

doi: 10.332491/2663-2144-2019-75-2-58-66

УДК 631.559

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ВАРІАЦІЙНОСТІ УРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ В УКРАЇНІ

А. А. Зимарова*e-mail: nastya.zumaroeva@gmail.com*Житомирський національний агроекологічний університет
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

Метою роботи було встановлення закономірностей просторово-часової варіабельності урожайності кукурудзи на території 10 областей (206 адміністративних районів) у Поліській та Лісостеповій зонах України. З'ясовано, що між середньою урожайністю кукурудзи в Україні та урожайністю у досліджуваному регіоні спостерігається статистично значима кореляція ($r = 0,86$, $p < 0,001$). Отже, незважаючи на те, що для досліджень було обрано лише частину території України, загальні результати та висновки можна апроксимувати на всю її площу. Так, для більшості адміністративних районів України характерна динаміка врожайності кукурудзи, яку можна класифікувати як «стагнація врожайності». Цей результат доводить, що не повною мірою використовується продукційний потенціал території, а також те, що необхідно переглядати стратегії ведення сільського господарства, і, зокрема, вирощування кукурудзи. Аналіз просторової та часової динаміки врожайності кукурудзи показав складний характер процесів, які її визначають. Загальною особливістю змін у часі для всіх адміністративних районів є наявність тренду, який може бути описаний поліномом четвертого ступеня. Особливі точки поліноміальної кривої четвертого порядку можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності. Вільний член поліному вказує на урожайність культури в стартовий період. Стартовий рівень врожайності кукурудзи є просторово залежним і коливається від 19 ц/га до 47 ц/га. Цей показник дозволяє виявити території з найбільш сприятливими агрофізичними умовами для вирощування кукурудзи. Динаміка урожайності, яка може бути пояснена регресією, вказує на те, що агротехнологічні та агроекономічні умови ведення сільськогосподарського виробництва є тотальним фактором, який визначає наявність загального тренду. Коефіцієнт детермінації регресії може бути інтерпретований як показник ролі агротехнологічних та агроекономічних чинників у динаміці врожайності. Найбільш чутливі до даних факторів є північні та західні райони регіону, а найменш – південні.

Ключові слова: кукурудза, врожайність, тренд, динаміка, варіабельність.

Постановка проблеми

Нагальна потреба збільшення виробництва якісних сільськогосподарських продуктів викликана стійкою тенденцією зростання у найближчі десятиліття чисельності людства. Очікується, що глобальний попит на сільськогосподарські культури приблизно до 2050 року збільшиться вдвічі, внаслідок збільшення кількості населення, споживання м'яса і молочних продуктів та використання біопалива [6, 8, 10].

Аграрне виробництво відбувається в умовах глобальних змін клімату та зростаючого тиску на природні екосистеми [2]. Вплив змін клімату також є наслідком зміни в урожайності культур та потребах людства у їжі [7]. Очікується, що кліматичні зміни будуть пов'язані зі збільшенням глобальної середньої температури, змінами патернів опадів і зростанням частоти та

важкості екстремальних метеорологічних явищ [6], що, безумовно, вплине на урожайність сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Урожай сільськогосподарських культур є результатом взаємодії між генетичними особливостями рослин, ґрунтовими властивостями, агротехнікою та кліматичними умовами [4]. Тому врожайність може бути збільшена за допомогою покращення агротехнологій та генетики культур [10]. Але ефективність цих напрямків обмежується зростаючими витратами, пов'язаними з ризиками хвороб та негативного впливу шкідників. Традиційний менеджмент шкідників та хвороб сприяє збільшенню урожайності сільськогосподарських культур, але має певні недоліки. Неспецифічний вплив синтетичних інсектицидів призводить до знищення

нецільових груп організмів і, як наслідок, до порушення природних механізмів контролю чисельності шкідників [11].

Деякі автори припускають, що урожайність багатьох важливих сільськогосподарських культур досягла свого ліміту в деяких регіонах світу [8, 6, 2], що не може не викликати занепокоєння. Зокрема, врожайність може бути стагнаційною або знижуватися для трьох ключових культур – кукурудзи, рису та пшениці, які разом продукують 57% сільськогосподарських калорій у світі [10]. Така динаміка врожайності культур матиме глибокі наслідки для світової продовольчої системи [8].

Хоча деякі автори вже визначили основні глобальні тенденції змін врожайності зернових, і кукурудзи [8], проте, наразі немає робіт, присвячених детальному аналізу просторових та часових закономірностей урожайності кукурудзи в Україні. Проте, такі дослідження національного масштабу дуже важливі, оскільки дають змогу виявити основні тенденції змін врожайності на регіональному рівні і проводити, на їх основі, доцільне управління сільськогосподарськими ландшафтами.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою даної роботи було встановлення закономірностей просторово-часової варіабельності урожайності кукурудзи у Поліський та Лісостеповій зонах України.

