

АГРОКЛІМАТИЧНЕ

та агроекотоксикологічне обґрунтування зональних хімічних систем захисту польових культур від шкідливих організмів в умовах змін клімату в Україні

Мета. Агрокліматичне та агроекотоксикологічне районування території України задля обґрунтування екологічно безпечних зональних систем хімічного захисту від шкідливих організмів, їх оптимізації та адаптації до змін кліматичних умов і фітосанітарного стану агроценозів в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. **Методи.** Аналітично-синтетичний та експериментальний методи. Проаналізовано літературні джерела, звіти Інституту захисту рослин, дані щодо поширення й чисельності шкідників, наведені в щорічних оглядах Департаменту фітосанітарної безпеки Держпродспоживслужби, бази даних Державної служби статистики України та Українського гідрометеорологічного центру, а також результати польових дослідів. Фітосанітарний та екотоксикологічний моніторинг проводили за загальноприйнятими методиками. Ступінь небезпечності застосування пестицидів оцінювали за інтегральною 7-ступеневою шкалою, ризик — за агроекотоксикологічним індексом (АЕІ). **Результати.** Еколого-статистичний аналіз баз багаторічних даних та динаміки агрометеорологічних показників дозволяє зробити висновок, що протягом останніх 10-ти років зміни клімату проявлялися. Вони проявлялись через вирівнювання температурного поля по території країни, збільшення суми ефективних температур, погіршення тепло- та вологозабезпечення. Це призвело до порушення функціонування агроценозів, зниження толерантності до пестицидного навантаження. За означених тенденцій слід очікувати суттєвих порушень функціонування агросфери з огляду на швидкість змін. За допомогою програмного

О.І. БОРЗИХ,
 доктор сільськогосподарських наук,
 академік НААН

Л.І. БУБЛИК,
 доктор сільськогосподарських наук

В.М. ЧАЙКА,
 доктор сільськогосподарських наук

Л.Л. ГАВРИЛЮК,
 кандидат сільськогосподарських наук

І.В. КРУК,
 кандидат сільськогосподарських наук

О.В. ШЕВЧУК,
 кандидат сільськогосподарських наук

Т.М. НЕВЕРОВСЬКА,
О.О. БАХМУТ,
 кандидат сільськогосподарських наук
 Інститут захисту рослин НААН,
 вул. Васильківська, 33, м. Київ,
 03022, Україна,
 e-mail: phytoppi@ukr.net

комплексу Arc GIS — Arc INFO проведено агрокліматичне та агроекотоксикологічне районування території України в умовах кліматичних змін 2010—2020 років. Встановлено зниження здатності території до самоочищення. Особливо це помітно в Лісостепу, де зональний індекс самоочищення зменшився з 0,70—0,50 до 0,60—0,45. Створено карти агрокліматичних зон і областей України з різною здатністю до самоочищення. **Висновки.** Регулярне доповнення та оновлення агрокліматичної нормативної інформації в умовах змін клімату використовується для правильного вибору та розміщення сільськогосподарських культур, оцінювання умов їх росту та розвитку, планування строків польових робіт, прогнозування виробництва рослинної продукції в конкретному році. Ця інформація

необхідна для підвищення культури землеробства, збільшення виробництва рослинної продукції поряд з широким застосуванням сучасних технологій вирощування, зокрема хімічного захисту від шкідливих організмів.

агрокліматичне та агроекотоксикологічне районування; польові культури; фітосанітарний стан; пестициди; небезпечність; екотоксикологічні нормативи та регламенти; зональні хімічні системи захисту

Питання взаємовідносин «природа — суспільство» в XXI столітті набуває, на жаль, особливого значення, а створення ноосфери, як «сфери розуму», залишається недосяжною мрією видатних вчених, зокрема нашого співвітчизника В.І. Вернадського [1]. За сучасних умов глобальних кліматичних змін стали найактуальнішими та найважливішими проблеми збереження і відтворення природно-ресурсної бази аграрного сектору забезпечення сталого виробництва якісної продукції.

Споконвіків земля була й залишається первинним фактором виробництва, а сільськогосподарська продукція — матеріальною основою життя. У 2020 р. за даними Державного комітету статистики України земельний фонд склав 60,4 млн га, з яких сільськогосподарські угіддя — 41,3 млн га [2]. Впродовж останніх десятиліть у розвитку аграрного сектору збереглась тенденція природоруйнівного типу: деградація та знищення сільськогосподарських угідь внаслідок ерозії, заболочування, засолення, зменшення вмісту у ґрунті гумусу, зниження природної родючості, забруднення

грунту, води та повітря токсичними сполуками. Насичення сівозмін культурами інтенсивного мінерального живлення, значне зменшення внесення органічних добрив, поширення процесів ерозії призвело до від'ємного балансу гумусу [3]. Змінилися розміри полів, структура посівних площ, організація сільськогосподарського виробництва. Порушена традиційна роль сівозмін, засобів обробітку ґрунту і технологій вирощування культур. Низька культура землекористування є наслідком кризового економічного і екологічного стану країни.

З просторово-часовими змінами кліматичних умов території зазнають змін за своїм потенціалом і просторовим розподілом ґрунтово-кліматичні ресурси. Людство має визнати, що ці ресурси майже всі вичерпані. Тому набуває важливого науково-практичного значення вивчення ступеня сприятливості природного ґрунтово-кліматичного потенціалу території для функціонування галузей рослинництва, особливо стратегічно важливих продовольчих та енергомістких польових культур (зернові, ефіроолійні та ін.). А існуюча на сьогодні концепція сталого розвитку, що заснована на інтенсифікації застосування добрив та хімічних засобів захисту рослин, має екологічні обмеження [4–6].

