a full range of information about the state of the natural environment, indicate ongoing changes, and predict new

ones. **Conclusions.** API-aries can be considered as ready-made subsystems for monitoring the state of the natural environment. The API-indication method provides many economic advantages compared to common physicochemical methods for determining the content of heavy metals. The maximum effectiveness of the API-indication method is possible with the use of digital technologies.

Key words: *biomonitoring, European Green Course, comprehensive collection of ecological data, assessment of the state of the natural environment, bees, beekeeping products.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202307-06>

Бібліографія

1. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Презентація аналітичного документа «Моніторинг довкілля: аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля». URL: <https://mepr.gov.ua/u-mindovkillya-prezentuvaly-analiz-potochnogo-stanu-ta-perspektyv-rozvytku-derzhavnoyi-systemy-monytorynghu-dovkillya/>
2. Повоєнний досвід відновлення довкілля Боснії і Герцеговини. URL: <http://epl.org.ua/eco-analytics/povoyennyj-dosvid-vidnovlennya-dovkillya-bosniyi-i-gertsegovyny/>
3. Жукорський О.М., Атарщикова А.М. Апі-моніторинг стану навколишнього середовища. *Бджільництво України*. 2022. Т. 1. № 9. С. 40–45. URL: <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2022.9.05>
4. Галенко Р.С., Ліщук А.М., Уманський М.С., Постосенко В.О. Оцінка забруднення ґрунтів Черкаської області важкими металами. *Збірник наукових праць Національного наукового центру Інститут землеробства УААН*. 2007. № 2. С. 35–40.
5. Girotti S., Ghin S., Ferri E. et al. Bioindicators, and biomonitoring: honeybees and hive products as pollution impact assessment tools for the Mediterranean area. *Euro-Mediterranean J. for Environmental Integration*. 2020. N 5. P. 1–16.
6. Ковальчук І.І., Федорук Р.С. Вміст важких металів у тканинах медоносних бджіл за умов екологічного та органічного виробництва. *Біологія тварин*. 2012. Т. 14. № 1–2. С. 311–315.
7. Руденко С.С., Баглей О.В. Використання деяких продуктів бджільництва для оцінки антропогенного навантаження територій. *Вісник проблем біології і медицини*. 2012. № 4 (1). С. 54–59.
8. Білорус Н.В. Якість меду як показник екологічності території. *Інноваційний розвиток інформаційного суспільства: економіко-управлінські, правові та соціокультурні аспекти: зб. матер. V міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. студентів, аспірантів і молодих учених*. 2016. С. 13–16.
9. Ковальчук І.І., Федорук Р.С., Рівіс Й.Ф., Саранчук І.І. Вміст важких металів у бджолиному обніжжі та вошинах залежно від екологічних умов утримання бджіл. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2008. Т. 10. № 4 (39). С. 92–96.
10. Дубін О.М., Василенко О.В. Оцінка якості продукції бджільництва в сучасних екологічних умовах Черкаської області. *Вестник Уманського національного університету садоводства*. 2017. № 1. С. 12–17.
11. Lukash O., Strilets S., Yakovenko et al. Prediction on the content of radionuclides and heavy metals of the *Solidago canadensis* L. use as a honey resource in Polesie. *Ecological Questions*. 2021. V. 32. N 4. P. 35–47.
12. Kurchyk O. Stripping voltamperometric determination of heavy metals in honey samples. *Chemistry & Chemical Technology*. V. 3. N 11. 2017. P. 285–290.
13. Разанов С.Ф. Щоб одержати чистий мед. *Тваринництво України*. 2007. № 4. С. 40–41.
14. Скрипка Г.А. Визначення залишкових кількостей пестицидів в бджолиному меді за допомогою високоефективної газової хроматографії. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія: Ветеринарна медицина, 2013. № 2. С. 50–53.
15. Скрипка Г.А., Касянчук В.В. Сравнительный анализ содержания хлорорганических и фосфорорганических пестицидов в меде и продуктах пчеловодства. *Біологія тварин*. 2015. Т. 17. № 1. С. 99–108.
16. Conti M., Botrè F. Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. *Environmental monitoring and assessment*. 2001. N 69. P. 267–282.
17. Perugini M., Manera M., Grotta L. et al. Heavy metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) contamination

in urban areas and wildlife reserves: honeybees as bioindicators. *Biological trace element research*. 2011. N 140. P. 170–176.

18. Lambert O., Piroux M., Puyo S. et al. Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. *Environmental Pollution*. 2012. N 170. P. 254–259.

19. Silici S., Uluozlu O., Tuzen M., Soylak M. Honeybees and honey as monitors for heavy metal contamination near thermal power plants in Mugla, Turkey. *Toxicology and industrial health*. 2016. V. 32. N 3. P. 507–516.

20. Gutiérrez M., Molero R., Gaju M. et al. Assessment of heavy metal pollution in Córdoba (Spain) by biomonitoring foraging honeybee. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. N 187. P. 1–15.

21. Berinde, Z., Michnea A. A comparative study on the evolution of environmental and honey pollution with heavy metals. *J. of Science and Arts*. 2013. V. 13. N 2. P.173–180.

22. Блага А.Б., Загороднюк І.В., Короткий Т.Р. та ін. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на Сході України. *Українська Гельсінська спілка з прав людини*. Київ: КИТ, 2017. 88 с.

23. Карта «Екологічні наслідки та ризики бойових дій в Україні». URL: <https://ecodozor.org/>

24. Raeymaekers B. A prospective biomonitoring campaign with honey bees in a district of Upper-Bavaria (Germany). *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006. N 116. P. 233–243.

25. Sager M. Spurenelemente in Honig. *Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten — Jahrestagung 2000 in Gmunden*. 2000. P. 113–114.

26. Cziza N., Diósi G., Phillips C., Kovács B. Examination of honeys and flowers as soil element indicators. *Environmental Monitoring and*

Assessment. 2017. N 189. P. 1–12.

27. Adeoye O.T., Pitan O.R., Olasupo O.O. et al. Assessment of honeybees and bee honey as bioindicators of environmental pollution. *Aust. J. Sci. Technol*. 2021. N 5. P. 460–465.

28. Dżugan M., Wesolowska M., Zaguta G. et al. Honeybees (*Apis mellifera*) as a biological barrier for contamination of honey by environmental toxic metals. *Environmental monitoring and assessment*. 2018. N 190. P. 1–9.

29. Демура В.І., Готвянська В.О., Павличенко, А.В. Розподіл та накопичення важких металів в рослинах та ґрунтах на територіях розміщення відходів вуглевидобутку. *Геотехнічна механіка*. 2013. Т. 21. № 15. С. 112–115.

30. Денісов Н., Аверін Д., Єрмаков В. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. *OSCE*. Київ: ВАІТЕ, 2017. 88 с.

31. Статистичні дані, відповідно до результатів опитування, проведеного в 2018 р. УНБДР, ресурсу Grand Expert. URL: <https://www.grand.expert/ua/statistics>

32. Загальна мапа оформлених пасік території України, за даними ресурсу Grand Expert. URL: <https://www.grand.expert/ua/site/map>

33. *Communication* from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *European Commission*. 2011. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX%3A52019DC0640#document2>

34. *Проект* Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна «Фіксація шкоди, завданої природним комплексам Харківської області внаслідок війни». URL: <https://scgis.org.ua/ua/projects/damage/>