

ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ АПІІНДИКАЦІЇ

Т.В. Морозова¹, О.В. Мудрак², Г.В. Мудрак³,
О.В. Єрмішев⁴, В.С. Семенів⁵

¹ Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України» (м. Київ, Україна)

e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4836-1035

² КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)

e-mail: ov_tudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

³ Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: galina170971@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1319-9189

⁴ Донецький національний університет імені Василя Стуса (м. Вінниця, Україна)

e-mail: o.yermishev@donnu.edu.ua; ORCID: 0000-0001-5854-9678

⁵ Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (м. Чернівці, Україна)

e-mail: vlad.semeniv99@gmail.com; ORCID: 0009-0005-2487-6183

У статті представлено результати дослідження можливостей апііндикації як інструменту інтегрованого екологічного оцінювання стану навколишнього природного середовища. Обґрунтовано доцільність використання продукції бджільництва (меду, пилку, прополісу) як чутливих інтегральних біоіндикаторів, що відображають рівень антропогенного навантаження та особливості функціонування екосистем. Дослідження виконано із застосуванням фізико-хімічних і токсикологічних методів аналізу, зокрема визначення масової частки води, діастазного числа, вмісту проліну, кислотності, а також концентрацій важких металів (Pb, Cd, As). Встановлено, що найбільш інформативними показниками якості меду є діастазне число та вміст проліну, які відображають як технологічні аспекти виробництва, так і екологічні умови формування сировини. Показано, що навіть за відсутності перевищення гранично допустимих концентрацій важких металів, їх наближення до порогових значень може свідчити про наявність потенційних екологічних ризиків. Виявлено просторову варіабельність накопичення кадмію у пилку та прополісі, що вказує на локальні джерела забруднення та підтверджує ефективність апііндикації для виявлення ранніх стадій екологічних змін. Запропоновано інтегральний індекс апііндикації (ApiIndEX), який узагальнює різноміпні показники в єдину систему оцінювання, а також концептуальну модель, що поєднує біоіндикаційні дані з геоінформаційними технологіями та дистанційним зондуванням Землі. Показано, що застосування апііндикації узгоджується з концепцією One Health, яка передбачає інтегроване оцінювання стану довкілля, безпечності харчових продуктів і ризиків для здоров'я людини. Отримані результати підтверджують перспективність використання апііндикації у системах сучасного екологічного моніторингу.

Ключові слова: біомоніторинг, мед, продукти бджільництва, важкі метали, екологічний стан, ApiIndEX.

ВСТУП

У сучасних умовах глобальних екологічних трансформацій, зумовлених посиленням антропогенного навантаження, кліматичними змінами і зростанням рівня хімічного забруднення, особливої актуаль-

ності набуває проблема отримання репрезентативної та інтегрованої інформації про стан компонентів довкілля. Традиційні фізико-хімічні методи контролю, попри високу аналітичну точність, не забезпечують цілісного відображення біологічних ефектів комплексного впливу забруднювачів та їх просторово-часової динаміки [1; 2].

У цьому контексті біоіндикаційні підходи розглядаються як важливий компонент сучасних систем екологічного моніторингу. Серед них апііндикація, що базується на використанні медоносною бджоли (*Apis mellifera* Linnaeus, 1761), привертає значну увагу завдяки здатності інтегрувати інформацію про стан довкілля в межах значних територій, охоплених фуражувальною активністю бджіл [3; 4]. У процесі збору нектару, пилку і води бджоли контактують із різними компонентами середовища, акумулюючи широкий спектр забруднювачів, зокрема важкі метали, пестициди та інші токсиканти [1; 2].

Продукти бджільництва, як-от мед, пилки і віск, розглядаються як інтегральні матриці, що відображають як короткострокові, так і довготривалі зміни екологічного стану територій. Їх застосування у біомоніторингу обґрунтовано високою здатністю до акумуляції забруднювачів і просторовою репрезентативністю. Водночас сучасні дослідження підкреслюють потенціал використання бджіл як елементів біосенсорних систем у складі інтегрованих платформ екологічного моніторингу, що поєднують біологічні та цифрові підходи [3–5].

Попри значний науковий доробок, відсутність комплексних підходів до інтеграції біоіндикаційних даних із геоінформаційними технологіями та методами просторово-часового аналізу формує наукову проблему, що обмежує ефективність використання апііндикації у системах екологічного моніторингу.

