

СУЧАСНИЙ СТАН ТА МОДЕЛЮВАННЯ

поширення західного кукурудзяного жука в Україні на основі ГІС-аналізу кліматичних факторів

Мета. Дослідити сучасний ареал і змоделювати потенційне поширення карантинного шкідника *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte в Україні та на суміжних територіях за допомогою ГІС (геоінформаційні системи) інструментів. **Методи.** Польовий — використано масиви даних, отриманих в результаті проведення маршрутних обстежень в Україні та феромонного моніторингу. Лабораторний. Інформація про запровадження карантинного режиму щодо західного кукурудзяного жука (ЗКЖ) впродовж 2021—2022 рр. і бази даних поширення виду. Для розробки ГІС-аналізу використано програмні інструменти екологічного моделювання MAXENT та набір із геоінформаційних шарів, що відповідають 19-ти середньорічним кліматичним факторам системи World Clim. **Результати.** Розроблено модель регіонів зі сприятливими, задовільними та несприятливими умовами для поширення *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte в Україні й суміжних територіях. В Європі найбільш сприятливі для поширення *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte умови складаються у західній частині середньодунайської низовини і східній частині динарського нагір'я, відомого як Динарські Альпи на північному заході Балканського півострова (Словенія, Хорватія, Боснія й Герцоговина) та в північно-східній частині середньодунайської низовини й передкарпатських регіонів. Найбільш сприятливими умовами для розвитку ЗКЖ в Україні є Закарпаття та Прикарпаття — Передкарпатська височинна область, по суті весь Західноукраїнський край. Майже суцільний регіон сприятливих умов для розповсюдження ЗКЖ складають височини Подільсько-Придніпровського краю. Продовженням можливого розширення ареалу є східна частина Зони Волинського та Київського Полісся з прилягаючими до неї територіями східної та південної частин Житомирського Полісся, а на Лівобережжі — південно-східної частини Чернігівського Полісся. **Вис-**

В.О. САЛІЄНКО

В.П. ФЕДОРЕНКО,

доктор біологічних наук

Інститут захисту рослин НААН,

вул. Васильківська, 33, м. Київ,

03022, Україна

e-mail: saliienkovolodymyr@gmail.com,

tana57-2009@ukr.net

новки. У більшості адміністративних областей України, де вирощується кукурудза, уже запроваджувався карантинний режим щодо ЗКЖ. Аналіз ситуації із закономірностями поширення діабротики свідчить, що більшість регіонів мають сприятливі та задовільні умови для його поширення. Враховуючи дані моделювання та вже наявні осередки поширення *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte варто очікувати поширення цього специфічного шкідника кукурудзи на більшій частині території України. В областях, де вже зафіксовано присутність навіть поодиноких екземплярів жуків, у найближчі роки слід очікувати спалах його чисельності й підвищеної шкідливості.

західний кукурудзяний жук; *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte; кукурудза; інсектициди; Coleoptera; Insecta; пастики, поширення, GIS, моделювання, ареал

Західний кукурудзяний жук (ЗКЖ) належить до роду *Diabrotica*, підродини Galerucinae, родини Chrysomelidae, ряду Coleoptera. Вперше був описаний як *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte (1868). Але таксономія цього різновиду мала 3 відміни: *D. filicornis*, *D. virgifera* var. *filicornis*, *D. virgifera virgifera*.

Жук походить з Центральної та Південної Америки. У Північну Америку види роду *Diabrotica* проникали різними шляхами, але

тільки шість із них змогли пристосуватись до місцевого клімату. Один з них поділений на два підвиди *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte (western corn rootworm WCR — «західний кукурудзяний кореневий черв'як») та *D. virgifera zea* Krysan & Smith (MCR «мексиканський кукурудзяний кореневий черв'як»).

У Північній Америці кукурудзі стали шкодити: *D. virgifera virgifera* le Conte., *D. barberi* Smith & Lawrence («північний кукурудзяний кореневий черв'як»), *D. undecimpunctata howardi* Barber (SCR — «південний кукурудзяний кореневий черв'як»). Необхідно зазначити, що *D. barberi* та *D. v. virgifera* морфологічно дуже схожі і різняться тільки за кольором надкрил. У *barberi* вони не мають смуг, у *virgifera* — жовтувато-червоні з трьома чорними смугами, що інколи набувають вигляду пунктирів з чорних крапок, а у деяких особин, частіше у самців, зливаються в суцільний чорний фон.

Diabrotica virgifera virgifera le Conte описано 1868 року, але першу його економічну шкоду зафіксовано в Колорадо 1909 р. Вважається, що *D. v. virgifera* та *D. v. zea* проникли з Центральної Америки в США водночас, але їхні ареали різняться. *D. v. zea* розповсюдився від Центральної Америки до Оклахоми та є в Центральній Мексиці. *D. v. virgifera* шкодить на півночі і досягає південних провінцій Канади. *D. undecimpunctata howardi* розповсюджений на Середньому Заході США. Більш північніших регіонів досяг *D. barberi*.

D. v. virgifera — єдиний вид, який розповсюджується за межі північноамериканського континенту. В 1909 р. жука *Diabrotica*

virgifera virgifera le Conte вперше було зафіксовано, як шкідника цукрової кукурудзи, в Колорадо. Масова шкідливість на посівах фіксувалась з 1955 р. Відтоді *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte став одним з найголовніших шкідників кукурудзи в Канаді та розповсюдився по всій території її вирощування в Північній Америці. Швидкому поширенню діабротики сприяло вирощування кукурудзи в монокультурі. Щорічні втрати урожаю через західного кукурудзяного жука (ЗКЖ) в США оцінюються орієнтовно в 1 млрд доларів (саме тому діабротику ще називають мільярдерним жуком). [1].