Відповідно до поставленої мети передбачалося вирішення наступних завдань:

- встановити та описати загальний тренд, що описує просторово-часову мінливість врожайності кукурудзи на території областей у Поліській та Лісостеповій зонах України;
- виявити регіони України, що мають найбільший продукційний потенціал для вирощування кукурудзи;
- визначити співвідношення факторів динаміки агроекономічної та агроеклогічної природи.

Матеріал та методи дослідження. Дані по урожайності кукурудзи у Поліський та Лісостеповій зонах України представлені Державною службою статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua/>). Відомості охоплюють часовий період з 1991 по 2017 рр. Дані мають характер середньої врожайності культури по адміністративному району. Територія охоплює 206 адміністративних районів

з десяти областей України (Вінницька, Волинська, Житомирська, Київська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська). Інформація про середньорічну врожайність кукурудзи для України була отримана з бази даних FAO (Food and Agriculture Organization) [5].

У якості аналітичної форми тренда ми обирали між многочленами різного порядку [8]. Тренди врожайності були проаналізовані з використанням регресійних моделей зростаючого порядку: постійна модель (константа) (рівняння 1), лінійної моделі (рівняння 2), квадратичної моделі (рівняння 3), кубічної моделі (рівняння 4) і моделі четвертого ступеня (рівняння 5):

$$Y_x = b \quad (1)$$

$$Y_x = b + a_1x \quad (2)$$

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 \quad (3)$$

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (4)$$

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 \quad (5)$$

де: Y_x – врожайність культури в момент часу x ; a_1, a_2, a_3, a_4, b – коефіцієнти.

На підставі обраних параметрів моделі тренди врожайності сільськогосподарських культур можна класифікувати за чотирима основними категоріями [3]: «зростання», «стагнація», «зменшення» і «ніколи не зростало». Ці категорії можуть розглядатися як якісні властивості трендів врожайності. Але важливою є кількісна характеристика тренду у порівнянних умовах.

Якщо, згідно з інформаційним критерієм Акаїке (Akaike Information Criterion (AIC)), пропонується постійна модель (константа), це означає, що співвідношення врожайності із року в рік було постійним або, що «врожайність ніколи не зростала». Коли обрана модель була лінійною, тренд врожайності може бути класифікований на підставі знаку нахилу. Якщо нахил був негативним, це означало, що врожайність завжди зменшувалася, і тому тренд може бути класифікованим як «зменшення врожайності». Якщо нахил лінійного рівняння був позитивним, це означало, що врожайність зростає, і ми класифікували такі області як «збільшення врожайності». У випадках, коли обрана модель була квадратичною, і якщо квадратичний член був додатним, то тренд класифікувався як «збільшення врожайності». Якщо ж квадратичний член був негативним,

тренд класифікувався як «стагнація врожайності». Коли вибрана модель була рівнянням четвертого ступеня, тренд був класифікований як «стагнація врожайності».

Інформаційний критерій Акаїке (AIC) був використаний для оцінки ймовірності статистичної моделі для спостережуваних даних, і обчислений AIC (рівняння 6) для кожної з п'яти моделей (рівняння 1–5):

$$AIC = n \log \left(\frac{ss}{n} \right) + 2p, \quad (6)$$

де ss – залишкова сума квадратів, n – розмір вибірки, а p – кількість параметрів.

Як найкраща обиралася та модель, яка має мінімальний AIC серед усіх інших моделей, оскільки вона найбільш точно репрезентує тренд врожайності для даного адміністративного району. Всі розрахунки та аналіз даних були виконані з використанням R v 3.0.2 [9].

Кожен параметр лінійної моделі може незалежно інтерпретуватися таким чином, що йому можна надати чіткий фізичний сенс. Величина кута нахилу лінії регресії може бути представлена просторово у вигляді карт. Це

дозволяє відповідні коефіцієнти розглядати як незалежні змінні і досліджувати їх поведінку в залежності від інших змінних довкілля, або досліджувати особливості їх просторової мінливості. Коефіцієнти поліномів вищого порядку, окрім вільного члена, не можуть бути інтерпретовані змістовно. Поліноми нижчого порядку можна розглядати як спрощений варіант поліному вищого порядку.

Остаточний тренд врожайності в межах досліджуваної області найкраще описується поліномом четвертого порядку. Тому, на наступному етапі аналізу, з метою кількісного порівняння, тренди врожайності в усіх адміністративних районах описувалися поліномами четвертого порядку. Отже, було обрано характерні точки поліномів четвертого порядку: константа (вільний член), максимальна швидкість зменшення врожайності у діапазоні між точками максимуму і мінімуму, максимальна швидкість зростання врожайності в діапазоні між мінімумом і другим максимумом (рис. 1).