Мета роботи — наукове обґрунтування застосування апііндикації як елемента біомоніторингу з урахуванням фізико-хімічних і токсикологічних показників продуктів бджільництва. Дослідження охоплювало аналіз меду, пилку та прополісу за показниками масової частки води, діастазного числа, вмісту проліну, кислотності, а також концентрацій важких металів (Pb, Cd, As).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Апііндикація впродовж останніх десятиліть сформувалася як перспективний між-

дисциплінарний напрям екологічного моніторингу, що поєднує підходи екології, біоіндикації, екотоксикології та аналітичної хімії. Її концептуальна основа ґрунтується на використанні медоносною бджоли (*Apis mellifera*) та продуктів бджільництва як інтегральних індикаторів стану довкілля. Доведено, що бджоли функціонують як природні біологічні пробовідбірники, акумулюючи забруднювачі з атмосферного повітря, ґрунтів і рослинності у межах радіусу фуражування [1; 2].

Ефективність апііндикації зумовлена біологічними особливостями *Apis mellifera*, зокрема широким радіусом льоту (2–5 км), тісною взаємодією з різними компонентами екосистем та здатністю продуктів бджільництва нагромаджувати широкий спектр полутантів. Це створює передумови для інтегрального оцінювання рівня антропогенного навантаження на території [2; 3]. Сучасні дослідження розширюють функціональні можливості апііндикації, включаючи визначення не лише важких металів і пестицидів, але й нових контамінантів, зокрема мікропластику, що підтверджує високу чутливість цього підходу [4].

Важливим напрямом розвитку апііндикації є дослідження якості та безпечності продуктів бджільництва як складової біомоніторингу. У цьому контексті роботи В.П. Лясоти та співавт. займають вагоме місце, оскільки спрямовані на оцінювання якості меду різних гатунків вітчизняних виробників. Авторами обґрунтовано використання експресних методик контролю якості продукції бджільництва із застосуванням рефрактометра РОСКЕТ-РАЛ-3 для визначення фізико-хімічних показників [5].

Окрему увагу приділено виявленню фальсифікації меду. Встановлення домішок гідрокарбонату натрію та лужних мийних засобів здійснюється за допомогою індикаторних методів, тоді як наявність сторонніх домішок, зокрема бурякового цукру, визначається методом мікроскопічного аналізу. Зазначені підходи підкреслюють практичну значущість лабораторного контролю якості меду та його роль як індикаторного об'єкта, оскільки хімічний склад продуктів

бджільництва відображає як технологічні порушення, так і екологічні умови формування сировини.

Істотна увага у сучасних дослідженнях Ž. Bargańska, L. Svečnjak [2; 3], приділяється вибору біоматриць для аналізу. Зафіксовано, що мед відображає довготривале накопичення забруднювачів, тоді як пилок, віск і тканини бджіл більш чутливо реагують на короткострокові зміни екологічного стану. Така диференціація підвищує інформативність апііндикації та створює можливості для просторово-часового аналізу забруднення.

Вагомий внесок у розвиток теоретичних засад апііндикації зробили зарубіжні дослідники. Зокрема, у роботах M. Conti та співавт. [1] обґрунтовано використання бджіл як біоіндикаторів важких металів у довкіллі. Подальші дослідження підтвердили здатність продуктів бджільництва акумулювати широкий спектр забруднювачів та відображати просторову неоднорідність екологічного стану територій [2]. Сучасні роботи демонструють розширення спектра досліджуваних контамінантів і посилення ролі апііндикації у системах екологічного моніторингу [1; 4; 6; 7]. Застосування апііндикації в Україні залишається обмеженим, що визначає перспективність майбутніх досліджень у цьому напрямі. Зокрема, у роботах M. Федоряк та співавт. [8] обґрунтовано використання біоіндикаторів для оцінювання аеротехногенного забруднення агроландшафтів. Така диференціація підвищує інформативність апііндикації та створює можливості для просторово-часового аналізу забруднення.

