



UDC 631.559

EVALUATION OF CORRELATION BETWEEN MAIZE YIELD PARAMETERS AND LANDSCAPE DIVERSITY INDICATORS

A. Zymaroieva, T. Pinkina, T. Ivanyuk, V. Tyshkovskyy

Article info

Received

27.12.2019

Accepted

28.01.2020

Zhytomyr National
Agroecological
University,
7, Staryi Blvd,
Zhytomyr, 10008,
Ukraine

E-mail:

[nastyia.zymaroieva@
gmail.com](mailto:nastyia.zymaroieva@gmail.com)

Zymaroieva, A., Pinkina, T., Ivanyuk, T., Tyshkovskyy, V. (2020). Evaluation of correlation between maize yield parameters and landscape diversity indicators. Scientific Horizons, 01 (86), 29–38. doi: 10.33249/2663-2144-2020-86-1-29-38.

The paper aims to study of the parameters of the maize yield trend parameters in the territory of 10 administrative regions of Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine and to find out the influence of landscape diversity factors on them. State Statistics Service of Ukraine provided the maize yields data by the administrative districts. The calculations of the yield model parameters were performed in R Project for Statistical Computing. Landscape diversity was estimated based on the Shannon index. Spatial images are made using ArcGIS 10.1. It was found that during the study period maize yield dynamics described by a sigmoid curve (log-logistic model). The parameters of the yield model are the following indicators: lower limit of yield; upper limit of yield; slope that showing the rate of change in yield over time and ED50 – the time it takes to achieve half of the maximum yield level. The lowest yields during the study period were observed in the early and mid-1990s. Areas with higher value of minimum yields are characterized by a more rapid increase in yield over time. The spatial variation map of the ED50 is, in turn, a complete reflection of the yield rate map. The upper limit of productivity, at which at a given level of agrotechnology, the yield is determined precisely by the biotic potential of the territory occur in the current time period. Analyzing the map of the location of different environmental protected objects and the average distance to them, we concluded that the northern regions of Ukraine is characterized by the highest density of the Nature Preserve Fund (NPF) objects. Regression analysis revealed a statistically significant correlation between the upper limit of maize yield (maximum productivity) and the Shannon index. There is also a correlation between the distance to the environmental objects and the upper yield limit, which is described by the second-order equation. Therefore, there is an optimum value of landscape and ecological diversity, under which the maize production potential reaches the highest level.

Key words: yield, parameters, model, maize, biodiversity, landscape diversity, Shannon index.

ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ПАРАМЕТРАМИ ВРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ ТА ПОКАЗНИКАМИ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

A. A. Зимароєва, Т. В. Пінкіна, Т. М. Іванюк, В. В. Тишковський

Житомирський національний агроєкологічний університет
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

Робота присвячена дослідженню параметрів тренду урожайності кукурудзи на території 10 областей Поліської та Лісостепової зон України та з'ясуванню впливу факторів різноманіття ландшафтного покриття на них. Дані з урожайності кукурудзи по районах брали в Державній службі статистики України. Всі обчислення параметрів моделі урожайності виконували в середовищі статистичних калькуляцій R. Оцінку різноманіття ландшафтного покриття проведено на основі

індексу Шеннона. Просторові зображення виконані за допомогою ArcGIS 10.1. Встановили, що упродовж досліджуваного періоду врожайність кукурудзи може бути описана сигмоїдною кривою (лог-логістична модель). Параметрами моделі урожайності виступають наступні показники: мінімальний рівень урожайності; максимальний рівень урожайності; ухил моделі, що показує швидкість змін урожайності в часі; ED50 – час, який потрібний для досягнення половинного, від максимального рівня, зростання урожайності. Найменший рівень врожайності за період досліджень спостерігався на початку та у середині 90-х років минулого століття. Для територій з більшими показниками «мінімальної урожайності» характерне і більш стрімке нарощення урожайності з часом. Просторова карта варіювання показника ED50, в свою чергу, є повним віддзеркаленням карти показника швидкості зростання урожайності. Найвищий рівень врожайності, за якого, при даному рівні агротехнологій, врожайність визначається саме біотичним потенціалом території, припадає на поточний часовий період. Аналізуючи карту розміщення природоохоронних об'єктів різного рівня та середню відстань до них, прийшли до висновку, що найбільшою щільністю об'єктів природо-заповідного фонду (ПЗФ) характеризуються північні області України. За допомогою регресійного аналізу виявлено статистично значиму кореляцію між верхньою границею урожайності кукурудзи (максимальною урожайністю) та індексом Шеннона. Між відстанню до природоохоронних об'єктів та верхньою границею урожайності є також є регресійна залежність, що описується рівнянням другого порядку. Тобто, існує оптимальне значення ландшафтно-екологічного різноманіття, за умов якого продукційний потенціал кукурудзи сягає найбільшого рівня.

Ключові слова: урожайність, параметри, модель, кукурудза, біорізноманіття, ландшафтне різноманіття, індекс Шеннона.

Вступ

Пошук компромісу між задоволенням зростаючих продовольчих потреб людства та збереженням біорізноманіття є одним з найбільш актуальних питань сьогодення, оскільки, інтенсифікація сільського господарства та розширення орних площ спричинили великі втрати світового біорізноманіття (Mattison, Norris, 2005). З іншого боку, стратегії, що скеровані на збереження неоднорідності ландшафту, зменшують інтенсивність використання сільськогосподарських земель (Cunningham et al., 2015). Останні дослідження свідчать про те, що сільськогосподарське виробництво повинно стрімко збільшуватися, щоб прогнати глобально зростаючу людську популяцію у поєднанні з очікуваними змінами в харчуванні (Valin et al., 2014; Phalan et al., 2014). Менш інтенсивна сільськогосподарська практика, така як органічне землеробство, що менш згубно впливає на біорізноманіття, часто асоціюється зі зниженою врожайністю (Ponisio et al., 2015; Ekroos et al., 2016) і, крім того, не зрозуміло, як впливає цей вид землеробства на сукупне біорізноманіття у великих просторових масштабах (Kleijn et al., 2011; Birkhofer et al., 2014; Schneider et al., 2014).

