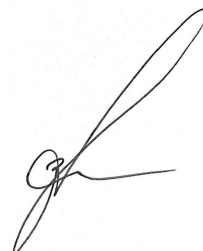


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

ЗИМАРОЄВА АНАСТАСІЯ АНАТОЛІЇВНА



УДК 631.559

**АГРОЕКОЛОГІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ
ДИНАМІКИ ПРОДУКЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЛАНДШАФТІВ ПОЛІСЬКОЇ ТА
ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОН УКРАЇНИ**

03.00.16 – екологія

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора сільськогосподарських наук

Дніпро – 2024

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Робота виконана у Поліському національному університеті.

Офіційні доктор сільськогосподарських наук, професор
опоненти: **Разанов Сергій Федорович,**
професор кафедри екології Львівського національного
університету природокористування

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий
співробітник

Мельничук Федір Степанович,
головний науковий співробітник відділу використання
меліорованих земель Інституту водних проблем і
меліорації

доктор сільськогосподарських наук, професор
Мудрак Олександр Васильович,
завідувач кафедри екології, природничих та
математичних наук Комунального закладу вищої освіти
«Вінницька академія безперервної освіти».

Захист дисертації відбудеться 21 червня 2024 року о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.804.02 у Дніпровському державному аграрно-економічному університеті за адресою: 49600, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Дніпровського державного аграрно-економічного університету за адресою: 49600, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент



Володимир КОЗЕЧКО

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Продукційний потенціал агроландшафтів є ключовим показником наукової оцінки вирощування сільськогосподарських культур та збалансованого використання земельних ресурсів. Концепція продукційного потенціалу агроландшафтів ґрунтується на урожайності сільськогосподарських культур як динамічному показнику, який відображає поточний стан агроєкосистеми та складні зв'язки між її компонентами. До глобальних чинників, які визначають урожайність та її варіювання відносять технологію виробництва, генетичний потенціал культур та екологічні фактори. Серед останніх, визначальними і найбільш впливовими є клімат (погода) та ґрунтові умови. Тому дослідження просторово-часового варіювання урожайності культур за впливу агроєкологічних факторів є основою для встановлення динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів, що є досить важливим як з точки зору побудови прогнозних моделей, так і з точки зору управління сільськогосподарськими угіддями. Деяким аспектам просторово-часового варіювання урожайності сільськогосподарських культур присвячені наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених: В. М. Обухова (1949), Ю. Л. Раунера (1981), Т.Ф. Платонової (1983), Х. Г. Тоомінга (1984), В. М. Пасова (1986), В.В. Медведєва (1997), А.М. Польового (2011), О. Г. Тараріко (2012), О. В. Жукова (2017), а також В. Eghball (1997), D. B Lobell (2010, 2011), D. Tilman (2011), Т. М. Osborne (2013), М. С. Anderson (2013), D. K. Ray (2012), R. Muller (2013) та інші. Проте, комплексна оцінка продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів України, наразі, не проводилася.

Для встановлення загальних закономірностей варіювання продукційного потенціалу агроландшафтів України необхідні довгострокові і широкомасштабні дослідження, що робить обрану тему безперечно актуальною. Це визначає практичне значення проведених досліджень, оскільки, наразі, мало що відомо про детермінанти просторово-часової мінливості продукційного потенціалу України, хоча ця інформація є вкрай необхідною для реалізації будь-якої стратегії управління аграрним сектором держави.

Однією з найважливіших основ планування сталого розвитку сільськогосподарського виробництва є агроєкологічне районування, різноманітні методичні підходи до проведення якого розробляли вітчизняні вчені: О. Г. Мордвінов (1995), О. М. Маринич (2006), Н. М. Міщенко та К. В. Гуменюк (2006), П. В. Писаренко (2009), Д. С. Добряк та Д. І. Канаш (2009), О. І. Фурдичко (2012), Т. М. Єгорова (2014), В. І. Пічура (2015) та інші. Але у агроєкологічному районуванні території України немає єдиного методичного підходу, який би повною мірою враховував екологічні аспекти ведення сільськогосподарського виробництва. В умовах постійних змін навколишнього середовища, застосування просторово-часової динаміки продукційного потенціалу для агроєкологічного зонування є досить перспективним.

Відповідно до Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року (Додаток до

Постанови Кабінету міністрів України від 7 вересня 2011 р., №942), проведене дослідження є засобом вирішення однієї з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави, а саме: «Моделювання та прогнозування стану навколишнього природного середовища, технології подолання негативних впливів на нього»

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Дисертаційне дослідження виконано у рамках науково-дослідної теми «Моделювання продукційного потенціалу агроєкосистем Поліської та Лісостепової зон України» (№ держреєстрації 01191103684), де керівником є Зимароєва А. А. Питання дослідження тваринного світу агроєкосистем входило до складу ініціативної науково-дослідної тематики кафедри експлуатації лісових ресурсів Поліського національного університету: «Хребетні та безхребетні тварини Центрального Полісся у лісових і паркових насадженнях різної структури. Математичне моделювання динаміки прогнозування» (№ держреєстрації 0112U007684). Дослідження можливостей застосування ГІС технологій для моніторингу ландшафтного різноманіття на території об'єкта природно-заповідного фонду – Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника було реалізовано у межах госпдоговірних тем: «Підготовка фахівців Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника до роботи з геоінформаційними системами», за договором № 134/19 та «Створення геоінформаційної системи Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника», № 118/19. Дослідження стали частиною науково-технічної розробки «Оцінка антропогенного впливу на довкілля за показником гемеробії» (2021-2022), що виконувалася на замовлення МОН України (Наказ МОН України від 14 червня 2021 року № 672). Дослідження агроєкологічних детермінантів врожайності культур буде продовжено у рамках міжнародного грантового проєкту HORIZON-CL6-2022-FARM2FORK-02-two-stage (Europe) у складі консорціуму AGROSUS з проєктом «Agroecological strategies for sustainable weed management in key European crops», (термін реалізації 2023-2026 pp.) (<https://cutt.ly/z3iAIl0>), де Зимароєва А. А. є виконавцем. Проблема післявоєнного відновлення продукційного потенціалу сільськогосподарських земель буде вивчатися при виконанні міжнародного грантового проєкту “Plants for Peace” (2023 – 2025) від Novo Nordisk Foundation Challenge Grant (NNF23SA0086872), де дисертант є лідером від української команди вчених.

Зимароєва А. А. є лауреатом премії Верховної Ради України молодим ученим за роботу «Моделювання просторово-часового варіювання продукційного потенціалу та біорізноманіття агроландшафтів Поліської та Лісостепової зон України» (Постанова ВРУ № 2833-IX від 13.12.2022 року).

Мета дослідження: встановлення закономірностей просторово-часового варіювання продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів у Поліській та Лісостеповій зонах України.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- встановити оптимальну математичну форму загального тренду просторово-часової мінливості урожайності основних сільськогосподарських культур на території Поліської і Лісостепової зон України вродовж 1991–2017 рр.;

- обґрунтувати застосування особливих точок поліноміальної кривої для змістовної інтерпретації динаміки урожайності культур та для картування з метою визначення територій, які мають найбільший продукційний потенціал для вирощування конкретних культур в умовах мінливого агроекологічного середовища;

- розробити методичні підходи для оцінки співвідношення факторів динаміки урожайності культур агроекономічної і агроекологічної природи та виявити чинники, які лімітують розгортання агроекологічного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів;

- визначити варіювання урожайності культур у часі коливальної природи та оцінити модулюючий вплив комплексу агроекологічних факторів на перебіг автоколивальних процесів;

- обґрунтувати ефективність дослідження регіональних особливостей часового варіювання урожайності культур за допомогою географічно зваженого аналізу головних компонент;

- розробити методику агродинамічного районування, яка повинна стати основою для стратегічного управління агроекологічним потенціалом територій в умовах глобальних змін клімату;

- оцінити роль кліматичних умов, які визначають режими просторово-часової динаміки урожайності сільськогосподарських культур та виділити просторово залежні фактори кліматичної природи, які лімітують розгортання продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів;

- з'ясувати роль едафічних предикторів у формуванні просторово-часових патернів показників урожайності сільськогосподарських культур;

- довести роль ландшафтно-екологічного та біотичного різноманіття у варіюванні параметрів урожайності сільськогосподарських культур.

Об'єкт дослідження – продукційний потенціал агроландшафтів Поліської і Лісостепової зон України.

Предмет дослідження – моделі просторово-часового варіювання продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської і Лісостепової зон України.

Методи досліджень: загальнонаукові (аналізу, синтезу, індукції, дедукції, абстракції, аналогії і моделювання) – для оцінки взаємозв'язку між агроекологічними факторами впливу та просторово-часовими аспектами варіювання врожайності сільськогосподарських культур; методи математичної і багатовимірної статистики: аналіз часових рядів – для встановлення та обрахунку параметрів моделей просторового-часового варіювання врожайності; аналіз головних компонент (РСА) – для встановлення наявності просторової компоненти варіювання залишків регресійних моделей урожайності культур; географічно-зважений аналіз головних компонент (GWPCA) – для відображення локальних патернів часового варіювання урожайності культур;

статистика *I*-Морана – для обчислення глобального коефіцієнта просторової автокореляції; регресійний аналіз – для статистичної оцінки екологічних зв'язків; кластерний аналіз – для встановлення агродинамічних зон; ГІС – для створення і візуалізації просторової бази даних; ДЗЗ-технології – для встановлення просторового варіювання ґрунтових умов і біокліматичних змінних. Для створення карти різноманіття типів ландшафтного покриву застосовано карту GlobCover. Статистичні розрахунки проведені за допомогою програми Statistica 10.0 і програмної оболонки Project R "R: A Language and Environment for Statistical Computing" (<http://www.R-project.org/>), геостатистичні розрахунки проведені за допомогою програми Geoda095i, ГІС-база даних підготовлена за допомогою ArcGIS 10.0.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- встановлені закономірності просторово-часового варіювання врожайності основних сільськогосподарських культур на території адміністративних районів у межах 10 областей Поліської і Лісостепової зон України;
- розроблені методичні підходи для оцінки внеску факторів агроекологічної і агроекономічної природи у варіювання урожайності культур;
- виявлений багатовимірний характер агроекологічних зон як динамічних у просторі та у часі утворень;
- розроблена концепція агродинамічного районування територій як сукупність методів для оцінки та ідентифікації продукційного потенціалу сільськогосподарських територій в умовах глобальних змін клімату;
- виявлено основні агроекологічні детермінанти продукційного потенціалу агроландшафтів Поліської і Лісостепової зон;
- встановлено патерни взаємодії між факторами ландшафтного різноманіття та урожайністю сільськогосподарських культур у великих просторових масштабах.

