

НАПРЯМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОМАХ-ЗАПИЛЮВАЧІВ ДЛЯ БІОІНДИКАЦІЇ СТАНУ ЕКОСИСТЕМ ТА ЗМІН КЛІМАТУ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Лавренко Сергій Олегович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0003-3491-1438
lavrenko.sr@gmail.com

Соболь Ольга Михайлівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0001-7607-7758
sobolalex1986@gmail.com

Корбич Наталія Миколаївна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0002-0266-8181
nkorbich1@ukr.net

Кривий Владислав Валерійович

асистент
Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон, Україна
ORCID 0000-0001-6050-9923
kvv.tvpt.ksau@gmail.com

В умовах глобальних екологічних змін використання біоіндикаторів для моніторингу стану екосистем набуває популярності завдяки чисельним перевагам організмів – біоіндикаторів. Серед цих організмів одним з найбільш розповсюджених таксонів є комахи (Insecta). При використанні комах для оцінки впливу антропогенних факторів на природне середовище, визначення екологічного стану наземних та водних екосистем у якості критеріїв використовують зміни розмірів, пропорцій, покривів, забарвлення, потворності, особливості онтогенезу, популяційні характеристики.

*Особливо багатогранним є використання у якості біоіндикаторів комах-запилювачів. Вони є важливою складовою біогеоценозів, сприяють природному відтворенню та збагаченню рослинного світу. Одним з найбільш цінних біоіндикаторів стану екосистем серед комах-запилювачів є медоносна бджола (*Apis mellifera* L.), широко розповсюджена в світі. Запilenня бджолами ентомофільних культур в умовах України призводить до збільшення врожайності до 30 %, а прибутки від збільшення урожайності значно перевищують вартість всієї продукції бджільництва.*

Використання медоносної бджоли її як біологічного індикатора дає можливість оперувати якості критерія досконало вивченими морфологічними, екологічними та поведінковими характеристиками популяції цього виду, включаючи їх продуктивність, яка залежить від факторів навколишнього середовища. Так, зниження температури повітря, порівняно з оптимальними, впродовж цвітіння ріпаку озимого, незалежно від тривалості перебування його в цій фазі, приводило до зниження виробництва меду до 76 %; бджолиного обніжжя до 56 %.

Окремою перевагою цього виду є відносна стійкість бджолиних сімей до стресових факторів навколишнього середовища, їх здатність накопичувати забруднювачі та стереотипно реагувати на них. Це дозволяє використовувати популяції медоносних бджіл для моніторингу нових загроз, включаючи зміни клімату. Ця проблема особливо актуальна для Півдня України, де в останні десятиліття почастишали жорстокі посухи та істотно підвищилися літні температури, весняний період переходу середньодобової температури повітря через 0° і 15°, скоротився до 2 місяців та характеризується різким наростанням тепла.

*Кліматичні зміни негативно впливають на стан популяцій комах-запилювачів через погіршення їх кормової бази (зменшення біорізноманіття та продуктивності рослин-медоносів); збільшують ризики зникнення цих видів. Фактор змін клімату впливав, зокрема, на показники динаміки чисельності популяцій медоносної бджоли в Україні, за період 2005–2019 років кількість бджолиних сімей зменшилася з 3369,0 тис. до 2633,2 тис. Отже, використання як біологічного індикатора комах-запилювачів на прикладі моніторингу популяцій медоносної бджоли (*Apis mellifera* L.), підтверджує доцільність цього методу вивчення стану елементів екосистем та кліматичних змін.*

Ключові слова: моніторинг стану екосистем, організми-біоіндикатори, комахи-запилювачі, кліматичні зміни, медоносна бджола.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.11>

Вступ. Біоіндикація – це оцінка стану середовища за допомогою живих об'єктів-індикаторів (клітин, організмів, популяцій, угруповань). За їх допомогою проводиться оцінка як абіотичних факторів (температура, вологість, кислотність, солоність, вміст політантів тощо), так і біотичних (життєва здатність організмів, їх популяцій і угруповань). Біоіндикація базується на спостереженні за складом та чисельністю живих організмів, які належать до видів-індикаторів (Tibcherani, 2018). Живий індикатор, або біоіндикатор – це група особин одного виду або угруповання, за наявності, станом і поведінкою якої/яких проводять оцінку змін у середовищі, у тому числі щодо присутності і концентрації забруднювачів. Такі індикатори мають низку переваг: в умовах хронічних антропогенних впливів вони реагують навіть на відносно слабкі впливи екологічних факторів внаслідок кумулятивного ефекту; дозволяють робити висновки про ступінь шкідливості будь-яких речовин, що синтезуються людиною, як для живої природи, так і для неї самої.; дають можливість контролювати їх вплив на живе та інші. Тварини-біоіндикатори є зручними для використання завдяки ряду особливостей: знаходяться на різних трофічних рівнях екосистем і акумулюють через харчові ланцюги забруднені речовини; мають активний обмін речовин; мають особливі пристосування до умов середовища і чіткі поведінкові реакції; використання для проведення тривалих спостережень тварин з коротким циклом розвитку дозволить прослідкувати вплив чинників на наступні покоління; обрати чутливі тести для тривало живучих тварин відповідно до особливо вразливих етапів онтогенезу (Holt & Miller, 2010). Розрізняють принаймні 3 випадки, коли біоіндикація стає незамінною: 1) чинник може бути вимірним; 2) важко виміряти та 3) легко виміряти, але важко інтерпретувати. Є більш чутливі види, і вони можуть стати ключовими для підтримки екосистем (Esyakova & Voronin, 2020; Józwiak & Józwiak, 2014).

Придатність видів-біоіндикаторів має великий розмах, оскільки чутливість організмів до різних забруднювачів помітно різниться (Cane & Payne, 1988; Fontaine et al., 2006; Guo et al., 2001). Широко використовувани модельні організми є гарними біоіндикаторними видами лише тоді, коли вони поширені в досліджуваному природному середовищі. Біомаркери впливу вказують на те, що вид зазнав впливу токсичної речовини. Відповіді ефект-біомаркерів перетворюються на ефекти екосистеми, якщо вимірний параметр впливає на придатність досліджуваного організму (Nikinmaa, 2014). В цілому, основною метою досліджень біоіндикаторів є визначення видів, які б достовірно вказували на порушення в навколишньому середовищі, а також демонстрували вплив цих порушень на інші види або загальне біорізноманіття. Комахи особливо корисні для оцінки впливу антропогенної діяльності на наземні та водні екосистеми, оскільки вони знаходяться в тісному контакті з токсичними елементами, присутніми в ґрунті, воді та повітрі. Вони чутливі навіть до незначних змін у навколишньому середовищі і можуть використовуватися для моніторингу вмісту різних забруднюючих речовин (Parikh et al., 2021; Amin et al., 2021; Solomon & Rao, 2002; Stone et al., 1999; Stone

et al., 2002; Tandon et al., 2001; Tyrbik, 1993; Heinrich & Raven, 1972).

Сучасна екологічна ситуація характеризується глобальною деградацією природних і скороченням кількості непорушених екосистем, тому питанням використання методів біоіндикації для встановлення впливу антропогенних факторів на природу, визначення екологічного стану наземних і водних екосистем приділяється досить велика увага (Ryndevich et al., 2020; Huang & Guo, 2000; Woodell, 1978; Zhang et al., 2006). Наприклад, жорсткокрилі є найбільшою групою, яка використовується як біоіндикатори забруднення ґрунту та металічних домішок. Види-біоіндикатори листвяного покриву включають мурах, хризомелідних листоїдів та арктиїдних метеликів (Hareem, 2020; Hickman, 1974). У комах можна спостерігати ряд зовнішніх змін на забруднених ділянках: зміни розмірів, пропорцій, покривів, забарвлення, потворності. Наприклад, у ряду попелиць (*Aphidoidea*) чітко вирізняють морфологічні зміни – ширини голови, довжини стегна та гомілки, вусиків, хвостика та сифона, кількості личинок. У особин двокрапкового сонечка (*Adalia bipunctata*) частка чорних форм зазвичай 2–3 %, а в забруднених районах набагато вище; у гусениць соснової п'ядениці (*Bupalus piniaria*) у зоні забруднення сірчистим газом кількість гемоцитів знижується вдвічі, натомість, кількість фагоцитів зростає з 5 до 32 %. Добре розрізняються також показники розмноження. Зазвичай, плодючість падає, але у саранових (*Acrotylus patruelis*, *Aiolopus thalassinus*) під дією хлориду ртуті у цих видів зростає кількість яєць у кладці, однак при дії сечовини (>0,055 г/кг ґрунту) їх кількість зменшується.