В умовах кліматичних змін назріла необхідність регулярного доповнення та оновлення агрокліматичної нормативної інформації в умовах змін клімату для правильного вибору та розміщення сільськогосподарських культур, оцінки умов їх росту та розвитку, планування строків польових робіт, прогнозування виробництва рослинної продукції в конкретному році. Ця інформація необхідна для підвищення культури землеробства, збільшення виробництва рослинної продукції поряд з широким застосуванням та удосконаленням сучасних технологій їх вирощування, зокрема — розробки екологічно-безпечних систем хімічного захисту від шкідливих організмів для кожної культури [4–9].

Мета досліджень полягала в агро-кліматичному та екотоксикологічному районуванні території України задля обґрунтування екологічно безпечних зональних систем хімічного захисту від шкідливих організмів, їх оптимізації та адаптації до змін кліматичних умов і фітосанітарного стану агроценозів у різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

Методика досліджень. Роботу виконували впродовж 2005—2020 років в Інституті захисту рослин Національної академії аграрних наук України (ІЗР НААН) в лабораторіях прогнозів та аналітичної хімії пестицидів.

У дослідженнях було використано аналітично-синтетичний та експериментальний методи. Проаналізовано літературні джерела, звіти Інституту захисту рослин, дані щодо поширення й чисельності шкідників, наведені в щорічних оглядах відділу фітосанітарної діагностики і прогнозів Головної державної інспекції захисту рослин, бази даних Державної служби статистики та Українського гідрометеорологічного центру, а також результати польових дослідів.

Екотоксикологічний моніторинг пестицидів в агроценозах польових культур проводили за загальноприйнятими методиками [7]. Класифікацію пестицидів за полярністю та величиною дипольного моменту проводили з використанням фізико-хімічних методів аналізу. Ступінь небезпечності застосування пестицидів оцінювали за інтегральною 7-ступеневою шкалою, ризик — за агроекотоксикологічним індексом (АЕТІ) [10, 11].

Агрокліматичне та агроекотоксикологічне районування проведено за допомогою програмного комплексу Arc GIS — Arc INFO.

Результати досліджень та їх обговорення. Екологічна інтерпретація хімічного захисту рослин від шкідливих організмів, як одного із методів управління якістю агроценозів, враховує економічну доцільність та екологічну безпеку. Суть його полягає в збереженні урожаю, прогнозуванні небезпеки та запобіганні негативних

явищ від застосування пестицидів. Для цього використовується математична модель підсистеми:

пестицид → *сільськогосподарський ландшафт* → *агроценоз*.

Застосовується розрахунковий метод оцінки ризику за трьома параметрами: асортимент пестицидів, їх кількісне навантаження, інтенсивність процесів детоксикації пестицидів в умовах даного агроценозу (агроєкосистеми).

Здатність агроценозів до самоочищення — процес, який відбувається під впливом абіотичних і біотичних факторів, що складають єдину біологічну систему. До абіотичних факторів відносять: кліматичні та ландшафтно-екологічні особливості зони (температура, опади, інтенсивність сонячної радіації, рух повітря тощо); фізико-хімічні властивості пестициду, що характеризують препарат за стабільністю (як вихідних, так і продуктів перетворення); особливості технології вирощування; особливості ґрунту (тип, структура, вміст органічних і мінеральних речовин, рН ґрунту і т.п.). Біотичні фактори: особливості епіфітної і ґрунтової мікрофлори, яка бере участь у процесах деструкції пестицидів, фізіологічні процеси рослин, їх генетичні особливості та ін. Вплив всіх факторів, за виключенням погодних умов, залежить від діяльності людини. Отже, процес самоочищення агроценозів можна регулювати, а значить управляти їх якістю.

Аналіз кліматичних даних засвідчив, що останні роки в Україні сума ефективних температур (СЕТ) майже постійно перевищувала кліматичні норми регіонів, але показники потепління були різними (рис. 1).

В степовій зоні у 2008 та 2017 роках спостерігалось деяке зменшення суми СЕТ відносно кліматичної норми — відповідно, -15°C та -20°C . Максимальне збільшення теплозабезпечення ($+700^{\circ}\text{C}$) зареєстровано у 2012 р., який визнано найтеплішим роком у всіх зонах за період дослідження. В середньому в зоні Степу сума температур збільшилась на 368°C .