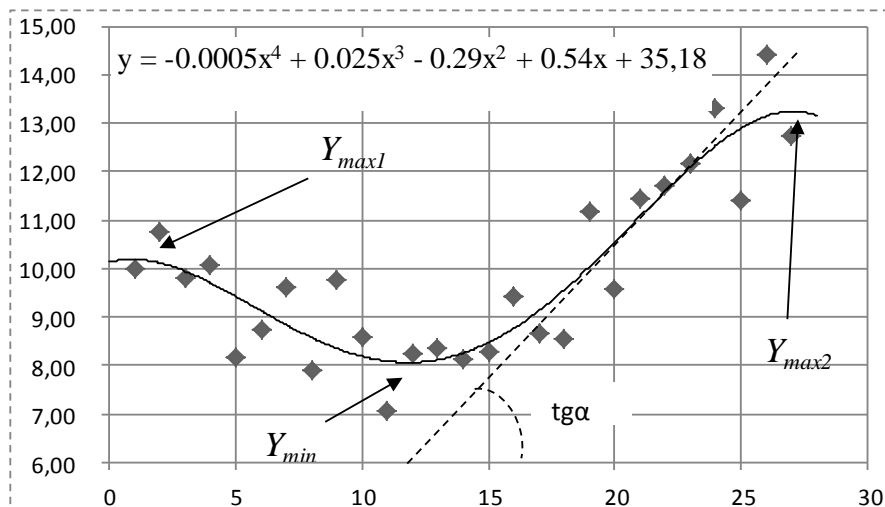


Рис. 1. Типова динаміка урожайності кукурудзи протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

Умовні позначки: вісь абсцис – час (1 – 1991 р., 27 – 2017 р.); вісь ординат – урожайність, ц/га (у логарифмованому масштабі); b – вільний член у рівнянні поліному; Y_{min} – значення поліному в точці локального мінімуму; Y_{Max} – значення поліному в точках локальних максимумів; $tg\alpha$ – максимальна швидкість нарощування урожаю у часі між мінімумом та максимумом, тангенс кута нахилу дотичної до кривої поліному в точці

перегину (аналогічно максимальна швидкість зниження врожаю на низхідній гілці)

Для кількісної оцінки характеристичних точок виконуються наступні розрахунки.

Диференціювання поліному четвертого порядку дає змогу встановити швидкість зміни врожайності:

$$Y_x' = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + 4a_4x^3. \quad (7)$$

Точки перегину функції знаходяться там, де друга похідна дорівнює нулю:

$$Y_x'' = 2a_2 + 6a_3 + 12a_4^2 = 0. \quad (8)$$

Відповідне квадратичне рівняння має два корені:

$$x_{1,2} = \frac{-6a_3 \pm \sqrt{36a_3^2 - 96a_4a_2}}{24a_4}. \quad (9)$$

Підставивши корені рівняння (8) в рівняння (7), отримаємо максимальні показники швидкості зменшення і збільшення врожайності в межах досліджуваного періоду. Ці індикатори характерні для поліному четвертого порядку.

Статистичний аналіз виконаний за допомогою програмного продукту Statistica 10. Для обчислення глобального коефіцієнта просторової автокореляції застосована статистика I-Морана, яка була обчислена із застосуванням програми Geoda095i

(<http://www.geoda.uiuc.edu/>). Просторова база даних була створена в ArcGIS 10.2.

Результати досліджень

Згідно з даними Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO), середньорічна врожайність кукурудзи в Україні варіювалася від 23,6 (у 1994 році) до 66,0 (у 2016 році) ц/га, з середнім значенням 40,5 ц/га і стандартним відхиленням 13,9, протягом 27-річного періоду між 1991 і 2017 роками. Згідно з нашими даними на території дослідженого регіону України середньорічна врожайність кукурудзи коливалася від 28,5 (у 1999 році) до 48,6 (у 2013 році) ц/га, середнє значення 38,1 ц/га і стандартне відхилення 7,0 протягом 27-річного періоду між 1991 р. і 2017 (рис. 2).