В Європі вперше зафіксовано пошкодження посівів кукурудзи *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte у 1992 р. на полях в околицях м. Белграда (біля летовища Сурчин). Є вірогідність, що на Балкани цей жук проник дещо раніше, ще на початку 80-х років, а його шкідливість спочатку списували на дротяника. А вже через 5 років, у 1997 р. зайнята ним територія у Сербії охоплювала 53000 км².

У 1995 р. ЗКЖ було зареєстровано в Угорщині та Хорватії, у 1996 р. — в Румунії, Боснії і Герцеговині. У 1998 р. його виявили в Італії (Мілан), а також у Болгарії. 2000 року *D. v. virgifera* з'явився у Словаччині та Швейцарії (Лугано). Нині шкідник поширений в багатьох країнах центральної Європи. У 2001 р. було відловлено поодинокі імаго самців жука у феромонних пастках поблизу українсько-угорського кордону.

Імаго ЗКЖ можуть здійснювати поодинокі польоти на відстань понад 10 км [2]. Крім того, на динаміку льоту ЗКЖ впливають температура повітря, опади та висота над рівнем моря, зі збільшенням якої щільність популяції зменшується [3]. Також встановлено, що домінантне вирощування кукурудзи сприяє поширенню цього жука [4].

В Україні ЗКЖ вперше зафіксовано в 2001 р. в Закарпатській області. Дослідники В.І. Якобчук, А.Й. Сікура, Б. Паї, Й. Кішш вив-

чали поширення ЗКЖ з моменту першого виявлення у 2001 р. в гірських долинах Закарпаття [5]. Вони проаналізували зони поширення ЗКЖ вздовж долин річок і 2005 року шкідника було виявлено на висоті 300—770 м над рівнем моря на перевалі Верецький. Вчені дійшли висновку, що комаха здатна подолати масив Карпат через перевали. У подальшому шкідник активно почав поширюватись і в інших регіонах України.

В.П. Федоренко, О.М. Лапа, В.П. Омелюта зі співавторами описали поточне поширення ЗКЖ, його шкідливість, методи контролю чисельності [6]. О.А. Сікура, Н.І. Андреянова, О.Я. Бокшан, А.М. Садляк дослідили територію поширення ЗКЖ [7]. З'ясовано шляхи розповсюдження: природний — активна міграція імаго, перенесення їх вітром; пов'язаний з людською діяльністю — перенесення шкідників з різними видами транспорту, ґрунтом, зеленою масою та молодими качанами кукурудзи. Впроваджено заходи з локалізації ЗКЖ, складено фенограми появи стадій і відповідні до них суми ефективних температур (СЕТ) та орієнтовні дати.

О.А. Сікура, О.О. Сікура зі співавторами дійшли висновків, що для моніторингу імаго ЗКЖ, визначення сезонної динаміки льоту, чисельності та оптимального часу хімічних обробок достатньо однієї феромонної пастки на 5 га. Також встановили, що достатньо 6 феромонних пасток у місцях масового розвитку ЗКЖ для встановлення шкідливого порогу чисельності. Досліджено строки появи постембріональних стадій ЗКЖ у вертикально-поясних зонах Закарпаття [8]. В Україні випробувано різні методи оцінювання щільності популяції ЗКЖ, включно з феромонними, клейкими й автоматичними пастками, та прямий облік на рослинах [9].

У США середня чисельність ЗКЖ становить 0,75—1,00 імаго на рослину в період із середини липня до початку серпня. Саме така щільність популяції імаго

жука на одну рослину кукурудзи в США прийнята за економічний поріг шкідливості (ЕПШ), коли необхідно проводити захисні заходи на кукурудзі проти *D. virgifera virgifera* у наступному році згідно з ротацією культури [9].

Описано методи збору та обліку імаго ЗКЖ [10]. Серед них методи «обліку на 10-ти рослинах», «збирання шкідників на 10-ти рослинах», «збирання з 10-ти верхівок качана», «клейові пастки», «липкі верхівки качана». Для моніторингу імаго ЗКЖ у посівах кукурудзи можна використовувати феромонні пастки [11] різних виробників та жовті клейові пастки [12]. Як стандарт для моніторингу імаго ЗКЖ в Європейському Союзі рекомендовано використовувати пастки PAL з феромоном виробництва Csalomon. Це затверджено висновками дослідницького проекту ЄС «*Diabrotica*» (QLK-CT-1999-01110). Для покращення ефективності оцінювання інсектицидів проти імаго також можна використовувати ємності квадратної форми, заповнені ватою, підвішені між 4-ма рослинами кукурудзи після обробки інсектицидами [13]. Це дозволить відслідковувати кількість загинувших шкідників, що осипаються з рослин. Порівнювалась також ефективність різних типів пасток — феромонних (Multigard®) та клейких жовтого кольору (Pherocon AM®) [14].