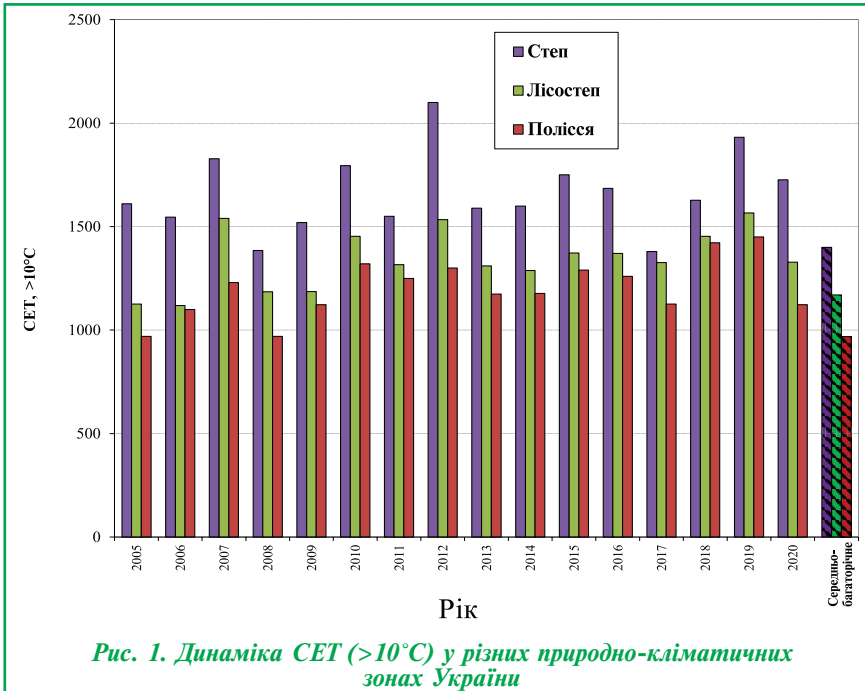


Рис. 1. Динаміка CET (>10°C) у різних природно-кліматичних зонах України

У Лісостепу мінімальне перевищення суми ефективних температур зареєстровано у 2009 р. — 16°C, максимальне у 2012 р. складало +726°C. В середньому по зоні сума температур збільшилась на 230°C відносно кліматичної норми.

У Поліссі перевищення відносно норми становило: мінімально +1°C у 2005 та 2008 роках, максимальне — +331°C у 2012 р. В середньому за роки аналізу сума температур збільшилась на 207°C.

Застосування геоінформаційних технологій (ГІС-технологій), зокрема програмного комплексу Arc GIS — Arc INFO, дає можливість інтегрувати вплив абіотичних та біотичних всіх чинників з показниками тепло- та вологозабезпеченості території, з географічним розміщенням агроценозу. Інформація табличного типу з модельним відображенням території значно збільшує можливість встановлення екологічних змін в агроекосистемах та обґрунтування ризиків і прийомів адаптації до них, що є необхідним для стабілізації аграрного виробництва.

Інтенсивне потепління спостерігалось протягом минулого десятиріччя і особливо відчувалося в зимові місяці. У характері розподілу опадів спостерігається тенденція до збільшення кількості малоефективних тривалих

дощів, злив, коли місячна норма опадів випадає за 1—2 дні. Особливо зменшення зони достатнього зволоження ґрунту відчутне в лісостеповій зоні (Вінницька область, крім північно-західних районів, Черкаська, східні райони Чернівецької, північні лісостепові Одеської, північно-західні райони Кіровоградської, лісостепові райони Київської, південні Сумської, Харківської, північні і центральні райони Полтавської областей) (рис. 2А). За даними Укрґідрометцентру середньобага-

торічне значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК) у зоні Степу становить 0,9; за нашими дослідженнями, за останні 10 років цей показник знизився до 0,77. У Лісостепу норма ГТК становила — 1,3, що характеризувало зону достатнього зволоження, тоді як за останні 10 років цей показник вже становить 1,14, що відповідає характеристиці зони недостатнього зволоження (рис. 2Б). У Поліссі значення ГТК — 1,43, близьке до середньобагаторічних значень.

Отже, зона достатнього зволоження ґрунту зменшується, її межа піднімається вище на північ. Відбування весняних процесів відбувається, як правило, на 2—3 тижні раніше, відзначено збільшення тривалості періоду активної вегетації рослин на 7—10 днів. У підсумку це призводить до змін екологічного оптимуму різних видів шкідливих організмів рослин, поширення зон оптимуму для них на північ та поступового збільшення кількості генерацій у зв'язку із подовженням сезону вегетації. За масового розмноження інтенсивна міграція і розповсюдження комах з природних стацій призводить не тільки до загального збільшення щільності популяцій шкідників в агроценозах, а й до процесів гібридизації різних популяційних

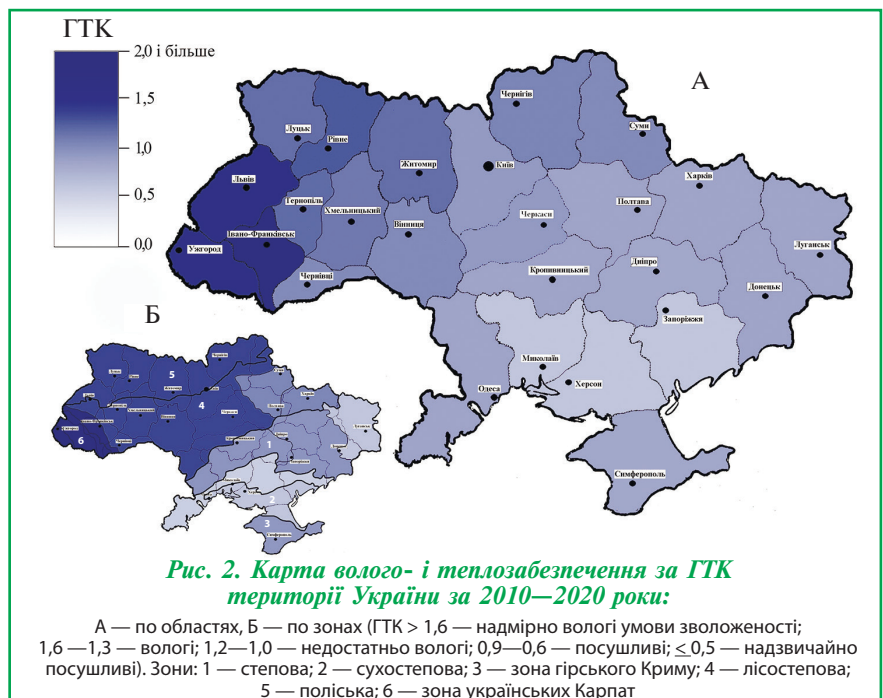


Рис. 2. Карта волого- і теплозабезпечення за ГТК території України за 2010—2020 роки:

А — по областях, Б — по зонах (ГТК > 1,6 — надмірно вологі умови зволоження; 1,6 — 1,3 — вологі; 1,2 — 1,0 — недостатньо вологі; 0,9 — 0,6 — посушливі; < 0,5 — надзвичайно посушливі). Зони: 1 — степова; 2 — сухостепова; 3 — зона гірського Криму; 4 — лісостепова; 5 — поліська; 6 — зона українських Карпат

угруповань, наслідком якого є гетерозис — підвищення плодючості, життєздатності, шкідливості і агресивності комах.

