УДК 595.7:632.7

DOI: 10.33730/2310-4678.3.2021.247149

ЕКОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ЕНТОМОФАУНИ ТА ОСНОВНІ ЧИННИКИ ВТРАТИ ЇЇ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

С.М. Мостов'як
кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)
e-mail: s.mostoviak@gmail.com;
ORCID https://orcid.org/ 0000-0001-8322-8710

І.І. Мостов'як
доктор сільськогосподарських наук, доцент
Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)
e-mail: mostovjak@gmail.com;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4585-3480

У статті наведено аналіз сучасних вітчизняних та світових наукових джерел щодо екологічного значення ентомофауни агроекосистем та визначено основні чинники, які спричиняють втрату видового різноманіття комах. Втрати біорізноманіття, у т.ч. ентомофауни, спричинені антропогенною діяльністю та змінами клімату протягом останніх 100 років, є безпрецедентними в історії людства. Понад 40% видів комах вимирають, а третина перебуває під загрозою зникнення. За більш оптимістичними даними, загальна маса комах знижується щороку на 2,5%, що свідчить про високу ймовірність зникнення протягом століття. Деградація природних середовищ існування, інтенсифікація сільського господарства, зміна клімату та інвазивні види визначено як головні чинники глобальної втрати біорізноманіття ентомофауни. Деградація середовища проживання як прямий наслідок розширення та інтенсифікації сільськогосподарського виробництва призводить не лише до гомогенізації екосистем, але й до збільшення використання пестицидів і агрохімікатів, які мають негативний вплив на біорізноманіття та екологічний стан навколишнього природного середовища. Зміни клімату, зокрема підвищення температури, впливають на життєвий цикл комах та їх географічне поширення, а інвазійні види змінюють функціонування екосистем, витісняючи місцеву фауну. Зміни клімату можуть вплинути на комах-фітофагів кількома способами: призвести до розширення їх географічного поширення, збільшення виживаємості під час зимівлі, збільшення кількості поколінь, зміни взаємодії між рослинами та шкідниками, зміни міжвидової взаємодії, збільшення ризику інвазії мігруючих видів шкідників, збільшення ураження рослин патогенами, що передаються комахами, зниження ефективності біологічного контролю, особливо природних ворогів.

Ключові слова: *комахи (Insecta), видове багатство, екосистемні послуги, інтенсифікація сільського виробництва, зміни клімату, фітофаги.*

ВСТУП

Перетворення природних екосистем в аграрні, зміна в них потоків енергії та речовини вносить значні зміни у їх функціонування і стабільність. Такі аграрні системи мають спрощену структуру, внаслідок чого стають нестійкими до впливу різних біотичних і абіотичних чинників.

Діяльність людини є потужним чинником впливу на стан навколишнього природного середовища, негативною зміною якого серед численних екологічних проблем є втрата біологічного різноманіття.

Біологічне різноманіття — це динамічна у просторі й часі система, яка постійно пов'язана зі змінами абіотичного середовища та впливом антропогенних чинників. Від інтенсивності їхньої дії залежить видовий склад екосистем, мікроеволюційні процеси в популяціях, організація біосистем і динаміка. Біорізноманіття є фундаментальним біологічним, екологічним поняттям і може розглядатися як видова насиченість біологічних систем різного рівня організації (здебільшого екосистем). Загалом, чим вищий рівень різноманіття екосистеми, тим вона стабільніша, а іноді й стійка. Нині вчені-біологи, екологи говорять про стрімке біологічне вимирання, яке знаходиться на ранньому етапі шостого великого вимирання із перетином точки неповернення.

Агробіорізноманіття є доволі складним біологічним феноменом, який до певної міри функціонує природним чином і залежить від усього процесу сільськогосподарського виробництва. Агробіорізноманіття є також комплекс-

ним об'єктом, який можна класифікувати на підставі біологічних властивостей, різноманітності та наявності різних складових елементів.

Усі екосистеми мають бінарний склад, а особливості динаміки чисельності біологічних видів залежать від абіотичних і біотичних чинників. Зміна чисельності ентомофауни — важливий індикатор екологічного стану агроценозу. Зважаючи на це, необхідно систематично проводити моніторинг агроландшафтів для уточнення видового складу, їх трофічних зв'язків, сезонної та багаторічної динаміки чисельності корисних, шкідливих і нейтральних видів, що входять до ентомокомплексу, з'ясування існування балансу та зв'язків між видовим складом корисних, шкідливих і нейтральних видів і чергуванням культур у сівозміні та ступенем дії антропічних чинників на систему.

Метою досліджень було проаналізувати наявні результати досліджень щодо екологічного значення ентомофауни в агроекосистемах, основні чинники та тенденції зникнення видового різноманіття комах.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологічну основу дослідження становили сучасні наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених та особисті дослідження, міжнародні нормативні документи. Методи дослідження включали системний підхід, порівняльний аналіз та узагальнення.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Серед значної кількості біологічних видів як у природних екосистемах, так і аграрних, які визначають їх продуктивність і гомеостаз, найбільшим біорізноманіттям характеризується ентомофауна.

Будучи домінуючою формою біомаси тварин та життя на Землі, ентомофауна представлена в багатьох різних трофічних нішах та виконує широкий і дуже важливий спектр екологічних функцій у природних і агроекосистемах. Через значну чисельність і велику внутрішньо- та міжвидову різноманітність функціональне значення ентомофауни є ключовим, а екосистемні послуги є життєво важливими. Зважаючи на те, що ентомофауну переважно сприймають як шкідники або потенційні шкідники, їх екологічне значення залишається непоміченим.

У наземних екосистемах ентомофауна відіграє ключову екологічну роль у важливих процесах, зокрема у кругообігу поживних речовин, розповсюдженні насіння, запиленні рослин та боротьбі зі шкідливими організмами тощо. Водночас рослиноїдні комахи (фітофаги) завдають шкоди 18% світового сільськогосподарського виробництва. Незважаючи на цю шкоду, менше 0,5% від загальної кількості відомих видів комах віднесено до шкідників.