У якості критерію також можуть використовуватися особливості онтогенезу. При забрудненні у метеликів знижується частка гусениць, що заляльковуються, і відсоток вильоту імаго; у совки озимої (*Scotia segetum*) при інтоксикації міддю личинкова стадія подовжується, при додаванні хлориду кадмію ($CdCl_2$) – скорочується. Як правило, скорочується і термін життя, але у дроздофілі при додаванні 0,3 % антиоксиданту пропілгаллата термін життя зростає на третину (Wilson et al., 2014; McGeoch, 2014). З урахуванням досить високої експресності та простоти застосування біоіндикації, яка не вимагає залучення фахівців високої кваліфікації для її практичної реалізації, її можна розглядати як найкращу доступну технологію біомоніторингу якості води рекреаційних акваторій, ефективно використовувати для вирішення завдань ранньої діагностики стану прибережних водних екосистем та інформаційною основою для вироблення науково-обґрунтованих природоохоронних управлінських рішень (Kholodkevich et al., 2020).

Отже, саме біоіндикація дозволяє отримати інформацію про біологічні наслідки зміни середовища та зробити лише непрямі висновки про особливості самого фактора. Актуальність біоіндикації обумовлена також простотою, швидкістю та дешевизною визначення якості середовища, а питання оцінки стану навколишнього середовища живими організмами стали дуже важливою галуззю контролю навколишнього природного середовища.

Метою роботи був аналіз та узагальнення відомостей з наукових, публіцистичних джерел і статистичних даних щодо особливостей використання комах для біоіндикації різних середовищ; зокрема, медоносної бджоли (*Apis mellifera* L.). В завдання досліджень входило проаналізувати наукові публікації за наступними напрямками: 1) охарактеризувати сутність й актуальність біоіндикації; особливості використання комах-індикаторів; визначення переваг, напрямків та перспектив використання медоносної бджоли як біологічного індикатору; 2) оцінити значення та перспективи використання медоносної бджоли у якості біоіндикатору стану екосистем у зв'язку із глобальними кліматичними змінами.

Результати. За даним багатьох вчених та наукових установ світу, щорічно чисельність та біорізноманіття запилювачів знижується, що пов'язано з антропогенним впливом людини та інтенсифікації виробництва (Burkle et al., 2013; Marshall & Moonen, 2002; Morandin & Kremen, 2013; Kells et al., 2001; Ollerton et al., 2014; Potts et al., 2009; Robinson & Sutherland, 2002; Goulson et al., 2015; MacDonald & Johnson, 2000).

Асиміляційний апарат живих організмів є дуже надійним інструментом для оцінки повітряного середовища через високу чутливість до забруднюючих речовин і можливість проведення щорічних спостережень. Досить надійною вважається система оцінки аерогенного забруднення за відхиленнями біохімічних показників. Методи біоіндикації також є надійним джерелом для визначення інтегрального показника біосферної сумісності міських територій (Vorobyov et al., 2022). Наприклад, у країнах Європейського Союзу такі дослідження проводяться у рамках Програми осадження важких металів. Відзначено, що після 1995 року вплив місцевих джерел викидів став більш помітним. Порівняно з іншими європейськими країнами, лідируючі позиції серед найбільш забруднених територій Європи щодо свинцю займають країни з порівняно невисоким рівнем економічного розвитку: Румунія, Словаччина, Болгарія, Косово та Україна (рис. 1).

Найбільш промислово розвинені центри цих країн все ще залишаються найбільшими джерелами забруднення (Caruso, 2000; Wyatt, 1981). Просторова структура розподілу районів, найбільш завантажених металами, пов'язана з рудними шахтами та металургійними підприємствами (Karusta et al., 2014; Harmens et al., 2013). Звертає на себе увагу і той факт, що за п'ятирічний проміжок часу більшість країн у різному ступені знизили викиди свинцю, у той час як Румунія та Косово значно підвищили показники забрудненості.

Перспективним напрямком використання біоіндикації є вивчення тих елементів, які зараз переважають у промислових викидах або виникають у результаті збільшення автомобільного руху (Godzik, 2020). Доведено, що методи біоіндикації можуть бути використані в Україні для моніторингу стану атмосферного повітря в зоні впливу міських сміттєзвалищ та для формування баз даних про сміттєзвалища, що дозволить розробити стратегію поводження з ними як об'єктом підвищеної екологічної небезпеки (Malovanyu et al., 2021). Оскільки комахи

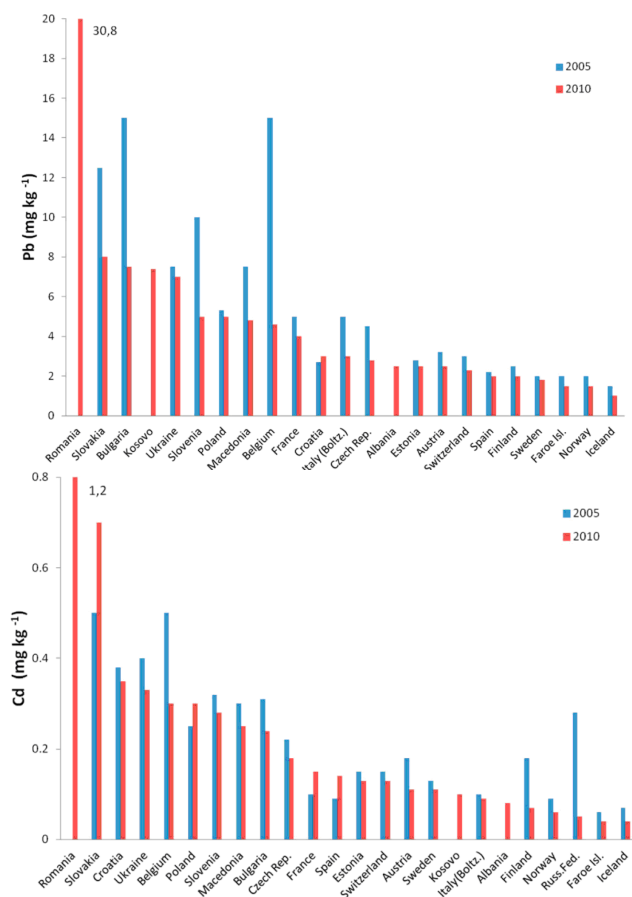


Рис. 1. Порівняння концентрацій свинцю (медіана) та кадмію у країнах Європи (адаптовано з Godzik, 2020).

дуже чутливі до змін навколишнього середовища, вони можуть бути використані як безцінні біоіндикатори для оцінки якості сільськогосподарських полів (Ghazoul, 2006; Goldblatt & Manning, 2000; Harder, 1983; Johnson et al., 2003; Somanathan & Borges, 2001). Результати моніторингу в районі Госан-гун, Чхунчон-Пукто (Південна Корея) показали, що кількість видів, зібраних у місцях, де ведеться органічне землеробство, була більшою за звичайне землеробство як на рисових полях – 573 проти 387 видів, так і на гірських полях – 472 проти 365 видів (Kim et al., 2020).