Удосконалено:

- концепцію продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів;
- методику картування територій за рівнем їх продукційного потенціалу;
- концепцію агроекологічного зонування території Поліської і Лісостепової зон;
- прикладні аспекти застосування ГІС-технологій для моніторингу і прогнозування продукційного потенціалу територій;

Набули подальшого розвитку:

- статистичні методики відокремлення агроекономічних аспектів варіювання урожайності культур від агроекологічних;
- дослідження продукційного потенціалу території України;
- концепція закону мінімуму Лібіха;
- уявлення про вплив зміни клімату на урожайність культур на території Поліської та Лісостепової зон України.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи розвивають просторово-часову агроекологію як цілісний напрямок та можуть бути застосовані для наукового обґрунтування заходів з управління посівами на

території Поліської і Лісостепової зон України. Принципи та методи розроблені у дисертації лягли в основу моделювання продукційного потенціалу агроландшафтів територій дослідженого регіону. Дослідження детермінантів просторово-часових трендів урожайності культур надає практичні інструменти для екологічної оцінки сільськогосподарських ландшафтів та їх потенціалу для вирощування конкретних культур.

У роботі розроблена і апробована методика агродинамічного районування території на основі динамічних аспектів варіювання урожайності сільськогосподарських культур. Цей методичний прийом має значне практичне значення і є принципово іншим, ніж класичне зонування території на основі загального рівня урожайності сільськогосподарських культур. Розроблений нами методичний підхід більше відповідає сучасним вимогам, оскільки у ньому враховані різноманітні аспекти варіювання урожайності, які є неминучими в умовах глобальних змін клімату та трансформації екосистем.

Проведені дослідження можуть стати відправною точкою для моделювання продукційного потенціалу агроекосистем під впливом зміни клімату і деградаційних процесів у ґрунтах. Отримані результати також можуть бути використані при обґрунтуванні створення нових об'єктів природно-заповідного фонду або природних осередків біорізноманіття поблизу агроландшафтів у зв'язку з їх важливими «екосистемними послугами». Більш того, на основі отриманих статистичних закономірностей, вищезгадані «екосистемні послуги» можуть бути економічно обраховані.

Основні теоретичні положення й матеріали дисертації застосовуються при викладанні освітніх компонентів «Загальна екологія», «Агроєкологія», «Екологічні стратегії збереження ландшафтного та біологічного різноманіття», «Методологія та організація наукових досліджень», «Дистанційне зондування Землі», «ГІС в екології», «Геоінформаційні технології», «Інноваційні технології в рослинництві» у Поліському національному університеті (акт про впровадження від 8 січня 2024 р.). Наукові положення і результати досліджень взяті до впровадження Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України (Міндовкілля) (довідка про впровадження від 26 лютого 2024 року), а також впроваджені у виробничу діяльність Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника (довідка про впровадження від 15 лютого 2024 р.), Управління екології та природних ресурсів Житомирської обласної державної адміністрації (довідка про впровадження від 15 лютого 2024 р.), Державної екологічної інспекції Поліського округу (довідка про впровадження від 26 грудня 2023 року).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним завершеним дослідженням, результати якого отримані здобувачем особисто. Авторкою безпосередньо визначено основні завдання наукової роботи, сплановано етапи дослідження, виконано аналіз сучасної наукової літератури, зібрано увесь фактичний матеріал та проведено дослідження, здійснено аналіз та теоретичне обґрунтування отриманих наукових результатів, їх узагальнення та формулювання висновків. Авторка брала участь у апробації результатів та

підготовці матеріалів до друку в наукових виданнях. Права співавторів колективних наукових публікацій не порушені.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи оприлюднені на Міжнародних наукових конференціях і державних форумах, а саме: «Сучасне сільське господарство: ключові проблеми та досягнення» (Миколаїв, 2019), «Органічне виробництво і продовольча безпека» (Житомир, 2019, 2020, 2022), «Пріоритетні напрями досліджень в науковій та освітній діяльності» (Львів, 2019), «Scientific achievements of modern society» (Liverpool, United Kingdom, 2020), Implementation of modern science into practice (Varna, Bulgaria, 2020), «Problems and perspectives of modern science and practice» (Graz, Austria, 2020), «Наукові читання – 2019» (Житомир, 2019), «Біологічні дослідження – 2020» (Житомир, 2020), «Досягнення та концептуальні напрями розвитку сільськогосподарської науки в сучасному світі» (с. Олександрівка, Дніпропетровська обл., 2020), «Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур» (с. Центральне, 2020), «Biosystems Engineering 2020» (Tartu, Estonia, 2020), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Kryvyi Rih, 2022).

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 47 наукових працях, із них 18 – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Web of Science Core Collection або Scopus (з них 3 одноосібні), 13 – що входять до переліку фахових (з них 8 одноосібні), 16 – матеріали наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 384 сторінках комп'ютерного тексту й складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури і додатків. Вона містить 21 таблицю і 203 рисунки. Список літературних посилань містить 520 джерел, 366 з яких – англійською мовою.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ТА ФАКТОРІВ, ЯКІ ЙОГО ЛІМІТУЮТЬ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

За даними аналізу літературних джерел виявлено, що продукційний потенціал сільськогосподарських ландшафтів є нестабільним показником, який змінюється через поступове вдосконалення технології, зміни родючості ґрунтів і клімату тощо. Для оцінки продукційного потенціалу агроландшафтів найчастіше застосовують концепції досяжної загальної біомаси або врожайності. Остання використана нами як маркер продукційного потенціалу.

Також з результатів бібліографічного аналізу можна зробити висновки, що Україна має значний невикористаний сільськогосподарський потенціал, який більшою мірою обумовлений економічною ситуацією перехідного періоду та недостатнім реформуванням сільського господарства на сучасному етапі. Для оцінки продукційного потенціалу часто використовуються симуляційні моделі, які будуються на основі даних просторово-часового варіювання урожайності культур. Проте, наразі, мало що відомо про просторову і часову мінливість

врожайності сільськогосподарських культур в Україні. Концепція продукційного потенціалу ландшафтів є основою для агроекологічного зонування території. Наразі розроблено багато підходів цільового агроекологічного районування України. Проте, у світлі зростаючих кліматичних змін та деградації ландшафту, необхідною є розробка методичної основи для агроекологічного районування, яка б відображала зміну екологічних умов сільськогосподарського виробництва. На нашу думку, такою основою могло би бути варіювання урожайності сільськогосподарських культур. Вплив змін клімату на продукційний потенціал є одним із найбільш актуальних питань сьогодення, з огляду на загрозу для продовольчої безпеки Світу. Кількісне визначення залежності між погодними умовами та врожайністю є важливим для кращого розуміння та прогнозування реакцій росту рослин на довготривалі зміни погодних умов та для формування своєчасних заходів щодо адаптації та реагування на зміни клімату. Вплив показників ґрунту на урожайність культур є добре вивченим питанням в Україні. Проте просторовий аспект варіювання урожайності у залежності від ґрунтових характеристик потребує доповнення. Існують вагомі докази сильного та стійкого впливу ландшафтного різноманіття на продукційний потенціал агроландшафтів, але це питання не розглядалося українськими вченими, що робить його, безумовно, актуальним.

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

У розділі наведено фізико-географічну характеристику Поліської і Лісостепової природно-кліматичних зон, а саме, особливості клімату, рельєфу, ґрунтових умов, гідрографії, рослинності, а також відомості про природно-заповідні об'єкти регіону досліджень.

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінки продукційного потенціалу території використано показники урожайності наступних культур: соя, жито, кукурудза, картопля, цукровий буряк, ріпак, соняшник, овочі відкритого ґрунту. Дані з урожайності культур у Поліський і Лісостеповій зонах України надані Державною службою статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua/>). Відомості охоплюють часовий період з 1991 по 2017 рр. та 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) (рис. 1).

Інформація про середньорічну врожайність культур в Україні отримана з бази даних FAO (*Food and Agriculture Organization*) (FAOSTAT, 2018). Для оцінки ймовірності статистичної моделі щодо спостережуваних даних використано інформаційний критерій Акаїке (Akaike Information Criterion (AIC)) (Chen, 2018). Розрахунок особливих точок поліноміальної кривої та їх аналіз виконаний із застосуванням R v 3.0.2 (R Core Team, 2017). Статистичний

аналіз здійснений за допомогою програмного продукту Statistica 10. Для визначення глобального коефіцієнта просторової автокореляції застосована статистика *I*-Морана з використанням програми Geoda095i (Anselin et al, 2005).

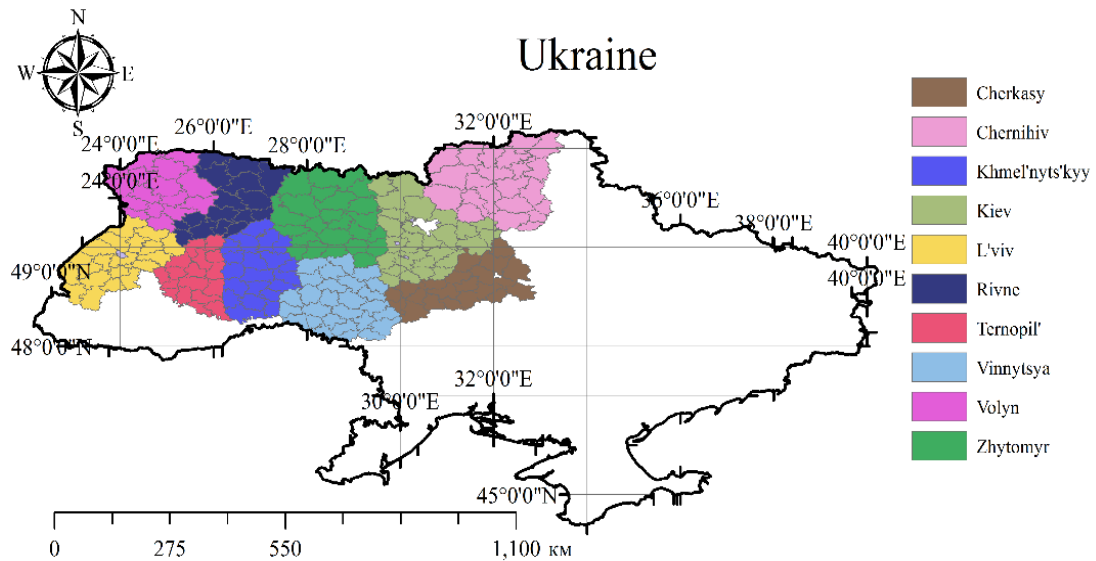


Рис. 1. Карта адміністративних районів України обраних для дослідження.