Толерантність сільськогосподарських угідь до пестицидного навантаження зумовлена інтенсивністю фізико-хімічних і мікробіологічних процесів детоксикації біологічно активних сполук та оцінюється за зональним індексом ($I_{зон}$) в балах від 0,1 до 1,0: більше 0,8 — дуже інтенсивна; від 0,79 до 0,60 — інтенсивна; від 0,59 до 0,40 — помірна; від 0,39 до 0,20 — слабка; менше 0,19 — дуже слабка [7].

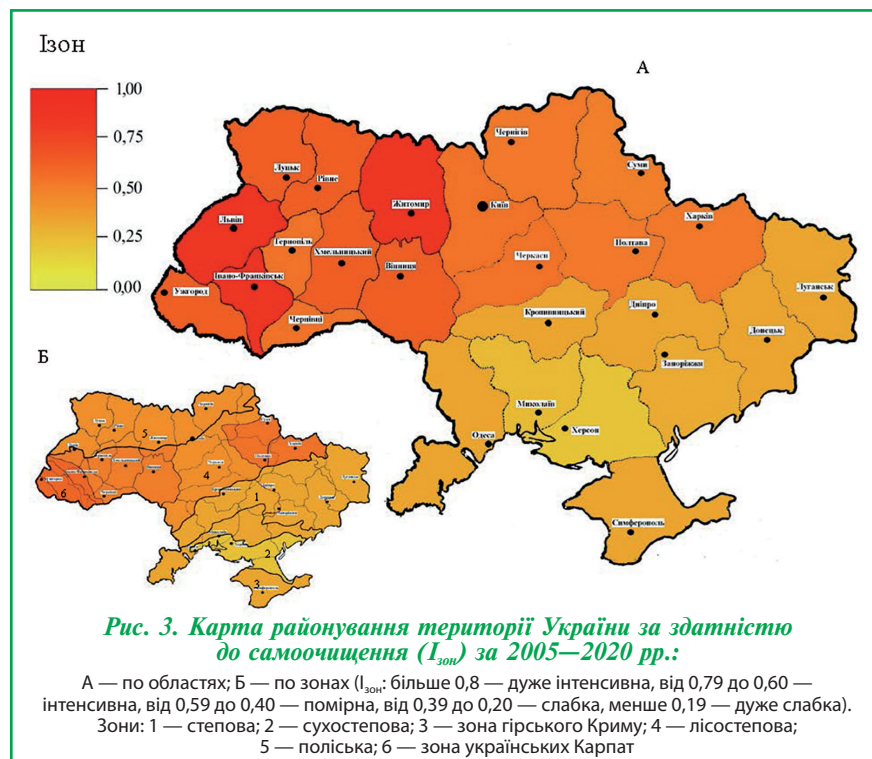
За двадцятиріччя 1989—2009 рр. середні значення ГТК та $I_{зон}$ знаходились в межах попереднього двадцятиріччя (1968—1988 рр.). Протягом останніх 10-ти років за вегетаційний період на всій території України значення ГТК та $I_{зон}$ зменшились (табл. 1). У цілому спостерігається зниження $I_{зон}$ по всій території країни. У розрізі ґрунтово-кліматичних зон погіршення показника особливо відчутне в лісостеповій зоні, де він зменшився з 0,55—0,70 до 0,45—0,60. У Степу більш помітним є зниження $I_{зон}$ в північній підзоні (з 0,50 до 0,30).

В південних та східних районах спостерігаються посушливі роки, тобто за ГТК межа степової зони переміщується в північно-західному напрямку.

На карті (рис. 3) в масштабах областей кольоровою гамою вказано середні значення зональних індексів самоочищення. Аналізу-

ючи отримані дані спостерігаємо, як змінюються агрометеорологічні умови, особливо територій лісостепової зони, та слабшає здатність до самоочищення. Цю ситуацію слід враховувати при вирощуванні кожної сільськогосподарської культури.

Як наслідок кліматичних



1. Апроксимоване ґрунтово-кліматичне та агроекотоксикологічне районування території України за ГТК та $I_{зон}$