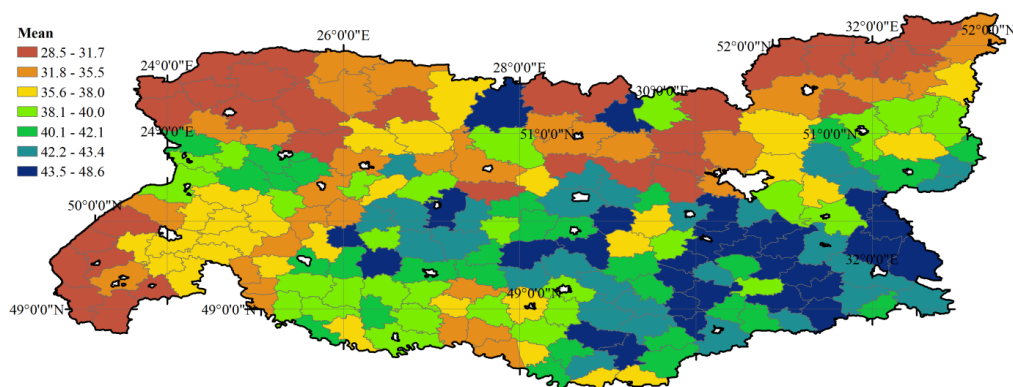


Рис. 2. Середній рівень урожайності кукурудзи у досліджуваному регіоні України

Між середньою урожайністю кукурудзи в Україні та урожайністю у досліджуваному регіоні спостерігається статистично значима кореляція ($r = 0,86$, $p < 0,001$), (рис. 3, Б). Отримані дані свідчать про те, що загальні

результати та висновки можна апроксимувати на всю площу України, незважаючи на те, що для досліджень було обрано лише частину її території.

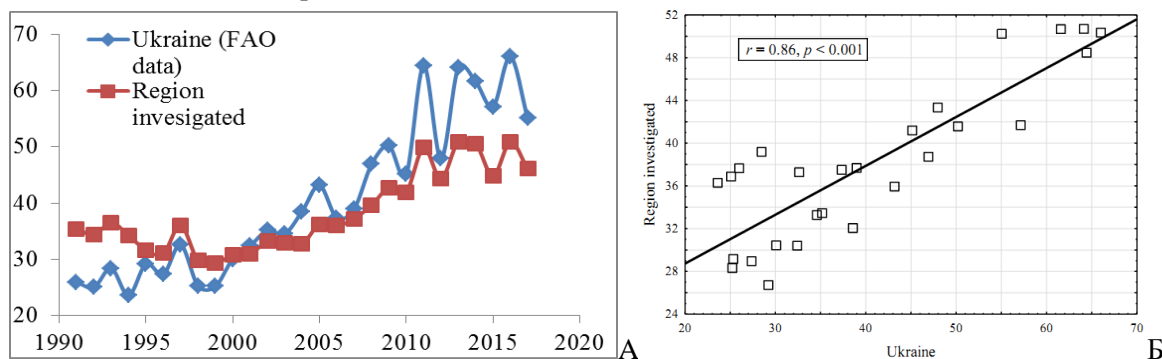


Рис. 3. Динаміка врожайності кукурудзи за період 1992–2016 рр. в Україні та в досліджуваному регіоні (ц/га) (А); діаграма розкиду врожайності кукурудзи в Україні проти врожайності кукурудзи у досліджуваному регіоні (Б)

Встановлено, що більшість типів динаміки урожайності кукурудзи в адміністративних районах можуть бути описані поліномом четвертого порядку (рис. 4). Поліном четвертого порядку найкраще описує динаміку врожайності кукурудзи у 160 адміністративних районах (77,7% від загального обсягу). Отже, для більшості адміністративних районів характерна

динаміка врожайності кукурудзи, яку можна класифікувати як «стагнація врожайності». Цей результат доводить, що не повною мірою використовується продукційний потенціал території, а також те, що необхідно переглядати стратегії ведення сільського господарства, і, зокрема вирощування кукурудзи.

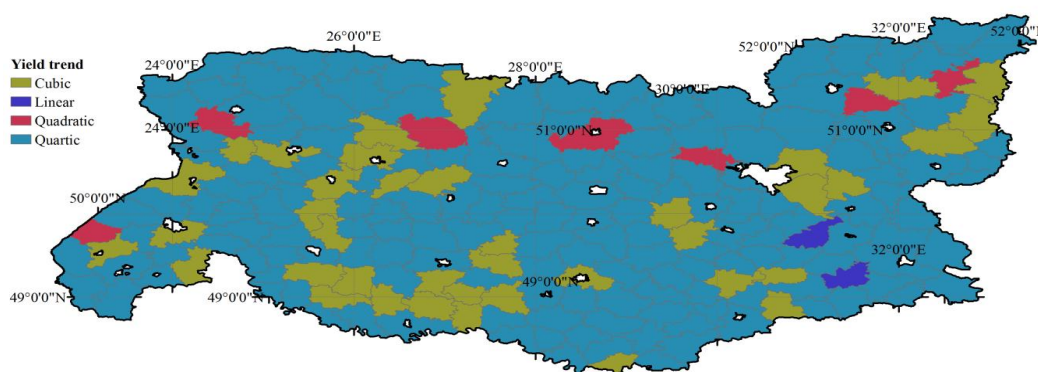


Рис. 4. Просторове варіювання типів динаміки врожайності кукурудзи

Оскільки остаточну динаміку усереднених даних врожайності кукурудзи в досліджуваному регіоні можна охарактеризувати поліномом четвертого порядку, то динаміку у кожному адміністративному районі можна визначити за допомогою трьох критичних точок, які характерні для даної моделі: двох локальних максимумів і одного локального мінімуму. Динаміку врожайності кукурудзи можна описати і інтерпретувати, використовуючи характеристики точок перегину полінома четвертого порядку (рис. 1). Тренд врожайності кукурудзи описується також вільним членом поліноміального рівняння, максимальною швидкістю зниження врожайності, максимальною швидкістю зростання врожайності, що відбуваються в точках