У всьому світі, ландшафти модифікуються

людською діяльністю, особливо для користі сільського господарства (Foley et al. 2005). Внаслідок руйнування природних ареалів, відбувається обмеження надання екосистемних послуг, тобто регульованих природою процесів, які є корисними та безкоштовними для людини (Dainese et al., 2019). Екосистемі послуги необхідні для сільського господарства, особливо такі як біологічна боротьба з шкідниками, яка полягає у здатності середовища використовувати хижих членистоногих, присутніх в екосистемі, для захисту від шкідників та запилення рослин дикими комахами (Foley et al., 2005; Tscharntke et al., 2012). Природні вороги, за оцінками, забезпечують 50–90 % боротьби зі шкідниками у посівах сільськогосподарських культур і можуть являти собою стійку та ефективну альтернативу використанню хімічних пестицидів для захисту сільськогосподарських культур (Pimentel, 2005). Тому різноманіття ландшафтів у локальному аспекті позитивно впливає на чисельність природних ворогів і комах-запилювачів і, як наслідок, на врожайність (Bianchi et al., 2006; Chaplin-Kramer et al., 2011; Martin et al., 2016).

Птахи, зокрема, птахи сільськогосподарських угідь, також сприяють низці необхідних екосистемних послуг, таких як боротьба зі шкідниками, видалення насіння бур'янів (Mäntylä et al., 2011; Boesing et al., 2017; Redlich et al., 2018)

та кругообіг поживних речовин (Whelan et al., 2008). З'ясовано, що різноманітність птахів агроландшафтів обумовлена саме ландшафтним різноманіттям, а не структурою посівів, як вважалося раніше (Zimarioieva et al., 2016; Redlich et al., 2018). Також, існує думка, що більш різноманітний ландшафт із різноманітними елементами екосистеми, як правило, більш стійкий до різноманітних екологічних змін, зокрема, кліматичних, ніж однорідний і рівномірний ландшафт (Schippers, 2015).

Є вагомі докази сильного та стійкого впливу біорізноманіття на урожайність культур як у природних умовах (Hooper et al., 2005), так і в агроекосистемах (Picasso et al., 2008; Frankow-Lindberg et al., 2009). Дослідження Poveda et al. (2012) виявили позитивний вплив ландшафтного різноманіття на урожайність картоплі. Доведено, що збереження природних місць існування в агроландшафтах корисне у зв'язку з наданням таких «екосистемних послуг», як зменшення шкоди від шкідників, підвищення врожайності та збільшення функціонального біорізноманіття (Poveda et al., 2012). Продуктивність кукурудзи також залежить від екосистемних послуг, а, отже, і від ландшафтного різноманіття (CONABIO, 2017). Проте, подібні дослідження не проводилися в Україні, тому, на нашу думку, є досить актуальними.

Метою роботи було з'ясування взаємозв'язків між параметрами просторово-часової динаміки урожайності кукурудзи на території 10 областей Поліської та Лісостепової зон України протягом 1991–2017 рр. та показниками ландшафтного різноманіття на даній території.

Матеріали та методи

Дані по урожайності кукурудзи (зерна) у Поліській та Лісостеповій зонах України були надані Державною службою статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua/>). Період досліджень – з 1991 по 2017 рр. Дані мають характер середньої врожайності культури (кукурудзи) по адміністративному району. Територія охоплює 206 адміністративних районів з десяти областей України (Вінницька, Волинська, Житомирська, Київська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська). Розрахунки параметрів моделі виконані за допомогою бібліотеки *drc* (Ritz et al., 2015). Карту

типів ландшафтного покриву *GlobCover* з роздільною здатністю 300 м, яку було створено на основі двомісячних результатів вимірювань *MEDium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS)* (Arino et al., 2012), застосовано у якості основи для створення карти різноманіття типів ландшафтного покриву. Оцінку ландшафтного різноманіття покриву проведено на основі двох класичних показників – індексу Шеннона та відстані до природоохоронних об'єктів. Розрахунки виконані за допомогою *The Corridor Designer toolbox works* в *ArcGIS 10.1*.

Результати досліджень та обговорення

Упродовж досліджуваного періоду врожайність кукурудзи демонструвала тренд до збільшення, за винятком початкового етапу досліджень (1991–1997 рр.), коли спостерігалось стрімке зниження врожайності культури (Zymarioieva et al., 2019). Якщо брати до уваги динаміку зміни цього показника з середини 90-х років до теперішнього періоду часу, то вона може бути описана сигмоїдною кривою. Ця крива інтерпретує характерні етапи спостережуваної динаміки, а саме: повільну швидкість зростання на початковому етапі, різке зростання у середній частині періоду досліджень та стабілізацію зростання в останній третині періоду досліджень та у деяких випадках – вихід на плато. Логарифмічна модель найкращим чином описує динаміку урожайності в дослідженому регіоні впродовж 1991–2017 рр. Цей вид тренду неоднорозово застосовувався відносно даних урожайності (Johansson, 2012). Для описання сигмоїдної кривої застосована симетрична лог-логістична модель (рис. 1):

$$y = c + \frac{d - c}{1 + \exp(b(\log(x) + \log(ED50)))}$$

де: y – відгук (врожайність культури);

c – позначає нижній ліміт відгуку (найменший рівень врожайності – *Lower Limit*), коли x наближається до нуля;

d – верхній ліміт (найвищий рівень врожайності – *Upper Limit*), коли x наближається до нескінченності;

b – позначає нахил кривої відгуку у близькості до точки перегину, коли x набуває значення *ED50* (час, який потрібний для досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності).