Для встановлення наявності просторової компоненти варіювання залишків регресійних моделей урожайності культур проведено аналіз головних компонент (PCA), який був реалізований за допомогою бібліотеки *stats* у середовищі статистичних обчислень R (R Core Team, 2017).

Для відображення локальних патернів часового варіювання урожайності культур застосовано географічно-зважений аналіз головних компонент – GWPCA (Geographically weighted principal components analysis) (Harris, 2015). Придатність даних з урожайності для географічно-зваженого аналізу головних компонент оцінювали за допомогою тесту Кайзера-Мейєра-Олкіна (КМО) (Kaiser, 1974) з використанням функції *KMOS* з бібліотеки *REdaS* R (Maier, 2015). Метод Горна (1965) для оцінки компонент в аналізі головних компонент був реалізований за допомогою функції *paran* з бібліотеки «*paran*» (Dinno, 2012). Метод GWPCA реалізований за допомогою пакету *GWmodel* R (Gollini et al, 2013). Просторова база даних була створена в ArcGIS 10.1.

З метою оцінки впливу агроекологічних факторів на врожайність культур використана лог-логістична модель динаміки урожайності, параметри якої, розраховані для кожного адміністративного району, застосовані як інтегральні кількісні показники варіювання урожайності у даній точці простору в часі (Зимаросєва, 2019). Біокліматичні змінні були визначені відповідно до бази WorldClim version 2 (<http://worldclim.org/version2>) (Fick, Hijmans, 2017); вони є екологічно значимими аспектами варіювання температури та опадів протягом року. Для аналізу було використано 19 біокліматичних змінних. Відомості про просторове варіювання ґрунтових властивостей та класифікацію ґрунтів

одержали з бази даних SoilGrids (<https://soilgrids.org>) (Hengl et al., 2018). Для створення карти різноманіття типів ландшафтного покриву застосовано карту GlobCover (Arino et al., 2012). Оцінку різноманіття проведено на основі індексу Шеннона. Розрахунки виконані за допомогою The Corridor Designer toolbox works в ArcGIS 10.1.

ЧАСОВІ ТРЕНДИ УРОЖАЙНОСТІ ОСНОВНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ТЕРИТОРІЇ ПОЛІСЬКОЇ ТА ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОН УКРАЇНИ

Порівнявши дані з урожайності сільськогосподарських культур, які надані Продовольчою і сільськогосподарською організацією ООН (FAO) та дані з урожайності у дослідженому регіоні, з'ясували, що між ними спостерігається статистично значима кореляція ($r = 0,63-0,97$; $p < 0,001$). Це свідчить про часову узгодженість варіювання урожайності культур у цілому по Україні та у регіоні досліджень, а також про те, що загальні результати та висновки можна апроксимувати на всю площу України. Найбільшою подібністю динаміки врожайності в Україні в цілому та в дослідженому регіоні характеризується цукровий буряк ($r = 0,97$; $p < 0,001$) (рис. 2).

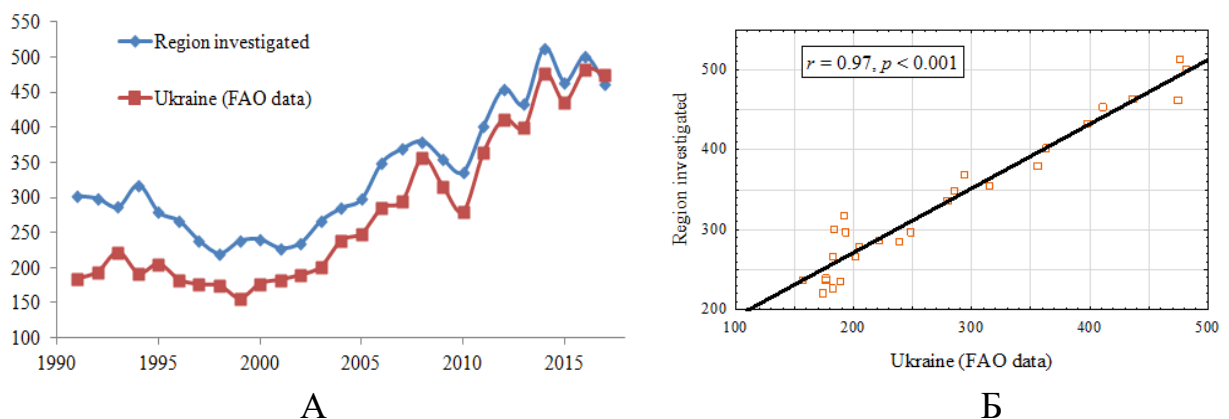


Рис. 2. Динаміка врожайності цукрового буряка за період 1991–2017 рр. в Україні та в досліджуваному регіоні (ц/га) (А); діаграма розкиду врожайності цукрового буряка в Україні проти врожайності цукрового буряка у досліджуваному регіоні (Б)

Для того, щоб оцінити придатність різних математичних моделей для описання динаміки урожайності сільськогосподарських культур у 206 адміністративних районах України, ми використали інформаційний критерій Акаїке. Встановлено, що більшість типів динаміки урожайності культур в адміністративних районах можуть бути описані поліномом четвертого порядку. Наприклад, поліном четвертого порядку найкраще описує динаміку врожайності кукурудзи у 160 адміністративних районах (77,7% від загального обсягу) (рис. 3).

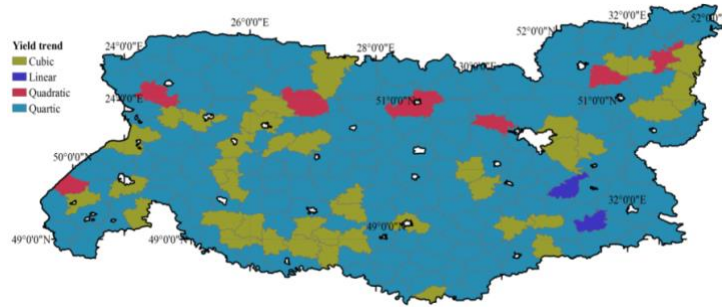


Рис. 3. Просторове варіювання типів динаміки врожайності кукурудзи

Аналогічні дослідження були проведені для всіх досліджених культур. З отриманих результатів дійшли висновку, що загальний тренд врожайності сільськогосподарських культур у межах досліджуваної області найкраще описується поліномом четвертого порядку (для прикладу розглянутий тренд урожайності жита) (рис. 4):

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4, \quad (1)$$

де Y_x – урожайність сільськогосподарських культур у момент часу x ; b , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 – коефіцієнти.

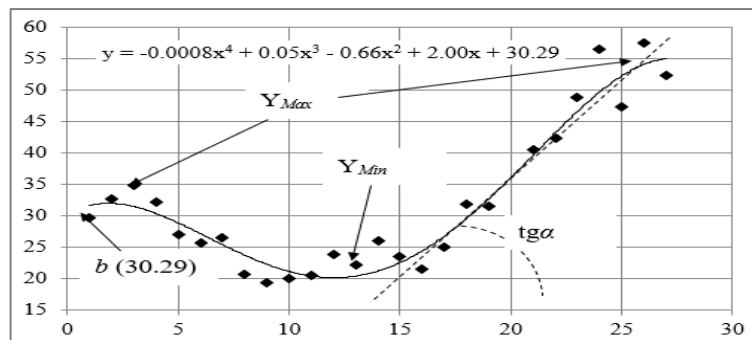


Рис. 4. Типова динаміка урожайності жита протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

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)

Природа тренду має агроекономічне походження оскільки тренд має характер економічного циклу з його фазами: підйом, пік, спад, дно. У 1991–2017 рр. в Україні відбувалися значні соціально-економічні перетворення, які були ініційовані розвалом СРСР і набуттям Україною незалежності. Трансформація виробничих відношень стала генератором чітко визначеного тренду змін рівня виробничого потенціалу агропромислового комплексу. Цей тренд пов'язаний з різким зниженням рівня виробництва у першій половині 1990-х років, після чого падіння зупинилось та відновилося зростання, яке досягло свого максимуму наприкінці нульових. Наявність трьох точок

екстремума вказує на те, що поліном четвертого порядку є найкращою математичною моделлю тренду.

Особливі точки поліноміальної кривої четвертого порядку: константа (вільний член); максимальна швидкість зменшення врожайності у діапазоні між точками максимуму і мінімуму; максимальна швидкість зростання врожайності у діапазоні між мінімумом і другим максимумом – можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності культур (рис. 4).

Зокрема, вільний член поліному вказує на урожайність культури у стартовий період. Він може бути індикатором сприятливих ґрунтово-кліматичних умов для вирощування конкретної культури. Для кожної культури визначали чи є цей показник просторово детермінованим. Наприклад, стартовий рівень урожайності сої є просторово залежним (I -статистика Морана 0,61; $p = 0,001$) та варіює у межах від 5,6 ц/га (північні та північно-східні райони) до 14,7 ц/га (південні та південно-східні райони) (рис. 5).

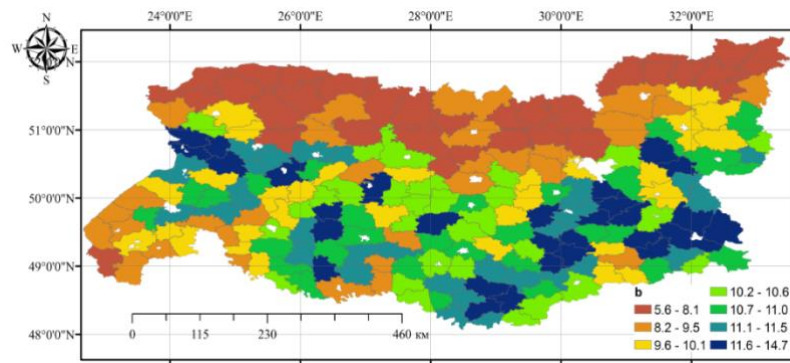


Рис. 5. Просторове варіювання рівня врожайності сої у стартовий період досліджень (константа b рівняння регресії), ц/га

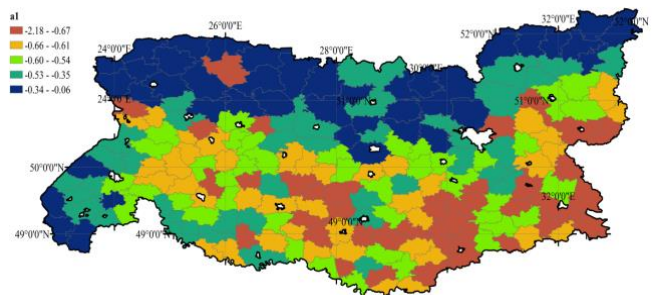
За допомогою цього показника, можна виявити райони з найбільш сприятливими ґрунтовими умовами для вирощування сої. Загалом вирощування сої менш доцільне у Поліській зоні України і більш доцільне – у Лісостеповій, де ґрунтові умови найкраще відповідають біологічним потребам цієї культури, завдяки чому вона досягає повної стиглості та формує високий урожай. До того ж наші дослідження дозволяють виділити райони, які мають високий продукційний потенціал щодо вирощування сої. Існує статистично значимий кореляційний зв'язок між показником стартової та середньої урожайності для більшості досліджених культур ($r = 0,92 - 0,98$; $p < 0,001$).