Водночас у науковій літературі відзначається низка методичних обмежень. Зокрема, відсутність уніфікованих підходів до відбору проб, різноманітність аналітичних методів та складність інтерпретації результатів ускладнюють порівняння даних між дослідженнями. Додатковим чинником є варіабельність показників, зумовлена впливом біотичних і абіотичних чинників, включаючи стан бджолиних сімей, кліматичні умови та ландшафтну структуру територій [1]. Це необхідно враховувати під

час розроблення моделей та інтегральних показників.

Сучасні підходи до розвитку апііндикації пов'язані з її інтеграцією у цифрові та просторово-аналітичні системи екологічного моніторингу. Використання бджіл як біосенсорів передбачає поєднання біоіндикаційних даних із геоінформаційними системами та автоматизованими платформами збору інформації [6]. Тому, апііндикація розглядається як складова сучасних інтегрованих систем оцінювання стану навколишнього природного середовища, що поєднують біологічні, аналітичні та цифрові підходи.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено у 2018–2020 рр. на території Чернівецької обл., що характеризуються різним рівнем антропогенного навантаження. Для оцінювання просторово-часових особливостей забруднення відібрано зразки продукції бджільництва з пасік, розташованих у 40 локаціях, що репрезентують аграрні території. Об'єктами дослідження були мед, бджолиний пилок та прополіс. Загалом, проаналізовано 600 зразків. Відбір зразків здійснювали у літній сезон, відповідно до стандартних підходів відбору проб продукції бджільництва. Дослідження проводили на пасіках із використанням бджіл карпатської породи, із середнім радіусом фуражування 2–5 км, що визначає зону формування кормової бази та потенційного впливу джерел забруднення. Виявлення фізико-хімічних показників меду виконували відповідно до вимог національного стандарту [9].

Масову частку води в меді визначали рефрактометричним методом із використанням лабораторного рефрактометра з подальшим перерахунком показника заломлення у відсотковий вміст води за калібрувальними таблицями [9].

Діастизне число сформулювали як показник ферментативної активності α -амілази за методом Готе (Gothe method), що ґрунтується на гідролізі крохмалю ферментами меду з подальшим встановленням ступеня розщеплення за інтенсивністю

забарвлення йод-крохмального комплексу; результати виражали в одиницях Готе (Gothe units) [10; 11]. Вміст проліну виявляли як індикатор біологічної активності меду та особливостей його походження, що відображає інтенсивність метаболічних процесів у бджолиних колоніях. Кислотність меду визначали потенціометричним методом із застосуванням рН-метра шляхом вимірювання рН водного розчину. Вміст важких металів (Pb, Cd, As) у зразках меду, пилку та прополісу встановили методом атомно-абсорбційної спектроскопії, що забезпечує високу чутливість і селективність аналізу.

Отримані результати розглядали як індикатори екологічного стану територій з урахуванням просторового охоплення кормової бази бджолиних сімей у межах радіусу фуражування.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Контроль якості меду як індикатор екологічного стану територій: сучасні підходи та нормативні вимоги. Контроль якості та автентичності меду є важливим не лише з точки зору безпечності харчового продукту, але і як інструмент оцінки стану довкілля. У сучасних умовах зростання антропогенного навантаження особливого значення набувають підходи апііндикації та апімоніторингу, що базуються на використанні медоносних бджіл (*Apis mellifera*) і продуктів їх життєдіяльності як інтегральних біоіндикаторів стану екосистем.

Згідно з міжнародними і європейськими нормативами, зокрема стандарту Codex Alimentarius (CODEX STAN 12-1981, оновлений) та Директиви ЄС 2001/110/ЄС із змінами 2024 р., мед визначається як природний продукт, що утворюється в результаті трансформації нектару рослин бджолами без додавання сторонніх речовин. Ці документи регламентують основні показники якості, включаючи вміст цукрів, ферментативну активність, кислотність і рівень домішок, а також встановлюють вимоги до маркування та простежуваності походження продукції.

Фізико-хімічні показники як критерії якості меду. Одним із ключових показників зрілості меду є масова частка води, яка безпосередньо впливає на його стабільність і стійкість до ферментації. Згідно з міжнародними стандартами, підвищений вміст води є ознакою незрілості меду або порушення технології його відбору, що може призводити до бродіння і втрати якості. Варіації цього показника можуть бути пов'язані як із технологічними аспектами виробництва, так і з кліматичними умовами сезону медозбору. Зрілість меду підтверджується запечатуванням його в сотах і стабільним переходом у кристалічний стан після викачування. Нормативне значення водності меду згідно з ДСТУ 4497:2005 не повинно перевищувати 18,5%. Дослідження показали, що лише одна проба (№ 8) відповідала стандарту, тоді як інші мали відхилення, що могло свідчити про передчасне викачування меду, фальсифікації або вплив екологічних чинників на бджолині сім'ї (рис. 1).