Вказані характеристики динаміки урожайності кукурудзи розраховано для кожного адміністративного регіону та застосовано як

інтегральний кількісний показник варіювання урожайності кукурудзи у даній точці простору в часі (рис. 1).

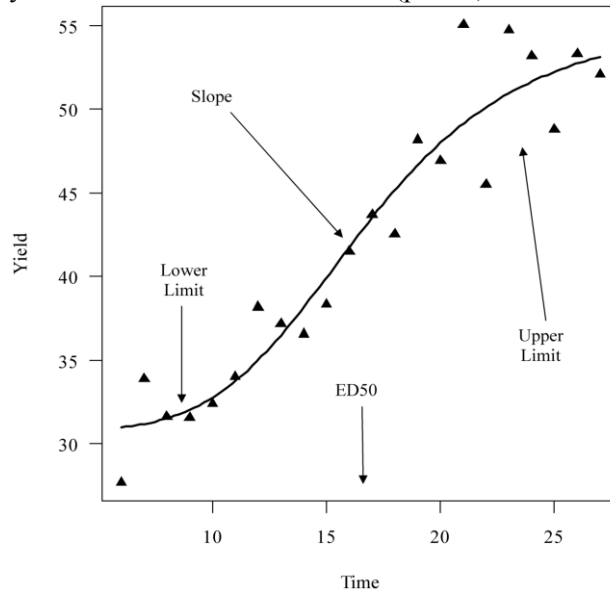


Рис. 1. Типова модель динаміки урожайності кукурудзи за період 1991–2017 рр.

Вісь абсцис – порядок років (1 – 1991, 2 – 1992, ...), вісь ординат – урожайність кукурудзи, ц/га

Отже, найменший рівень врожайності за період досліджень спостерігався на початку та у середині 90-х років минулого століття. Цей параметр моделі урожайності кукурудзи є просторово детермінованим. Території з

підвищеними значеннями цього показника знаходяться на південному сході, а з найнижчими – на північному заході регіону досліджень (рис. 2).

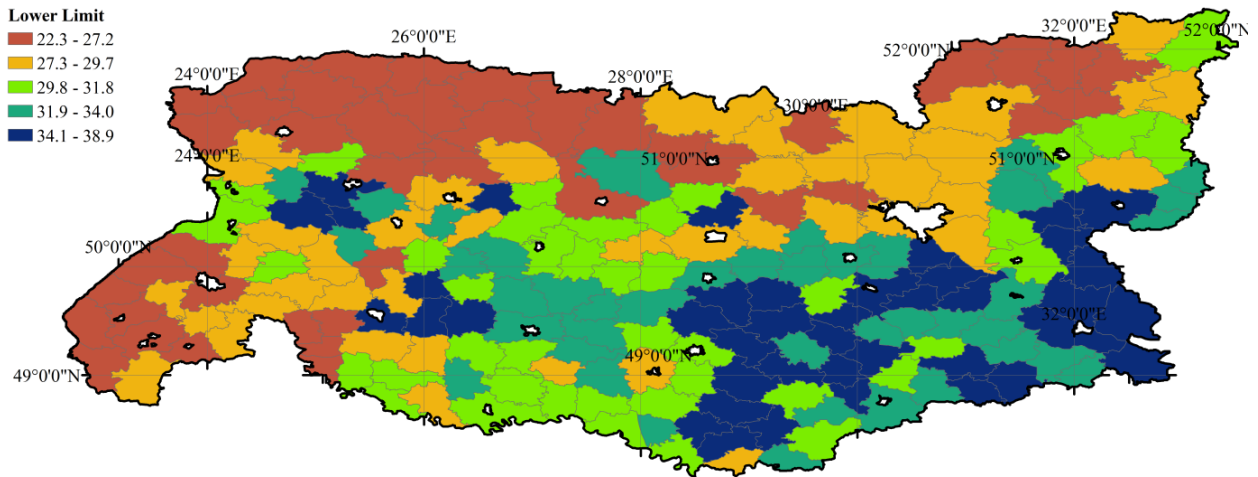


Рис. 2. Просторове варіювання нижньої межі урожайності кукурудзи (ц/га, період 1991–2017 рр.)

Ухил кривої тренду (*Slope*) показує швидкість змін урожайності в часі: наскільки швидко відбувається зростання врожайності за настання сприятливих умов. Території з найвищою швидкістю зростання урожайності знаходяться на сході дослідженого регіону, а з більш низькою

швидкістю зростання – на заході регіону досліджень (рис. 3). Можна відмітити, що для територій з більшими показниками «мінімальної урожайності» характерне і більш стрімке нарощення урожайності з часом.