Зона, провінція	Тип ґрунтів (вміст гумусу)	ГТК			$I_{зон}$		
		1968—1988 рр.	1989—2009 рр.	2010—2020 рр.	1968—1988 рр.	1989—2009 рр.	2010—2020 рр.
1. Степ:		0,83	0,80	0,77	0,35	0,33	0,27
1.1. Північна підзона	Чорноземи звичайні малогумусні (5,8%)	0,9—0,8	0,8—0,7	0,7—0,6	0,50	0,40	0,30
1.2. Південна підзона Дністровсько-Дніпровська провінція	Чорноземи звичайні середньогумусні, на південних лесах (4,0—5,0%)	0,8—0,7	0,8—0,6	0,8—0,6	0,30	0,30	0,30
Донецька провінція	Чорноземи звичайні малогумусні (2,5—4,5%)	0,9	0,9	0,9	0,38	0,35	0,30
2. Сухостепова зона	Чорноземи південні карбонатні, темно каштанові, солонцюваті (2,5—4,5%)	0,6—0,5	0,8—0,6	0,6—0,5	0,23	0,30	0,23
3. Зона гірського Криму		0,75	0,70	0,70	0,34	0,32	0,32
Передгірна лісостепова	Чорноземи південні міцелярно-карбонатні (2,5—4,3%)	1,0—0,7	0,9—0,7	0,9	0,38	0,35	0,35
Південнобережна провінція	Червоно-коричневі ґрунти (4—6,5%)	0,5	0,5	0,5	0,30	0,30	0,30
4. Лісостеп		1,35	1,25	1,14	0,62	0,57	0,52
Західна провінція	Сірі опідзолени (2,5—6,0%)	1,6—1,4	1,5—1,4	1,3—1,0	0,60	0,55	0,50
Центральна провінція	Чорноземи малогумусні типові (2,5—6,0%)	1,6—1,4	1,5—1,4	1,4—0,8	0,55	0,50	0,45
Лівобережна висока провінція	Чорноземи звичайні, малогумусні (2,5—6,0%)	1,2—1,1	1,1—0,8	1,2—0,5	0,70	0,65	0,60
5. Полісся	Дерново-середньопідзолисті, глинисто-піщані (1,0—3,6%)	2,0—1,6	1,9—1,2	0,7—1,9	0,50	0,47	0,45
6. Зона українських Карпат		2,45	2,38	1,45	0,77	0,73	0,60
Передгірна провінція	Бурувато-підзолисті, кислі ґрунти (2,5—4,0%)	2,4—2,2	2,2—2,1	1,3—0,7	0,75	0,71	0,55
Закарпатська низинна провінція	Буроземи кислі малогумусні (2,5—4,5%)	2,8—2,6	2,6—2,4	2,0—1,8	0,78	0,75	0,65

змін зменшується зона, сприятлива для вирощування озимих культур. Створені за допомогою ГІС-технологій карти ґрунтово-кліматичного та агроєкотоксикологічного районування території України дають змогу визначити найпридатніші для розміщення посівів певної культури території. Зокрема, донедавна вважалося можливим вирощувати ріпак озимий майже у всіх зонах України. Результати проведених нами раніше досліджень доводять, що на сьогодні ці зони обмежені. Аналіз агрометеорологічних умов свідчить, що пріоритетною для розміщення посівів ріпаку озимого є територія Західного Полісся, частина Лісостепу до Полтавської рівнини, суміжна з ним частина Північного Степу та вузька смуга Східного Лісостепу [22].

За результатами досліджень фітосанітарного стану зафіксовано зміну в просторовому розподілі щільності популяцій домінуючих комах-фітофагів. Встановлено, що зони екологічного оптимуму домінуючих видів фітофагів розширюються на північ, що призводить до перебудови видової структури домінуючих ентомокомплексів. Спостерігаються зміни у комплексах грибних патогенів сільськогосподарських культур. Як наслідок, збільшуються потенційні втрати врожаю [12–21].

В умовах стрімких кліматичних змін, особливо за останнє десятиріччя, інтенсифікація хімічного захисту маскує швидку втрату природної родючості земельних ресурсів та продуктивності польових культур і призводить до негативних наслідків. Наприклад, за період 2005–2020 рр. площі застосування інсектицидів проти шкідників на зернових культурах в Україні збільшилися майже в 6 разів (рис. 4). Згідно зі статистичними даними у 2019 р. було оброблено 5965,8 тис. га. Заплановані обсяги хімічних обробок на 2020 р. склали близько 6000 тис. га. Сумарно проти шкідливих організмів (шкідники, хвороби, бур'яни) на посівах зернових у 2019 р. в Україні було оброблено пестицидами 49624 тис. га.

Для оцінювання небезпеч-

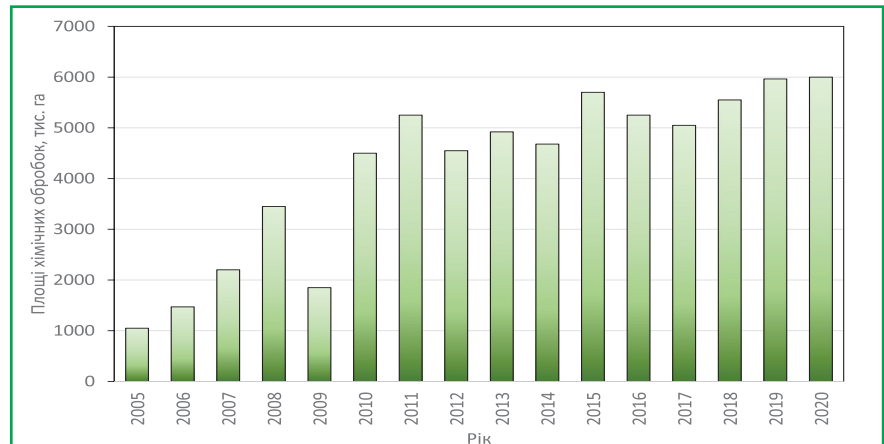


Рис. 4. Динаміка застосування інсектицидів на зернових культурах в Україні

ності застосування пестицидів застосовують інтегральний показник — ступінь небезпечності (C_n), який враховує як токсиколого-гігієнічний, так і екотоксикологічний аспекти застосування пестициду. Інтегральна класифікація пестицидів за ступенем небезпечності їх застосування була розроблена в Інституті захисту рослин [7]. Вона представлена шкалою, яка містить сім ступенів, їх визначають за рівнянням:

$$C_n = (K_A + K_B) - 1, \quad (1)$$

де K_A і K_B — відповідно класи небезпечності за токсиколого-гігієнічною (категорія А, I–IV клас) та екотоксикологічною (категорія Б, I–IV клас) класифікаціями (табл. 2).