Ферментативна активність меду, зокрема діастазне число, є важливим індикатором його натуральності та ступеня термічної обробки. Діастаза та інші ферменти (інвертаза, глюкозооксидаза) відіграють ключову роль у формуванні складу меду, забезпечуючи перетворення складних вуглеводів на прості цукри. Зниження діастазної активності може вказувати на нагрівання або тривале зберігання продукту (рис. 2).

Вміст проліну, як однієї з основних амінокислот меду, широко використовується як індикатор його натуральності і зрілості. Низькі значення цього показника можуть бути пов'язані з фальсифікацією меду (додаванням цукрових сиропів) або підкормкою бджіл у період медозбору, що є однією з найпоширеніших проблем сучасного ринку меду (рис. 3).

Кислотність меду, зумовлена наявністю органічних кислот (передусім глюконової), визначає його смакові властивості та антимікробну активність. Згідно зі стандартами Codex Alimentarius, цей показник не має перевищувати 40 мЕкв/кг, що узгоджується з отриманими результатами досліджень (рис. 4).

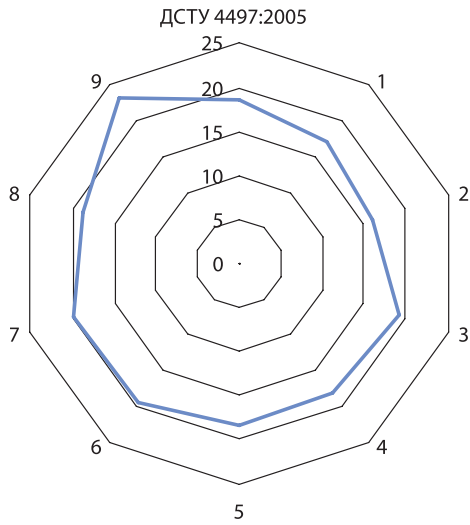


Рис. 1. Масова частка води, %

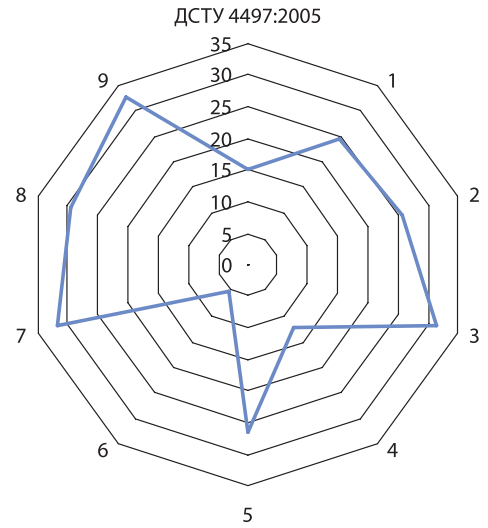


Рис. 2. Діастазне число меду

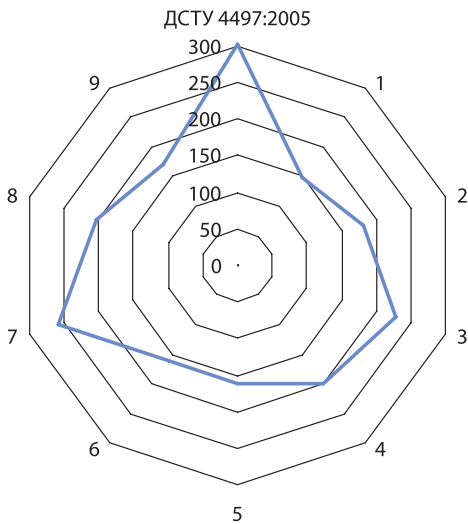


Рис. 3. Вміст проліну, мг/кг

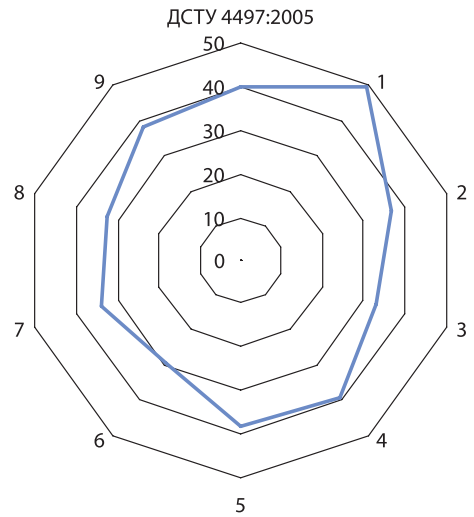


Рис. 4. Кислотність меду, мЕкв/кг

Мед як індикатор забруднення довкілля. Продукти бджільництва, зокрема мед, пилок і прополіс, здатні акумулювати хімічні елементи, що надходять у екосистему внаслідок антропогенної діяльності. Це робить їх ефективними індикаторами забруднення довкілля важкими металами.

Отримані результати свідчать про те, що вміст свинцю і миш'яку у дослідже-

них зразках не перевищує встановлених гранично допустимих концентрацій, що може вказувати на відносно сприятливий екологічний стан території відбору. Водночас виявлені випадки підвищеного вмісту кадмію у пилку та прополісі окремих проб свідчать про наявність локальних джерел забруднення, що потребує подальшого аналізу ґрунтів і рослинності.

Слід зазначити, що згідно з сучасними підходами до оцінки якості харчових продуктів, важливим є не лише факт перевищення нормативів, але й наближення концентрацій токсикантів до гранично допустимих значень, що може мати потенційні екологічні ризики.