Комахи (Insecta) є найчисленнішою групою організмів на Землі, які становлять майже 66% усіх видів тварин, і нині науково описано лише 7–10% [1]. За останніми результатами оцінювання, на Землі може бути приблизно 5,5 млн видів комах [2]. Вони беруть участь як у формуванні, так і розкладанні практично всіх видів органічних речовин, становлять важливу частину кожної екосистеми та надають цінні екосистемні послуги, у т.ч. у виробництві продуктів харчування [3; 4]. Зважаючи, що більшість видів комах ще не ідентифіковано, то кількість їх видів може досягати майже 8 млн. У перерахунку на біомасу комахи становлять 150–1500 кг на кожну людину [5]. В Україні на кінець минулого століття було описано понад 25 тис. видів комах [6].

У традиційному сільському господарстві використовують лише деякі види комах, проте потенційні послуги та корисні функції багатьох інших видів ігноруються. Найчастіше увагу приділяють такій функції комах, як запилення вищих рослин. Приблизно 72% посівів у світі залежать від комах-запилювачів рослин [5], які покращують або стабілізують урожайність 3/4 усіх видів сільськогосподарських культур [7]. За оцінками експертів, у загальносвітовому масштабі 9,5% приросту врожайності отримано за рахунок саме діяльності комах-запилювачів [8].

Важлива роль ентомофауни в агроценозах полягає в поліпшенні фітосанітарного стану посівів і ґрунту, кругообігу поживних речовин і поліпшенні родючості ґрунту, депонуванні карбону у ґрунті. Наприклад, завдяки своїй діяльності членистоногі збільшують у ґрунті вміст карбону, азоту, фосфору, калію, кальцію та магнію, що значно підвищує врожайність сільськогосподарських культур [9; 10].

Також у контексті впровадження екологічно безпечних методів контролю шкідливих організмів в агроекосистемах актуальним є використання біологічного методу, який спирається насамперед на застосування ентомофагів та регуляцію чисельності шкідливих видів за допомогою їх природних ворогів, зокрема хижаків і паразитів [11].

Нині сільське господарство залишається головним рушієм глобальних утрат біорізноманіття, оскільки обидві стратегії збільшення виробництва агропродукції, а саме розширення та інтенсифікація посівних площ, становлять серйозні загрози для багатьох біологічних видів. За останні кілька десятиліть перетворення

еколого-стабілізуючих угідь (луки, ліси та ін.) у монокультури просапних культур, спрощення сівозмін та збільшення використання важкої техніки, пестицидів і агрохімікатів призвело до спрощення та гомогенізації сільськогосподарських ландшафтів у багатьох країнах світу. Як результат, широкий спектр біологічних видів, що зустрічаються в агроландшафтах, включаючи комах, зменшується в усьому світі [12].

Згідно з аналітичними звітами UNEP, зниження агробіорізноманіття викликано двома основними причинами: втратою ареалів (зменшення розмірів екосистеми) та втратою якості екосистем (зменшення багатства багатьох характерних для екосистеми видів). Серед основних чинників зниження якості екосистем визначено:

• зміни клімату, забруднення, фрагментація ареалів, а також надмірне використання природних і антропогенно трансформованих екосистем;

• інтенсифікація виробництва, використання синтетичних речовин (пестициди і добрива), жорстка спеціалізація на виробництво певних видів продукції, зрошення тощо.

P. Raven і D. Wagner [13], на основі глобального аналізу доводять зниження біомаси та різноманітності комах протягом останніх 50 років. Нині посіви сільськогосподарських культур займають майже 11% світової суші, причому активний випас худоби займає додаткові 30% площі. Індустріалізація сільського господарства впродовж другої половини XX століття передбачала ведення землеробства в значно розширених масштабах, монокультуру та беззмінні посіви, внесення все більшої кількості хімічних пестицидів та добрив, а також деструкцію природних екосистем, фрагментацію середовища існування дикої природи, що негативно впливає на біорізноманіття агроекосистем, у т.ч. ентомофауну, та суміжних територій.

В агроценозах біорізноманіття ентомофауни досягається внаслідок сезонної, добової та погодинної міграції на посіви сільськогосподарських культур із лісових екосистем, полезахисних лісових насаджень, луків та ін. прилеглих екосистем.

Комплексний аналіз 73 звітів про втрату ентомофауни дав змогу визначити основні чинники, які можуть призвести до вимирання 40% видів комах у світі протягом наступних кількох десятиліть [14]. Основними чинниками зниження кількості видів у порядку пріоритетності є:

а) втрата середовища існування та перехід до інтенсивного сільського господарства та урбанізація;

б) забруднення, головним чином, синтетичними пестицидами та добривами;

в) біологічні чинники (включаючи патогени та інтродуковані види);

г) зміна клімату.

Безпрецедентну втрату біорізноманіття ентомофауни у світі доведено чисельними комплексними багаторічними дослідженнями. Багато популяцій комах зазнають швидкого та тривожного зменшення [12], що може мати серйозні наслідки для функціонування екосистеми. Крім того, посилена інтенсифікація сільського господарства частково є поясненням зменшення чисельності комах і в природних екосистемах.

За використання результатів 166 довгострокових досліджень угруповань комах на території Америки і Європи визначено середню втрату комах у наземних екосистемах на рівні 8,81% на десятиліття [15]. Таке зниження є критичним з огляду на важливу роль, яку комахи відіграють у трофічних ланцюгах та екосистемних послугах.

У наземних екосистемах представники рядів Lepidoptera, Hymenoptera та Coleoptera є найбільш постраждалими таксонами, тоді як чотири основні водні таксони Odonata, Plecoptera, Trichoptera, Ephemeroptera визначено як такі, що вже втратили значну частку видів [16].