перегину, і коефіцієнтом детермінації регресійної моделі.

Вільний член поліному – константа b – вказує на урожайність культури в стартовий період. Якщо прийняти, що $x = 0$ на початку періоду досліджень, то вільний член буде вказувати на рівень урожайності у цей час. Таким чином, константа b вказує на стартові умови для описання протікання процесу та є самостійним параметром часової динаміки зміни урожайності сільськогосподарської культури у часі.

Стартовий рівень врожайності кукурудзи є просторово залежним (I -статистика Морана 0.19, $p < 0.001$) і коливається від 19 ц/га до 47 ц/га (рис. 5).

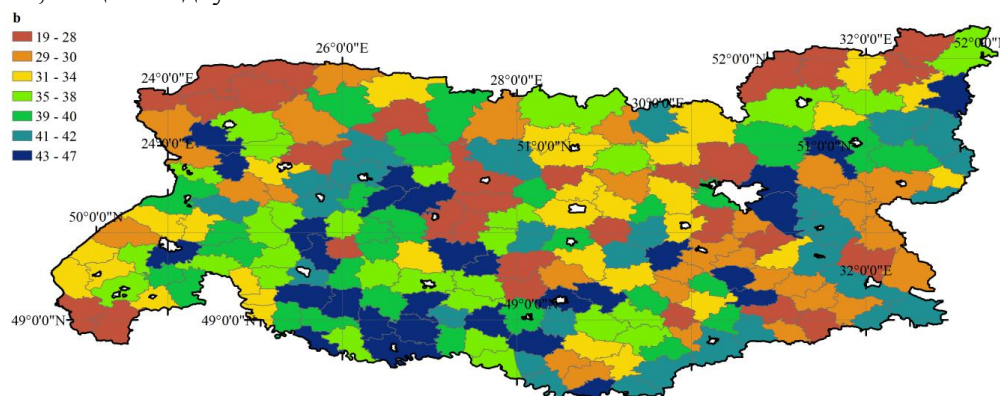


Рис. 5. Просторове варіювання рівня врожайності кукурудзи у стартовий період досліджень (константа b рівняння регресії)

Цей показник дозволяє виявити території з найбільш сприятливими агрофізичними умовами для вирощування кукурудзи. Кукурудза має підвищені вимоги до вологи, тепла, світла, поживних речовин та інших факторів навколишнього середовища. Її гібриди значно відрізняються один від одного за вегетаційним періодом, звідси і різні вимоги до вищевказаних факторів. При застосуванні агротехнічних прийомів з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей зони, екологічних вимог, кукурудза забезпечує отримання максимального врожаю.

Значення функції в точці локального мінімуму Y_{Min} вказує на «дно» динаміки урожайності культури, а показник Y_{Max} вказує на найбільшу врожайність кукурудзи протягом періоду досліджень. З огляду на загальний вигляд тренду врожайності (рис. 1) можна стверджувати, що він має характер економічного циклу з його фазами: підйом, пік, спад, дно. Так, «дно» продуктивності кукурудзи (Y_{Min}) співпадає з соціально-економічною кризою 90-х років, яка виникла як продовження процесу розпаду СРСР. Це спричинило масові соціально-економічні та інституційні зміни, що призвело до значного занепаду сільськогосподарських земель [1]. На початку 2000 років кризові явища у сільському господарстві закінчуються та формуються передумови для стійкого розвитку, що проявляє

себе майже у лінійному зростанні урожайності кукурудзи, аж до настання максимуму цього показника наприкінці 2010-х років. Оскільки локальні максимуми знаходяться в зонах, близьких до краю діапазону досліджуваного періоду (рис.1), то їх точне визначення не має сенсу. У багатьох випадках максимуми виходять за межі періоду дослідження, тому значення функції в локальних максимумах ми не використовуємо як характеристичні показники динаміки врожайності кукурудзи.