Західний кукурудзяний жук — новий для України шкідник, внесений до списку А2 «Переліку регульованих шкідливих організмів». Після його виявлення на посівах запроваджується карантинний режим. З часу виявлення жука діабротики (*D. virgifera virgifera*) в Україні, у Закарпатті (2001 р.) минуло 23 роки. ГІС-моделювання — це нині широко-визнаний у світі метод прогнозування поширення, акліматизації, систематизації та вивчення осередків різних видів організмів. Р.О. Кордулян за допомогою програми BioClass провів фітосанітарне районування Західного Лісостепу України [15]. В результаті було ідентифіковано мікро-

зони з різним ризиком розвитку та розмноження ЗКЖ. Зокрема, під час складання мапи із потенційним ареалом діабротики у Західному Лісостепу України виявлено, що 49,07% площі даного регіону отримали класифікаційну оцінку поширення і акліматизації шкідника «дуже добре», 31,62% — «добре», 13,96% — «задовільно», 3,07% — «погано», 1,19% — «дуже погано».

Але за період з 2001 р., посівні площі під кукурудзою зросли з 1,6 млн до майже 5 млн га, що значно розширило кормову базу для шкідника. Станом на 01.01.2022 шкідник поширений у 16-ти областях України на площі 138683 га [16], хоча ще 2012 року був поширений на 23000 га. Тобто станом на 2023 р., завдяки своїй широкій екологічній валентності, неймовірній пластичності, особливостям етології, вражаючій трофічній забезпеченості (втратою сівозмін) та адаптувавшись до клімату України продовжує поширюватись «кукурудзяним поясом України».

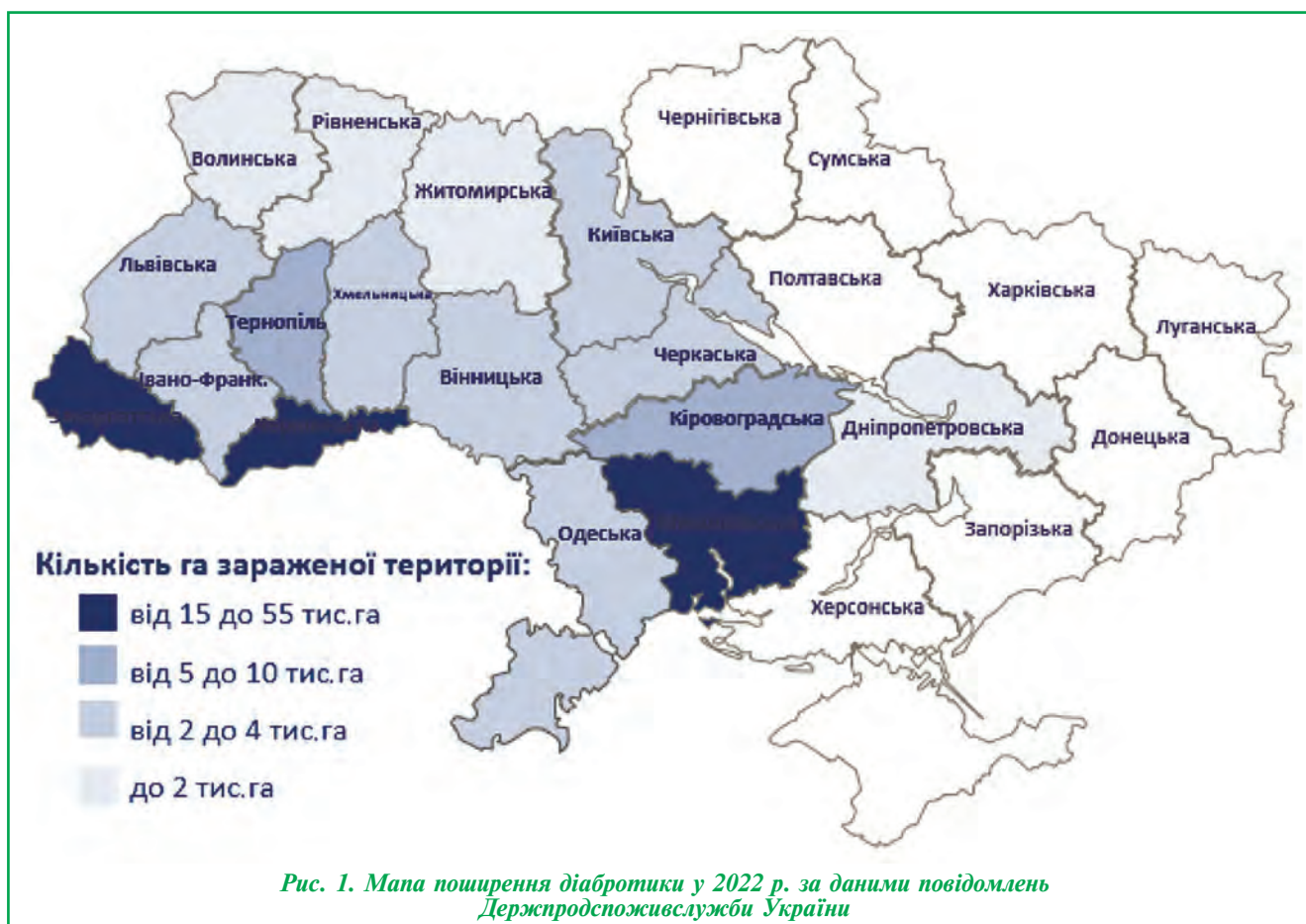
Мета досліджень. Встановити сучасний ареал карантинного шкідника *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte в Україні та змодельовати його потенційне поширення з метою запобігання шкідливості.