Використання комах-біоіндикаторів дозволяє оцінювати ефективність компенсації втрати біорізноманіття та підтримки стану екосистеми при відновленні тропічних лісів. Під час оцінки успіху активного відновлення тропічних лісів з використанням гнойових жуків (*Coleoptera: Scarabaeinae*) як біоіндикаторів видовий склад на відновлювальних ділянках чітко просувався до збережених лісів і відхилявся від пасовищ із збільшенням віку відновлення (Dorneles et al., 2014). Не менш ефективним було використання комах для оцінки успішності рекультиваци – повернення екосистеми до її вихідного стану, до порушення її людиною, шляхом відтворення ландшафту.

Дослідження на постгірничих меліоративних територіях в Бінунгані, показали, що мурахи є найбільш корисним потенційним біоіндикатором для оцінки успіху

рекультивації в районах після видобутку корисних копалин (Buchori et al., 2018). Дослідження мурах як біоіндикаторів в умовах бразильської савани показали зміни у видовому багатстві та складі по відношенню до потенційної біоіндикації, визначені як біоіндикатори 167 видів бразильської савани, пов'язані з конкретними місцями існування. Це дозволило скорегувати визначення індикаційних характеристик збережених або деградованих територій (Tibcherani et al., 2018).

Успішним було і використання рівнокрилих (*Heteroptera*) у міському середовищі, оскільки вони мають чітку закономірність реакції на фактори зовнішнього середовища, серед яких найбільш впливовими були світло і вологість (Kunakh & Fedya, 2020).

При використанні в якості біоіндикатора червоноклопа червоного (*Pyrrhocoris apterus*) встановлено, що найбільша концентрація їх спостерігалася у парковій зоні, а також на вулицях із широкими смугами зелених насаджень та незначним автомобільним навантаженням. Встановлено відмінності морфометричних показників клопів як для досліджених міст, так і різних районів м. Запоріжжя (табл. 1).

Найбільша маса та морфометричні показники клопів спостерігалися в м. Рівне, а в межах Запоріжжя на о. Хортиця. За масою тіла комах показники м. Рівне мають статистично значущі відмінності від м. Запоріжжя на 32,1–52,7 %; за довжиною тіла клопів відмінність становить 1,02–14,7 %. Спостерігалася не просто зменшення розмірів клопів унаслідок антропогенного навантаження, а зміна пропорцій їхнього тіла, оскільки за шириною комах жодних відмінностей серед досліджених популяцій не відзначено.

При використанні метода біоіндикації для оцінки якості води визначено різноманітність впливу факторів навколишнього середовища на сезонну чисельність і різноманітність видів-біоіндикаторів, при цьому найважливішими є такі фізичні фактори як температура та інтенсивність світла. Хімічні фактори (вміст розчиненого кисню, рН, солоність, твердість, електропровідність і рівень поживних речовин) є менш важливими. Наприклад, для оцінки стану водосховища Насарава (Нігерія), різноманітність і чисельність біоіндикаторів показала погіршення його стану протягом сухого сезону та дозволила впровадити план сталого управління для збереження екосистеми водойм (Yusuf, 2020).

Забруднення в прісноводних водних об'єктах – це складна система проблем і методів їх вирішення, використання біоіндикації має відповідати складу біоценозів,

параметрам біотопів, класифікація яких може являти собою безперервно єдину систему. Оскільки передові системи біоіндикації базуються на обчисленні індексів забруднення, необхідно приділяти більше уваги розрахунку кількості кожного виду (Varipova, 2017). На прикладі оцінки екологічної цілісності та якості води річки Дамієтта (Єгипет) визначена значущість водних комах як біоіндикаторів, на видове багатство яких впливали характер субстрату, макрофіти та антропогенна діяльність у водному потоці (Mahmoud & Riad, 2020). Здебільшого біоіндикація використовується при оцінці якості води; однак іноді цей метод використовується для оцінки впливу важких металів, водних генотоксинів і токсичності, а також для визначення гідрологічних умов, місць проживання та специфічного забруднення, для чого використовують близько 8,5 тис. видів-біоіндикаторів (табл. 2).

Кожна група організмів як біологічний індикатор має свої переваги та недоліки, які визначають межі її використання при вирішенні задач біоіндикації, проведення біологічних досліджень має свої особливості у стоячих та проточних водоймах.

Біологічне дослідження стоячих водойм, як правило, інтерпретується легше і демонструє чутливість і простоту застосування методів біоіндикації в аналізі водної екосистеми для оцінки стану екосистеми, а також для тимчасової динаміки основних індикативних змінних досліджуваного водного об'єкта. Ці системи біоіндикації можуть бути пов'язані з основними системами класифікації змінних водних екосистем та якості води поверхневих вод (Varipova, 2017). Таким чином, системи біоіндикації відображають основні водні показники на основі організмів, що живуть у водоймі (табл. 3).

З іншого боку, можна припустити, який тип організмів може вижити у водах певної якості, що відображено у класифікації основних параметрів водних екосистем з екологічної точки зору.

Для вивчення накопичення та забруднення важкими металами у ґрунті, повітрі та воді поблизу промислової зони Гуджрат Пенджабу, Пакистан використовувалися як біоіндикатори промислового забруднення бабка-лібеллулід (*Crocothemis servilia*), їдкий коник (*Oxya hyla hyla*) та німфалідний метелик (*Danaus chrysippus*). Найвищим було накопичення Cd у комах, потім Cu, Cr, Zn та Ni. Порівняно з *Odonata* і *Lepidoptera* відносно вищі концентрації металів були виявлені у прямокрилих (Chong et al., 2015).

Конкретизація біоіндикаторів ентомофауни якості водного середовища водно-болотного угіддя Наама (ПВ

Таблиця 1

Морфометричні особливості червоноклопа червоного (*Pyrrhocoris apterus*) у районах з високим та низьким рівнем забрудненості (адаптовано з Korzh, 2013)

Місце збору	Кількість, гол.	Маса, мг	Довжина, мм	Ширина, мм
Райони м. Запоріжжя	–	–	–	–
Заводський	30	29,06 ± 1,00	10,59 ± 0,18	4,09 ± 0,08
Жовтневий	30	24,16 ± 1,19	9,12 ± 0,10	4,06 ± 0,06
Комунарський	30	26,98 ± 1,17	9,54 ± 0,13	4,17 ± 0,09
о. Хортиця	30	34,70 ± 0,48	10,34 ± 0,15	4,10 ± 0,07
м. Рівне	30	51,16 ± 1,01	10,70 ± 0,08	4,68 ± 0,05

Таблиця 2

Основні групи біоіндикаторів та кількість індикаторних таксонів для прісноводних екосистем (адаптовано з Varinova, 2017)

Екологічна група показників	Кількість індикаторних таксонів
Уподобання до середовища проживання (субстрату)	6308
Температура	413
Реофільність (переміщення води) і оксигенація	1953
pH води	2898
Діапазон pH	480
Галобіт (солоність)	2615
Органічне забруднення згідно Ватанабе	764
Зона самоочищення	5644
Індекс сапробності S	5678
Трофічний стан	2440
Тип живлення (автотрофний/гетеротрофний)	491
H ₂ S (сульфіди)	13
Загальна кількість індикаторних таксонів	8475

запахів і орієнтації у просторі. Це заважає збирати їжу, знижує чисельність і кількість бджолиних сімей, що у довгостроковій перспективі може знизити врожайність сільськогосподарських культур і стати причиною продовольчої кризи (Mikheev, 2021; Bargańska et al., 2016; Cresswell et al., 2012; Desneux et al., 2007; Whitehorn et al., 2012; Gill et al., 2012; Palmer et al., 2013).

З 1962 року бджола все частіше використовується для моніторингу забруднення навколишнього середовища – вона діє двома способами: сигналізує або через високі показники смертності про наявність токсичних молекул, або через залишки у меді, пилку та личинках про наявність важких металів, фунгіцидів і гербіцидів, які нешкідливі для цього виду (Celli & Massagnani, 2003). Так, при їх використанні повне забруднення по залишкам пестицидів становило 24 %, а домінуючі пестициди належали до хлорорганічних і фосфорорганічних груп (Asmaa & Abdel Rahman, 2020).