Аналіз фізико-хімічних показників меду показав, що найбільш чутливими індикаторами його якості є вміст проліну і ферментативна активність, тоді як показники кислотності та водності в більшості випадків залишаються в межах нормативних значень. Результати дослідження важких металів підтверджують доцільність використання продуктів бджільництва як інтегральних біоіндикаторів стану довкіл-

ля. Аналіз вмісту важких металів (Pb, Cd, As) у меді, пилку і прополісі виявив відмінності у характері забруднення досліджених територій. Концентрації свинцю в усіх проаналізованих зразках не перевищували встановлених гранично допустимих значень ($\leq 0,1$ мг/кг), що свідчить про відсутність значного антропогенного навантаження, пов'язаного з промисловими викидами або інтенсивним транспортним впливом. Це дає підстави вважати, що досліджені пасіки розташовані в умовах відносно низького техногенного пресингу. Натомість для кадмію виявлено принципово іншу просторову структуру розподілу. У низці зразків прополісу (точки 1, 3, 7), а також у пилку та прополісі (точка 8) зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій. В інших випадках, навіть за відсутності перевищення нормативів, рівні кадмію наближалися до порогових значень, що може зумовити потенційний ризик його акумуляції (рис. 5).

Припускаємо, що основним шляхом надходження кадмію є ґрунтово-рослинний ланцюг. Це відображає високу мобільність цього елемента у системі ґрунт–рослина з подальшим його включенням у нектар і пилку. Джерела такого забруднення може мати як природне (геохімічний фон), так і антропогенне походження, зокрема бути пов'язаними із застосуванням мінеральних добрив і дифузним сільськогосподарським навантаженням.

Концентрації миш'яку в усіх зразках не перевищували нормативних значень, однак його стабільна присутність на рівні близько 50% від гранично допустимої концентрації свідчить про хронічний низькодозовий вплив. Це підкреслює необхідність врахування субпорогових рівнів забруднення як індикаторів ранніх стадій екологічних змін.