Матеріали і методи досліджень. Основними джерелами інформації про поширення виду були власні маршрутні обстеження, феромонний моніторинг пастками стандарту PAL (виробництва Csalomon® Угорщина) з фіксацією GPS-координат, здійснені впродовж 2021—2022 рр. на території України. Також враховано повідомлення Держпродспоживслужби про запровадження карантинного режиму на територіях різних областей [17] (рис. 1) та відкрити електронну базу даних із біорізноманіття GBIF [18], що містить інформацію про геопозиціоновані точки трапляння *D. virgifera virgifera* L. по всьому світу. До масиву даних увійшли 384 точки фіксації діабротики, серед яких 84 — на території України, інші — з між-

народних баз даних біорізноманіття. Точки, які знаходилися на інших материках (Північна і Південна Америки), в процесі аналізу відфільтровувались алгоритмом Maxent.

У 2021—2022 рр. під час вегетації в різних областях у посівах кукурудзи встановлювали феромонні пастки типу PAL та проводили маршрутні обстеження для визначення зон поширення і шкідливості ЗКЖ. Фіксувалася дата появи імаго діабротики на посівах (табл.) та заносилися координати до онлайн мапи (рис. 2).

Модельовали потенційний ареал виду у програмі MAXENT за стандартними методиками [18] із використанням ГІС-шарів для 19-ти кліматичних факторів, які є похідними від середніх за 30 років показників температури та вологості [19]. Згадані вище 19 кліматичних факторів відповідають: BIO1 — середньорічна температура; BIO2 — середньодобовий діапазон, середнє значення за місяць (максимальна темпера-



Результати маршрутних обстежень та феромонного моніторингу, 2021—2022 рр.

Область	Район	Дата виявлення	Коментар
Львівська	Жидачівський	12 серпня	Масово
Львівська	Золочівський	28 липня	Поодинокі особини
Вінницька	Калинівський	10 серпня	Масово, самиці з яйцекладом
Чернігівська	Прилуцький	-	Не виявлено
Вінницька	Тиврівський	10 серпня	Масово самці
Тернопільська	Чортківський	07 липня	Поодинокі особини
Черкаська	Корсунь-Шевченківський	-	Не виявлено
Тернопільська	Тернопільський	14 липня	Масово, через день після встановлення
Тернопільська	Тернопільський	20 липня	Поодинокі особини
Тернопільська	Збаражський	03 серпня	Масово, самиці з яйцекладом
Миколаївська	Первомайський	28 червня	Поодинокі особини
Миколаївська	Снігурівський	-	Не виявлено
Чернігівська	Прилуцький	-	Не виявлено
Маршрутні обстеження			
Чернігівська	Прилуцький	02—05 липня	Не виявлено
Чернігівська	Ніжинський	02—05 липня	Не виявлено
Полтавська	Пирятинський	02—05 липня	Не виявлено
Полтавська	Лохвицький	02—05 липня	Не виявлено
Полтавська	Чорнухинський	02—05 липня	Не виявлено
Полтавська	Гадячський	02—05 липня	Не виявлено
Сумська	Роменський	02—05 липня	Не виявлено
Хмельницька	Дунаївецький	13 серпня	Виявлено, масово

тура — мінімальна температура); BIO3 — ізотермічність (BIO2/BIO7) ($\times 100$); BIO4 — температурна сезонність (стандартне відхилення $\times 100$); BIO5 — максимальна температура найтеплішого місяця; BIO6 — мінімальна температура найхолоднішого місяця; BIO7 — річний діапазон температур (BIO5 — BIO6); BIO8 — середня температура найбільш вологого кварталу; BIO9 — середня температура найбільш сухого кварталу; BIO10 — середня температура найтеплішого кварталу; BIO11 — середня температура найхолоднішого кварталу; BIO12 — річна кількість опадів; BIO13 — опади найбільш вологого місяця; BIO14 — кількість опадів у найсухіший місяць; BIO15 — сезонність опадів (коефіцієнт варіації); BIO16 — опади найбільш вологого кварталу; BIO17 — опади найсухішого кварталу; BIO18 — опади найтеплішого кварталу; BIO19 — опади найхолоднішого кварталу.

За розмір чарунки (розподільна здатність) кліматичних геоінформаційних шарів та отриманих просторових моделей було об-