Ступінь небезпечності характеризує пестициди таким чином: 1 і 2 — високонебезпечні, 3 — небезпечні, 4 і 5 — помірно небезпечні, 6 і 7 — малонебезпечні.

Для оцінювання препаратів за нормою витрати використовують середньозважений ступінь небезпечності (Q), який розраховують за формулою:

$$Q = (C_{n1} \times H_1 + C_{n2} \times H_2 + \dots + C_{nn} \times H_n) / \sum H, \quad (2)$$

де C_n — ступінь небезпечності пестициду за інтегральною класифікацією; $H_{1...n}$ — норма витрати препарату, кг/га; $\sum H$ — сезонне навантаження, кг/га.

Усереднене навантаження пестицидів на певну територію є екотоксикологічною дозою. Цей показник використовують з урахуванням того, що міграція пестицидів з водним стоком та повітряними потоками, а також щорічне територіальне переміщення культур у сівозміні сприяють зниженню концентрації в місцях їх внесення.

Прогнозоване забруднення сільськогосподарського ландшафту пестицидами (V , умовних

2. Показники токсиколого-гігієнічної та екотоксикологічної небезпечності сполук

Показник	Норма показника для класу небезпечності			
	1	2	3	4
K_A				
ЛД ₅₀ — доза, що викликає загибель 50% піддослідних тварин (щурів) при потрапленні в шлунок, мг/кг	До 50	50—200	200—1000	Більше 1000
ЛД ₅₀ — доза, що викликає загибель 50% піддослідних тварин (щурів) при потрапленні на шкіру, мг/кг	До 100	100—500	500—2000	Більше 2000
K_B				
T ₅₀ у ґрунті — термін, за який вміст діючої речовини зменшується до 50% від початкового, діб	Більше 20	20—10	10—5	Менше 5
T ₅₀ у воді — термін, за який вміст діючої речовини зменшується до 50% від початкового, діб	Більше 30	30—11	10—5	Менше 5
T ₅₀ у рослинах — термін, за який вміст діючої речовини зменшується до 50% від початкового, діб	Більше 10	10—5	5—3	Менше 3

кг/га) виражається інтегральним показником, що враховує всі три параметри і обчислюється за формулою:

$$V = \frac{\sum H}{k \cdot I_{\text{зон}} \cdot Q}, \quad (3)$$

де k — коефіцієнт абсорбційної властивості листової поверхні, який змінюється залежно від типу культури і для польових культур становить 1.

Рівень потенційної небезпеки для біоти за внесення пестицидів у агроecosистему може бути охарактеризований агроекотоксикологічним індексом (АЕТІ), який розроблений за даними експертної оцінки фактичного забруднення території в зонах з різною інтенсивністю обробок сільськогосподарських культур [10, 11]:

$$\text{АЕТІ} = \frac{10 \frac{\sum H}{k \cdot I_{\text{зон}} Q} (1 + \frac{\sum H}{k \cdot I_{\text{зон}} Q})^3}{(1 + \frac{\sum H}{k \cdot I_{\text{зон}} Q})^4 + 5000} \quad (4)$$

Модель відображає хвилеподібну залежність ризику від пестицидного навантаження, їх властивостей та толерантності агроценозу. Її початкова частина є кривою, що зростає до порогового рівня концентрації шкідливих речовин в об'єктах довкілля, за якої подальший ріст їх кількості починає перевищувати інтенсивність процесів фізико-хімічного та біологічного розпаду. Далі створюється «хвиля», коли ризик зростає пропорційно збільшенню навантаження. Висота «хвилі» лімітується потенційними можливостями виживання фауни та збереження гігієнічних нормативів якості продукції. У точці критичного рівня пестицидного навантаження, що лімітує потенційні можливості виживання фауни і збереження гігієнічних нормативів якості продукції, графік набуває криволінійної форми з крутизною, що зменшується.

За АЕТІ ризик характеризується за 10-баловою шкалою: 0—1 — малонебезпечний, 1—4 — середньонебезпечний, 4—8 — підвищеної небезпечності, 8—10 — високонебезпечний.

Ризик застосування пестицидів мінімальний, коли рівень забруднення не перевищує здатності території до самоочищення, а АЕТІ має значення від 0 до 1. Такому значенню АЕТІ відповідає прогнозоване забруднення в розмірі 4 умовних кг/га. Відповідно до цього має виконуватись наступне обмеження:

$$\sum H \leq 4 Q I_{\text{зон}}. \quad (5)$$

Відповідно до нього побудовано модель допустимого сезонного навантаження (H , кг/га) пестицидів у різних ґрунтово-кліматичних зонах (рис. 5).

Зональний індекс самоочищення ($I_{\text{зон}}$) в умовах України змінюється від 0,23 до 0,65. Тому, наприклад, в Лісостепу, де $I_{\text{зон}} = 0,55$, асортимент пестицидів, середньозважений ступінь небезпечності (Q) якого дорівнює 4, можна застосовувати за сезон в кількості до 8,8 кг/га, а при $Q = 5$ — вже до 11 кг/га. У той же час, в сухостеповій зоні ($I_{\text{зон}} = 0,23$) пестициди сучасного асортименту ($Q = 4$ — 5) можна застосовувати за сезон в кількості не більше 3,7—4,6 кг/га.

Застосування наведеної моделі вже на етапі планування дає можливість оцінити потенційну небезпеку системи хімічного захисту і вибрати оптимальний варіант з урахуванням як фітосанітарної ситуації, так і екологічної безпеки.