Властивості медоносної бджоли дозволяють проводити довгостроковий моніторинг, картування забруднень у географічній зоні та вивчення градієнтів екотоксикології в просторі та часі, використовувати медоносних бджіл для моніторингу нових загроз, таких як зміна клімату та стійкість до протимікробних препаратів (Tran et al., 2022; McGeoch, 2014; Tennekes & Sánchez-Bayo, 2013; Maxim & van der Sluijs, 2013).

Різноманітні прості, недорогі процедури, які можна застосувати у вуликах медоносних бджіл дозволяють отримувати узагальнюючу інформацію про якість екосистеми у різних масштабах та визначати потенціал системи медоносних бджіл в екологічній біоіндикації (Quigley et al., 2019; Cunningham et al., 2022).

Хоча бджоли, як і інші комахи диверсифікувалися через більш ніж 450 млн років мінливого клімату Землі, швидкі зміни температури та опадів тепер створюють

Таблиця 3

Шкала забруднень за індикаторними таксонами (адаптовано з Varinova, 2017)

Індикаторні таксони	Еколого-біологічна повноцінність, клас якості води, використання
Личинки веснянок, поденок, волохокрилець-ріакофіла	Дуже чиста. Повноцінна. Питне, рекреаційне, рибогосподарське
Плаваючі та повзаючі волохокрильці-нейрекліпсици, виловістки, водяний клоп	Чиста. Повноцінна. Питне, рекреаційне, рибогосподарське, зрошення, технічне
Риучі личинки поденок, волохокрильці, без реакофіли, личинки бабок-пласконіжки та красунь, мошки	Задовільно-чиста. Повноцінна. Питне з очищенням, рекреаційне рибництво, технічне зрошення
Шаровки, дрейсена, личинки бабок, без пласконіжки та красунь, водяний віслик	Забруднена. Неблагополучна. Обмежене рибництво, обмежене зрошення
Маса трубочника, мотіля, щуриків, мокреців	Брудна. Неблагополучна. Технічне
Макробезхребетних немає	Дуже брудна. Неблагополучна. Технічне з очищенням

Алжир) показала, що біорізноманіття включало 51 вид, які належать до 9 порядків, найбільше представлений був ряд-твердокрилик (*Coleoptera*) з 11 видами, далі йшли бабки (*Odonata*) з шістьма видами, лускокрилі (*Lepidoptera*) посідали третє місце (5 видів), за якими йдуть двокрилі (*Diptera*), що включав 3 види. Питоме багатство (51 вид), індекс Шеннона (1,01 біт) точно відзначали ступінь забруднення водно-болотного угіддя та були вірогідними для біомоніторингу екологічної якості вод водно-болотного угіддя (Djamel et al., 2021).

Медоносна бджола (*A. mellifera* L.) – вид, що відповідає вище вказаним критеріям (є типовим для різних умов досліджень; має чисельність у більшості досліджуваних екотопів; мешкає в ареалі досліджень протягом періоду, що дає можливість простежити динаміку популяції та дії різних факторів; надає можливість зручного відбору проб для визначення зміни розмірів, пропорцій, покриттів, забарвлення, потворності, особливості онтогенезу, популяційні характеристики тощо).

Бджола все частіше використовується для моніторингу забруднення навколишнього середовища металами у сільських і міських дослідженнях, а під час перебування бджіл на території, забрудненої важкими металами, вони значною мірою накопичують частину домішок у своєму організмі (Skorbiłowicz et al., 2018).

В організмі бджоли найбільше накопичується хрому і нікелю, а цинку і кобальту дуже мало. Водночас важкі метали не потрапляють в мед, якщо їх вміст не перевищує 30 мг/кг. Масове застосування інсектицидів у сільському господарстві є серйозною загрозою для бджіл та інших запилювачів, наприклад, інсектициди-неонікотиніди вражають нервову систему, впливають на здатність бджіл до навчання, їх здатність до розпізнавання

нові проблеми, оскільки вони поєднуються з іншими антропогенними стресовими факторами, включаючи перетворення та деградацію земель. Результати сучасних досліджень свідчать про те, що вплив змін клімату на комах може бути значним, навіть порівняно зі змінами у землекористуванні (Christopher et al., 2021; Williams, 1961; Thomson, 2016).

Процеси кліматичної адаптації комах, що сприяють стійкості видів до змін клімату, матимуть першочергове значення для успішного управління біорізноманіттям, ведення сільського господарства та збереження здоров'я людини (Kellermann & van Heerwaarden, 2019).

Багато комах мають складні життєві цикли з різними етапами життя, на кожному з яких вони мають різні екологічні потреби, що впливає на екологічні та еволюційні реакції організмів у відповідь на зміну клімату. Наприклад, на життєвих етапах бражника тютюнового (*Manduca sexta*) спостерігаються різні моделі теплової і водної мінливості, які відрізняються стійкістю до високих температур, а у жовтюхів (*Colias*) личинки різних географічних популяцій і видів пристосовуються до місцевого клімату через відмінності в оптимальних і максимальних температурах для харчування та росту, тоді як дорослі особини адаптуються через відмінності у меланіні крил та інших морфологічних ознаках (Giannini et al., 2017).

Такі особливості комах, зокрема, медоносною бджолою, роблять цей вид виключно привабливим для використання в якості біоіндикатора в умовах України – батьківщини культурного бджільництва та одного з найбільших виробників меду в світі. Продуктивна діяльність бджолиних сімей суттєво впливає на підвищення врожайності плодів і насіння ентомофільних сільськогосподарських культур (Kryvyi & Reuta, 2021; Satti & Bilal, 2012; Vidal, et al., 2010).

Запилення бджолами ентомофільних культур призводить до збільшення врожаю до 30 %. Завдяки перехресному запиленню яблуневих садів число зав'язей збільшується майже у шість разів, при цьому вага яблука зростає до 30 %, а врожайність на 60 %. У Причорноморському соціально-економічному регіоні в 2000 році нараховувалося 4,043 млн бджолиних колоній, у 2018 році лише 3,235 млн, що свідчить про їх значне зменшення (на 17,6 %) (Chmil, 2020). Якщо розглядати у розрізі категорій господарств, то зменшення спостерігалось як у сільськогосподарських підприємствах (на 92 %), так і в особистих селянських господарствах (на 12 %).

Розвиток і спеціалізація бджільництва в Україні сформувалися історично під впливом кліматичних і природних умов. В останні роки спостерігаються глобальні зміни клімату, що мають негативний вплив на розвиток бджіл як в усьому світі, так і в Україні. Порівняно теплі, безсніжні зими з температурними гойдалками від мінусових до плюсових температур вкрай негативно впливають на зимівлю бджіл. Не менш небезпечна і зтяжна холодна весна: бджоли вилітають з вулика при температурі не менше 14 °C, а якщо йде дощ – то взагалі не вилітають, незалежно від температури повітря. Стандартні терміни початку і закінчення медозбору, сам медозбір перерива-

ється раптовими похолоднаннями або тривалою спекою і суховіями (Korbych, 2021).

Наприклад, в умовах Правобережного Лісостепу доведено вплив температури зовнішнього середовища та тривалості періоду цвітіння ріпаку озимого на виробництво товарного меду та бджолиного обніжжя (пилку). За зниження температури повітря від оптимальної (22 °C) впродовж цвітіння ріпаку озимого, незалежно від тривалості перебування його в цій фазі, спостерігалось зниження виробництва меду від 23,8 до 76,2 % та бджолиного обніжжя від 33,3 до 55,5 % (Razanov та інші, 2020).

В цілому, розуміння взаємодії всіх факторів життя має вирішальне значення для прогнозування та управління популяціями запилювачів, а також для забезпечення належних послуг із запилення. Реакція багатьох рослин на екологічні стресові умови обумовлені стерилізацією пилка, і як наслідок, неможливістю отримання репродуктивного матеріалу та нектару. Найбільша роль в цьому відводиться температурі повітря та його вологості (Radović et al., 2020; Beltrán et al., 2019; Lavrenko et al., 2021). В Меріленді (США) для угруповань диких бджіл навесні та влітку/восени температура й опади були важливішими провісниками, ніж особливості ландшафту чи рельєфу. На північному сході США прогнози на майбутнє показують зміну клімату з теплішою зимою, більш інтенсивними опадами взимку та навесні, а також тривалішими вегетаційними сезонами з вищими максимальними температурами. Майже в усіх дослідженнях за цих умов спостерігалась менша чисельністю диких бджіл, що свідчить про те, що у цьому регіоні зміна клімату становить значну загрозу для угруповань диких бджіл (Kammerer et al., 2021).