Між середньою урожайністю та коефіцієнтом варіації більшості культур можна спостерігати статистичні залежності, які описуються лінійними, квадратичними та логарифмічними функціями. Причому, у районах із більш високими показниками середньої врожайності культури, коефіцієнт варіації нижчий. Ця закономірність була підтверджена для соняшника, ріпаку, цукрового буряка та овочів відкритого ґрунту, що свідчить про те, що райони з більшою врожайністю, як правило, мають менший коефіцієнт варіації, тобто є більш стабільними до впливу зовнішніх факторів.

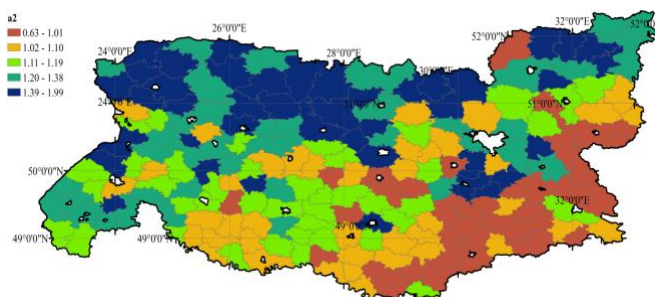
Значення функції в точці локального мінімуму Y_{min} вказує на «дно» динаміки урожайності культур, яке співпадає з соціально-економічною кризою 90-х років, що виникла як продовження процесу розпаду СРСР. На початку 2000-х років кризові явища у сільському господарстві закінчуються, в цей же час формуються передумови для стійкого розвитку, що проявляє себе майже у лінійному зростанні урожайності культур, аж до настання максимуму цього показника наприкінці 2010-х років. Очевидно, що за даного рівня економічного забезпечення та існуючій агротехнологічній системі сільськогосподарські угіддя здатні давати найбільш можливий урожай.

Стан максимуму продуктивності культури Y_{max} відбиває певну рівновагу між факторами агро економічної та агротехнологічної природи з одного боку та біологічним потенціалом – з іншого. Оскільки, локальні максимуми знаходяться у зонах, наближених до країв діапазону дослідженого періоду, то точне їх визначення представляється сумнівним. Тому значення функції у локальних максимумах ми не застосовуємо у якості характеристичних показників динаміки урожайності сільськогосподарських культур.

Показники максимальної швидкості зростання та зменшення врожайності є маркерами стабільності агро екосистем до зовнішніх впливів, а їх картування дозволяє виділити райони де врожайність культур більш стабільна. Так, наприклад, швидкість зростання врожайності соняшника пропорційна інтенсивності попереднього зниження ($r = 0,55$; $p < 0,001$). Інтенсивність зростання та зниження врожайності є просторово залежними (I -статистика Морана 0,44 та 0,41 відповідно; $p < 0,001$) (рис. 6).



А



Б

Рис. 6. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності соняшника (А) та максимальної швидкості зростання врожайності цієї культури (Б)

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, а його картування дозволяє виділити території, які найбільш чутливі до цих факторів. Просторове варіювання коефіцієнту детермінації показане на прикладі картоплі (рис. 7).

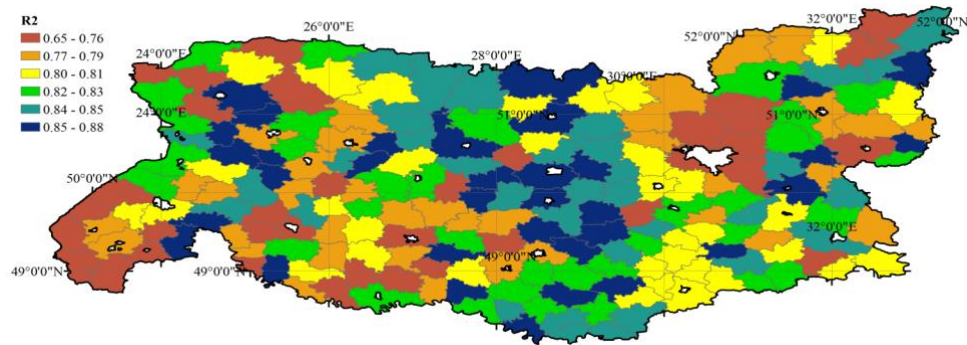


Рис.7. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі урожайності картоплі

Внесок агроекологічних (агротехнологічних) факторів варіювання урожайності коливається: для кукурудзи – 62–93%, сої – 7–89%, жита – 56–91%, картоплі – 65–88 %, цукрового буряка – 72–96%, овочів – 53–90%, ріпаку – 59–97%, соняшника – 33–86%. Найбільш чутливою до впливу агроекологічних та агротехнологічних факторів культурою є цукровий буряк, а найменш чутливою – соняшник.

Дослідження виявило, що агроекологічні системи регіонів Поліської і Лісостепової зон України знаходяться далеко від максимальної екологічної ємності, а роль лімітуючих факторів виконують агроекономічні і агротехнологічні фактори. За умови якісної перебудови виробництва, яка потребує економічних витрат та впровадження новітніх агротехнологічних підходів, Україна має потенціал стати надійним постачальником сільськогосподарських культур на світові ринки.

ПРОСТОРОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ДИНАМІКИ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Нами розроблений і обґрунтований новий методичний підхід до агродинамічного районування території на основі подібності динаміки варіювання урожайності.

Розглянемо сутність цього методичного підходу на прикладі врожайності кукурудзи.

Якщо загальний тренд урожайності кукурудзи обумовлений впливом агроекономічних та агротехнологічних факторів, то дія екологічних факторів

проявляється у наявності викидів регресійної моделі урожайності, які і виступають матеріалом дослідження. Аналіз головних компонент залишків регресійної моделі урожайності кукурудзи дозволив встановити, що за процедурою Горна кількість статистично вірогідних головних компонент становить 5 (табл. 1).

Таблиця 1.

Результати глобального аналізу головних компонент динаміки урожайності кукурудзи

Головна компонента	Налаштоване* власне значення	Власне значення	Зсув	Пояснена варіація	Стандартне відхилення
1	4,82	5,55	0,73	20,57	2,35
2	3,02	3,64	0,62	13,48	1,90
3	1,23	1,76	0,53	6,52	1,32
4	1,17	1,63	0,46	6,03	1,27
5	1,03	1,43	0,40	5,29	1,19

Позначки: * – за процедурою Горна

Разом перші п'ять головних компонент пояснюють 51,9% загальної варіабельності простору ознак. Для подальшого аналізу за критерієм «осипу» ми залишили перші 2 головні компоненти, які разом пояснюють 34,1% загальної варіабельності простору ознак.

В аналізі головних компонент змінні є роками, тобто порядковими величинами, тому навантаження головних компонент на змінні можуть бути подані як динамічні зміни у часі (рис. 8). Це дозволяє змістовно інтерпретувати встановлені головні компоненти як коливальні процеси різної періодичності.

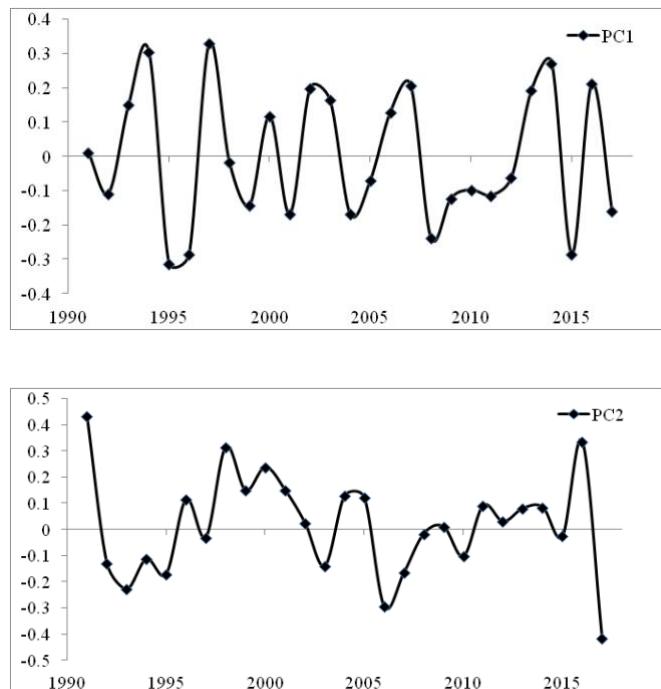
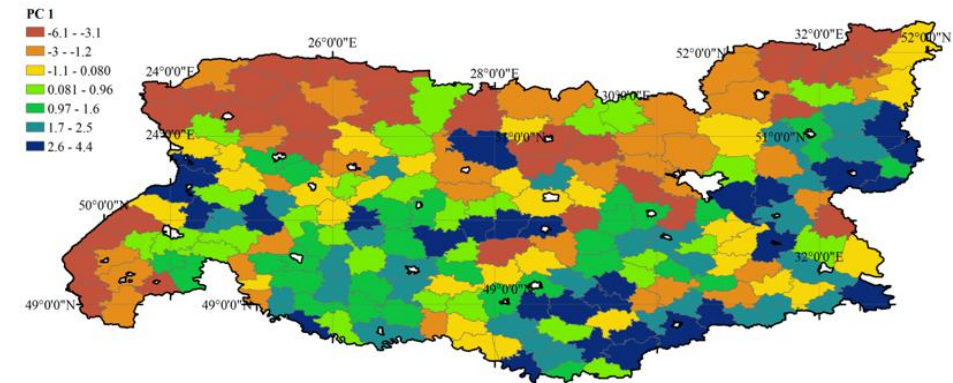


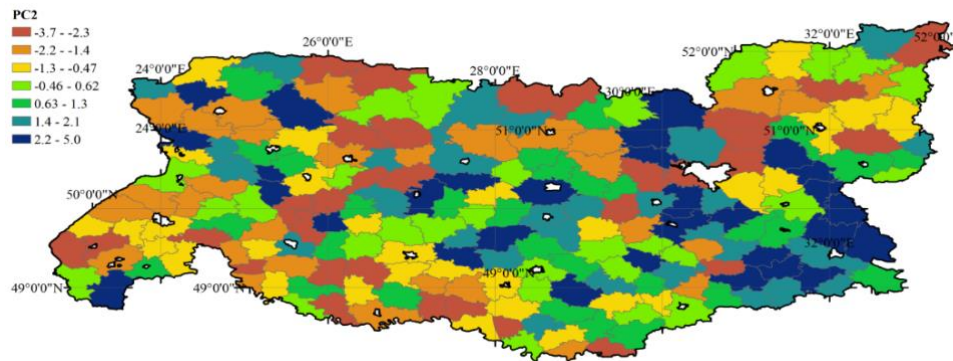
Рис. 8. Кукурудза. Значення навантажень головних компонент 1–2

Так, головна компонента 1 описує 20,57% загальної варіабельності врожайності кукурудзи і для неї характерним є переважаючий коливальний

процес з періодом у 3 роки. Також, слід зазначити, що для головної компоненти 1 виявлене затухання процесу коливання, особливо це помітно після 2005 року. Варіювання головної компоненти 1 є чітко просторово детермінованим (статистика *I*-Морана 0,47; $p < 0,001$). Зони з підвищеними значеннями головної компоненти 1 розташовані здебільшого на півдні та сході дослідженого регіону (рис. 9). Зони зі зниженими значеннями цієї головної компоненти знаходяться на півночі та заході регіону.