ВИСНОВКИ

Еколого-статистичний аналіз баз багаторічних даних і експериментальні дослідження засвідчили, що зміни клімату в Україні

проявились через вирівнювання температурного поля по території країни, підвищення середньорічної температури та збільшення суми ефективних температур, що призвело до порушення функціонування агроecosистем та збільшення екологічної небезпечності хімічного захисту польових культур від шкідливих організмів, особливо в лісостеповій зоні, внаслідок зниження толерантності території до пестицидного навантаження.

Застосування ГІС-технологій (Arc GIS Arc INFO) дозволило проаналізувати вплив абіотичних, біотичних та антропогенних чинників на здатність агроценозів різних ґрунтово-кліматичних зон України до самоочищення. Встановлено, що за останнє 10-річчя по всій території зменшилися показники ГТК та здатності території до самоочищення ($I_{\text{зон}}$), особливо в умовах Лісостепу. Межа степової зони (ГТК до 1,0; $I_{\text{зон}}$ менше 0,3) зміщується в північно-західному напрямку.

Регулярне доповнення та оновлення агрокліматичної нормативної інформації в умовах змін клімату використовується для правильного вибору та розміщення сільськогосподарських культур, оцінки умов їх росту та розвитку, планування строків польових робіт, прогнозування виробництва рослинної продукції в конкретному році. Ця інформація є необхідною для підвищення культури землеробства, збільшення виробництва рослинної продукції поряд з широким застосуванням сучасних технологій їх

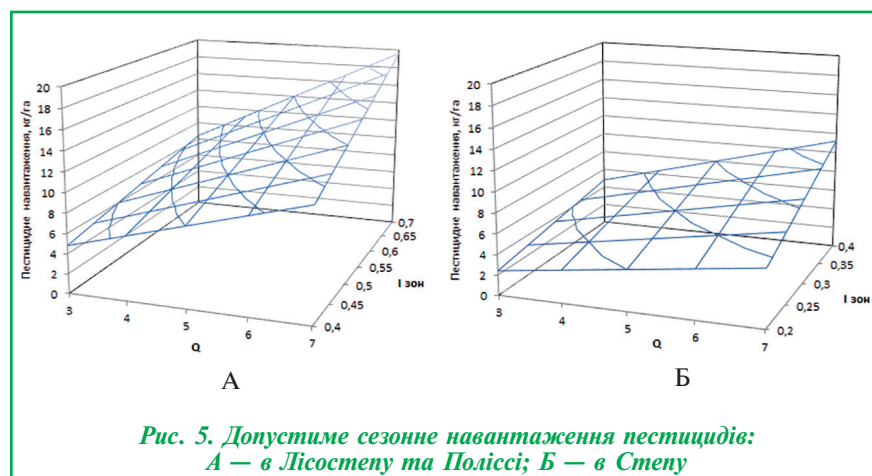


Рис. 5. Допустиме сезонне навантаження пестицидів: А — в Лісостепу та Поліссі; Б — в Степу

вищущування, зокрема хімічного захисту від шкідливих організмів.

Фінансування: дослідження виконували в рамках завдань 24.05.01.04.П «Наукове обґрунтування екологічно безпечного застосування хімічного захисту культур в агротехнологіях їх вирощування» та 24.06.01.01.Ф «Розроблення методичних підходів оцінки фітосанітарного стану за використання сучасних інформаційних технологій та створення оперативного прогнозу доцільності застосування засобів захисту рослин» ПНД 24 «Захист рослин».