Аналогічно в наукових публікаціях наведено дані щодо інших добре вивчених видів, таких як бджоли та молі. Особлива увага приділена комахам-запилювачам. Ці комахи життєво необхідні для підтримки здоров'я екосистем та забезпечення продовольчої безпеки, оскільки 75% видів сільськогосподарських культур, 35% світового виробництва рослинництва та до 88% видів декоративних рослин певною мірою залежать від їх діяльності [17; 18]. Водночас варто зазначити, що значення природного та керованого запилення рослин бджолами для світового рослинництва оцінюється в 518 млрд доларів на рік [19]. Інтенсифікація агротехнологій була визначена основною загрозою для існування бджіл та екосистемних послуг, які вони надають. Встановлено, що за 1980–2013 рр. зниження чисельності комах-запилювачів відбулося серед рідкісних видів, і ці негативні зміни були пов'язані з конкретними середовищами існування в природних екосистемах [20].

Sanchez-Bayo F. і Wyckhuys K.A.G. [21] у своїй підсумковій науковій роботі вказують, що в середньому в 37% видів зменшується їх чисельність, тоді як у 18% видів відбувається зростання чисельності популяції. Останні види переважно стосуються сільськогосподарських травоїдних, які є шкідниками. Такі зміни при-

зводять до зменшення біомаси в таксонах. Варто зазначити, що зміни в індексах багатства та різноманітності видів непослідовні і не відображають внутрішньовидових змін популяції з часом.

Україна не є винятком подібних негативних змін щодо втрати біорізноманіття ентомофауни, оскільки майже 70% території країни залучено в аграрне виробництво. Так, наприклад, за даними дослідників, на кінець XX століття в Лісостепу України налічувалось 1604 видів комах із 31 ряду і 221 родини [22]. Проте сучасні дослідження М.М. Лісового зі співавторами свідчать про зменшення кількісного стану ентомофауни до 780 видів із 27 рядів і 183 родин. Порівняння списку рядів комах, що заселяють агроландшафти Лісостепу, зі списком раніше відомих доводить зменшення кількості рядів ентомофауни життєвих форм герпетобіонти, геобіонти і дендробіонти — з 6 до 4, з 5 до 4 і з 13 до 12 відповідно. Проте кількість рядів комах-хортобіонтів залишилася незмінною — 7 [23].

Безумовно, такі зміни чисельності різних видів ентомофауни спричинені низкою чинників. Наприклад, ландшафт має значний вплив на формування угруповань, видове багатство та чисельність комах [24]. Але цей вплив на види комах буде проявлятися по-різному, залежно від їх біоекології. Крім того, зміна біорізноманіття і чисельності ентомофауни буде визначати зміни в інших видах біоти природних і аграрних екосистем.

Більшість дослідників визначають розширення та інтенсифікацію сільського господарства як головний чинник зменшення ентомологічного різноманіття. Причини цього негативного процесу є складними, але передбачається, що посилене використання хімічних засобів захисту рослин має вирішальне значення.

Дослідження показали, що шкідливий токсикологічний ефект пестицидів може посилюватися в стресових умовах. Однак мало досліджень зафіксували ці ефекти в природних умовах, коли організми одночасно зазнають дії хімічних сполук пестицидів та інших чинників оточуючого середовища. Токсична дія пестицидів, як правило, визначається порушенням основних клітинних та фізіологічних процесів, спільних для багатьох біологічних видів [25; 26]. Тому специфічність пестицидів обмежена, і ці речовини також можуть впливати на організми, що не є цільовими об'єктами–мішенями. Є багато даних про гострий негативний вплив пестицидів, що призводить до загибелі нецільових об'єктів у природних екосистемах та формування резистентності. Підтверджено, що майже 586 видів комах і кліщів набули стійкість до інсектицидів [27].

Дослідженнями багатьох учених доведено, що пестициди і агрохімікати, які застосовують у традиційних технологіях вирощування сільськогосподарських культур, зменшують чисельність корисної ентомофауни або повністю знищують її в агроценозах. Водночас це призводить до розриву природних зв'язків між живими організмами в агроценозах та створюються сприятливі умови для масового розмноження і накопичення певних видів фітофагів.

Збереження корисної ентомофауни в агроценозах за відсутності використання хімічних засобів захисту рослин із дотриманням чергування культур у сівозміні, якісного обробітку ґрунту та інших агротехнічних заходів сприяє відновленню природної саморегуляції груп комах, що є основою для ефективного контролю чисельності фітофагів у посівах [28]. Створення в агроценозах умов для збереження корисної ентомофауни, наприклад через зменшення застосування хімічних засобів захисту рослин і хімічних добрив, сприятиме прояву хижацтва, паразитування та конкуренції між живими організмами.

При цьому залишаються актуальними дослідження впливу кліматичних параметрів на структуру та різноманітність угруповань ентомофауни. Такі знання поглиблюють розуміння динаміки угруповань ентомофауни та їх послідовного впливу на функціонування та продуктивність екосистем у відповідь на зміни клімату. Крім того, повсюдне поширення комах у різних екосистемах разом із залежністю від кліматичних умов роблять їх відмінними показниками (індикаторами) реакцій екосистем на зміни клімату.

Pureswaran D.S. із співавторами доводять, що комахи реагують на зміну клімату трьома основними способами: міграція (переміщення) у райони з більш придатним кліматом; вони з'являються раніше і довше існують, щоб максимально використати період із необхідним температурним режимом; пристосовуються до нових кліматичних умов та їх екологічного впливу. Кліматичні зміни можуть призвести до втрати партнерів у взаємодії (тобто рослини-господаря), еволюції нових взаємодій або навіть локального вимирання популяцій комах. Зміна клімату вплине на період розвитку комах, кількість поколінь на рік, поведінку в пошуку кормів, час їх появи та виживання. Зрештою, зміна клімату продовжуватиме змінювати форму угруповань комах, наслідки яких змінюватимуться залежно від географічного розташування, часу та виду комах [29].

Через зміни кліматичних параметрів змінюються екосистеми, з'являються нові ніші для нових видів шкідників. При цьому прогнозують, що за підвищення температури повітря на 1°С втрати врожаю основних стратегічних культур (пшениці, рису, кукурудзи) зростуть ще на 10–25% від шкідливої дії фітофагів [30].