Головна компонента 1



Головна компонента 2

Рис. 9. Кукурудза. Просторове варіювання головних компонент 1–2.

Головна компонента 2 пояснює 13,48% варіабельності простору ознак, для неї характерний коливальний процес з лагом 10 років, який згасає з початку 2000-х років. Ця компонента демонструє просторово закономірні патерни варіювання (статистика *I*-Морана 0,22; $p < 0,001$). Зони з підвищеними значеннями головної компоненти 2 формують окремі кластери в центральній та південно-східній частині регіону досліджень. Зони зі зниженими значеннями цієї головної компоненти формують чіткий кластер у північно-західному напрямку від центру регіону (рис. 9).

Аналіз головних компонент дозволяє визначити основні статистичні характеристики регіонального розвитку сільського господарства та виявити внутрішньо ускладнені взаємодії між вибраними змінними. У наших дослідженнях глобальний аналіз головних компонент виявив наявність динамічних процесів урожайності кукурудзи коливальної природи з різною частотою. Для обох головних компонент, які ми використали у подальшому аналізі, характерне згасання процесу коливання після 2000-х років. Це свідчить

про те, що вплив даних факторів на врожайність кукурудзи послаблюється з часом. Можливо це пов'язано із застосуванням новітніх технологій вирощування або сортів кукурудзи, врожайність яких менш чутлива до коливання екологічних факторів, зокрема, кліматичних (погодних умов) та впливу шкідників і хвороб.

Географічно-зважений аналіз головних компонент

За допомогою тесту Монте-Карло встановлено, що власні числа матриці даних характеризуються просторовою складовою варіювання ($p = 0,03$), а отже, є придатними для проведення географічно-зваженого аналізу головних компонент. Виходячи з результатів PCA-аналізу, рішення залишити дві головні компоненти, які пояснюють 34,1% загальної дисперсії, для подальшої процедури GWPCA є цілком обґрунтованим.

У процесі процедури адаптивної селекції вікна пропускання, встановлено оптимальне вікно пропускання з 54 найближчими сусідами, яке було обрано для виконання GWPCA. Результати процедури GWPCA можуть бути візуалізовані та інтерпретовані фокусуючись на тому як розмірність даних просторово варіює та на тому як вихідні змінні впливають на головні компоненти. Розподіл проценту загальної варіації має чітко виражену просторову мінливість. При цьому райони із низьким відсотком варіювання розміщені переважно на сході та півдні, а з високим – відповідно на заході, півночі та в центрі досліджуваного регіону (рис. 10).

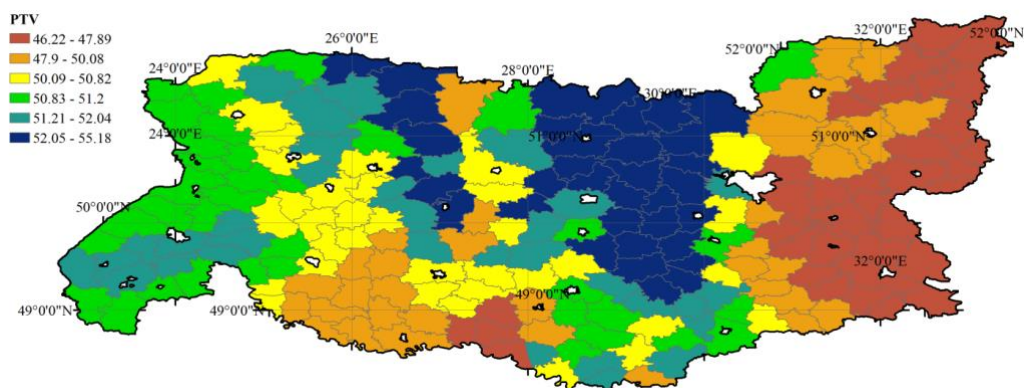


Рис. 10. Кукурудза. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших двох головних компонент (*percentage of total variance – PTV*).

У порівнянні з глобальним аналізом головних компонент, GWPCA демонструє більшу ефективність та результативність в аналізі просторових патернів регіонального розміщення урожайності кукурудзи за допомогою картування просторової варіабельності головних компонент. Змінні з найбільшими навантаженнями та інтенсивність їх впливу можуть бути локально відображені (Lloyd, 2010). Традиційне подання «виграшних» змінних для головних компонент не може повною мірою показати природу просторово залежного взаємозв'язку між показниками, який оцінений за допомогою аналізу головних компонент, оскільки у ролі «виграшних» змінних виступають дискретні величини – роки. Тому, для кожної із статистично достовірних

головних компонент, нами проведена процедура класифікації адміністративних районів за допомогою кластерного аналізу. Вказаний підхід дозволяє виділити кластери адміністративних районів, які характеризуються подібною часовою динамікою врожайності кукурудзи у аспекті відповідної головної компоненти. Можна припустити, що сукупності адміністративних районів, які характеризуються подібною динамікою врожайності, також географічно наближені та формують однорідні екологічні регіони.

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1 дозволив встановити два гомогенних кластери (рис. 11).

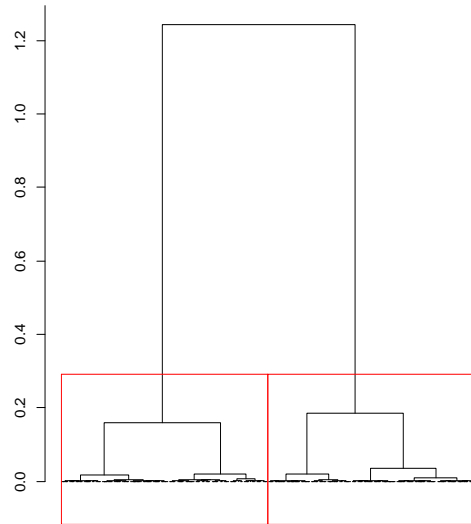


Рис. 11. Кукурудза. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1.

Для кожного кластера були розраховані середні значення факторних навантажень, що дало змогу оцінити специфіку відповідних кластерів (рис. 12).

Встановлені кластери та профільні розподіли їх факторних навантажень дають уявлення про перебіг процесів, які характерні для відповідного кластеру. Часові відмінності у перебігу процесів незначні (рис. 12), що свідчить про те, що вони сильно зкорельовані ($r = 0,98$; $p < 0,001$).

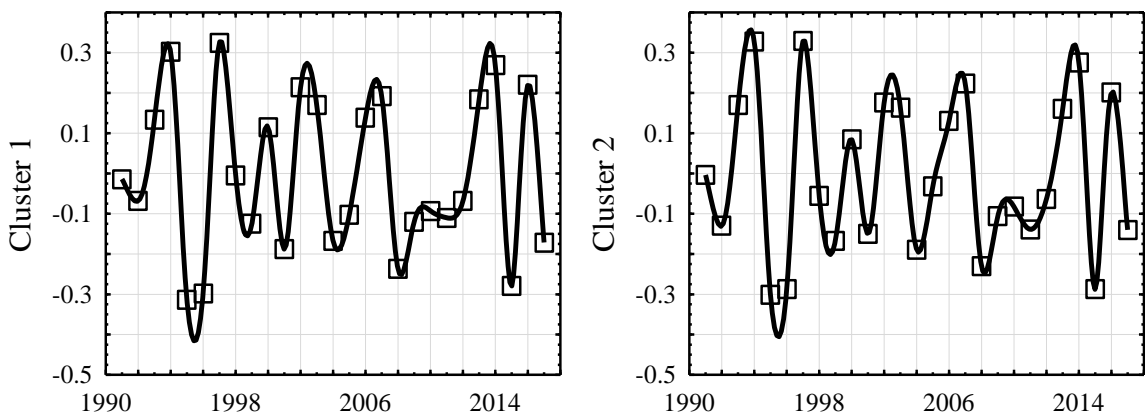


Рис. 12. Кукурудза. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–2. Вісь абсцис – роки, вісь ординат – факторні навантаження.

Просторове розміщення адміністративних районів, які включені у відповідні кластери, є просторово регулярним і ділить територію практично навпіл (рис. 13).

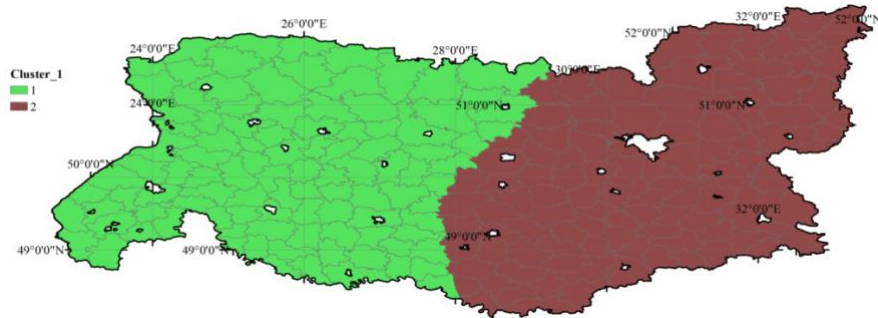


Рис. 13. Кукурудза. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1.

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2 дозволив встановити три гомогенних кластери (рис. 14).