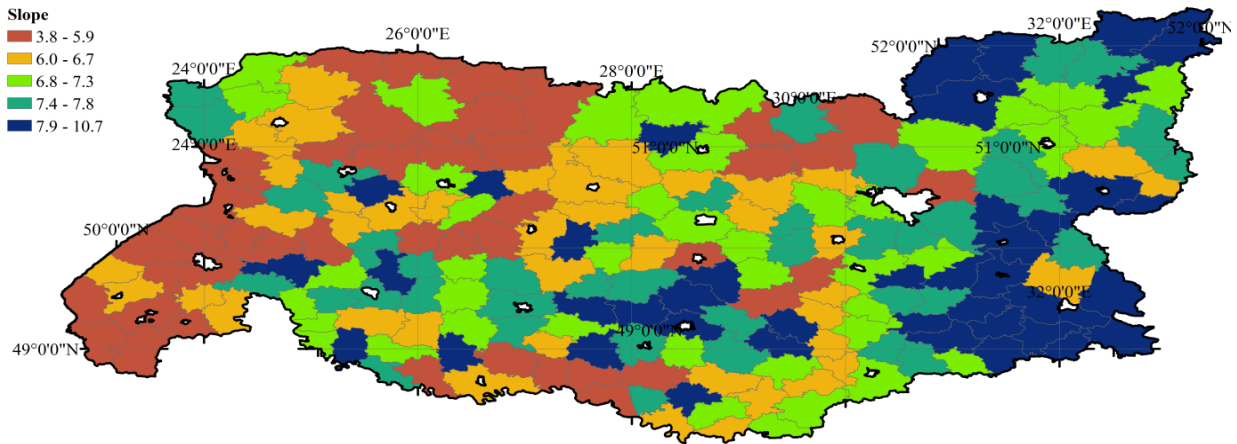


Рис. 3. Просторове варіювання кута ухилу кривої тренду урожайності кукурудзи (період 1991–2017 рр.)

Параметр моделі урожайності кукурудзи *ED50* визначає час від початку досліджень до моменту досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності та одночасно точку найбільшої швидкості зростання урожайності. Цей показник також просторово

детермінований і є повною протилежністю швидкості нарощення продукційного потенціалу. Просторова карта варіювання показника *ED50* (рис. 4) є відзеркаленням карти показника швидкості зростання урожайності (рис. 3).

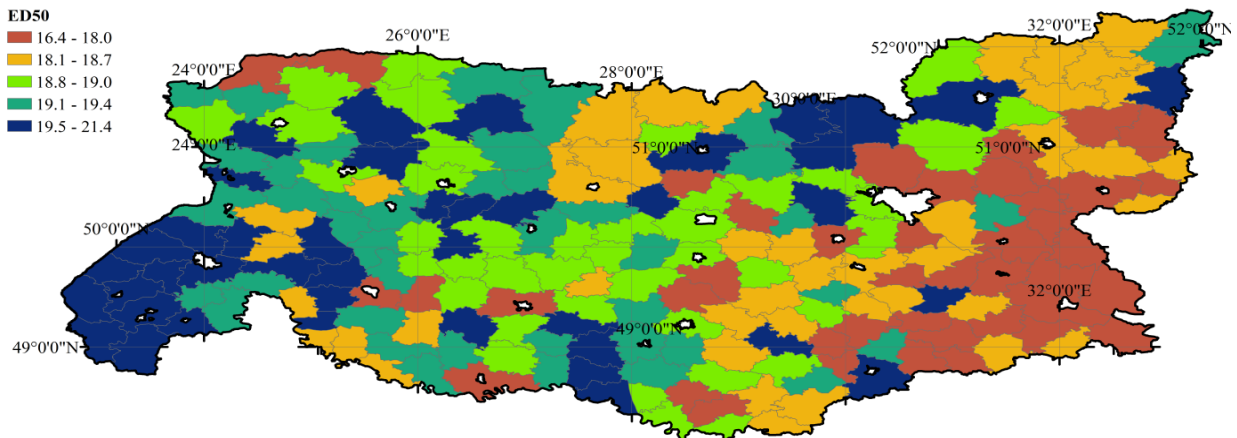


Рис. 4. Просторове варіювання показника *ED50* кривої тренду урожайності кукурудзи (період 1991–2017 рр.)

Найвищий рівень врожайності (*Upper Limit*), за якого при даному рівні агротехнологій врожайність визначається саме біотичним потенціалом території, припадає на поточний часовий період. Оскільки дані розглядаються в ретроспективі, нам не відомо як надалі поведе себе тренд: чи відбудеться зростання врожайності, чи вийде вона на плато. Території, які наразі характеризуються найбільшою урожайністю кукурудзи знаходяться у більшості на півдні регіону досліджень, територіально співпадаючи із районами Вінницької та

Хмельницької областей (рис. 5). Примітно, що райони, які в 90-х роках характеризувалися більшою врожайністю відносно інших районів, як правило, наразі відзначаються також високими показниками урожайності. За період досліджень (1991–2017 рр.) рівень агротехнологій змінився досить значно, проте відносно незмінними залишилися ґрунтово-кліматичні умови. Тому високий рівень урожайності кукурудзи у конкретному районі визначається саме екологічними (ґрунтовими умовами).

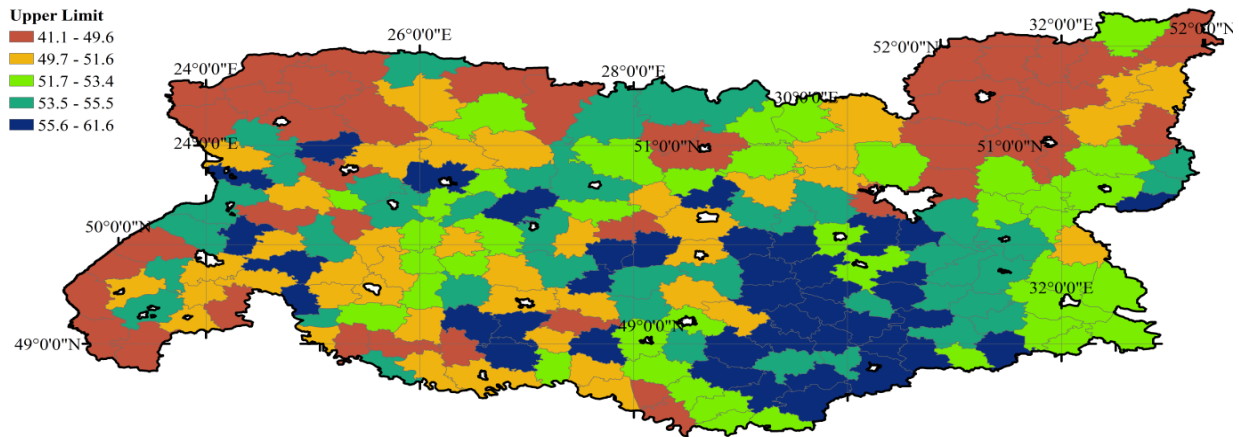


Рис. 5. Просторове варіювання верхньої межі урожайності кукурудзи (ц/га, період 1991–2017 рр.)