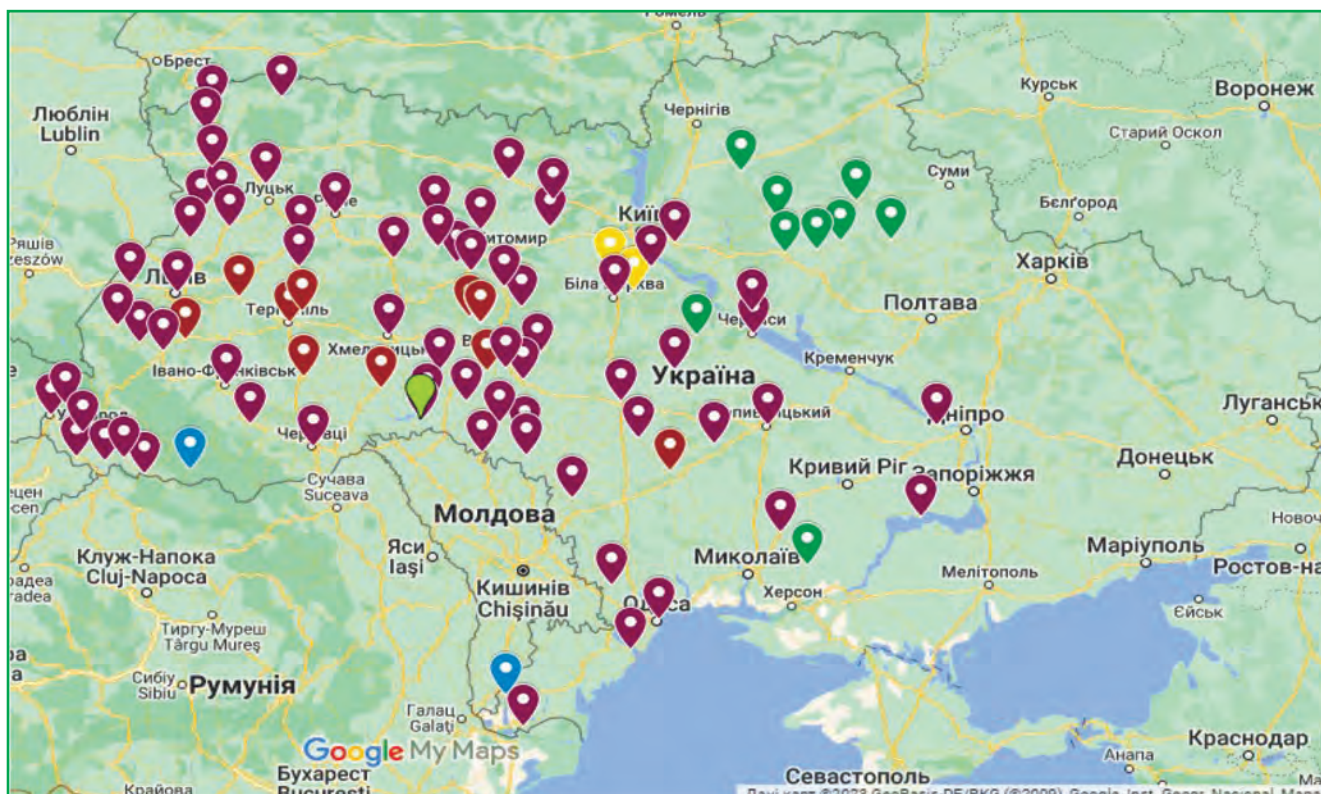


Рис. 2. Мапа розміщення пасток та проведення маршрутних обстежень у 2021 р., колір: червоний — імаго ЗКЖ виявлено у 2021 р.; зелений — не виявлено у 2021 р.; жовтий — виявлено у 2022 р.; фіолетовий — дані Держспродспоживслужби щодо поширення ЗКЖ у 2022 р.

рано 30 кутових секунд мап потенційного поширення в межах України та суміжних територій і для оглядових мап поширення виду в Європі. При редагуванні геоінформаційних шарів Worldclim для їх використання в Maxent, а також для створення картосхем потенційного поширення використовували програмне забезпечення QGIS [20]. Надійність і прогностичну цінність результатів моделювання потенційного ареалу оцінювали за стандартними методиками в програмі MAXENT шляхом аналізу параметрів AUC [21].

Результати досліджень та обговорення. Створені моделі потенційного поширення MAXENT було перевірено на специфічність і прогностичну здатність відповідно до параметрів AUC. Теоретично найвища предикативна сила моделі MAXENT досягається тоді, коли показник AUC наближається до 1. Параметр AUC моделі не може бути нижчим за

0,5, оскільки це відповідає випадковому (довільному, випадковому) прогнозу поширення, у випадку чого модель MAXENT не має предикативної сили. За прийнятими нормами оцінки еколого-кліматичних моделей прогностична якість моделі є низькою, якщо $0,60 > AUC \leq 0,70$; задовільною, якщо $0,70 > AUC \leq 0,80$; хорошою, якщо $0,80 > AUC \leq 0,90$, і відмінною, якщо $AUC > 0,90$ [22, 23]. У нашому випадку завдяки великій і відносно однорідній вибірці точок поширення вдалося досягти рівня AUC 0,973, що за наведеною вище шкалою відповідає «відмінній» прогностичній спроможності моделі потенційного розповсюдження *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte.

Відповідно до загальної моделі (рис. 3), в Європі найбільш сприятливі для поширення *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte умови складаються в західній частині середньодунайської низовини та східній частині динарсько-

го нагір'я, на території Сербії, Хорватії та в південній частині альпійського передгір'я — на території Словенії. Ще одна область з сприятливими умовами — крайня північно-східна частина середньодунайської низовини та передкарпатських регіонів, у першу чергу Угорщини, Словаччини та частини прилягаючих воєводств Польщі. Варто зазначити, що це саме ті регіони та країни Європи, у яких культивуються значні площі кукурудзи, де виявлені перші осередки поширення ЗКЖ.

Що стосується безпосередньо території України (рис. 4), то (згідно з фізико-географічним поділом України) найбільш сприятливими є Закарпаття (а саме географічні області — Полонинсько-Чорногірська область, Мармароська область, Вулканічно-міжгірно-улоговинна область, Закарпатська низовинна область), Прикарпаття (Передкарпатська височинна область,