Тобто розглядають питання щодо збільшенням тиску фітофагів за підвищення кліматичної придатності вирощування сільськогосподарських рослин. Так, використання метамережі, що включає 89 шкідників та 126 рослин-господарів, дало змогу дослідити зміни в системі «рослина – господар – фітофаг» загалом, включаючи різноманітні кліматичні ніші та всі європейські регіони. Показано збільшення кількості зв'язків між фітофагами і сільськогосподарськими культурами та перекриття відповідної території в умовах змін клімату, що свідчить про зростання активності шкідників і їх шкідливості [31].

Зміна клімату та підвищення температури впливають на життєвий цикл комах, їх географічне поширення та взаємовідносини з рослинами [32]. Біологія комах як невеликих ектодерм тісно пов'язана з температурою навколишнього середовища. Тому температура визначає виживання комах, динаміку популяції та поширення, а отже, і їх реакцію на зміни клімату.

Нелінійний зв'язок між температурою та біологічними видами свідчить, що коливання температури має вплив на фізіологічні процеси. Коливання температури, що залишається в межах сприятливих діапазонів, зазвичай має нейтральний або позитивний вплив на біологічні об'єкти. І, навпаки, стресові температури можуть мати або позитивний вплив, дозволяючи усунути пошкодження, отримані під час впливу термічних екстремальних ситуацій, або негативні наслідки сукупних пошкоджень під час послідовних експозицій [33].

У результаті потепління клімату та глобалізації кількість нових чужорідних видів, включаючи комах-шкідників, має тенденцію до зростання. Крім того, поширення інвазійних видів змінює функціонування екосистем, витісняючи аборигенну фауну [34].

Зміни частоти, тривалості та інтенсивності опадів є одними з абіотичних ефектів, передбачених змінами клімату. Сильні зливи можуть мати значний вплив на розвиток і виживання комах як через безпосередній (фізичний) вплив на особини, так і опосередковано через зміни у продуктивності комах та рослин (трофічна база) [35].

Показано, що зміна кількості опадів істотно впливає на різноманітність, чисельність та трофічну структуру угруповань комах, особливо травоїдних. Збільшення та зменшення кількості опадів спричиняє зниження багатства і чисельності видів комах через потенційно складні наслідки, обумовлені рослинністю, та прямі наслідки середовища існування. Чисельність кожної трофічної групи в угрупованні комах по-різному реагувала на зміну характеру опадів, з меншим впливом на кількість фітофагів та незмінною кількістю хижаків та паразитів. Тобто зміни опадів можуть мати сприятливий вплив на формування ценозу комах із домінуванням вторинних споживачів [36].

За підвищення температури повітря та відсутності опадів для фітофагів оптимізуються поживні властивості у вегетативних органах рослин. Характерно, що за цих умов погіршуються можливості розмноження ентомофагів, їх імаго не мають достатнього живлення. При цьому знижується плодючість самиць і заселення паразитами фітофагів. За таких умов зростає виживання фітофагів і чисельність особин у популяціях [37]. Крім того, більш м'які теплі зими дають змогу збільшити виживання більшої кількості видів комах, у т.ч. фітофагів [38; 39].

Водночас зменшення вологості ґрунту може також мати істотний вплив на геобіонтів і герпетобіонтів, їх виживання та чисельність. Тому прямі наслідки зміни кількості опадів на популяції ґрунтової ентомофауни є більш складними і потребують комплексних досліджень.

Визначено основні механізми впливу посухи на комах-фітофагів [40]:

• безпосередній впливу посухи на навколишнє природне середовище і умови для розвитку та росту комах-фітофагів;

• посухостійкі рослини приваблюють деякі види комах. Наприклад, коли рослини втрачають вологу в процесі транспірації, у них потрапляють стовпи води, ксилема розпадається або кавітує, створюючи ультразвукове акустичне випромінювання;

• рослини під час посухи більш сприйнятливі до нападу комах через зменшення утворення вторинних метаболітів, які мають захисну функцію.

Отже, в усіх частинах світу сільське господарство та його інтенсифікація є головними чинниками зменшення біорізноманіття і чисельності популяцій ентомофауни. Водночас зміни клімату також набувають усе більшого значення у процесах їх втрати.

Адаптуватися до змін умов навколишнього природного середовища комахи можуть через зміну фенології, наприклад з'являються

раніше або пізніше сезону, стадії життя, що відбуваються в різний час, або збільшують кількість поколінь на рік. Фенологічні зрушення можуть спричинити занепад видів, породжуючи асинхронію або «невідповідність» між рослинами та комахами-запилювачами, рослинами та рослиноїдними тваринами, а також господарями та паразитами. Ці зрушення можуть призвести до нових взаємодій та змін у структурі угруповань. Зміна клімату вплине на комах через їх залежність від температури навколишнього середовища для контролю їх фізіологічних функцій.

Комахи можуть еволюціонувати у відповідь на зміни клімату, хоча таких досліджень доволі мало в науковій літературі. Однак це може бути пов'язано з пластичними реакціями, які є порівняно короткочасними та простішими для вивчення, ніж генетичні відповіді [41].

Реакції комах на зміни клімату є спільною дією фенотипічної пластичності та генетичної адаптації [42]. Через короткий час генерації та швидкий ріст комахи можуть швидко еволюціонувати у відповідь на зміну середовища [43; 44].

Зміщення ареалу популяції у відповідь на зміни кліматичних параметрів залежить від різних чинників, зокрема неоднорідність середовища, наявність харчових ресурсів, термічна толерантність та фізичні особливості (наприклад, здатність розсіювання, розміри тіла). Зміни у фенології відбуваються внаслідок того, що на швидкість розвитку комах впливає низка чинників, включаючи кліматичні змінні (мінімальні зимові температури, середні та максимальні літні температури, опади та посушливість). Підвищення температури призводить до збільшення темпів зростання поколінь на рік і виживання як взимку, так і на вразливих стадіях життя, наприклад під час розвитку личинок [45].