Аналізуючи карту розміщення природоохоронних об'єктів різного рівня (рис. 6) та середню відстань до них, дійшли висновку, що найбільшою щільністю об'єктів природозаповідного фонду (ПЗФ) характеризуються

північні області України. Найбільшими середніми відстанями від адміністративних районів до об'єктів ПЗФ характеризуються східні області (Чернігівська, Черкаська) та центральні області регіону досліджень (Хмельницька).

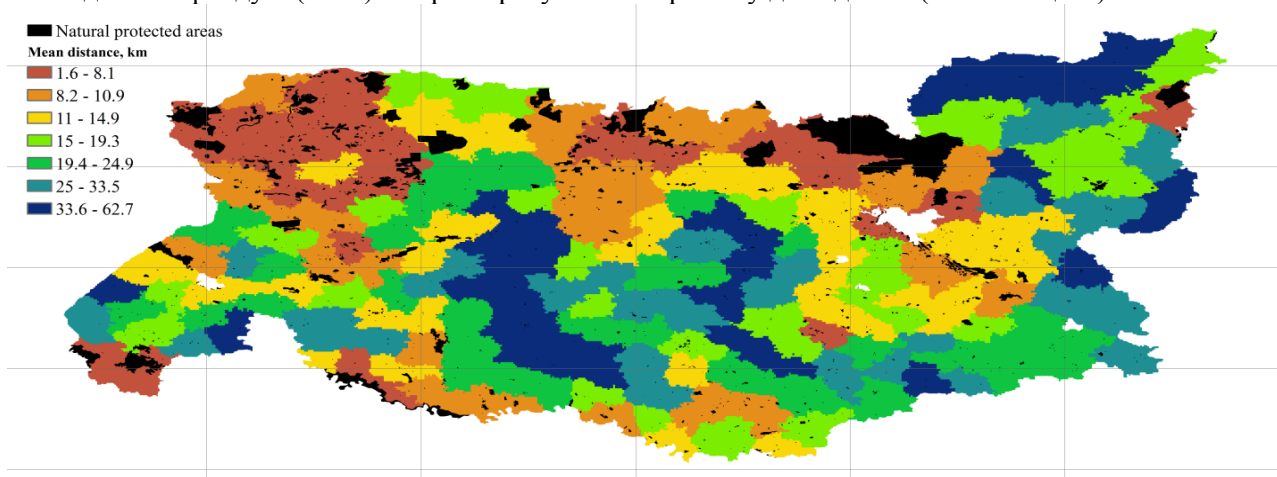


Рис. 6. Розміщення природоохоронних територій різного рівня та середня, у межах адміністративного району, відстань до них

Загальна карта ландшафтного покриття подана на рис. 7. Найбільш поширеними типами цього покриття є орні землі.

Території з найвищими індексами різноманіття ландшафтного покриття за Шенноном знаходяться на півночі та сході дослідженого регіону (рис. 8).

Для з'ясування взаємозв'язку між показниками різноманітності ландшафтного покриття (індексом Шеннона, відстанню до природоохоронних об'єктів) та урожайністю кукурудзи нами був проведений регресійний

аналіз. Виявлено статистично значиму залежність між верхньою границею урожайності кукурудзи (максимальною урожайністю) та індексом Шеннона, а також відстанню до природоохоронних об'єктів. Ці залежності не є лінійними, так як статистично вірогідними є предиктори другого порядку (H^2 , D^2), (табл. 2). Тобто, існує оптимальне значення ландшафтно-екологічного різноманіття, за умов якого продукційний потенціал кукурудзи сягає найбільшого рівня.