В Україні в останні десятиліття почастишали посухи й істотно підвищилися літні температури і вже найближчим часом очікується субтропічний клімат. Його основними рисами є зміни у вегетаційному періоді. Так, весняний період буде обмежений стійкими переходами середньодобової температури повітря через 0 °C і 15 °C, коротким, не більше двох місяців, з різким наростанням тепла. Вже зараз у кінці березня середньодобова температура повітря сягає +5 °C, а на початку третьої декади квітня вдень вона перевищує +20 – +24 °C, а ґрунт на глибині 10 см прогрівається до 8–10 °C.

Літній період настає у кінці першої – середині другої декад травня, літо звичайно жарке, посушливе, його тривалість приблизно 5 місяців. Такі зміни клімату збільшують ризики зникнення видів комах, оскільки температура й кількість опадів починають перевищувати історично спостережувані допуски допустимі значення для видів комах. В Північній Америці та Європі зростання температури призвели до повсюдного скорочення видів джмелів, у напівзасушливому регіоні північно-східної Бразилії, де основним місцевим запилювачем дикорослих і сільськогосподарських рослин, які також використовуються для виробництва меду, популяціям безжалі бджоли (*Melipona subnitida* Ducke) загрожують зміни клімату, внаслідок чого виникає проблема пошуку безжалі бджолами кліматично придатних місць проживання (Sarro et al., 2021; Zhuykov et al., 2020).

Динаміка кількості бджолиних сімей, тис. (за Ovdienko et al., 2020)

Показник	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Бджолині сім'ї, тис., всього	2849,3	3369,0	2921,5	2590,0	2487,1	2642,2	2601,0	2633,2
За категоріями господарств								
Підприємства	334,0	184,3	95,4	49,9	47,1	43,6	48,2	40,7
у т. ч. фермерські господарства	7,2	10,0	8,8	5,6	5,3	5,1	5,0	4,6
Господарства населення	2515,3	3184,7	2826,1	2540,1	2440,0	2598,6	2552,8	2592,5

В основі зниження кількості комах-запилювачів через зміну клімату, як правило, знаходиться інтерактивний вплив температурного та водного стресу на кількість і якість квіткового нектару та ресурсів пилку. При підвищенні температури (+ 3 і + 6 °C) та водного стресу (вологість ґрунту нижче 15 %) при запиленні огірочника лікарського (*Borago officinalis* L.) об'єм нектару зменшувався як при підвищенні температури, так і при водному стресі (6,1 ± 0,5 мкл на квітку в контрольних умовах, 0,8 ± 0,1 мкл на квітку в умовах високої температури та водного стресу), що призвело до зменшення загальної кількості цукрів нектару на 60 %. Підвищення температури без водного стресу викликало зниження ваги пилку на квітку на 50 %, але збільшення концентрації поліпептиду пилку на 65 % (Descamps et al., 2021). Означені умови змін клімату впливають і на популяційні показники бджіл в Україні, найбільша кількість була зафіксована у 2005 році 3369 тис. сімей, через п'ять років їх кількість зменшилася на 447,5 тис. сімей, що становило 13,3 % (Ovdienko et al., 2020). Зменшення кількості сімей спостерігалось протягом наступних шести років (у 2015 році на 23,1 %, у 2016 на 26,3%, порівняно із 2005 роком) (табл. 4).

У 2018 році українські бджолярі втратили не менше 120 млн грн. через загибель близько 40 тис. бджолиних сімей в результаті отруєння пестицидами. Останніми трьома роками (2017–2019 роки) спостерігається змен-

шення бджолиних сімей із 6,2 до 5,9 %, порівняно із 2016 роком.

Висновки. Біоіндикація – оцінка стану середовища за допомогою живих об'єктів-індикаторів дозволяє з високою вірогідністю проводити оцінку змін навколишнього середовища під впливом як абіотичних, так і біотичних факторів. Використання організмів-біоіндикаторів у багатьох випадках є незамінним, але придатність видів як біоіндикаторів має великий розмах. Особливою увагою у якості біоіндикаторів користуються комахи (Insecta), які є зручними об'єктами досліджень та мають різноманітні критерії біоіндикації (зміни розмірів, пропорцій, покривів, забарвлення, потворності, особливості онтогенезу, популяційні характеристики).

Серед них особливу роль відіграють комахи-запилювачі, які безпосередньо беруть участь у відтворенні та видовому збагаченні фітоценозу, що надає можливість використовувати їх популяції для моніторингу впливів кліматичних змін на екосистеми.

Одним з найбільш цінних видів-біоіндикаторів серед цих комах є медоносна бджола (*Apis mellifera* L.), яка завдяки своїм морфологічним, екологічним та поведінковим особливостям має велике значення як модельна система біологічної реакції на кліматичні зміни, що доведено на прикладі досліджень популяцій цього виду в умовах Херсонської області.

Бібліографічні посилання:

- Amin, Md.R., Nahid, S. & Suh S. Jae (2021). Pollinating insects for bioindication of the ecosystem. *Agricultural Science Digest*. Vol. 41. Iss. 4. P. 615-619. doi: 10.18805/ag. D-290
- Asmaa E., & Abdel Rahman, T. (2020). Assessment of pesticide Residues in honey and their prospective Risk to Consumers in Egypt. *Egyptian Journal of Plant Protection Research Institute*, 3. 1028–1034. https://www.researchgate.net/publication/354611121_Assessment_of_pesticide_Residues_in_honey_and_their_prospective_Risk_to_Consumers_in_Egypt
- 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: 10.1080/10643389.2015.1078220
- Barinova, S. (2017). How to Align and Unify the Cell Counting of Organisms for Bioindication. *International Journal of Environmental Sciences*. 2(2): 555–585. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555585
- Barinova, S. (2017). Essential and Practical Bioindication Methods and Systems for the Water Quality Assessment. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*; 2(3): 555–588. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555588.08
- Beltrán, R., Valls, A., Cebrián, N., Zornoza, C., García Breijo, F., Reig Armiñana, J., Garmendia, A. & Merle H. (2019). Effect of temperature on pollen germination for several Rosaceae species: influence of freezing conservation time on germination patterns. *Peer J* 7: e8195 <https://doi.org/10.7717/peerj.8195>
- Buchori, D., Rizali, A., Rahayu, G.A., & Mansur, I. (2018). Insect diversity in post-mining areas: Investigating their potential role as bioindicator of reclamation success. *Biodiversitas* 19: 1696–1702. doi:10.13057/biodiv/d190515
- Burkle, L.A., Marlin, J.C. & Knight, T.M. (2013). Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. *Science*. 339. P. 1611–1615.
- Cane, J.H. & Panye, J.A. (1988). Foraging ecology of the bee *Habropoda laboriosa* (Hymenoptera: Anthophoridae), an oligolege of blueberries (Ericaceae: Vaccinium) in the southeastern United States. *Annals of the Entomological Society of America*. 81. P. 419–427.