Доведено, що мінімальна температура, а не максимальна, відіграє важливе значення у визначенні глобального поширення видів комах, тому будь-яке підвищення температури призведе до більшої здатності зимувати та спричинить міграцію шкідників із півдня на північ. Оскільки чисельність багатьох комах-шкідників безпосередньо визначається температурою, а не рослинністю, підвищення температури може призвести до збільшення ареалу поширення шкідників. Дослідження показали, що з підвищенням температури комахи-шкідники, як очікується, розширять свій географічний ареал від тропіків і субтропіків до помірних регіонів на більших висотах разом із змінами в районах вирощування рослин-господарів.

Отже, вплив підвищення температури повітря на комах-шкідників сільськогосподарських культур буде проявлятися через [46; 47]:

- збільшення кількості генерацій;
- зміни в географічному розповсюдженні комах-шкідників, розширення географічного діапазону;
- збільшення ураження рослин збудниками хвороб, що передаються комахами;
- підвищена виживаємість у зимовий період, збільшення кількості зимуючих комах;
- десинхронізація комах та їх природних ворогів;
- зміни стійкості рослин-господарів, втрата часової синхронності з рослиною-господарем;
- підвищений ризик інвазивних видів шкідників.

Зміна клімату та землекористування впливають на біорізноманіття через широкий спектр механізмів. Розуміння цих взаємодій необхідно для більш надійного прогнозування змін у біорізноманітті за різних сценаріїв використання земель і змін клімату та для належного управління середовищами існування біоти. Існують також можливості зменшення негативного впливу змін клімату на біорізноманіття за використання стратегій адаптації [48].

Доведено, що гетерогенність структури ландшафту забезпечує збільшення видового біорізноманіття та чисельність ентомофауни, зростання чисельності запилювачів і ентомофагів. Усі елементи такого середовища зберігають часове та просторове різноманіття навколишнього природного середовища, стимулюючи саморегулюючі механізми в агроценозах. Тоді як фрагментація сільськогосподарських угідь спричинює збіднення біорізноманіття.

Встановлено, що від спрощення ландшафту до 50% знижуються екосистемні послуги через опосередковану втрату біорізноманіття, особливо видів, які впливають на врожайність сільськогосподарських культур (наприклад, запилювачі, вороги шкідників тощо) [49]. Тому збереження біорізноманіття як постачальника екосистемних послуг є життєво важливим для підтримки ключових функцій агроекосистем. А тому управління ландшафтами для збільшення багатства організмів, що надають послуги, є перспективним шляхом до більш сталого виробництва продуктів харчування в усьому світі. За швидких змін навколишнього середовища збереження послуг, орієнтованих на збереження і відтворення біорізноманіття, послідовно надаватиме більшу стійкість агроекосистемам та виробництва сільськогосподарської продукції.

Доведено, що синергетичний ефект впливу змін клімату та втрати середовища існування може мати катастрофічні наслідки для біорізноманіття. Під час зміни клімату гранична межа (поріг) існування виду настає раніше. Тому біологічні види більше страждають від зміни клімату у фрагментованому середовищі існування [50].

Водночас зазначають про зростання шкідливості комах-фітофагів в умовах інтенсифікації сільського господарства та змін клімату [47]. Зокрема, зміни кліматичних параметрів безпосередньо впливають на розмноження, виживання, поширення та динаміку популяції шкідників, а опосередкований вплив визначається у відносинах між шкідниками, навколишнім природним середовищем та їх природними ворогами [51].

Зміни клімату створюють нові екологічні ніші, які дають можливість шкідникам поширюватися в нові географічні регіони [48]. Тому в найближчий період агровиробники зіткнуться з проблемами масового розмноження шкідників та появи нових видів. У цьому аспекті необхідно вести постійний моніторинг за появою та чисельністю шкідників, оскільки їх розвиток може змінюватися швидкими темпами в нових умовах навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

Отже, результати досліджень багатьох учених у світі свідчать про значні втрати біорізноманіття ентомофауни у природних екосистемах і агроландшафтах та зростання шкідливих видів фітофагів, основними причинами яких визначено антропогенну діяльність через інтенсифікацію сільського господарства і зміни клімату. Незважаючи на загальну стурбованість та низку міжнародних ініціатив, концепцій та угод, нинішні темпи втрати біорізноманіття мають високі показники, а майбутні наслідки можуть бути непередбачуваними та критичними. Водночас дослідження з визначення тенденцій зміни чисельності ентомофауни з достатньою реплікацією моніторингових даних та просторовим охопленням обмежені, а наявні дані охоплюють лише незначну частину добре вивчених видів. Тому подальші дослідження стану і чисельності популяцій ентомофауни у природних і аграрних екосистемах за впливу різних чинників є актуальними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhang Z.Q. Animal Biodiversity: An introduction to higher-level classification and taxonomic richness. *Zootaxa*. 2011. 3148. P. 7–12.
2. Stork N.E. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annu. Rev. Entomol.* 2018. 63. P. 31–45.
3. Pywell R.F., Heard M.S., Woodcock B.A. et al. Wildlife friendly farming increases crop yield: Evidence for ecological intensification. *Proceedings of the Royal Society B*. 2015. 282. P. 2015–1740.
4. Jankielsohn A. The importance of insects in agricultural ecosystems. *Advances in Entomology*. 2018. 6(2). P. 62–73.
5. Dicke M. Ecosystem services of insects. In: Van Huis A., Tomberlin J.K. (Eds.). Insects as Food and Feed: From Production to Consumption, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 2017. P. 61–76.
6. Стратегія і тактика захисту рослин. Т. 1. Стратегія / під ред. В.П. Федоренка. Київ: Альфа-Стевія, 2012. 500 с.
7. Schwagerl C. What's causing the sharp decline in insects, and why it matters. Yale Environment. 2016. 360.
8. Symondson W.O.C., Sunderland K.D., Greenstone M.H. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annual Review of Entomology*. 2002. 47. P. 561–594.
9. Evans K.S., Mamo M., Wingeyer A. et al. Soil fauna accelerate dung pat decomposition and nutrient cycling into grassland soil. Rangel. *Ecol. Manag*. 2019. 72. P. 667–677.
10. Goncalves F., Carlos C., Crespo L. et al. Soil Arthropods in the douro demarcated region vineyards: general characteristics and ecosystem services provided. *Sustainability*. 2021. 13(14). P. 7837.
11. Rayl R.J., Shields M.W., Tiwari S., Wratten S.D. Conservation biological control of insect pests. *Sustainable Agriculture Reviews*. 2018. 28. P. 103–124.
12. Hallmann C.A., Sorg M., Jongejans E. et al. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS One*. 2017. 12(10). e0185809.
13. Raven P.H., Wagner D.L. Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *PNAS*. 2021. 118(2). e2002548117.
14. Sanchez-Bayo F., Wyckhuys K.A.G. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*. 2019. 232. P. 8–27.
15. van Klink R., Bowler D.E., Gongalsky K.B. et al. Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science*. 2020. 368. P. 417–420.