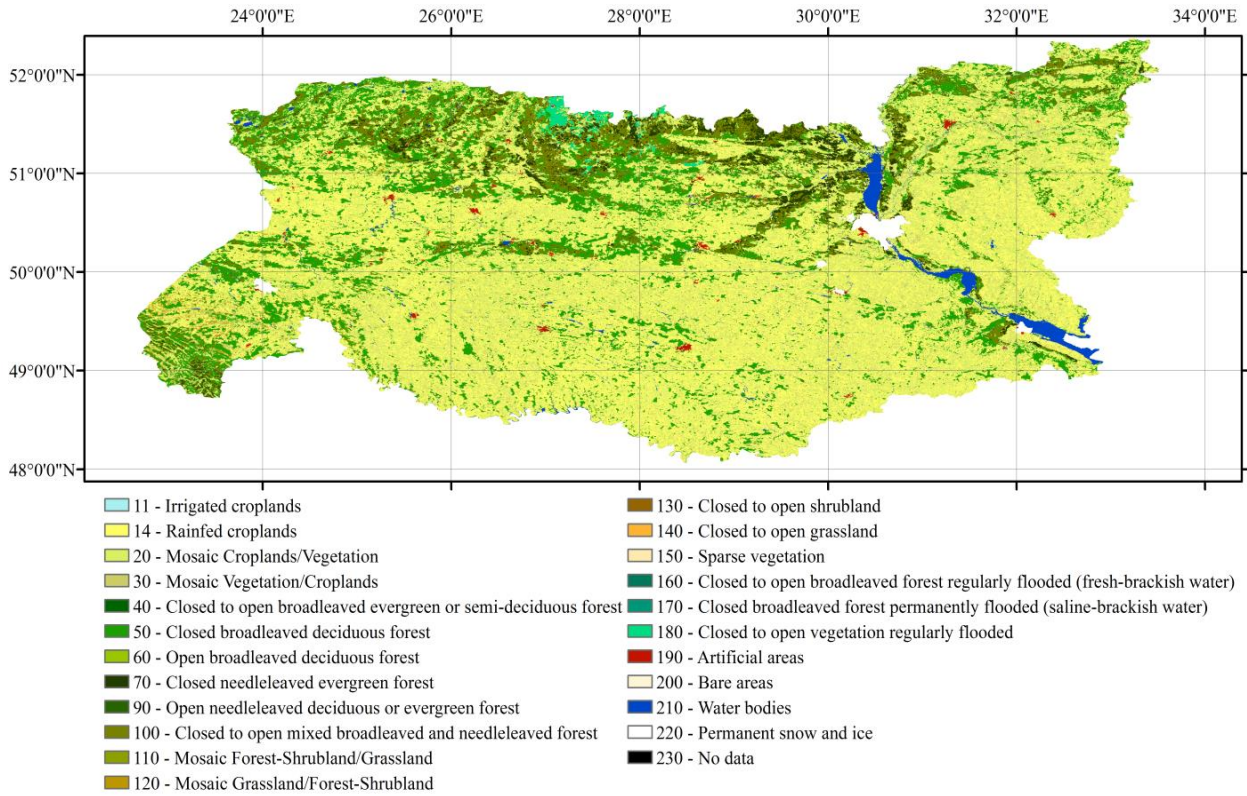


Рис. 7. Просторове розміщення типів ландшафтного покриття GlobCover

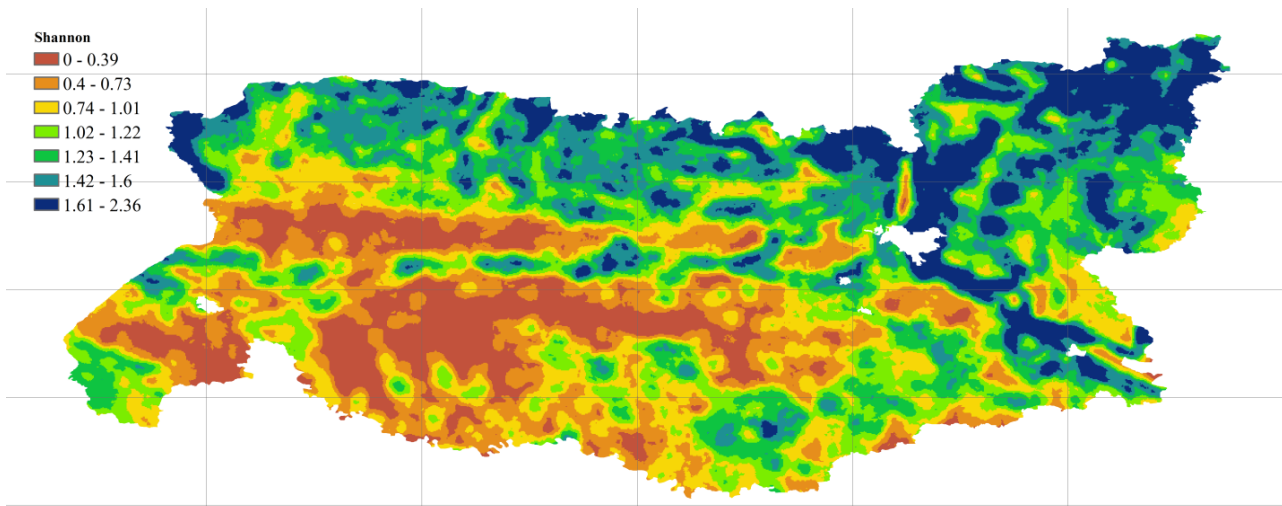


Рис. 8. Просторове варіювання індексу різноманіття типів ландшафтного покриття за Шенноном (вікно пропускання – 10 пікселів, біт/піксель)

Питання про зв'язок між просторовою структурою ландшафту і врожайністю становить практичний інтерес для сільськогосподарської науки (Khoroshev et al., 2018). У сільськогосподарській літературі детально висвітлюється вплив рельєфу на врожайність. Як правило, основна увага приділяється або варіюванню врожайності залежно від

приналежності поля до форми мезорельєфа і її солярної експозиції (Sharyj et al, 2011; Abdulyvaleev & Troc, 2015), або варіюванню врожайності всередині поля, неоднорідного за мікрорельєфом, (зокрема, у дослідженнях, які пов'язані з точним землеробством), (Foley et al. 2005; Kapustjanichik, 2014; Khoroshev et al., 2018).

Таблиця 1. Регресійна залежність параметрів урожайності кукурудзи від предикторів, що характеризують різноманіття ландшафтного покриття*

Предиктори	Кількісні характеристики тренду варіювання кукурудзи протягом періоду досліджень			
	ухил (<i>slope</i>)	нижня границя (<i>Lower Limit</i>)	верхня границя (<i>Upper Limit</i>)	<i>ED50</i>
Індекс Шеннона (<i>H</i>)	–	–	0,88±0.30	–
H^2	–	–	-0,72±0.31	–
Середня відстань до об'єктів ПЗФ (<i>D</i>)	–	–	0,44±0.20	–
D^2	–	–	-0,52±0.19	–

Примітка * – наведені стандартизовані регресійні коефіцієнти, статистично вірогідні для $p < 0,05$.