Між локальним максимумом та мінімумом, з одного боку, та мінімумом і максимумом урожайності – з іншого, відбувається перегин поліноміальної кривої, де друга похідна дорівнює нулю (рис.1). У цих точках швидкість зниження або зростання врожаю стає найбільшою, а відповідна динаміка може бути апроксимована лінійною залежністю. Кут нахилу дотичної до лінії регресії у точці перетину вказує на максимальну швидкість зниження або зростання врожаю, відповідно, тому він може бути характеристичним показником динаміки врожайності [1].

Показники максимальної швидкості зниження та максимальної швидкості зростання врожайності можуть бути використані як маркери стійкості агроєкосистеми до зовнішніх факторів (рис. 6, 7).

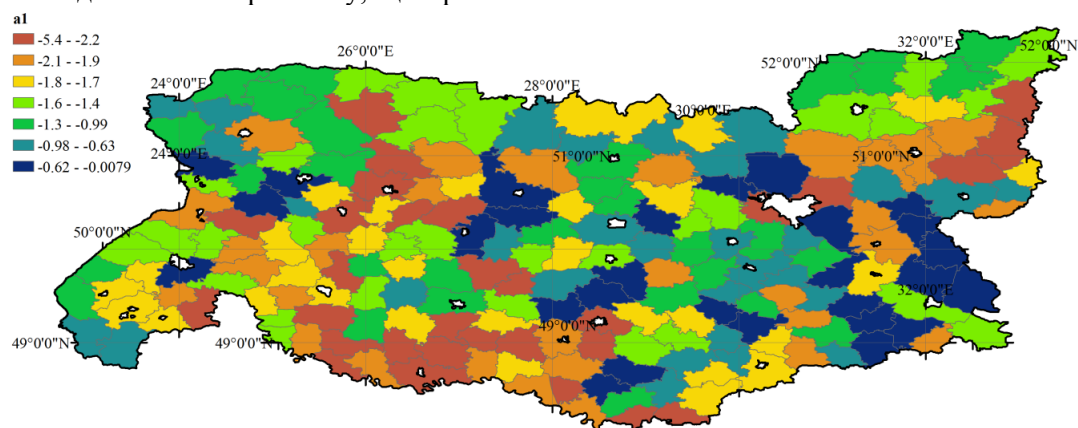


Рис. 4. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності кукурудзи

Варіювання швидкості зниження врожайності кукурудзи є просторово залежним (статистика I -Moran – 0.21, $p < 0.001$).

Швидкість зростання врожайності не має значимого просторового варіювання (I -Moran статистика –0.005, $p = 0.48$).

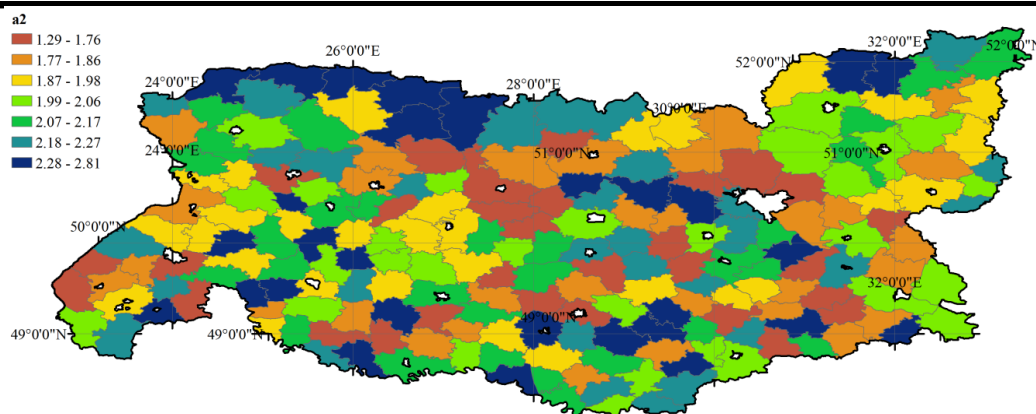


Рис. 7. Просторове варіювання максимальної швидкості зростання врожайності кукурудзи

Райони, де врожайність швидко знижується за настання несприятливих умов, знаходяться на південному заході та північному сході дослідженого регіону. На противагу цьому, на південному сході та в центрі знаходяться райони більш стабільні з огляду на врожайність кукурудзи (рис. 6).

Якість описання динаміки врожайності кукурудзи поліномом четвертого порядку може бути охарактеризована за допомогою коефіцієнта детермінації, який в наших умовах приймає значення від 0,62 до 0,93 (рис. 8). Отже, ступінь відповідності обраної регресійної моделі реальним даним надзвичайно висока.