16. Sigouin A., Belisle M., Garant D., Pelletier F. Agricultural pesticides and ectoparasites: potential combined effects on the physiology of a declining aerial insectivore. *Conservation Physiology*. 2021. 9(1). coab025.
17. Goulson D., Nicholls E., Botías C., Rotheray E.L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*. 2015. 347. P. 1255957.
18. Ollerton J., Winfree R., Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*. 2011. 120. P. 321–326.
19. Potts S.G., Ngo H.T., Biesmeijer J.C. et al. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Bonn, Germany, Secretariat of the ISPPBES, 2016. 556 p.
20. Powney G.D., Carvell C., Edwards M. et al. Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nat. Commun*. 2019. 10. P. 1018.
21. Sanchez-Bayo F., Wyckhuys K.A.G. Further evidence for a global decline of the entomofauna. *Austral Entomology*. 2021. 60(1). P. 9–26.
22. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 р. К.: Вид-во Раєвського, 2001. 184 с.
23. Лісовий М.М., Борзих О.І., Вагалюк Л.В. Методологія оцінювання сучасного стану різноманіття ентомофауни агроландшафтів України. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 2. 94–100.
24. Ernst L.M., Tscharntke T., Batary P. Grassland management in agricultural vs. forested landscapes drives butterfly and bird diversity. *Biological Conservation*. 2017. 216. P. 51–59.
25. Gibbons D., Morrissey C., Mineau P. A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environ Sci Pollut Res*. 2014. 22. P. 103–118.
26. Zaller J.G., Brühl C.A. Editorial: non-target effects of pesticides on organisms inhabiting agroecosystems. *Front Environ Sci*. 2019. 7. P. 1–3.
27. Sparks T.C., Nauen R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. Pesticide *Biochemistry and Physiology*. 2015. 121. P. 122–128.
28. Sabluk W.T., Sinchenko V.M., Grischenko O.M. et al. Effect of various agriculture systems on pest entomofauna diversity. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. 11(2). P. 8–12.
29. Pureswaran D.S., Maran A.M., Pelini S.L. Insect communities. *Climate Change*. 2021. 18. P. 389–407.
30. Deutsch C.A., Tewksbury J.J., Tigchelaar M. et al. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*. 2018. 361. P. 916–919.
31. Grünig M., Mazzi D., Calanca P. et al. Crop and forest pest metawebs shift towards increased linkage and suitability overlap under climate change. *Commun Biol*. 2020. 3. 233.
32. Lister B.C., Garcia A. Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *Proc. Natl. Acad. Sci*. 2018. 115. P. 10397–10406.
33. Colinet H., Sinclair B.J., Vernon P., Renault D. Insects in fluctuating thermal environments. A*nnu. Rev. Entomol*. 2015. 60(1). P. 123–140.
34. Фокін А.В. Прогноз та реконструкція інвазій комах-фітофагів. Київ: Фенікс, 2017. 184 с.
35. Chen C., Harvey J.A., Biere A., Gols R. Rain downpours affect survival and development of insect herbivores: the specter of climate change? *Ecology*. 2019. 100. P. 11.
36. Zhu H., Wang D., Wang L. et al. Effects of altered precipitation on insect community composition and structure in a meadow steppe. *Ecological Entomology*. 2014. 39(4). P. 453–461.
37. Dorn B., Stadler M., Van Der Heijden M., Streit B. Regulation of cover crops and weeds using a roll-chopper for herbicide reduction in no-tillage winter wheat. *Soil and Tillage Research*. 2013. 134. P. 121–132.
38. Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D. et al. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Change Biol*. 2002. 8.1. P. 1–16.
39. Bebber D.P., Ramotowski M.A., Gurr S.J. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. Nat. Clim. Change. 2013. 3. P. 985.
40. Yihdego Y., Salem H.S., Muhammed H.H. Agricultural pest management policies during drought: Case studies in Australia and the state of Palestine. *Nat. Hazards Rev*. 2019. 20. 05018010.
41. Donnelly A., Caffarra A., Kelleher C.T. et al. Surviving in a warmer world: environmental and genetic responses. *Clim. Res*. 2012. 53(3). P. 245–262.
42. Gonzalez-Tokman D., Cordoba-Aguilar A., Dattilo W. et al. Insect responses to heat: physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. *Biol. Rev*. 2020. 95(3). P. 802–821.
43. Parmesan C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst*. 2006. 37. P. 637–669.
44. Stoks R., Geerts A.N., De Meester L. Evolutionary and plastic responses of freshwater invertebrates to climate change: realized patterns and future potential. *Evol. Appl*. 2014. 7(1). P. 42–55.
45. Jactel H., Koricheva J., Castagneyrol B. Responses of forest insect pests to climate change: not so simple. *Curr. Opin. Insect Sci*. 2019. 35. P. 103–108.
46. Shrestha S. Effects of climate change in agricultural insect pest. Acta Sci. Agric. 2019. 3. P. 74–80.