10. Caruso, C.M. (2000). Competition for pollination influences selection on floral traits of *Ipomopsis aggregate*. *Evolution*. 54. P. 1546–1557.
11. Celli, G., & Maccagnani, B. (2003). Honey bees as bioindicators of environmental pollution., *Bulletin of Insectology*, 137–139. Access mode: <https://cutt.ly/2OYHk98>
12. Chmil, A.S. (2020). Analiz stanu ta tendentsii rozvytku haluzi bdzhilnytstva Prychornomorskoho rehionu. Prychornomorski ekonomichni studii [Analysis of the state and trends in the development of the beekeeping industry of the Black Sea region]. *Prychornomorski ekonomichni studii*, 51, 172–175. doi: 10.32843/bses.51-27.
13. Chong, T., Azam J., Afsheen I., Zia S., Javed A., Saeed M., Sarwar, R., Kaleem M. (2015). Evaluating Insects as Bioindicators of Heavy Metal Contamination and Accumulation near Industrial Area of Gujrat, Pakistan. 2015. doi: 10.1155/2015/942751
14. Christopher, A.H., Shapiro, A.M., Jame, A.F., Nice, C.C., James, H.T., David, P.W., & Matthew L.F. (2021). Insects and recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118 (2) e2002543117; doi: 10.1073/pnas.2002543117
15. Cresswell, J.E., Page, C.J., Uygun, M.B., Holmbergh, M., Li, Y. & Wheeler, J.G. (2012). Differential sensitivity of honey bees and bumble bees to a dietary insecticide (imidacloprid). *Zoology (Jena)*, 115, 365–71. doi: 10.1016/j.zool.2012.05.003
16. Cunningham, M.M., Tran, L., McKee, C.G., Polo, R.O., Newman, T., Lansing, L., Griffiths, J.S., Bilodeau, G.J., Rott, M.I. & Guarna, M.M. (2022). Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change. *Ecological Indicators*, 134, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108457.
17. Descamps, Ch., Quinet, M., & Jacquemart, A.L. (2021). Climate Change–Induced Stress Reduce Quantity and Alter Composition of Nectar and Pollen from a Bee-Pollinated Species (*Borago officinalis*, Boraginaceae). *Frontiers in Plant Science*, 12, e. 755843. doi: 10.3389/fpls.2021.755843
18. Desneux, N., Decourtye, A. & Delpuech, J.M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu Rev Entomol*. 52. P. 81–106. doi: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440
19. Djamel, B., Abdelkader, R., Abdelghani, B., & Lotfi, M. (2021). Evaluating Insects as Bioindicators of the Wetland Environment Quality (Arid Region of Algeria). In D. E. Cano, D. R. Quinto, D. A. Cano, & D. C. Maria (Eds.), *Vegetation Index and Dynamics*. Intech Open. doi: org/10.5772/intechopen.97700
20. Dorneles, A., Louzada, J., & Comita, L. (2014). Dung beetles as indicators of tropical forest restoration success: Is it possible to recover species and functional diversity? *Biological Conservation*. 169, 248–257. doi:10.1016/j.biocon.2013.11.023
21. Esyakova, O. A., & Voronin, V. M. (2020). Bioindication methods in environmental engineering. *OP Conference Series: Materials Science and Engineering: Volume 862, Chemical, Ecological and Power Engineering*. doi: 10.1088/1757-899X/862/6/062009
22. Fontaine, C., Dajoz, I., Meriguet, J. & Loreau, M. (2006). Functional diversity of plant–pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. *PLoS Biology*, 4, 129–135.
23. Ghazoul, J. (2006). Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of Ecology*. 94. P. 295–304.
24. Giannini, T. C., Maia-Silva, C., Acosta, A. L., Celso F. Martins, F. C. V. Zanella, C. A. L. Carvalho, M. H., Saraiva A. M., Siqueira J. O. & Vera L. I. F. (2017). Protecting a managed bee pollinator against climate change: strategies for an area with extreme climatic conditions and socioeconomic vulnerability. *Apidologie*, 48, 784–794. doi: 10.1007/s13592-017-0523-5
25. Gill, R.J., Ramos-Rodriguez, O. & Raine, N.E. (2012). Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature*, 491, 105–108. <http://dx.doi.org/10.1038/nature11585>
26. Godzik, B. (2020) Use of Bioindication Methods in National, Regional and Local Monitoring in Poland-Changes in the Air Pollution Level over Several Decades. *Atmosphere*, 11, 143. doi:10.3390/atmos11020143
27. Goldblatt, P. & Manning, J.C. (2000). The long-proboscid fly pollination system in southern Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 87, 146–170.
28. Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C. & Rotheray, E.L. (2015). Beedeclines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*. 347. 1255957.
29. Guo, B.S., Yang, J.M. & Xu, Y.B. (2001). Problems and research advance of the pollination insects. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*. 14(4), 102–108.
30. Harder, L.D. (1983). Flower handling efficiency of bumble bees: morphological aspects of probing time. *Oecologia*, 57, 274–280.
31. Hareem, S. (2020). Terrestrial Insects as Bioindicators of Environmental Pollution: A Review. *University of Wah Journal of Science and Technology (UWJST)*, 4, 21–25. <https://uwjst.org.pk/index.php/uwjst/article/view/39>
32. Harmens, H.; Norris, D., & Mills, G.(2013). Heavy Metals and Nitrogen in Mosses: Spatial Patterns in 2010/2011 and Long-Term Temporal Trends in Europe; Centre for Ecology & Hydrology: Bangor, UK, 2013; <https://www.researchgate.net/profile/Trajce-Stafilov/publication/inlnk.ru/ZDz KM.pdf>
33. Heinrich, B. & Raven, P.H. (1972). Energetics and pollination ecology. *Science*. 176, 597–602.
34. Hickman, J.C. (1974). Pollination by ants: a low-energy system. *Science*. 184, 1290–1292.
35. Holt, E. A., & Miller, S. W. (2010). Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 8. Access mode: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicators-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310/>
36. Huang, S.Q. & Guo, Y.H. (2000). New advances in pollination biology. *Chinese Science Bulletin*. 45, 225–237.
37. Johnson, SD, Peter, C.I., Nilsson, L.A. & Agren, J. (2003). Pollination success in a deceptive orchid is enhanced by co-occurring rewarding magnet plants. *Ecology*. 84, 2919–2927.