Отримані результати демонструють, що відповідність нормативним показникам не завжди відображає реальний екологічний стан територій. Наявність кількох контамінантів на субкритичних рівнях може вказувати на кумулятивний вплив, який не враховується в межах традиційних під-

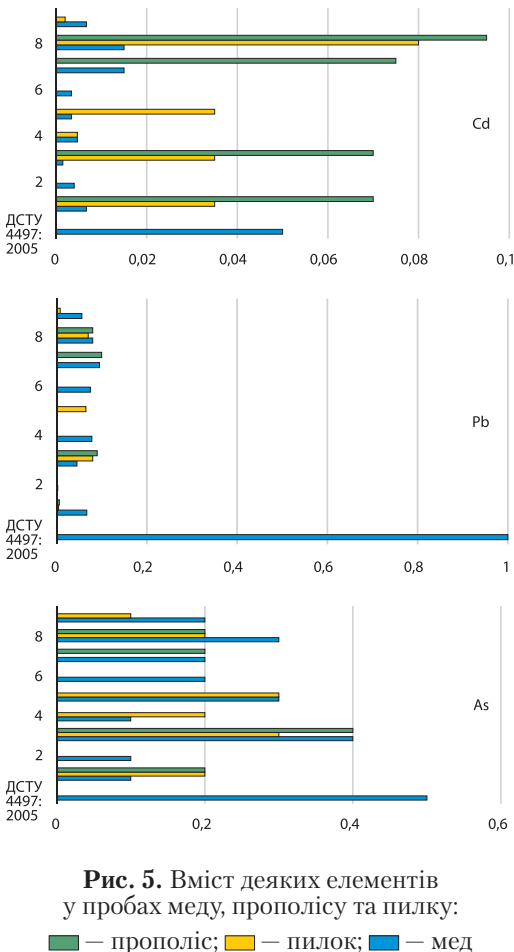


Рис. 5. Вміст деяких елементів у пробах меду, прополісу та пилку:
 ■ — прополіс; ■ — пилку; ■ — мед

ходів до оцінювання. Загалом, встановлено, що продукти бджільництва виконують функцію чутливих інтегральних індикаторів стану довкілля, відображаючи як локальні джерела забруднення, так і процеси на рівні ландшафтів. Отримані дані підтверджують, що продукти бджільництва здатні фіксувати ранні стадії екологічного забруднення ще до перевищення нормативних значень, що визначає їх особливу цінність у системах превентивного екологічного моніторингу.

Тому, апііндикація є ефективним підходом до екологічного моніторингу, який поєднує оцінку якості харчової продукції з аналізом стану екосистем. Застосування цього підходу, у поєднанні з сучасними вимогами європейського законодавства щодо якості та простежуваності меду, створює науково обґрунтовану основу для оцінки екологічної безпеки територій та розвитку сталого бджільництва.

Запропонована модель (рис. 6) відображає сучасний перехід від фрагментарних біоіндикаційних досліджень до інтегрованих інформаційно-аналітичних систем біо-

сурвейлансу, що поєднують лабораторні, польові та геоінформаційні підходи.

1. *Блок збору даних із пасік.* На першому етапі здійснюється відбір біологічних і біохімічних проб: мед (як інтегральний субстрат акумуляції), пилок (індикатор флористичного спектра та джерел контамінації), біоматеріал бджіл. Аналітичне визначення включає: вміст води, діастазне число, концентрацію проліну, вміст важких металів (Pb, Cd, Zn, Cu тощо) із використанням атомно-абсорбційної спектроскопії або ICP-MS. Ці показники широко застосовуються у дослідженнях як маркери якості меду та екологічного стану територій [8].

2. *Інтеграція з ГІС та дистанційним зондуванням Землі.* Модель передбачає поєднання біоіндикаційних даних із супутниковими продуктами (NDVI, LST, індекси посухи), картографічною інформацією про землекористування, просторовим розподілом джерел забруднення. Таке поєднання відповідає сучасним підходам до екологічного моніторингу, де біоіндикатори інтегруються з даними дистанційного зонду-