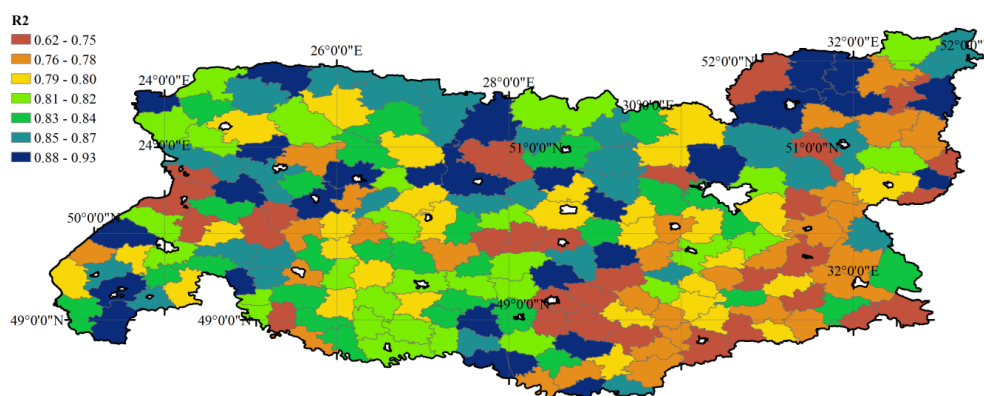


Рис. 8. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі

Поліном має характер глобальної регресії. Можливість існування такої залежності виникає як результат дії постійного зовнішнього чинника, який впливає на урожайність сільськогосподарських культур. Характер загальної динаміки урожайності, який може бути пояснений регресією, вказує на те, що таким чинником є агротехнологічні та агроекологічні умови ведення сільськогосподарського виробництва. Тому коефіцієнт детермінації може бути інтерпретований як показник ролі агротехнологічних та агроекономічних чинників у динаміці врожайності. Одержані дані свідчать про те, що ці аспекти урожайності мають найважливіше значення. Варіювання коефіцієнту детермінації не є просторово залежним (I -

статистика Морана 0.07, $p = 0.026$). Найбільш чутливі до агротехнологічних та агроекономічних чинників є північні та західні райони регіону, а найменш – південні.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Між середньою урожайністю кукурудзи в Україні та урожайністю у досліджуваному регіоні спостерігається статистично значима кореляція ($r = 0,86$, $p < 0,001$). Отримані дані свідчать про те, що загальні результати та висновки можна апроксимувати на всю площу України, незважаючи на те, що для досліджень було обрано лише частину її території.

2. Для більшості адміністративних районів України характерна динаміка врожайності кукурудзи, яку можна класифікувати як «стагнація врожайності». Цей результат доводить, що не повною мірою використовується продукційний потенціал території, а також те, що необхідно переглядати стратегії ведення сільського господарства, і, зокрема, вирощування кукурудзи.

3. Аналіз просторової та часової динаміки врожайності кукурудзи показав складний характер процесів, які її визначають. Загальною особливістю змін у часі для всіх адміністративних районів є наявність тренду, який може бути описаний поліномом четвертого ступеня.

4. Особливі точки поліноміальної кривої четвертого порядку можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності. Вільний член поліному вказує на урожайність культури в стартовий період. Динаміка урожайності, яка може бути пояснена регресією, вказує на те, що агротехнологічні та агроекономічні умови ведення сільськогосподарського виробництва є тотальним фактором, який визначає наявність загального тренду. Коефіцієнт детермінації регресії загального тренду може бути інтерпретований як показник ролі агротехнологічних та агроекономічних чинників у динаміці врожайності. Найбільш чутливі до цих чинників є північні та західні райони регіону, а найменш – південні.

У подальших наших дослідженнях планується з'ясувати природу основних факторів, що впливають на урожайність кукурудзи та на їх основі провести агроекологічне зонування території України.

References

1. Zymaroieva, A. A. (2018). Osoblyvosti prostoro-vo-chasovoho trendu vrozhaivosti zernovykh i zernobovykh kultur u Poliskii ta Lisostepovii zonakh Ukrainy [Features of the spatiotemporal trend of grain and grain legumes yields in forest and forest-prairie zone of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, 66–73. doi: 10.31210/visnyk2018.03.10 (in Ukrainian).

2. Brisson, N. (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 119, 201–212.

3. Chen, H. (2018). The spatial patterns in long-term temporal trends of three major crops'

yields in Japan. *Plant Production Science*, 21 (3), 177–185. doi:

<https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1459752>.

4. Diacono, M., Castrignano, A., Troccoli, A., DeBenedetto, D., Basso, B. & Rubino, P. (2012). Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. *Field Crops Research*, 131, 49–62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.004>.

5. FAOSTAT (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from www.fao.org.

6. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... Toulmin, C. (2010). Foodsecurity: thechallengeoffeeding 9 billionpeople. *Science*, 327 (5967), 812–818. doi:10.1126/science.1185383

7. Li, L. H. C. (2015). Assessing the spatiotemporal dynamics of crop yields and exploring the factors affecting yield synchrony. A Thesis Submitted to the School of Graduate Studies in Partial Fulfillment of the Requirements for the degree Master of Science. Hamilton, Ontario: McMaster University.