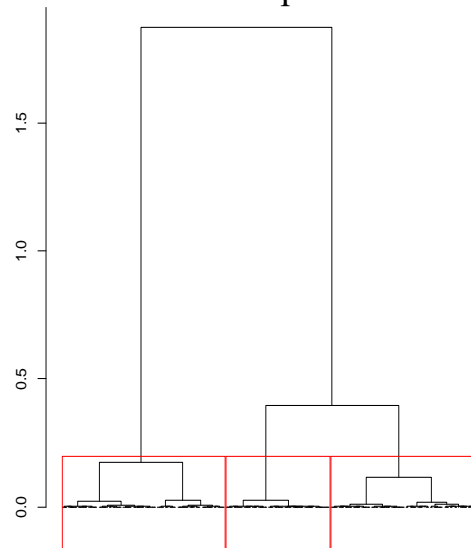


Рис. 14. Кукурудза. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2.

Усі три кластери мають подібну динаміку коливань, що свідчить про схожість та взаємообумовленість процесів, які їх визначають (рис. 15).

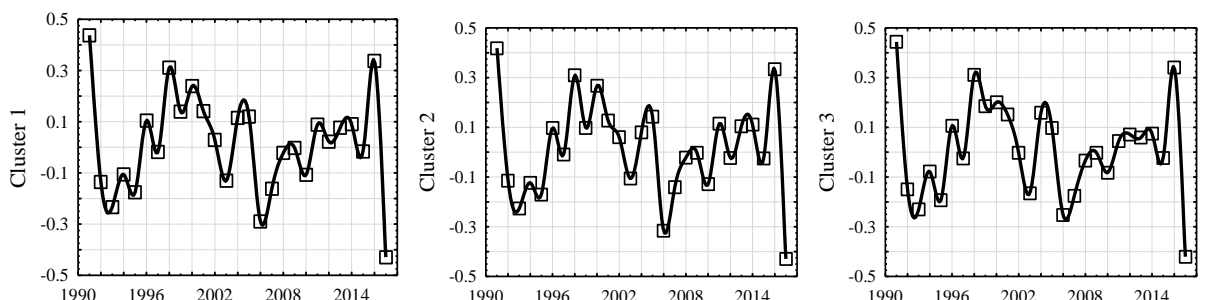


Рис. 15. Кукурудза. Середні значення факторних навантажень GWPC 2 для кластерів 1–3.

У просторовому аспекті ці кластери розділяють досліджену територію майже на три рівні ділянки (рис. 16): кластер 1 займає центральну частину, кластер 2 – займає східну, а кластер 3 – західну частину території.

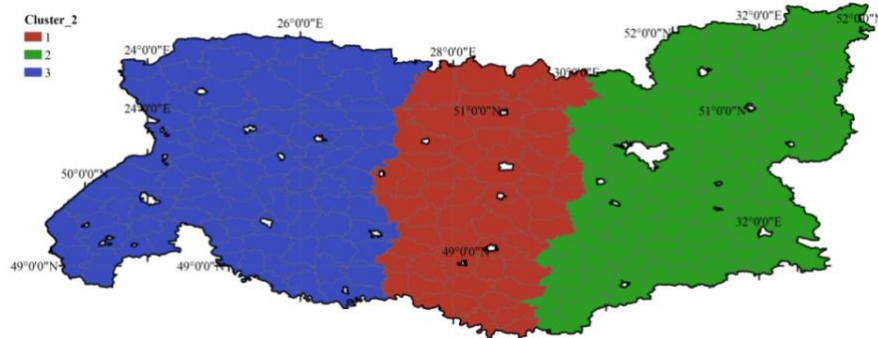


Рис. 16. Кукурудза. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 2.

Застосування аналізу головних компонент динаміки урожайності сільськогосподарських культур базується на припущеннях про однорідність впливу екологічних факторів у межах всієї досліджуваної області. Аналіз географічно-зважених головних компонент дозволяє дослідити локальні закономірності динаміки врожайності. Локальні моделі є більш точними, оскільки розгляд місцевої специфіки варіювання врожайності дозволяє більш об'єктивно відображати реальність. Проте застосування такого підходу викликає певні методологічні труднощі для змістовного тлумачення. Найбільш поширена методика відображення «виграшних» змінних не підходить для аналізу часових рядів. Тому, на основі наближених типів локальної динаміки, встановлювали кластери для кожної головної компоненти і застосовували саме картування цих кластерів, замість відображення «виграшних» змінних. Такий підхід має певні переваги. По-перше, одержані екологічно однорідні зони із застосуванням запропонованого нами підходу є більш компактними, ніж зони, які встановлені за допомогою «виграшних» змінних. Такий результат обумовлений тим, що у формуванні кластерів переважну роль відіграють фактори регулярної природи, а випадкові чинники відфільтровуються у результаті процедури аналізу. У той час як «виграшні» змінні є результатом переважно випадкового вибору серед деякого переліку закономірно інформаційно важливих змінних. Тому обидва підходи дають, у цілому, подібну картину, але запропонований нами алгоритм менш чутливий до випадкових чинників. По-друге, запропонований алгоритм надає можливість змістовно інтерпретувати одержані кластери за допомогою дослідження особливостей динаміки кожного кластера у часі. За використання «виграшних» змінних, сама змінна є маркером відповідної просторово-однорідної території. Проте такий інструмент є прийнятним при застосуванні якісно різнорідних змінних, кожна з яких може бути виміряна у наступний період часу та, таким чином, застосована для прогнозу досліджуваного явища. Серед змінних часового ряду немає «більш важливих» або «менш важливих» років. Крім того, всі ці змінні знаходяться у ретроспективі та не можуть бути повторно виміряні.

Для прогнозу можуть бути застосовані закономірності, які базуються на циклічній періодичності процесів. Саме такі особливості можуть бути встановлені для виділених кластерів.

Результати дослідження показують, що GWPCA можна використовувати для агродинамічного районування. Виділення агродинамічних кластерів виконано на основі принципу однорідності характеру динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських територій. Цей підхід є принципово іншим, ніж проведення зонування на основі загального рівня урожайності сільськогосподарських культур (Лазаренко, 1995). Класифікація на основі рівня урожайності правомірна для систем, які знаходяться у стані наближеному до стаціонарного. В умовах глобальних змін клімату та трансформації екологічних режимів такий підхід є неприйнятним. Виділені нами агродинамічні кластери не розрізняються за загальним рівнем урожайності сільськогосподарських культур впродовж усього періоду досліджень. Особливості цих зон полягають у значеннях головних компонент, які саме і віддзеркалюють характер взаємозв'язків між окремими просторовими одиницями. Просторовий розподіл головних компонент вказує на наявність континуальних патернів, але їх накладання дозволяє встановити просторово дискретні одиниці, які ми ідентифікували як агродинамічні кластери.

Таким чином, дослідження залишків моделі регресії врожайності дозволяє виокремити екологічні детермінанти коливання урожайності культури. Крім того, через GWPCA можна створити карти територій з подібними часовими коливаннями врожайності, які розглядаються як агродинамічні зони для вирощування конкретної сільськогосподарської культури. Ці ж підходи ми застосували і відносно інших досліджуваних культур.

АГРОЕКОЛОГІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ ПРОДУЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У ПОЛІСЬКІЙ ТА ЛІСОСТЕПОВІЙ ЗОНАХ УКРАЇНИ

У розділі визначено основні екологічні фактори впливу на продукційний потенціал агроландшафтів. У якості агроекологічних детермінантів розглядали біокліматичні змінні, ґрунтові умови та показники ландшафтного різноманіття території.

Аналіз головних компонент 19-ти біокліматичних змінних дозволив виділити чотири головних компоненти, які разом пояснюють 92,5 % варіабельності кліматичних змінних. Головна компонента 1 описує 54,45 % варіабельності простору ознак. З нею корелює переважна більшість змінних, але найбільшою кореляцією характеризуються середня температура найбільш вологого кварталу року, температурна сезонність, максимальна температура найтеплішого місяця, середня температура найтеплішого кварталу, опади найсухішого кварталу та опади найтеплішого кварталу. Комплекс вказаних показників дозволяє змістовно інтерпретувати головну компоненту 1 як характеристику континентальності клімату. Головна компонента 2 описує 23,78 % варіювання простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює з наступними біокліматичними змінними: середня температура

найсухішого кварталу та середня температура найхолоднішого кварталу, що дозволяє інтерпретувати її як мінливість температурного режиму в екстремальні періоди року. Головна компонента 3 описує 8,18 % загальної мінливості простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює з біокліматичними змінними, які вказують на рівень мінливості температурного режиму. Головна компонента 4 описує 6,03 % мінливості простору ознак та вказує на контрастність температурних умов.

Для аналізу впливу ґрунтових факторів на урожайність сільськогосподарських культур нами використано наступні показники: запаси гумусу, рН, щільність ґрунту, вміст піску, глини чи мулу для різних ґрунтових шарів. Щоб виділити ґрунтові показники, які мають найбільший вплив на урожайність культур, ми провели аналіз головних компонент (РСА). У результаті RSA було виділено 6 головних компонент, власні значення яких вищі за одиницю і які разом пояснюють 98,5 % варіювання ґрунтових умов. Головна компонента 1 описує найбільшу частину варіабельності простору ознак – 65,63 %. З нею корелює переважна більшість ґрунтових змінних, але найбільшою кореляцією характеризуються змінні, що визначають гранулометричний склад ґрунту (вміст піску, глини та мулу). Комплекс вказаних показників дозволяє змістовно інтерпретувати головну компоненту 1 як характеристику гранулометричного складу, причому найбільш чутлива вона до вмісту піску. Головна компонента 2 описує 14,5 % варіювання простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює з щільністю ґрунту. Головна компонента 3 описує 6,4 % загальної мінливості ґрунтових показників та найбільше корелює із запасами гумусу. Головна компонента 4 описує 5,69 % мінливості простору ознак та відображає вміст мулу у ґрунті. Головна компонента 5 описує 3,88 % загальної варіабельності ґрунтових змінних і проявляє найбільшу кореляцію до показника кислотності ґрунтів (рН). Головна компонента 6 описує 2,41 % простору ознак і відзначається найбільшою чутливістю до вмісту мулу та глини.

Аналізуючи карту розміщення природоохоронних об'єктів різного рівня та середню відстань до них, дійшли висновку, що найбільшою щільністю об'єктів природо-заповідного фонду (ПЗФ) характеризуються північні області України. Території з найвищими індексами різноманіття ландшафтного покриття за Шенноном знаходяться на півночі та сході дослідженого регіону (рис. 17).