47. Skendzic S., Zovko M., Zivkovic I.P. et al. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*. 2021. 12. P. 440–471.
48. FAO (2008). Climate Related Transboundary Pests and Diseases. URL: http://www.fao.org/3/a-ai785e.pdf (дата звернення: 10.07.2021).
49. Dainese M., Martin E.A., Aizen M.A. et al. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Sci. Adv*. 2019. 5(10). eaax0121
50. Santos S.R., Specht A., Carneiro E., Casagrande M.M. The influence of agricultural occupation and climate on the spatial distribution of Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) on a latitudinal gradient in *Brazil*. *Revista Brasileira de Entomologia*. 2021. 65. 1.
51. Prakash A., Rao J., Mukherjee A.K. et al. Climate Change: Impact on Crop Pests; Applied Zoologists Research Association (AZRA), Central Rice Research Institute: Odisha, India, 2014.

ECOLOGICAL SIGNIFICANCE OF ENTOMOFAUNA AND MAIN FACTORS OF LOSS OF ITS BIODIVERSITY

Mostoviak S.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
Uman National University of Horticulture
(Uman, Ukraine)
e-mail: s.mostoviak@gmail.com;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8322-8710

Mostoviak I.
Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
Uman National University of Horticulture
(Uman, Ukraine)
e-mail: mostovjak@gmail.com;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4585-3480

Analysis of modern domestic and world scientific sources concerning ecological significance of the entomofauna of agroecosystems was presented and the main factors that cause the loss of species diversity of insects were identified in the article. Biodiversity loss, including entomofauna caused by anthropogenic activity and climate changes over the last 100 years is unprecedented in human history. More than 40% of insect species are extinct, and a third is endangered. According to more optimistic data, the total mass of insects decreases by 2.5% annually, that indicates a high probability of extinction within a century. Habitat degradation, agricultural intensification, climate change and invasive species were identified as major factors of the global loss of entomofauna biodiversity. Habitat degradation as a direct consequence of the expansion and intensification of agricultural production leads not only to the homogenization of ecosystems, but also to an increase in the use of pesticides and agrochemicals that have a negative impact on biodiversity and ecological state of the natural environment. Climate changes, in particular, rising temperatures, affect the life cycle of insects and their geographical distribution, and invasive species change the functioning of ecosystems, displacing local fauna. Climate changes can affect phytophagous insects in several ways: lead to expanding of their geographical distribution, increase winter survival, increase the number of generations, change the interaction between plants and pests, change interspecific interaction, increase the risk of invading migratory pests, increase in plant attack by pathogens passed by insects, reduction the efficiency of biological control, especially natural enemies.

Keywords: *insects, species wealth, ecosystem services, intensification of agricultural production, climate changes, phytophagous insects.*

REFERENCES

1. Zhang, Z.Q. (2011). Animal Biodiversity: An introduction to higher-level classification and taxonomic richness. *Zootaxa*, 3148, 7–12 [in English].
2. Stork, N.E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annu. Rev. Entomol.*, 63, 31–45 [in English].
3. Pywell, R.F., Heard, M.S., Woodcock, B.A. et al. (2015). Wildlife friendly farming increases crop yield: Evidence for ecological intensification. *Proceedings of the Royal Society B, 282*, 2015–1740 [in English].
4. Jankielsohn, A. (2018). The importance of insects in agricultural ecosystems. *Advances in Entomology, 6(2)*, 62–73 [in English].
5. Dicke, M. (2017). Ecosystem services of insects. In: Van Huis A., Tomberlin J.K. (Eds.). Insects as Food and Feed: From Production to Consumption, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands [in English].