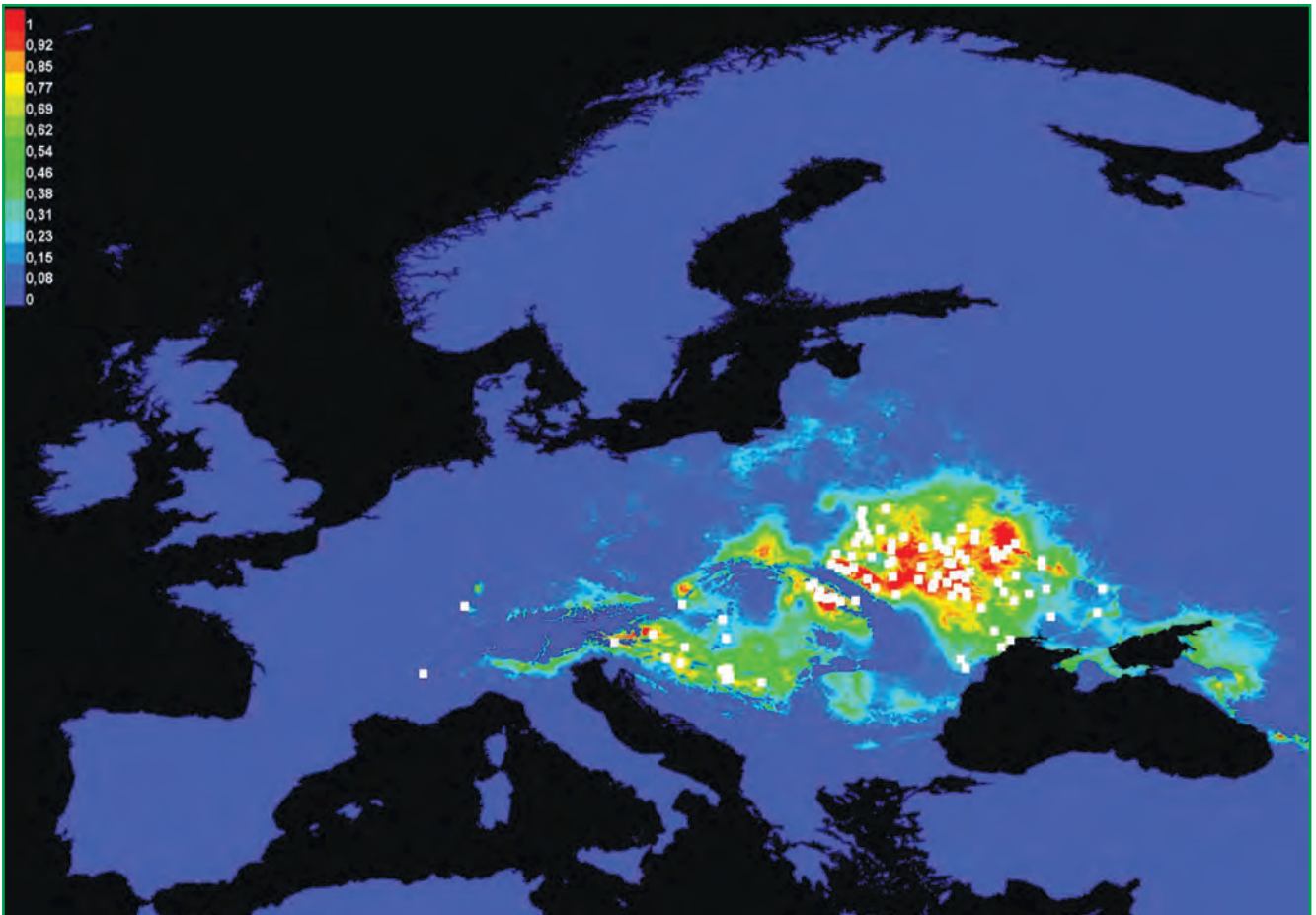


Рис. 3. Модель потенційного поширення Diabrotica virgifera virgifera le Conte в Європі, за результатами моделювання у програмі MAXENT

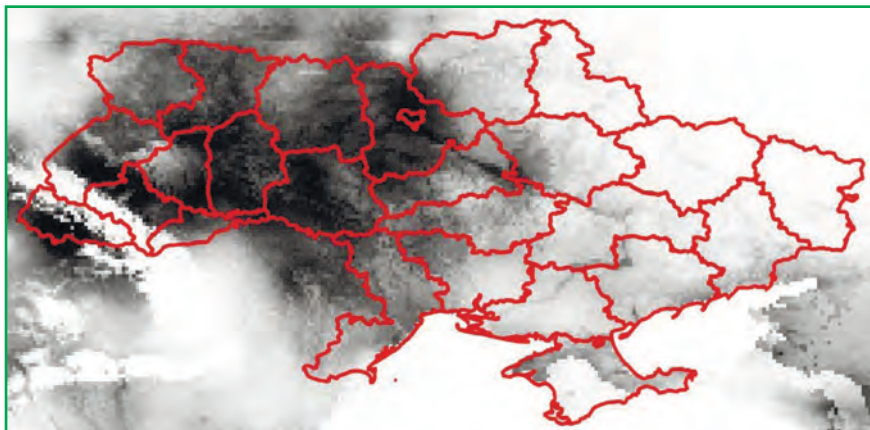


Рис. 4. Модель потенційного поширення *Diabrotica virgifera virgifera le Conte* в Україні, за результатами моделювання у програмі MAXENT

майже весь Західноукраїнський край), область Мале Полісся, Розтоцько-Опільська горбогірна область, Західноподільська височинна область, Середньоподільська височинна область, Прут-Дністровська височинна область, за виключенням Волинської височинної області). Майже суцільний регіон сприятливих умов для розповсюдження ЗКЖ складають височини Подільско-Придніпровського краю, за виключенням частини таких зон, як Центральнопридніпровська височинна область, Південно-подільська височинна область, Південнопридніпровська височинна область, тобто центральна частина Черкаської області. Проте, створює суцільний регіон поширення з лівобережною частиною Черкаської області Південнопридніпровська терасова низовинна область та західною частиною Полтавської — Східнополтавська височинна область.

Продовженням можливого поширення ареалу є східна частина Зони Волинського Полісся (майже вся Рівненська область), але варто звернути увагу на те, що цей регіон має невеликі площі орних земель, і, відповідно, площі кукурудзи, що зменшує прогнозовану вірогідність поширення діабротики.