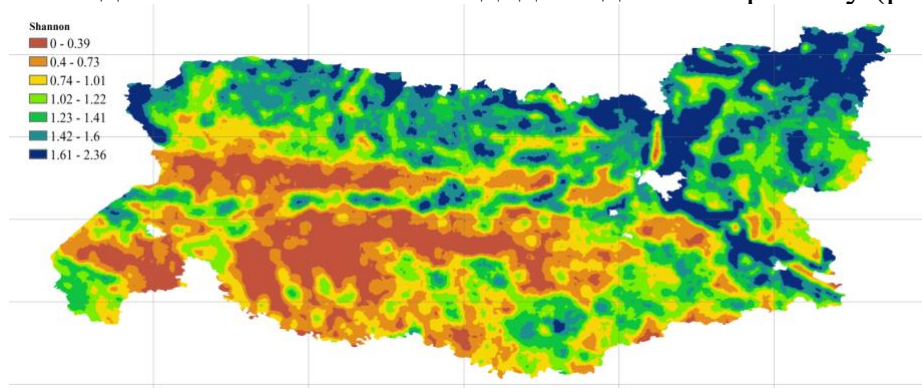


Рис. 17. Просторове варіювання індексу різноманіття типів ландшафтного покриття за Шенноном (вікно пропускання – 10 пікселів, біт/піксель).

Якщо не брати до уваги початковий період досліджень, то урожайність усіх досліджених сільськогосподарських культур можна описати за допомогою сигмоїдної кривої. Зокрема, на рис. 18 подана апроксимація динаміки врожайності кукурудзи лог-логістичною моделлю.

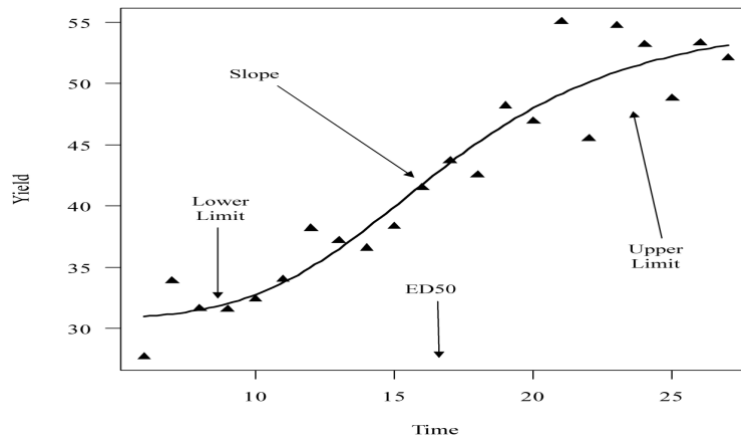


Рис. 18. Типова модель динаміки урожайності кукурудзи за період 1991–2017 рр. Вісь абсцис – порядок років (1 – 1991, 2 – 1992, ...), вісь ординат – урожайність кукурудзи, ц/га.

Дана модель має характеристичні точки, які можуть бути використані у якості параметрів варіювання урожайності культури: Lower Limit – позначає найменший рівень врожайності за період досліджень; Slope – ухил кривої тренду, що показує швидкість змін урожайності в часі; ED50 – час з початку досліджень, який потрібний для досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності та одночасно момент найбільшої швидкості зростання урожайності; Upper Limit – найвищий рівень врожайності, за якого при даному рівні агротехнологій врожайність визначається саме біотичним потенціалом території (рис. 18).

Виявлено статистично значиму залежність ($p < 0,05$) між параметрами урожайності культур та виявленими кліматичними головними компонентами, ґрунтовими головними компонентами та показниками ландшафтного різноманіття. Розглянемо вищезгадані регресійні залежності на прикладі кукурудзи (табл. 2).

Так, варіювання показників найменшого стаціонарного рівня врожайності на 69 % визначаються кліматичними та ґрунтовими змінними. Ландшафтне різноманіття та насиченість територій природоохоронними об'єктами не є значимими предикторами цього показника. Швидкість відновлення потенціалу родючості (ухил кривої динаміки урожайності у часі) також залежить від кліматичних та ґрунтових змінних, які визначають 53 % його варіювання. Слід відзначити особливу роль ландшафтного різноманіття та природоохоронних територій у варіюванні верхнього рівня врожайності кукурудзи, який вказує на його найбільший регіональний потенціал. Разом з кліматичними та ґрунтовими предикторами 49 % варіювання цього потенціалу визначаються біотичним різноманіттям територій. Час настання різкого зростання урожайності кукурудзи залежить від кліматичних та ґрунтових предикторів.

Регресійна залежність параметрів урожайності кукурудзи від кліматичних та ґрунтових змінних, а також від показників різноманіття ландшафтного покриття*

Предиктори	Ухил (Slope), $R_{adj}^2 = 0,53$	Нижня границя Lower Limit, $R_{adj}^2 = 0,69$	Верхня границя Upper Limit, $R_{adj}^2 = 0,49$	ED50, $R_{adj}^2 = 0,44$
Shannon (H)	–	–	0,88±0,30	–
H ²	–	–	-0,72±0,31	–
Distance (D)	–	–	0,44±0,20	–
D ²	–	–	-0,52±0,19	–
Climate_1	-0,80±0,14	0,26±0,11	–	–
Climate_2	0,38±0,08	–	–	–
Climate_3	0,46±0,06	–	0,23±0,06	0,23±0,07
Climate_4	-0,14±0,06	–	–	–
soil_1	–	-0,58±0,08	-0,37±0,11	0,31±0,11
soil_2	0,15±0,06	–	–	-0,13±0,07
soil_3	0,34±0,07	-0,21±0,06	-0,24±0,08	–
soil_4	-0,21±0,10	-0,34±0,08	–	0,27±0,10
soil_5	–	–	-0,27±0,07	–
soil_6	-0,30±0,07	-0,20±0,06	-0,32±0,08	–

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

Подібним чином встановлені статистично значимі регресійні залежності між агроекологічними предикторами та параметрами урожайності картоплі у дослідженому нами регіоні України ($p < 0,05$). Слід зазначити, що рівень ландшафтного різноманіття відіграє важливу роль у варіюванні урожайності картоплі. Так, швидкість зростання урожайності картоплі характеризується нелінійною залежністю від відстані до об'єктів ПЗФ. На максимальну та мінімальну урожайність досить суттєво впливає різноманіття ландшафтного покриття. Як зі зміною ландшафтно-екологічного різноманіття, позначеного індексом Шеннона, так і зі зміною відстані до найближчого об'єкту ПЗФ, закономірно змінюються як максимальний та мінімальний рівні врожайності, так і ухил моделі тренду (рис. 19).

Закономірність має нелінійний характер (рис. 19), що виражається наявністю оптимального співвідношення різноманіття, за якого спостерігається найменше зниження урожайності культури та найвищий рівень максимальної урожайності. Аналогічно, існує оптимальне значення різноманіття і насиченості території об'єктами ПЗФ для найвищих показників ухилу моделі.

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. Величина параметру урожайності ED50 на 32 % визначається виключно ландшафтним різноманіттям. Вплив ландшафтно-екологічного різноманіття та відстані до об'єктів природно-заповідного фонду на ED50 показано на рисунку 19, В. Симетрична конфігурація рисунку свідчить про певну незалежність впливу різноманіття та щільності об'єктів ПЗФ на час досягнення половинного рівня урожайності картоплі. Рівень ухилу логарифмічної кривої характеризується залежністю від ґрунтових головних компонент 3, 4, 5, причому найбільше корелює із ґрунтовою головною компонентою 4 ($R = -0,33 \pm 0,12$; $p < 0,05$), яка відповідає за вміст мулової фракції у гранулометричному складі ґрунту. Тобто, чим менший вміст мулу у ґрунті, тим швидше відбувається нарощення урожайності картоплі.

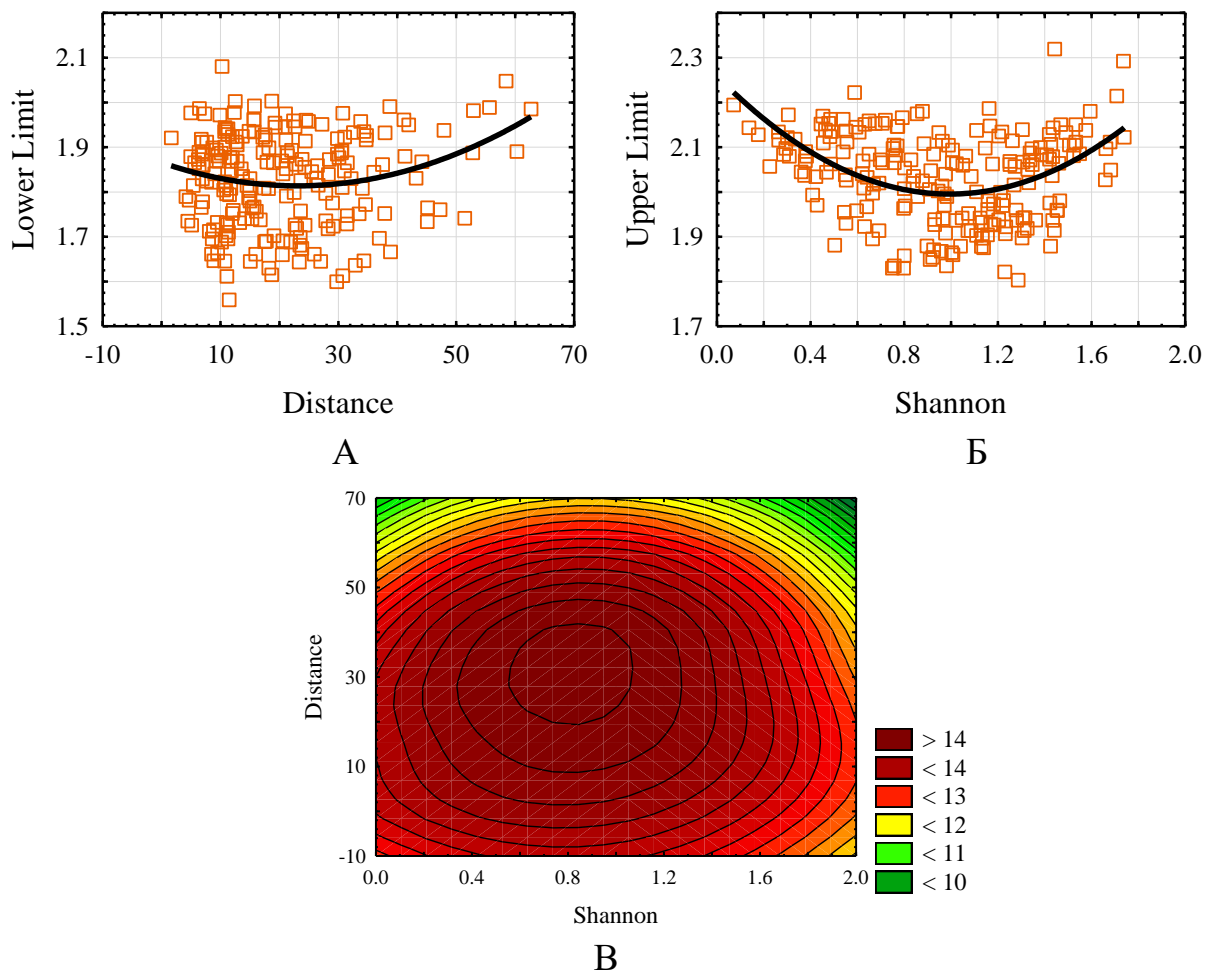


Рис. 19. Залежність мінімального рівня врожайності картоплі від середньої відстані до об'єктів природно-заповідного фонду (А), максимального рівня урожайності від ландшафтно-екологічного різноманіття (Б) та залежність ED50 від ландшафтно-екологічного різноманіття та відстані до об'єктів природно-заповідного фонду (В).