Робіт, де б оцінювався вплив індексів ландшафтного різноманіття у великих просторових масштабах на урожайність культур, не знайдено. Отже, урожайність кукурудзи не визначається факторами ландшафтного різноманіття, але, в певній мірі, лімітується ними. Вплив агротехнологічних та агроекономічних, а також кліматичних та ґрунтових факторів на урожайність кукурудзи висвітлено в попередніх наших роботах (Zymarioieva et al., 2019, Zymarioieva, 2019). Ці дослідження присвячені встановленню взаємозв'язку між урожайністю культури та ландшафтним різноманіттям. Є роботи, в яких вказано, що у випадку, коли всі агротехнологічні фактори знаходяться в оптимумі, а кліматичні і ґрунтові фактори відповідають обраному гібриду культури, варіювання урожайності визначається факторами ландшафтного біорізноманіття, що пов'язано з їх здатністю надавати «екосистемні послуги» (Martin et al., 2018). Нами був виявлений вплив ландшафтного різноманіття та відстані до природоохоронних територій на варіювання верхнього рівня урожайності кукурудзи. Закономірність має нелінійний характер, що виражається наявністю оптимального співвідношення ландшафтного різноманіття, за якого спостерігається найвищий рівень максимальної урожайності. Очевидно, що за низького рівня різноманіття та щільності об'єктів ПЗФ зростання цих показників позитивно позначається на врожайності: вона збільшується. Але дуже високий рівень різноманіття, обумовлений переважанням у структурі ландшафтного покриття типів, які є

несприятливими для сільського господарства внаслідок незначної родючості земель, призводить до того, що врожайність, за умов високого різноманіття ландшафту та щільності об'єктів ПЗФ, зменшується. Варіювання рівня максимальної урожайності, що по суті є продукційним потенціалом даної культури, на 49% визначається екологічними факторами, а саме кліматичними і ґрунтовими, та ландшафтно-екологічними різноманіттям територій.

Висновки

Проаналізувавши параметри моделі урожайності кукурудзи, встановили, що найменший рівень врожайності за період досліджень припадає на початок та середину 90-х років минулого століття. Для територій з більшими показниками мінімальної урожайності характерне і більш стрімке нарощення урожайності з часом. Встановлено обернений кореляційний зв'язок між параметрами моделі урожайності кукурудзи, а саме «швидкістю нарощення врожайності» та «часом, необхідним для досягнення половинного, від максимального рівня, зростання урожайності». Показово, що райони, які в 90-х роках ХХ століття характеризувалися найбільшою врожайністю, також, як правило, наразі відзначаються високою урожайністю. Таку стабільність відносної урожайності у конкретних районах можна пов'язати із сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами, які, насамперед, і визначають високі показники урожайності культури. Найбільшими середніми відстанями від адміністративних районів до об'єктів ПЗФ

характеризуються східні та центральні області регіону досліджень. Території з найвищими індексами різноманіття ландшафтного покриття за Шенноном знаходяться на півночі та сході дослідженого регіону. Регресійний аналіз виявив наявність квадратичної залежності між параметром урожайності «верхня межа урожайності» та індексом Шеннона, а також відстанню до природоохоронних об'єктів, що свідчить про наявність оптимального ландшафтного різноманіття, за якого спостерігається найвищий рівень максимальної урожайності культури. Тобто, продукційний потенціал кукурудзи обумовлений на 51% розвитком агротехнології та на 49% впливом екологічних факторів.

Майбутні дослідження будуть присвячені розробці методичних підходів до розрахунку вартості «екосистемних послуг» та дослідженню впливу екологічного біорізноманіття на урожайність кукурудзи на різних просторових рівнях.

References

- Abdulvaleyev, R. R. & Trots, V. B. (2015). Vliyanie relyefa na rezhim uvlazhneniya pochvy i urozhaynost yarovoy pshenitsy i yachmenya [Influence of topography on the regime of soil humidity and the yields of summer wheat and barley]. *Zernovoye khozyaystvo Rossii*, 3, 57–60 [in Russian].
- Arino, O. R. P., Julio, J., Vasileios, K., Sophie, B., Pierre, D. & Eric, V. B. (2012). Global Land Cover Map for 2009 (GlobCover 2009). *PANGAEA*. doi: 10.1594/PANGAEA.787668.
- Bianchi, F., Booij, C. & Tscharrntke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B*, 273, 1715–1727.
- Birkhofer, K., Diehl, E., Andersson, J., Ekroos, J., Früh-Müller, A., Machnikowski, F. ... Smith, H. (2015). Ecosystem services – current challenges and opportunities for ecological research. *Front. Ecol. Evol.*, 2, 87. doi: 10.3389/fevo.2014.00087.
- Boesing, A. L., Nichols, E. & Metzger, J. P. (2017). Effects of landscape structure on avian-mediated insect pest control services: a review. *Landsc Ecol.*, 32 (5), 931–944. doi: 10.1007/s10980-017-0503-1.
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E., Blitzer, E. J. & Kremen, C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14, 922–932.
- CONABIO (2017). Ecosystems and agro-biodiversity across small and large-scale maize production systems, feeder study to the “TEEB for Agriculture and Food”. Retrieved from http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2018/01/Final-Maize-TEEB-report_290817.pdf.
- Cunningham, S., Attwood, S., Bawa, K., Benton, T., Broadhurst, L., Didham, R. ... Lindenmayer, D. (2013). To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 173, 20–27. doi: 10.1016/j.agee.2013.04.007.
- Dainese, M., Poppenborg-Martin, E., Aizen, M., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R. ... Steffan-Dewenter, I. (2019). A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5 (10), eaax0121. doi:10.1101/554170.
- Ekroos, J., Ödman, A., Andersson, G., Birkhofer, K., Herbertsson, L., Klatt, B., ... Smith, H. (2016). Sparing Land for Biodiversity at Multiple Spatial Scales. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, article 145. doi: 10.3389/fevo.2015.00145.
- Foley, J. A., Defries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. ... Snyder, P. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309, 570–574. doi: 10.1126/science.1111772.
- Frankow-Lindberg, B. E., Brophy, C., Collins, R. P. & Connolly, J. (2009). Biodiversity effects on yield and unsown species invasion in a temperate forage ecosystem. *Annals of botany*, 103(6), 913–921. doi: 10.1093/aob/mcp008.
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J. & Hector, A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*. 75, 3–35.
- Johansson, B. (2012). A note on approximating bond returns allowing for both yield change and time passage. Retrieved from <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/92607/>.
- Kapustjanchik, S. Ju. (2014). Landshaftnyy podhod v ocenke agrocenoza yarovoy pshenicy [Landscape approach in the assessment of summer wheat agrocoenosis]. *Permskij agrarnyj vestnik*, 2 (6), 18–23 [in Russian].
- Khoroshev, A. V., Tkach, K. A. & Murtazina, D. U. (2018). Vliyanie landshaftnykh usloviy na urozhaynost zernovykh kultur v stepnoy zone severnogo Kazakhstana [Influence of landscape pattern on productivity of grain crops in the Steppe