Ще однією територією є зона Київського Полісся з прилеглими до неї територіями східної та південної частин Житомирського Полісся, а на Лівобережжі — південно-східної частини Чернігівського Полісся.

ВИСНОВКИ

Посіви кукурудзи в Україні становлять, залежно від року, 15—20% загальних площ ріллі. В Україні, до початку повномасштабного вторгнення рф, кукурудза щорічно вирощувалася на площі понад 6 млн га. У 2022 та 2023 роках її площі скоротилися до 4,3 та 4,2 млн га відповідно (майже 8 млн га орних земель тимчасово не обробляються) через окупацію загарбниками частини українських територій та неможливість працювати на територіях, де відбуваються воєнні дії. Також, скороченню площ сприяли блокування роботи портів, логістика, подорожчання паливно-мастильних матеріалів, добрив та засобів захисту рослин, що значно знизило рентабельність вирощування культури.

Виходячи з результатів моделювання можливого (потенційного) ареалу поширення ЗКЖ, більшість регіонів зі значними площами кукурудзи мають сприятливі або задовільні умови для поширення ЗКЖ. Серед них суцільну зону сприятливих та задовільних умов становлять західні адміністративні області — Закарпатська, Львівська, Тернопільська, Хмельницька, частина Рівненської області. Виключенням є безпосередньо Карпатські гори, звідки власне і розпочалась експансія діабротики. Далі на схід сприятлива та задовільна зона продовжується Вінницькою й Київською областями, та частинами Чернігівської, Сумської, Полтавської, Кіровоградської,

Черкаської, Одеської та Миколаївської областей.

Несприятливі умови для розвитку шкідника мають північна та східна частини Чернігівської області (400 тис. га кукурудзи), майже вся Сумська область (300 тис. га) та східна частина Полтавщини (550 тис. га посівів кукурудзи). Також незадовільні умови для поширення має Дніпропетровська область (300 тис. га кукурудзи), хоча є осередок задовільних умов по обох берегах Дніпра, та центральні і південні частини Одеської й Миколаївської областей.

В областях України, де вирощується кукурудза, уже запроваджувався карантинний режим щодо ЗКЖ. Більшість регіонів мають сприятливі та задовільні умови для поширення ЗКЖ. Діабротика має здатність до міграції, що оцінюється в 40 км на рік, за умов без проведення захисних заходів та вирощування кукурудзи в повторних посівах і монокультурі (що особливо часто практикується великими землекористувачами через високу рентабельність та цінність кукурудзи). 18% загальної площі посівних земель уже включає в себе повторні посіви при великому наборі культур. Крім того, масову шкідливість на посівах починають фіксувати через 4—5 років після появи діабротики в певному регіоні. Відповідно, враховуючи дані моделювання та вже присутні осередки поширення ЗКЖ варто очікувати її поширення на більшій території України в областях, де шкідник зафіксований, уже в найближчі 2—3 роки, та поширення в більшості інших областей протягом 10-ти років.

Фінансування: дослідження виконані в межах робочої програми аспіранта Лабораторії ентомології та стійкості сільськогосподарських культур проти шкідників Інституту захисту рослин НААН.