38. Józwiak, M. A. & Józwiak, M. (2014). Bioindication as challenge in modern environmental Protection. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 21 (4), 577–591. doi: 10.1515/eces-2014-0041
39. Kammerer, M., Goslee, S. C., Douglas, M. R., Tooker, J. F. and Grozinger, C. M. (2021). Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology*, 27, 1250–1265. doi: 10.1111/gcb.15485
40. Kapusta, P., Szarek-Łukaszewska, G., & Godzik, B. (2014). Present and Past Deposition of Heavy Metals in Poland as Determined by Moss Monitoring. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(6), 2047–2053. doi:10.15244/pjoes/27812
41. Kellermann, V., & van Heerwaarden, B. (2019). Terrestrial insects and climate change: adaptive responses in key traits. *Physiological Entomology*, 44(2), 99–115. doi: 10.1111/phen.12282
42. Kells, A.R., Holland, J.M. & Goulson, D. (2001). The value of uncropped field margins for foraging bumblebees. *Journal of Insect Conservation*. 5. P. 283–291.
43. Kholodkevich, S. V., Kuznetsova, T. V., Kirin, M. P., Smirnov I. S., Rudakova O. A., Lyubimtsev V. A., Manvelova A. B., Susloparova O. N., Perelygin V. V., & Sakharova O. A. (2020) Bioindication of the ecological state (health) of coastal waters based on the use of automatic bioelectronic systems. *Pharmacy Formulas*, 2(3), 64–73. doi: 10.17816/phf46438
44. Kim, H., Sun, Y., Kim, T.-Y. & Moon, M.-J. (2020). Biodiversity monitoring for selection of insect and spider bioindicators at local organic agricultural habitats in South Korea. *Entomological Research*, 50, 493–505. doi: 10.1111/1748-5967.12469
45. Korbych, N.M. Vplyv zminy klimatu na rozvytok haluzi bdzhilnytstva [Impact of climate change on the development of the beekeeping industry]. *Ekolohichni problemy navkolyshnoho seredovyscha ta ratsionalnoho pryrodokorystuvannia v konteksti staloho rozvytku : materialy IV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii do dnia pamiaty doktora silskohospodarskykh nauk, profesora Pylypenka Yurii Volodymyrovycha, October 21-22, 2021, Kherson, 2021, 141–143. Access mode: <http://dSPACE.ksau.kherson.ua/bitstream/handle/123456789/7731/>*
46. Korzh, A. P. (2013). *Pyrrhocoris apterus* as a bioindicator of the environmental state. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: biology*, 17(1056), 110–114.
47. Kryvyi, V. & Reuta, N. (2011). *Ekolohichni aspekty pidvyshchennia vrozhaivosti entomofilnykh kultur z vykorystanniam peretynchastokrylykh komakh [Ecological aspects of increasing the yield of entomophilic crops using hymenoptera insects]. Stan ta perspektyvy vyrobnytstva, pererobky i vykorystannia produktiv tvarynnytstva: materialy VIII mizhnarodnoi naukovo konferentsii studentskoi ta uchnivskoi molodi, Kamyanets-Podilsky, November 23, 2021 Podolsky DATU. <http://dSPACE.ksau.kherson.ua/bitstream/handle/123456789/7286/>*
48. Kryvyi, V. V. (2021). *Vykorystannia komakh porody ruda osmiia, yak pryrodnoho opyliuvacha sadiv v umovakh fermerskykh hospodarstvakh [Use of ore insects Osmiya as a natural pollinator of gardens in farms]. Suchasna nauka: stan ta perspektyvy rozvytku: materialy IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh z nahody Dnia pratsivnyka silskoho hospodarstva (Kherson, November 17, 2021). Kherson, 168–169.*
49. Kunakh, O. M., & Fedyay, I. O. (2020). Are Heteroptera communities able to be bioindicators of urban environments? *Biosystems Diversity*. 28, 2. doi: 10.15421/012025
50. Lavrenko, S. O., Lavrenko, N.M., Maksymov, D. O., Maksymov, M. V., Didenko, N. O. & Islam, K. R. (2021). Variable tillage depth and chemical fertilization impact on irrigated common beans and soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 212, August 2021, 105024.
51. MacDonald, D.W. & Johnson, P.J. (2000). Farmers and the custody of the countryside: trends in loss and conservation of non-productive habitats 1981-1998. *Biological Conservation*. 94. P. 221–234.
52. Mahmoud, A. M., & Riad, A. S., (2020). Ecological studies on some aquatic insects in the Damietta branch, River Nile of Egypt as bioindicators of pollution. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(4), 57–76. doi: 10.21608/ejabf.2020.95322
53. Malovanyy, M., Korbut, M., Davydova, I., & Tymchuk, I. (2021). Monitoring of the Influence of Landfills on the Atmospheric Air Using Bioindication Methods on the Example of the Zhytomyr Landfill, Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 36–49. doi:10.12911/22998993/137446
54. Marshall, E.J.P. & Moonen, A.C. (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 89. P. 5–21.
55. Maxim, L. & van der Sluijs, J.P. (2013). Seed-dressing systemic insecticides and honeybees. In: European Environment Agency, ed. *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation*. 1. Copenhagen: European Environment Agency (EEA),. P. 401–438. <http://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2/late-lessons-chapters/late-lessons-ii-chapter-16/view>
56. McGeoch, M. A. (2014) *Insects and bioindication: theory and progress*. 128-144. /McGeoch, M. A. *Insect conservation biology*. Edited by Stewart, A. J. A., New, T. R., Lewis, O. T. Centre for Invasion Biology, Department of Conservation Ecology and Entomology, University of Stellenbosch, Matieland, South Africa. doi: 10.1079/9781845932541.0144
57. Mikheev, A. O. *Bdzholy yak indykatory chystoty dovkillia [Bees as indicators of environmental cleanliness]* Bukovynskyi derzhavnyi medychnyi universytet, 20.05.2021. <https://www.bsmu.edu.ua/blog/bdzholy-yak-indykatory-chystoty-dovkillia/>
58. Morandin, L.A. & Kremen, C. (2013). Hedgerow restoration promotes pollinator populations and exports native bees to adjacent fields. *Ecological Applications*. 23. P. 829–839.
59. Nikinmaa, M. (2014). *Bioindicators and Biomarkers. An Introduction to Aquatic Toxicology*, Academic Press, Oxford. 147–155. doi: 10.1016/B978-0-12-411574-3.00012-8
60. Ollerton, J., Erenler, H., Edwards, M. & Crockett, R. (2014). Extinctions of aculeate pollinators in Britain and the role of large-scale agricultural changes. *Science*. 346. P. 360–362.

61. Ovdienko, A. M., Ovdienko, K. T., & Korbych, N. M. (2020). Bdzhilnytstvo Ukrainy: vyrobnytstvo ta eksport [Beekeeping of Ukraine: production and export] Tavriyskiy naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky, 116(2), 123–129. doi: 10.32851/2226-0099.2020.116.2.18
62. Palmer, M.J., Moffat, C., Saranzewa, N., Harvey, J., Wright, G.A. & Connolly, C.N. (2013). Cholinergic pesticides cause mushroom body neuronal inactivation in honeybees. *Nat Commun.* 4. 1634. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms2648>
63. Parikh, G., Rawtani, D., & Khatri N. (2021) Insects as an Indicator for Environmental Pollution, *Environmental Claims Journal*, 33(2), 161–181, doi: 10.1080/10406026.2020.1780698
64. Potts, S.G., Roberts, S.P.M. & Dean, R. (2009). Declines of managed honey bees and beekeepers in Europe. *Journal of Apicultural Research*. 49. P. 15–22.
65. Quigley, T. P., Amdam, G. V., & Harwood, G. H. (2019). Honey bees as bioindicators of changing global agricultural landscapes. *Current Opinion in Insect Science*, 35, 132–137. doi: 10.1016/j.cois.2019.08.012
66. Radović, A., Nikolić, D., Cerović, R., Milatović, D., Rakonjac, V. and Bakić, I. (2020). The effect of temperature on pollen germination and pollen tube growth of quince cultivars. *Acta Hort.* 1289, 67–72.
67. Razanov, S. F., Nedashkivsky, V. M., & Verheli, S. I. (2020). Vplyv temperaturnykh parametriv i tryvalosti tsvitinnia ripaku ozymoho na produktyvnist bdzholynykh simei [The influence of temperature parameters and the duration of flowering of winter rape on the productivity of bee colonies] *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva: zb. nauk. prats. Bila Tserkva*, 2, 97–102. doi: 10.33245/2310-9289-2020-158-2-97-102
68. Robinson, R.A. & Sutherland, W.J. (2002). Post-war changes in arable farming and biodiversity in great Britain. *Journal of Applied Ecology*. 39, 157–176.
69. Ryndevich, S. K., Lukashuk, A. O., Zemoglyadchuk, A. V., Tokarchuk, O. V. & Baitchorov, V. M. (2020). Nasekomye bioindikatory (Insecta: Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Hemiptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera) i kriterii nenarushennykh vodnykh jekosistem Belarusi [Insects-Bioindicators (Insecta: Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Hemiptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera) And Criteria For Intact Of Water Ecosystems Of Belarus] *Vestn. BarGU. Ser. Biologicheskie nauki. Sel'skokhozyaystvennyye nauki.*, 8, 99–117. Access mode: <http://rep.brsu.by:80/handle/123456789/6736>
70. Sarro, E., Penglin Sun, K., Mauck Damaris, R.-A., Naoki, Y. S., & Hollis, W. (2021). An organizing feature of bumble bee life history: worker emergence promotes queen reproduction and survival in young nests, *Conservation Physiology*, 9, 1, 685–688. doi:10.1093/conphys/coab047
71. Satti, A.A. & Bilal, N.A. (2012). The major predators associated with lucerne crop at El-Gorair scheme in Northern Sudan. *International Journal of Science Innovations and Discoveries*. 2. 567–572.
72. Skorbilowicz E., Skorbilowicz M., & Cieśluk, I. (2018). Bees as Bioindicators of Environmental Pollution with Metals in an Urban Area. *Journal of Ecological Engineering*. 19(3), 229–234. doi:10.12911/22998993/85738
73. Sobol, O. M. Klimatychni zminy ta problemy vedennia koniarstva v umovakh pivdnia Ukrainy na prykladi Khersonskoi oblasti [Climatic changes and problems of horse breeding in the south of Ukraine on the example of Kherson region] *Klimatychni zminy ta silske hospodarstvo. Vykylyk dlia ahrarynoy nauky ta osvity: zbirnyk tez IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (Kyiv, April 21, 2021), 59–62. <http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/6276>
74. Solomon, R.A.J. & Rao, P.S. (2002). Pollination Ecology and Fruiting behaviour in *Acacia sinuate* (Lour.) Merr. (Mimosaceae) a valuable non-timber forest plant species. *Current Science*. 82(12). 1466–1471.
75. Somanathan, H. & Borges, R.M. (2001). Nocturnal pollination by the carpenter bee *Xylocopa tenuiscapa* (Apida) and the effect of floral display on fruit set of *Heterophragma quadriloculare* (Bignoniaceae) in India. *Biotropica*. 33. P. 78-89.
76. Stone, G.N., Raine, N.E., Prescott, M. & Willmer, P.G. (2002). Pollination ecology of Acacias (Fabaceae, Mimosoideae). *Australian Systematic Botany*. 16. 103–118.
77. Stone, G.N., Wilmer, P.G., Rowe, J.A., Nyundo, B. & Abdallah, R. (1999). The pollination ecology of Mkomazi Acacia species. In 'Mkomazi, the ecology, biodiversity and conservation of a Tanzanian savanna'. (Eds MJ Coe, N McWilliam, GN Stone, M Packer). P. 337–360. (The Royal Geographical Society: London).
78. Tandon, R., Shivanna, K.R. & Ram, M.H.Y. (2001). Pollination biology and breeding system of *Acacia Senegal*. *Botanical J. Linnean Society*. 135. 251–262.
79. Tennekes, HA & Sánchez-Bayo, F. (2013). The molecular basis of simple relationships between exposure concentration and toxic effects with time. *Toxicology*. 309. P. 39–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2013.04.007>
80. Thomson, D.M. (2016). Local bumble bee decline linked to recovery of honey bees, drought effects on floral resources. *Ecology Letters*. 19. 1247–1255.
81. Tibcherani, M., Nacagava, V. A. F., Aranda, R., & Mello, R. L. (2018). Review of Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators in the Brazilian Savanna. *Sociobiology*, 65(2), 112–129. doi: 10.13102/sociobiology.v65i2.2048
82. Tran, L., McKee, Ch. G., Ortega Polo, R., Newman, T., Lansing, L., Griffiths, J. S., Bilodeau, G. J., Rott, M., & Guarna, M. M. (2022). Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change. *Ecological Indicators*, 134. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108457
83. Tyrbik, K. (1993). Pollination, breeding system and seed abortion in some African *Acacia* species. *Botanic. J. Linnean Society*. 112. 107–137.
84. Vidal, M.G., Dejon, D., Wien, H.C. & Morse, R.A. (2010). Pollination and fruit set in pumpkin (*Cucurbita pepo*) by honey bees. *Review of Brasil Botany*. 33, 107–113.
85. Vorobyov, N., Bakaeva, T., Poturaeva, D., & Kozlov T. (2022). The determination of the integral biosphere compatibility indicator of urban areas by bioindication's methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 698, 7. doi:10.1088/1757-899X/698/7/077055