Конфлікт інтересів: автори декларують про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. Москва: Наука, 1991. 271 с.
2. Статистичний щорічник України за 2020 рік. Київ: Державна служба статистики України, 2021. 455 с.
3. Яцук І.П., Ліщук А.М., Моклячук О.М., Матусевич Г.Д. Прогнозна математична модель динаміки вмісту гумусу у ґрунтах зон Полісся і Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*, 2015. № 2, С. 75—81.
4. Vommarco R., Vico G., Hallin S. Exploiting ecosystem services in agriculture for increased food security. *Global Food Security*. 2018, V. 17: P. 57—63. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.04.001>
5. Martin E.A., Feit B., Requier F. et al. Assessing the resilience of biodiversity-driven functions in agroecosystems under environmental change. *Advances in Ecological Research*. 2019, V. 60: P. 59—123. <http://dx.doi.org/10.1016/b.s.aecr.2019.02.003>
6. Reddy P.P. Agro-ecological pest management — an overview. In *Agro-ecological approaches to pest management for sustainable agriculture*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.: 2017, P. 1—11. http://doi.org/10.1007/978-981-10-4325-3_1
7. Стратегія і тактика захисту рослин. т. 1: Стратегія ; за ред. В.П. Федоренка. Київ: Альфа-стевія, 2012. 500 с.
8. Іващенко О.О. Екологічні проблеми інтенсивних технологій вирощування посівів. *Захист і карантин рослин*. 2016. Вип. 62. С. 119—123.
9. Мостов'як І.І. Інтегрована система захисту рослин у формуванні збалансованих агроєкосистем. *Збалансоване природокористування*, 2020. № 1, С. 77—86. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2020.203932>
10. Васильєв В.П., Кавецкий В.Н., Бублик Л.И. Интегральная классификация пестицидов по степени опасности загрязнения, создаваемого их применением, и оценка опасности загрязнения окружающей среды. *Агрохимия*. 1989. № 6. С. 97—102.
11. Борзих О.І., Бублик Л.І., Гаврилюк Л.Л., Шевчук О.В., Гунчак М.В. Екотоксикологічні параметри безпечного застосування та адаптації хімічних систем захисту яблуні від шкідливих організмів до ґрунтово-кліматичних умов Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України. *Захист і карантин рослин*. 2021, Вип. 67, С. 42—72. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.42-72>
12. Сахненко В.В., Сахненко Д.В. Динаміка чисельності основних шкідливих видів комах на посівах зернових культур в сучасних агроєнозах. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН»*. 2018. № 1. С. 146—152.
13. Іванова К.О., Сахненко В.В., Варченко Т.П. Особливості формувань популяцій і динаміки чисельності основних шкідливих видів комах на зернових культурах. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 100. Т. 1. С. 64—70.
14. Лико Д.В., Ойцюсь Л.В., Костолович М.І. Вплив потепління на фітосанітарний стан агроєнозів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2012, № 4(60). С. 15—20.
15. Федоренко В.П. Що нам обіцяє потепління. *Карантин і захист рослин*. 2011. № 1. С. 3—5.
16. Мостов'як І.І. Вплив гідротермічних чинників на поширення і розвиток хвороб в агроєнозі зернових культур Правобережного Лісостепу. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 1. С. 103—105. <http://dx.doi.org/10.31395/2310-0478-2020-1-103-108>
17. Корнійчук М.С. Фітосанітарний стан агроєнозів в умовах зміни клімату та шляхи його покращання. *Землеробство*. 2019. Вип. 2(97). С. 45—57.
18. Ліщук А.М., Парфенюк А.І., Городиська І.М., Бородай В.В., Драга М.В. Основні важелі управління екологічними ризиками в агроєнозах. *Агроєкологічний журнал*, 2022, № 2, С. 74—85. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263320>
19. Gullino M.L., Albajes R., Al-Jboory I. et al. Climate Change and Pathways Used by Pests as Challenges to Plant Health in Agriculture and Forestry. *Sustainability*, 2022, V. 14, 12421. <https://doi.org/10.3390/su141912421>
20. Savary S., Willocquet L., Pethybridge S.J. et al. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat. Ecol. Evol.* 2019, 3, 430-439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
21. Bebber D.P., Ramotowski M.A.T., Gurr S.J. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature*. 2013, V. 3, P. 985—988. <https://doi.org/10.1038/nclimate1990>
22. Крук І.В. Агрокліматичне та екотоксикологічне районування території України щодо вирощування ріпаку. *Агроєкологічний журнал*. 2012. № 3. С. 67—70.

Borzikh O.,

ORCID: 0000-0002-9802-5622

Bublyk L.,

ORCID: 0000-0001-5620-9303

Chaika V.,

ORCID: 0000-0002-5025-0863

Gavrylyuk L.,

ORCID: 0000-0003-2940-1580

Kruk I., ORCID: 0000-0001-9659-5384

Shevchuk O.,

ORCID: 0000-0003-0954-1922

Neverovska T.,

ORCID: 0000-0002-5990-1650

Bakhmut O., ORCID: 0000-0002-9800-3191

Institute of Plant Protection of the National

Academy of Sciences,

33, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,

e-mail: phytoppi@ukr.net

Agroclimatic and agroecotoxicological justification of zonal chemical protection

systems against harmful organisms for field crops under conditions of climate change in Ukraine

Goal. Agroclimatic and agroecotoxicological zoning of the territory of Ukraine in order to justify ecologically safe zonal systems of chemical protection against harmful organisms, their optimization and adaptation to changes in climatic conditions and phytosanitary state of agroecoses in different soil-climatic zones of Ukraine. **Methods.** Analytical-synthetic and experimental methods were used in the research. **Literary sources, reports of the Institute of Plant Protection, data on the distribution and number of pests given in the annual reviews of the Department of Phytosanitary Safety of the State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection, databases of the State Statistic Service and the Hydrometeorological Center of Ukraine, as well as the results of field experiments were analyzed.** Phytosanitary and ecotoxicological monitoring was carried out according to generally accepted methods. The degree of hazard of pesticide use was assessed using an integral 7-point scale, the risk — according to the agro-ecotoxicological index (AETI). **Results.** Ecological and statistical analysis of long-term databases, dynamics of agrometeorological indicators allows us to come to the conclusion that during the last 10 years climate changes have accelerated. They manifested through the equalization of the temperature field across the country, the increase in the sum of effective temperatures, and a deterioration of heat and moisture supply. This led to a disruption in the functioning of agroecoses, a decrease in tolerance to the pesticide load. Under conditions of extension of the specified trends, significant disruptions in the functioning of the agricultural sector should be expected, considering the speed of changes. With the help of the Arc GIS — Arc INFO software complex, the agroclimatic and agroecotoxicological zoning of the territory of Ukraine under conditions of climatic changes of 2010—2020 was carried out. A decrease in the self-cleaning ability of the territory has been established. This is especially noticeable in the Forest Steppe, where the zonal self-cleaning index decreased from 0.70—0.50 to 0.60—0.45. Maps of agro-climatic zones and regions of Ukraine with different self-cleaning capabilities have been created. **Conclusions.** Regular addition and update of agro-climatic regulatory information under conditions of climate change is used for the correct selection and placement of agricultural areas, crops, assessment of conditions for their growth and development, planning of field work periods, forecasting of crop production in a specific year. This information is necessary for improving the culture of agriculture, increasing the production of plant products along with the wide application of modern technologies of crop cultivation, in particular chemical protection against harmful organisms.

agro-climatic and agro-ecotoxicological zoning; field crops; phytosanitary status; pesticides; danger; ecotoxicological standards and regulations; zonal chemical protection systems

Надійшла до редакції: 12.08.2022.

Прийнята до друку: 07.11.2022

Надруковано й онлайн опубліковано: грудень 2022