Конфлікт інтересів: автори декларують про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wesseler, Justus and Fall, El Hadji. Potential damage costs of *Diabrotica virgifera virgifera* infestation in Europe – the “no control” Scenario. *Journal of Applied Entomology*. 2010. 134(5). 385-394. <http://mpira.ub.uni-muenchen.de/33231/>
2. Grozea I., Chis C., Carabet A., Virteiu A.M., Grozea A., Stef R., Corcionivoschi N. Mathematical model to analyze the population changes of *Diabrotica virgifera* in terms of geographical coordinates and climatic factors. *Romanian Biotechnological Letters*, University of Bucharest. 2016. 22(3). 12630.
3. Grozea I. Western Corn Rootworm (WCR), *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte — Several Years of Research in Western Part of Romania. *Bulletin USAMV Agriculture*. 2010. 67(1). 123.
4. Sławiński J., Gołąbek E. The threat of maize cultivation by the pest *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte on selected communes in the Opole province. *Ecological Engineering*. 2011. 19(6). 153-159. doi: <https://doi.org/10.12912/23920629/97372>
5. Якобчук В.І., Сікура А.Й., Паї Б., Кішш Й. Чи подолає західний кукурудзяний жук перевали Карпат? Розповсюдження комахи в гірських долинах Закарпаття. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія. 2006. Вип. 19. С. 270-274.
6. Федоренко В.П., Лапа О.М., Омелюта В.П. та ін. Західний кукурудзяний жук — *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte (поширення, розвиток, шкодочинність, засоби захисту). Київ: Колобів, 2005. С. 40.
7. Сікура О.А., Андрянова Н.І., Бокшан О.Я., Садляк А.М. Система моніторингу, прогнозування появи та розвитку західного кукурудзяного жука *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte. Методичні рекомендації. Ужгород: КП «Ужгородська міська друкарня», 2011.
8. Сікура О.О. Західний кукурудзяний жук — особливості фенології у вертикально-поясних зонах Закарпаття. *Захист і карантин рослин*. 2013. № 59.
9. Салієнко В., Федоренко В. Ефективність інсектицидів проти імаго західного кукурудзяного жука (*Diabrotica virgifera virgifera* le Conte, 1868). *Карантин і захист рослин*. 2023. №2. С. 25-32. doi:<https://doi.org/10.36495/2312-0614.2023.2.25-32>
10. Gyera J., Szalai M., P'alink'as Z. Effects of adult western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* le Conte, Coleoptera: Chrysomelidae) silk feeding on yield parameters of sweet maize. *Crop Protection*. 2020. V. 140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105447>
11. Tollefson J.J. Corn rootworm adult — and egg-sampling techniques as predictors of larval damage. *Retrospective Theses and Dissertations*. 1975. 5638. P.14 URL: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd>
12. Kiss J., Edwards R., Berger H., Peter Cate. Monitoring of Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* le Conte) in Europe 1992-2003. In S.; Kuhlmann, Vidal U., Edwards. (Eds.), «Western Corn Rootworm. Ecology and Management». CAB International. Wallingford; UK. 2005. P. 29-39. doi:10.1079/9780851998176.0029
13. Адамчук О.С. Розповсюдження, розвиток та методи виявлення західного кукурудзяного жука (*Diabrotica virgifera virgifera* le Conte) в Україні. Київ. 2008.
14. Egartner A., Heimbach U., Grabenweger G. A new method for efficacy testing of control measures against adult *Diabrotica* in maize. In proceeding of: «International Conference on the German *Diabrotica* Research Program». November 14-16, 2019. P. 92. Berlin, Germany. doi: <https://doi.org/10.5073/jka.2014.444.027>
15. Lemic D., Mikac K., Kozina A. et al. Monitoring techniques of the western corn rootworm are the precursor to effective IPM strategies. *Pest Management Science*. 2018, V. 72, № 2. P. 405-417. doi: <https://doi.org/10.1002/ps.4072>
16. Кордулян Р.О. Моніторинг і прогноз розвитку американського білого метелика (*Huphantria cunea* Drury) та західного кукурудзяного жука (*Diabrotica virgifera virgifera* le Conte) у західному Лісостепу України. На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 16.00.10 - ентомологія. Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ. 2016.
17. Огляд поширення карантинних організмів в Україні станом на 01.01.2022. URL: <https://dpss.gov.ua/fitosanitariya-kontrol-usferi-nasinnictva-ta-rozsadnictva/fitosanitarnij-kontrol/oglyad-poshirennya-karantinnih-organizmiv-v-ukrayini>
18. Global Biodiversity Information Facility. URL: <http://data.gbif.org/>, GBIF.org (10 July 2023) GBIF.
19. Steven J. Phillips. A Brief Tutorial on Maxent. Available from URL: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2023-7-10.). 2017.
20. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 2018. V. 37. №12. P. 4302-4315.
21. QGIS. URL: <http://www.qgis.org/>
22. Tsoar A., Allouche O., Steinitz O. et al. A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species distribution. *Diversity and Distributions*. 2007. V.13. №4. P. 397-405. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00346.x>
23. Phillips S.J., Dudik M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. 2008. *Ecography*. 2008. V. 31. № 2. P. 161-175. doi: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>

Saliienko V.,
ORCID: 0000-0002-9065-343X

Fedorenko V.,
ORCID: 0000-0002-7783-1617
Institute of plant protection NAAS of Ukraine, 33, Vasylykivka str., Kyiv, Ukraine
e-mail: saliienkovolodymyr@gmail.com, tana57-2009@ukr.net

Actual distribution and modeling of potential occurrence of *Diabrotica virgifera virgifera* (le Conte, 1868) (Coleoptera) in Ukraine, based on GIS-analysis of climatic factors

Goal. To investigate the actual status of distribution and to model the potential distribution of the quarantine pest *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte — the western corn rootworm

(WCR) in Ukraine and the surrounding territories. **Methods.** Field. The study uses data resulting from route survey and pheromone monitoring in Ukraine. Laboratory. Laboratory. Information on the implementation of the quarantine regime for the Western corn rootworm in 2021—2022 and species distribution databases. For modeling GIS-analysis were used MAXENT environmental modeling software tools and a set of geoinformation layers corresponding to 19 average annual climate factors of the WorldClim system. **Results.** A model of regions with favorable satisfactory and unfavorable conditions for the spread of *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte in Ukraine and neighboring areas was developed. In Europe, the most favorable conditions for the spread of *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte are in the western part of the middle Danube lowland and the eastern part of the Dinaric highlands and in the southern part of the Alpine foothills. Another region with favorable conditions is the extreme north-eastern part of the middle Danube lowland and pre-Carpathian regions. In Ukraine the most favorable are Transcarpathia and Precarpathia — Pre-Carpathian highland region, almost the entire Western Ukrainian region. Uplands of the Podilsk-Prydniprovsk region make up almost the entire region of favorable conditions for the spread of the crucian carp. The eastern part of the Volyn Polissia Zone is the continuation of the possible distribution of the range. Another significant area with favorable conditions is the Zone of Kyiv Polissia with adjacent territories of the eastern and southern parts of Zhytomyr Polissia and on the Left Bank-southeastern part of Chernihiv Polissia. In most of the regions of Ukraine where corn is grown, a quarantine regime for WCR has already been implemented, and most of the regions have favorable and satisfactory conditions for the spread of *Diabrotica virgifera virgifera* le Conte. Accordingly, taking into account the modeling data and the already existing foci of WCR spreading, its spread over a larger territory of Ukraine, including where the pest has already been recorded, should be expected in the next 2—3 years, and growth in other areas over the course of 10 years.

western corn rootworm; corn; insecticides; Coleoptera; Insecta; traps, distribution, GIS, modeling, area

Надійшла до редакції: 24.10.2023

Прийнята до друку: 16.01.2024

Надруковано й опубліковано онлайн: березень 2024