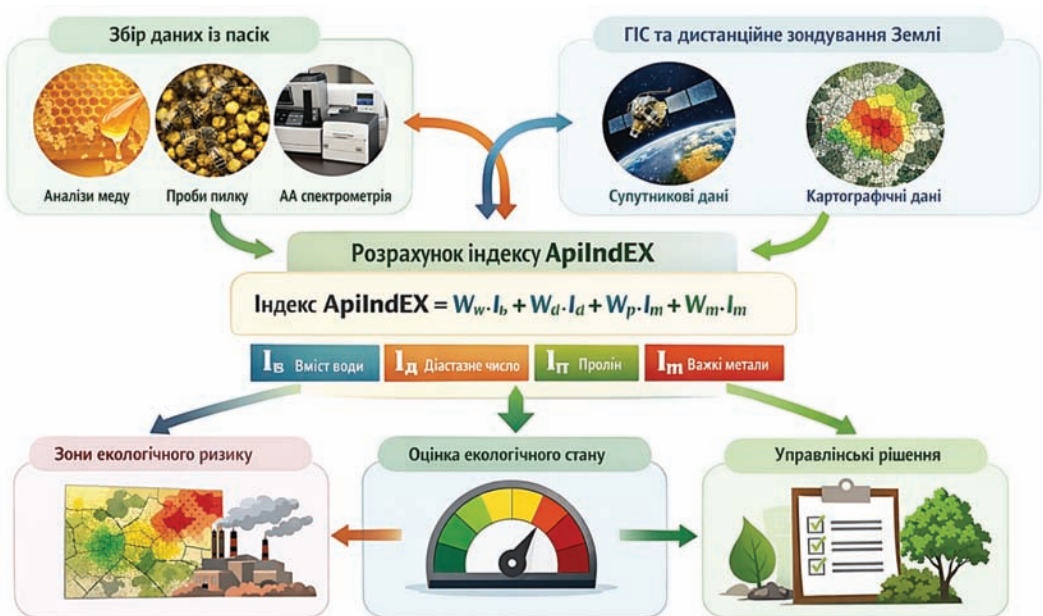


Рис. 6. Інтегрована модель апііндикації (розроблено авторами)

вання для підвищення просторово-часової репрезентативності [9; 10].

3. *Розрахунок інтегрального індексу ApiIndEX*. Центральним елементом моделі є інтегральний індекс апііндикації:

$$ApiIndEX = W_v \cdot I_v + W_d \cdot I_d + W_p \cdot I_p + W_m,$$

де I_v – індекс вмісту води; I_d – індекс діастазного числа; I_p – індекс проліну; I_m – індекс вмісту важких металів, W_i – вагові коефіцієнти.

Індекс є агрегованим показником, який узагальнює різнотипні параметри в єдину шкалу. Подібні мультикритеріальні підходи активно застосовуються у біомоніторингу (Gutiérrez et al., 2020), проте їх адаптація до апііндикації залишається недостатньо розробленою, що і формує наукову новизну моделі.

4. *Просторове виділення зон екологічного ризику*. На основі значень *ApiIndEX* здійснюється: картографування територій, класифікація зон за рівнем екологічного ризику, виявлення «гарячих точок» забруднення. Цей підхід узгоджується з концепцією risk-based environmental assessment та геостатистичного аналізу [11].

5. *Інтерпретація та підтримка управлінських рішень*. Фінальний етап моделі включає: інтерпретацію результатів, формування рекомендацій щодо екологічного відновлення, інтеграцію у системи підтримки прийняття рішень.

Отже, модель трансформує біоіндикаційні дані у прикладний інструмент управління природокористуванням.

Попри значний обсяг досліджень у сфері апііндикації, існує низка невіршених питань: відсутність уніфікованих інтегральних індексів, які поєднують біохімічні і токсикологічні показники; недостатня інтеграція біоіндикаційних даних із ГІС та дистанційним зондуванням; обмежене використання апііндикації у системах оперативного екологічного моніторингу; відсутність адаптованих моделей для умов трансформованих ландшафтів (зокрема в Україні в умовах воєнного впливу).

Сучасні підходи до екологічного моніторингу дедалі частіше розглядаються в

межах концепції One Health, яка передбачає інтеграцію оцінювання стану довкілля, здоров'я тварин і людини як взаємопов'язаних компонентів єдиної системи. Концепція сформована та розвивається міжнародними організаціями, зокрема Всесвітньою організацією охорони здоров'я (WHO), Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН (FAO) та Всесвітньою організацією охорони здоров'я тварин (WOAH). У цьому контексті апііндикація набуває особливого значення, оскільки продукти бджільництва одночасно є харчовими продуктами і біоіндикаторами стану екосистем, що створює можливість комплексного оцінювання екологічних ризиків та їх потенційного впливу на здоров'я населення.