6. Fedorenko, V.P. et. al. (2012). S*tratehiia i taktyka zakhystu roslyn. T. 1. [Strategy and tactics of plant protection. Vol. 1]*. Kyiv [in Ukrainian]
7. Schwagerl, C. (2016). What's causing the sharp decline in insects, and why it matters. *Yale Environment, 360* [in English].
8. Symondson, W.O.C., Sunderland, K.D., Greenstone, M.H. (2002). Can generalist predators be effective biocontrol agents? Annual *Review of Entomology, 47*, 561–594 [in English].
9. Evans, K.S., Mamo, M., Wingeyer, A. et al. (2019). Soil fauna accelerate dung pat decomposition and nutrient cycling into grassland soil. *Rangel. Ecol. Manag., 72*, 667–677 [in English].
10. Goncalves, F., Carlos, C., Crespo, L. et al. (2021). Soil Arthropods in the douro demarcated region vineyards: general characteristics and ecosystem services provided. Sustainability, 13(14), 7837 [in English].
11. Rayl, R.J., Shields, M.W., Tiwari, S., Wratten, S.D. (2018). Conservation biological control of insect pests. *Sustainable Agriculture Reviews, 28*, 103–124 [in English].
12. Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E. et al. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS One, 12(10)*, e0185809 [in English].
13. Raven, P.H., Wagner, D.L. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *PNAS*, 118(2), e2002548117 [in English].
14. Sanchez-Bayo, F., Wyckhuys, K.A.G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation, 232*, 8–27 [in English].
15. van Klink, R., Bowler, D.E., Gongalsky, K.B. et al. (2020). Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science, 368*, 417–420 [in English].
16. Sigouin, A., Belisle, M., Garant, D., Pelletier, F. (2021). Agricultural pesticides and ectoparasites: potential combined effects on the physiology of a declining aerial insectivore. *Conservation Physiology, 9(1)*, coab025 [in English].
17. Goulson, D., Nicholls, E., Botias, C., Rotheray, E.L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science, 347*, 1255957 [in English].
18. Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos, 120*, 321–326 [in English].
19. Potts, S.G., Ngo, H.T., Biesmeijer, J.C. et al. (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Bonn, Germany, Secretariat of the ISPPBES [in English].
20. Powney, G.D., Carvell, C., Edwards, M. et al. (2019). Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nat. Commun, 10*, 1018 [in English].
21. Sanchez-Bayo, F., Wyckhuys, K.A.G. (2021). Further evidence for a global decline of the entomofauna. *Austral Entomology, 60(1)*, 9–26 [in English].
22. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2000 rotsi *[National report on the state of the environment in Ukraine in 2000]*. Kyiv [in Ukrainian].
23. Lisovyi, M.M., Borzykh, O.I., Vahaliuk, L.V. (2015). Metodolohiia otsiniuvannia suchasnoho stanu riznomanittia entomofauny ahrolandshaftiv Ukrainy [Methodology for assessing the current state of diversity of entomofauna of agrolandscapes of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal, 2,* 94–100 [in Ukrainian].
24. Ernst, L.M., Tscharntke, T., Batary, P. (2017). Grassland management in agricultural vs. forested landscapes drives butterfly and bird diversity. *Biological Conservation, 216*, 51–59 [in English].
25. Gibbons, D., Morrissey, C., Mineau, P. (2014). A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environ Sci Pollut Res, 22*, 103–118 [in English].
26. Zaller, J.G., Brühl, C.A. (2019). Editorial: non-target effects of pesticides on organisms inhabiting agroecosystems. *Front Environ Sci, 7*, 1–3 [in English].
27. Sparks, T.C., Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology, 121*, 122–128 [in English].
28. Sabluk, W.T., Sinchenko, V.M., Grischenko, O.M. et al. (2021). Effect of various agriculture systems on pest entomofauna diversity. *Ukrainian Journal of Ecology, 11(2)*, 8–12 [in English].
29. Pureswaran, D.S., Maran, A.M., Pelini, S.L. (2021). *Insect communities. Climate Change, 18*, 389–407 [in English].
30. Deutsch, C.A., Tewksbury, J.J., Tigchelaar, M. et al. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science, 361*, 916–919 [in English].
31. Grünig, M., Mazzi, D., Calanca, P. et al. (2020). Crop and forest pest metawebs shift towards increased linkage and suitability overlap under climate change. *Commun Biol, 3*, 233 [in English].
32. Lister, B.C., Garcia, A. (2018). Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *Proc. Natl. Acad. Sci, 115*, 10397–10406 [in English].
33. Colinet, H., Sinclair, B.J., Vernon, P., Renault, D. (2015). Insects in fluctuating thermal environments. *Annu. Rev. Entomol, 60(1)*, 123–140 [in English].
34. Fokin, A.V. (2017). *Prohnoz ta rekonstruktsiia invazii komakh-fitofahiv [Prognosis and reconstruction of phytophagous insect infestations]*. Kyiv [in Ukrainian].

35. Chen, C., Harvey, J.A., Biere, A., Gols, R. (2019). Rain downpours affect survival and development of insect herbivores: the specter of climate change? *Ecology, 100,* 11 [in English].
36. Zhu, H., Wang, D., Wang, L. et al. (2014). Effects of altered precipitation on insect community composition and structure in a meadow steppe. E*cological Entomology, 39(4),* 453–461 [in English].
37. Dorn, B., Stadler, M., Van Der Heijden, M., Streit, B. (2013). Regulation of cover crops and weeds using a roll-chopper for herbicide reduction in no-tillage winter wheat. *Soil and Tillage Research, 134*, 121–132 [in English].
38. Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D. et al. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Change Biol, 8.1*, 1–16 [in English].
39. Bebber, D.P., Ramotowski, M.A., Gurr, S.J. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nat. Clim. Change, 3,* 985 [in English].
40. Yihdego, Y., Salem, H.S., Muhammed, H.H. (2019). Agricultural pest management policies during drought: Case studies in Australia and the state of Palestine. *Nat. Hazards Rev, 20*, 05018010 [in English].
41. Donnelly, A., Caffarra, A., Kelleher, C.T. et al. (2012). Surviving in a warmer world: environmental and genetic responses. *Clim. Res., 53(3),* 245–262 [in English].
42. Gonzalez-Tokman, D., Cordoba-Aguilar, A., Dattilo, W. et al. (2020). Insect responses to heat: physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. *Biol. Rev, 95(3)*, 802–821 [in English].
43. Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst, 37*, 637–669 [in English].
44. Stoks, R., Geerts, A.N., De Meester, L. (2014). Evolutionary and plastic responses of freshwater invertebrates to climate change: realized patterns and future potential. *Evol. Appl., 7(1)*, 42–55 [in English].
45. Jactel, H., Koricheva, J., Castagneyrol, B. (2019). Responses of forest insect pests to climate change: not so simple. *Curr. Opin. Insect Sci, 35*, 103–108 [in English].
46. Shrestha, S. (2019). Effects of climate change in agricultural insect pest. *Acta Sci. Agric, 3*, 74–80 [in English].
47. Skendzic, S., Zovko, M., Zivkovic, I.P. et al. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects, 12,* 440–471 [in English].
48. FAO (2008). Climate Related Transboundary Pests and Diseases. URL: http://www.fao.org/3/a-ai785e.pdf [in English].
49. Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A. et al. (2019). A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Sci. Adv., 5(10)*, eaax0121 [in English].
50. Santos, S.R., Specht, A., Carneiro, E., Casagrande, M.M. (2021). The influence of agricultural occupation and climate on the spatial distribution of Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) on a latitudinal gradient in Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia, 65,* 1 [in English].
51. Prakash, A., Rao, J., Mukherjee, A.K. et al. (2014). Climate Change: Impact on Crop Pests; Applied Zoologists Research Association (AZRA), Central Rice Research Institute: Odisha, India [in English].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Мостов'як Світлана Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., Україна, 20305; e-mail: s.mostoviak@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8322-8710)

Мостов'як Іван Іванович, доктор сільськогосподарських наук, доцент, Уманський національний університет садівництва, вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., Україна, 20305; e-mail: mostovjak@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4585-3480)