8. Ray, D. K., Ramankutty, N., Mueller, N. D., West, P. C. & Foley, J. A. (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*, 3, 12–93. doi:10.1038/ncomms2296.

9. Foundation for Statistical Computing (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.

10. Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 108, 20260–20264. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>.

11. Zhukov, O. V., Kunah, O. M. & Dubinina, Y. Y. (2017). Sensitivity and resistance of communities: evaluation on the example of the influence of edaphic, vegetation and spatial factors on soil macrofauna. *Biosystems Diversity*, 25 (4), 328–341. doi:10.15421/011750.

SPATIO-TEMPORAL PATTERNS OF MAIZE YIELD VARIATION WITHIN UKRAINE

A. Zymaroieva

e-mail: nastya.zymaroieva@gmail.com

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

The aim of this research was to characterize the spatial and temporal yields variation of maize in the

10 areas (206 administrative districts) in Polissya and Forest-steppe ecoregions within Ukraine. Between the average yield of maize in Ukraine and yield in the investigated area there is a statistically significant correlation ($r = 0,86$, $p < 0,001$). Thus, despite the fact that only part of the territory of Ukraine was selected for research, general results and conclusions can be approximated to its entire area. The dynamics of maize yields classified as "crop yield stagnation" is typical for most administrative regions of Ukraine. This result shows that the production potential of the territory is not fully utilized, as well as the agricultural strategies needed to be reviewed, and in particular, the cultivation of the maize. Analysis of the spatial and temporal dynamics of maize yield showed the complex nature of the processes that determine it. A common feature of time changes of maize yields for all administrative districts is the presence of the trend that can be described by a fourth degree polynomial. The characteristic points of the fourth degree polynomial curve can be meaningfully interpreted and used to describe the yields dynamic. The absolute term of the polynomial indicates the crop yield in the starting period. The starting level of maize yield is spatially dependent and ranges from 19 dt/ha to 47 dt/ha. This indicator reveals areas with the most favorable agro-physical conditions for maize cultivation. The yield dynamics, which may be explained by the regression, indicates that agro-technological and agro-economic conditions for agricultural production are the total factor that determines the presence of a general trend. The determination coefficient of the regression pattern can be interpreted as an indicator of the role of agro-technological and agro-economic factors in yield dynamics. The most sensitive to these factors is the northern and western regions of the region, and the least - southern.

Keywords: maize, corn, yield, trend, dynamics, variability.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВАРЬИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ КУКУРУЗЫ В УКРАИНЕ

А. А. Зимарова

e-mail: nastya.zymaroeva@gmail.com

Житомирский национальный
агроэкологический университет
бульвар Старый, 7, г. Житомир, 10008, Украина

Целью работы было установление закономерностей пространственно-временной вариабельности урожайности кукурузы на

территории 10 областей (206 административных районов) в Полесской и Лесостепной зонах Украины. Установлено, что между средней урожайностью кукурузы в Украине и урожайностью в исследуемом регионе наблюдается статистически значимая корреляция ($r = 0,86$, $p < 0,001$). Итак, несмотря на то, что для исследований была выбрана только часть территории Украины, общие результаты и выводы можно аппроксимировать на всю ее площадь. Для большинства административных районов Украины характерна динамика урожайности кукурузы, которую можно классифицировать как «стагнация урожайности». Этот результат доказывает, что не в полной мере используется производственный потенциал территории, а также то, что необходимо пересматривать стратегии ведения сельского хозяйства и, в частности, выращивания кукурузы. Анализ пространственной и временной динамики урожайности кукурузы показал сложный характер процессов, которые ее определяют. Общей особенностью изменений во времени для всех административных районов является наличие тренда, который может быть описан полиномом четвертой степени. Особые точки полиномиальной кривой четвертой степени могут быть содержательно интерпретированы и использованы для описания динамики урожайности. Свободный член полинома указывает на урожайность культуры в стартовый период. Стартовый уровень урожайности кукурузы является пространственно зависимым и колеблется от 19 ц/га до 47 ц/га. Этот показатель позволяет выявить территории с наиболее благоприятными агрофизическими условиями для выращивания кукурузы. Динамика урожайности, которая может быть объяснена регрессией, указывает на то, что агротехнологические и агроэкономические условия ведения сельскохозяйственного производства являются тотальным фактором, определяющим наличие общего тренда. Коэффициент детерминации регрессии может быть интерпретирован как показатель роли агротехнологических и агроэкономических факторов в динамике урожайности. Наиболее чувствительны к данным факторам северные и западные районы региона, а наименее – южные.

Ключевые слова: кукуруза, урожайность, тренд, динамика, вариабельность.