86. Whitehorn, P.R., O'Connor, S., Wackers, F.L. & Goulson, D. (2012). Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science*. 336. 351–352. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1215025>
87. Williams, C.B. (1961). Studies in the effect of weather conditions on the activity and abundance of insect populations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 244. P. 331–378.
88. Wilson, R. J., Davies, Z. G. & Thomas, C. D. (2014) Insects and climate change: processes, patterns and implications for conservation. 227-245. /McGeoch, M. A. *Insect conservation biology*. Edited by Stewart, A. J. A., New, T. R., Lewis, O. T. Centre for Invasion Biology, Department of Conservation Ecology and Entomology, University of Stellenbosch, Matieland, South Africa. DOI 10.1079/9781845932541.0144
89. Woodell, S.R.J. (1978). Directionality in bumblebees in relation to environmental factors. In: *The Pollination of Flowers by Insects* (ed. Richards AJ), P. 31–39. Academic Press, London.
90. Wyatt, R. (1981). The reproductive biology of *Asclepias tuberosa*. II. Factors determining fruit-set. *New Phytologist*. 86. P. 375–385.
91. Yusuf, Z. H. (2020). Phytoplankton as bioindicators of water quality in Nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, e4. doi:10.1590/S2179-975X3319
92. Zhang, T.F., Duan, Y.W. & Liu, J.Q. (2006). Pollination ecology of *Aconitum gymnantrum* (Ranunculaceae) at two sites with different altitudes. *Acta Phytotaxonomica Sinica*. 44. P. 362–370.
93. Zhuykov, O., Burdiug, O., Ushkarenko, V., Lavrenko, S. & Lavrenko, N. (2020). Photosynthetic activity and productivity of sunflower hybrids in organic and traditional cultivation technologies. *AgroLife Scientific Journal*. Journal, 9(1), 374-381. P. 374-381.

Lavrenko S. O., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Kherson State agrarian and economic University, Kherson, Ukraine

Sobol O. M., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, State agrarian and economic University, Kherson, Ukraine

Korbych N. M., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, State agrarian and economic University, Kherson, Ukraine

Kryvyi V. V., Assistant, State agrarian and economic University, Kherson, Ukraine

Directions and prospects for the use of pollinating insects for bioindication of the ecosystems and climate change situation under the south of Ukraine conditions

Under the global environmental changes, the use of bioindicators to monitor the state of ecosystems is gaining popularity due to the numerous advantages of organisms – bioindicators. Among these organisms, one of the most common taxa is Insects (Insecta). When insects are using for the impact of anthropogenic factors on the environment the determination of the ecological status of terrestrial and aquatic ecosystems is used. changes in size, proportions, coverings, color, ugliness, features of ontogenesis, population characteristics are using as criteria.

*The use of pollinating insects as bioindicators is especially multifaceted. Its are an important component of biogeocenoses, contribute to the natural reproduction and enrichment of flora. One of the most valuable bioindicators of the ecosystem state among pollinating insects is the honey bee (*Apis mellifera* L.), widespread in the world. Bee pollination of entomophytic crops in Ukraine leads to an increase in yield of up to 30%, and profits from increased yields significantly exceed the cost of all beekeeping products.*

The use of honey bees as a biological indicator allows to use as a criterion well-studied morphological, ecological and behavioral characteristic of the honey bee populations, including their productivity. Thus, with a decrease in air temperature compared to optimal, during the flowering of winter oilseed rape, regardless of the length of its stay in this phase, there was a decrease in honey production from 23.8 to 76.2% and bee pollen – from 33.3 to 55.5%.

A particular advantage of this species is the relative resistance of bee colonies to environmental stressors, their ability to accumulate pollutants and stereotypically respond to them. This allows the use of honey bee populations to monitor new threats, including climate changes, which is especially true in Southern Ukraine, where severe droughts have become more frequent in recent decades and summer temperatures have risen significantly. The spring period of the average daily air temperature transition through 0° and 15,0° and 15°C, decreased to 2 months and was characterized by a sharp increase in heat.

*Climate change has a negative impact on the state of pollinator insect populations due to the deterioration of their forage base (reduction of biodiversity and productivity of honey plants); increase the risk of extinction of these species. The climate change factor, in particular, affected the productivity dynamics of the honey bee population in Ukraine, for the period 2005-2019 the number of bee families decreased from 3369.0 thousand to 2633.2 thousand. Thus, use as a biological indicator of pollinating insects by example of the honey bee (*A. Mellifera* L.) populations confirms the expediency of this method for studying the state of ecosystem elements and climate change.*

Key words: state of ecosystem monitoring, organisms-bioindicators, pollinating insects, climate change, honey bee.