- zone of northern Kazakhstan]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. Geografiya*, 3, 62–69 [in Russian].
- Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L. G., Henry, M., Isaacs, R. ... Potts, S. G. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nat. Commun.*, 6, 7414. doi: 10.1038/ncomms8414.
- Mäntylä, E., Klemola, T. & Laaksonen, T. (2011). Birds help plants: a meta-analysis of top-down trophic cascades caused by avian predators. *Oecologia*, 165, 143–151.
- Martin, E., Bumsuk S., Park, C., Reineking, B. & Steffan-Dewenter, I. (2016). Scale-dependent effects of landscape composition and configuration on natural enemy diversity, crop herbivory, and yields. *Ecological Applications*, 26, 448–452. doi: 10.1890/15-0856.
- Mattison, E. H. A. & Norris, K. (2005). Bridging the gaps between agricultural policy, land-use and biodiversity. *Trends Ecol. Evol.*, 11, 610–616. doi: 10.1016/j.tree.2005.08.011.
- Phalan, B., Green, R. & Balmford, A. (2014). Closing Yield Gaps: Perils and Possibilities for Biodiversity Conservation. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological sciences*, 369 (1639), 20120285. doi: 10.1098/rstb.2012.0285.
- Picasso, V. D., Brummer, E. C., Liebman, M., Dixon, P. & Wilsey, B. J. (2008). Crop species diversity affects productivity and weed suppression in perennial polycultures under two management strategies. *Crop Science*, 48, 331–342.
- Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7, 229–252.
- Poniso, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc. R. Soc. B*, 282, 20141396. doi: 10.1098/rspb.2014.1396.
- Poveda, K., Martinez, E., Kersch-Becker, M., Bonilla, M. & Tschardtke, T. (2012). Landscape simplification and altitude affect biodiversity, herbivory and Andean potato yield. *Journal of Applied Ecology*, 49, 513–522. doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02120.x.
- Redlich, S., Steffan-Dewenter, I., Poppenborg Martin, E. & Wende, B. (2018). Landscape heterogeneity rather than crop diversity mediates bird diversity in agricultural landscapes. *PLoS ONE*, 13, doi: 10.1371/journal.pone.0200438.
- Ritz, C., Baty, F., Streibig, J. C. & Gerhard, D. (2015). Dose-Response Analysis Using R. *PLoS ONE*, 10(12), e0146021. doi: 10.1371/journal.pone.0146021.
- Schippers, P., Heide, C. Koelewijn, H., Schouten, M., Smulders, M. J M., Cobben, M. ... Verboom, J. (2015). Landscape diversity enhances the resilience of populations, ecosystems and local economy in rural areas. *Landscape Ecology*, 30, 193–202. doi:10.1007/s10980-014-0136-6.
- Schneider, M. K., Lüscher, G., Jeanneret, P., Arndorfer, M., Ammari, Y., Bailey, D. ... Herzog, F. (2014). Gains to species diversity in organically farmed fields are not propagated at the farm level. *Nat. Commun.*, 5, 4151. doi: 10.1038/ncomms5151.
- Sharyy, P. A., Rukhovich, O. V. & Sharaya, L. S. (2011). Metodologiya analiza prostranstvennoy izmenchivosti kharakteristik urozhaynosti pshenitsy v zavisimosti ot usloviy agrolandshafta [Methodology of analysis of spatial variability in wheat productivity depending on the agrolandscape conditions]. *Agrokimiya*, 11, 57–81 [in Russian].
- Tschardtke, T., Rand, T., Didham, R., Fahrig, L., Batary, P., Bengtsson, J. ... Westphal, C. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes – eight hypotheses. *Biological Reviews*, 87, 661–685.
- Valin, H., Sands, R. D., van der Mensbrugge, D., Nelson, G. C., Ahammad, H., Blanc, E. ... Willenbockel, D. (2014). The future of food demand: understanding differences in economic models. *Agric. Econ.*, 45, 51–67. doi: 10.1111/agec.12089.
- Whelan, C. J., Wenny, D. G. & Marquis, R. J. (2008). Ecosystem services provided by birds. *Ann N Y Acad Sci.*, 1134, 25–60.
- Zymaroieva, A. A., Zhukov, O. V. & Ponomarenko, O. L. (2016). Determining spatial parameters of the ecological niche of *Parus major* (Passeriformes, Paridae) on the base of remote sensing data. *Vestnik zoologii*, 50 (3), 251–258.
- Zymaroieva, A. A. (2019). Otsinka vplyvu zmin klimatu na vrozhainist kukurudzy na terytorii Poliskoi ta Lisostepovoi zon Ukrainy [Assessment of the climate changes impact on the productivity of maize within the Polissya and Forest steppe ecoregions within Ukraine]. *Scientific horizons*, 11 (84), 113–120 [in Ukrainian].
- Zymaroieva, A., Zhukov, O., Romanchuck, L. & Pinkin, A. (2019). Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (6), 1107–1113.