ВИСНОВКИ

Показано, що продукти бджільництва (мед, пилок, прополіс) є чутливими інтегральними індикаторами стану навколишнього природного середовища, які відображають як якість екосистем, так і рівень антропогенного навантаження. Встановлено, що найбільш інформативними показниками якості меду є вміст проліну та діастазне число, тоді як аналіз концентрацій важких металів дає можливість виявляти локальні джерела забруднення навіть за відсутності перевищення гранично допустимих значень.

Обґрунтовано доцільність використання апііндикації як інструменту інтегрованого екологічного моніторингу, що поєднує оцінювання якості харчової продукції з аналізом стану довкілля. Запропонований інтегральний індекс апііндикації (*ApiIndEX*) забезпечує узагальнення фізико-хімічних і токсикологічних показників у єдину систему, що підвищує інформативність та порівнюваність результатів.

Розроблено концептуальну модель, яка інтегрує біоіндикаційні дані з геоінформаційними технологіями та дистанційним зондуванням Землі, що створює основу для просторово-часового аналізу екологічного стану територій.

Доведено, що застосування апііндикації узгоджується з сучасними міждисциплі-

нарними підходами, зокрема концепцією One Health, яка об'єднує оцінювання стану довкілля, безпечності харчових продуктів і потенційних ризиків для здоров'я людини. У цьому контексті продукти бджільництва постають важливим інструментом ранньої діагностики екологічних змін.

Запропонований підхід має потенціал для масштабування та впровадження у системи екологічного моніторингу, зокрема в умовах трансформованих ландшафтів і зростаючого антропогенного впливу.

ЛІТЕРАТУРА

- Conti, M. E., Astolfi, M. L., Mele, G., Ristorini, M., Vitiello, G., Massimi, L., ... Finoia, M. G. (2022). Performance of bees and beehive products as indicators of elemental tracers of atmospheric pollution in sites of the Rome province (Italy). *Ecological Indicators*, 140, 109061. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109061>.
- Bargańska, Z., Ślebioda, M., & Namieśnik, J. (2016). Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(3), 235–248. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1078220>.
- Svečnjak, L., Chesson, L. A., Gallina, A., Maia, M., Martinello, M., Mutinelli, F., & Muz, M. N. (2020). Standard methods for apicultural products: Botanical origin of honey. *Food Chemistry*, 306, 125587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125587>.
- Raza, M. F., Khan, K. A., Jabeen, R., Latif, M., Rafique, M. K., & Nadeem, M. (2024). Honeybees as sentinels of microplastic pollution: A review. *Entomologia Generalis*, 45(5), 1211–1228. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2024/3505>.
- Лясота, В. П., Богатко, Н. М., Букалова, Н. В., Джміль, В. І., Хіцька, О. А., Мазур, Т. Г., ... Вакула, Б. В. (2023). Безпечність та якість меду натурального бджолиного, виготовленого під різними торговими марками, за реалізації у супермаркетах. *Науковий вісник ветеринарної медицини*, 1, 40–51.
- Van der Steen, J. J. M. (2023). Bees as biosensors: Integrating ecological monitoring and environmental risk assessment. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(9), 812–825. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.05.004>.
- Catalano, P., Della Sala, F., Cavaliere, M., Caputo, C., Pecoraro, D., Crispino, G., ... Amorena, M. (2024). Use of honey bees and hive products as bioindicators to assess environmental contamination in targeted areas of the Campania region (Italy). *Animals*, 14(10), 1446. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14101446>.
- Fedorjak, M., Kulmanov, O., Zhuk, A., Shkrobansets, O., Tymchuk, K., Moskalyk, G., ... Angelstam, P. (2021). Stakeholders' views on sustaining honey bee health and beekeeping: The roles of ecological and social system drivers. *Landscape Ecology*, 36(3), 763–783. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01169-4>.
- ДСТУ 4497:2005. Мед натуральний. Технічні умови. (2007). [Чинний від 2005-12-28]. Київ: Держспоживстандарт України.
- Kerkvliet, J. D., & van der Putten, A. P. J. (1973). The diastase number of honey: A comparative study. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 153, 87–93. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01137309>.
- Gün, R., & Karaoğlu, M. M. (2024) Detection of honey adulteration by characterization of the physico-chemical properties of honey adulterated with the addition of glucose–fructose and maltose corn syrups. *Eur Food Res Technol*, 250, 2255–2272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04535-7>.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 27.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.03.2026

Дата публікації: 10.04.2026