Нижня та верхня границі урожайності картоплі найбільше залежать від кліматичної головної компоненти 1 ($R = -0,85 \pm 0,13$ та $R = -0,78 \pm 0,14$

відповідно), що визначає континентальність клімату та ґрунтової головної компоненти 4 ($R = -0,65 \pm 0,09$ та $R = -0,60 \pm 0,10$ відповідно).

Аналогічним чином встановили агроекологічні детермінанти варіювання показників урожайності інших досліджених культур.

У результаті проведеного дослідження виявили значний вплив агроекологічних факторів на параметри урожайності сільськогосподарських культур. Найнижчими показниками чутливості до агроекологічних факторів вирізняється цукровий буряк, а найвищими – соняшник. Найбільш впливовим кліматичним фактором є континентальність клімату, а ґрунтовим – гранулометричний склад ґрунту. На нашу думку, наразі, недооцінюється вплив ландшафтного різноманіття на урожайність сільськогосподарських культур. Так, у ході дослідження виявлено значний вплив показників ландшафтного різноманіття на параметри урожайності усіх культур. Причому, як правило, ці залежності мають нелінійний характер, а це свідчить про те, що існує якийсь оптимальний рівень ландшафтного різноманіття для досягнення максимально можливої урожайності культури. Майже у всіх досліджуваних культур (за винятком сої) параметр максимального рівня урожайності проявляє залежність від показників ландшафтного різноманіття. Цей показник взагалі проявляє найбільшу чутливість до екологічних факторів – 35–70% у залежності від культури.

КОНЦЕПЦІЯ ПРОДУКЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АГРОЛАНДШАФТІВ

Розділ присвячено узагаленню результатів досліджень, розробці та візуалізації концепції продукційного потенціалу агроландшафтів. Продукційний потенціал агроландшафтів доцільно розглядати як максимальну можливість ландшафту до забезпечення продовольством населення шляхом збільшення врожайності культур. Мірою або маркером продуктивності сільськогосподарського ландшафту може виступати вироблена біомаса або урожайність.

Згідно розробленої концепції, продукційний потенціал конкретного агроландшафту обумовлений, так званим, «екопотенціалом території», що включає в себе ґрунтові умови, клімат та ландшафтну структуру і який підсилюється технічним потенціалом, котрий, у свою чергу, нерозривно пов'язаний з економічним розвитком країни. Доведено, що повноцінне використання продукційного потенціалу лежить в основі сталого розвитку агроландшафтів.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми встановлення та аналізу моделей просторово-часового варіювання продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів у Поліській та Лісостеповій зонах України. На основі отриманих даних з'являється можливість виконати картування територій, де урожайність сільськогосподарських культур характеризується підвищеною чутливістю до впливу агроекономічних чи агроекологічних факторів. Розроблено методики

агродинамічного районування території та визначення агроекологічних детермінантів продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів.

Результати досліджень дають змогу сформулювати наступні висновки:

1. Оптимальною математичною формою трендів просторової та часової динаміки урожайності основних сільськогосподарських культур на території Поліської та Лісостепової зон України є поліноми четвертого порядку. Вибір даної моделі динаміки пояснюється тим, що вона найкраще описує варіювання врожайності культур у більшості досліджених адміністративних районів, а також тим, що її характеристичні точки можна використати для пояснення особливостей просторово-часового варіювання культур. Природа тренду, на нашу думку, має агроекономічне походження, оскільки він повністю віддзеркалює економічний цикл, який пройшла Україна за період 1991–2017 рр.

2. Особливі точки поліноміальної кривої четвертого порядку можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності культур. Зокрема, вільний член поліному вказує на урожайність культури у стартовий період. Він може бути індикатором сприятливих ґрунтово-кліматичних умов для вирощування конкретної культури. Показники максимальної швидкості зростання та зменшення урожайності є маркерами стабільності агроекосистем до зовнішніх впливів.

3. Фактори агроекономічної природи визначають форму тренда урожайності сільськогосподарських культур, а залишки трендової моделі є результатом впливу факторів агроекологічної і випадкової природи. Коефіцієнт детермінації регресії тренду може бути інтерпретований як показник ролі агротехнологічних та агроекономічних чинників у динаміці врожайності, а його картування дозволяє виділити території, які найбільш чутливі до цих факторів. Найбільш чутливою культурою до впливу агроекономічних і агротехнологічних факторів є цукровий буряк, а найменш чутливою – соняшник. Дослідження виявило, що агроекологічні системи регіонів України знаходяться далеко від максимальної екологічної ємності, а роль лімітуючих факторів виконують агроекономічні і агротехнологічні фактори. За умови якісної перебудови виробництва, яка потребує економічних витрат та впровадження новітніх агротехнологічних підходів, Україна має потенціал стати надійним постачальником сільськогосподарських культур на світові ринки.

4. У результаті аналізу головних компонент нами була виявлена просторова компонента варіювання залишків регресійних моделей урожайності культур, а це свідчить про те, що ці залишки є просторово-структурованими, а отже, є результатом впливу не випадкових чинників, а регулярної екологічної складової, яка має регіональні відмінності. Також, глобальний аналіз головних компонент виявив наявність динамічних процесів середньої урожайності культур коливальної природи з різною частотою під впливом агроекологічних факторів.

5. За допомогою географічно-зваженого аналізу головних компонент встановили, що на досліджуваній території існують зони з певними закономірностями часової динаміки урожайності культур під впливом екологічних факторів, які є однорідними всередині кожної області, але якісно

відрізняються між зонами. Знання цих динамічних аспектів варіювання урожайності є необхідним для управління посівами сільськогосподарських культур.

6. На основі принципу однорідності характеру динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських територій нами виконано виділення агродинамічних кластерів, які віддзеркалюють характер взаємозв'язків між окремими просторовими одиницями. Кожний кластер характеризується певним характером динаміки продукційного потенціалу та, у певному діапазоні, інваріантними патернами реагування на варіювання агроекологічних чинників.

7. У результаті аналізу головних компонент виділено 4 головних кліматичних компоненти, які разом пояснюють 92,5 % варіабельності простору ознак. Параметри урожайності кукурудзи, сої, картоплі і соняшнику проявляють найбільшу кореляцію до показника континентальності клімату. Урожайність цукрового буряка і жита найбільш чутливі до мінливості температурного режиму в екстремальні періоди року, а параметри урожайності овочів залежать від мінливості температурних умов у період вегетації. Всі зазначені закономірності проявляються у просторовому варіюванні урожайності культур. Так, зокрема, урожайність культур зростає з півночі на південь дослідженого регіону.

8. Факторний аналіз просторової варіабельності ґрунтових умов виділив 6 головних компонент, які пояснюють 98,5 % їх загальної варіабельності. Кожна з шести компонент проявляє найбільшу кореляцію із однією або декількома ґрунтовими змінними. Урожайність усіх досліджених культур, за виключенням картоплі, найбільшою мірою залежить від гранулометричного складу ґрунту, причому до вмісту піску проявляє негативну кореляцію. Параметри урожайності картоплі (ухил логарифмічної прямої, нижня та верхня границя продуктивності) найбільшу кореляцію проявляють до вмісту мулу у ґрунті.

9. Показано значний вплив ландшафтного різноманіття на параметри урожайності сільськогосподарських культур. Вплив має нелінійний характер, що свідчить про існування оптимального рівня ландшафтного різноманіття для досягнення максимально можливої урожайності культур. Максимальний рівень урожайності віддзеркалює продукційний потенціал території та є найбільш чутливим до екологічних факторів (варіабельність від 35 до 70 % у залежності від культури). Це обумовлено тим, що за умов найбільшого розвитку агротехнологій на передній план виходять агроекологічні фактори, які визначають просторово-часову динаміку культур при наближенні до верхнього ліміту врожайності. При посиленні тиску на природні екосистеми точна оцінка впливу екологічних чинників на продукційний потенціал агроландшафтів є основою стратегічного планування, оскільки дозволяє адаптувати агроекосистеми до можливих змін у навколишньому середовищі.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

В умовах зростаючої загрози для продовольчої безпеки Світу моделі просторово-часового варіювання продукційного потенціалу агроландшафтів

дозволяють вирішити низку важливих питань регіонального і загальнодержавного значення.

1. Досліджені закономірності просторово-часового варіювання продукційного потенціалу агроландшафтів України мають знайти своє відображення у аграрній політиці держави, яка повинна враховувати регіональні особливості ведення сільськогосподарського виробництва.

2. Встановлені динамічні аспекти варіювання врожайності культур рекомендується застосовувати на регіональному рівні для наукового обґрунтування заходів з управління посівами в агроландшафтах Полісся та Лісостепу України, зокрема, при проектуванні сівозмін.

3. Методика агродинамічного районування території на основі динамічних аспектів варіювання урожайності рекомендується до застосування як альтернатива класичній методиці агроекологічного районування, оскільки враховує різноманітні аспекти варіювання урожайності, які є неминучими в умовах глобальних змін клімату та трансформації екосистем.

4. Проведені дослідження є математичною основою для побудови прогнозних моделей продукційного потенціалу агроекосистем за впливу кліматичних змін та деградаційних процесів у ґрунтах.

5. Встановлені взаємозв'язки між продукційним потенціалом агроекосистем і показниками ландшафтного різноманіття доцільно використовувати при обґрунтуванні створення нових об'єктів природно-заповідного фонду або при збереженні природних елементів агроландшафтів. На основі отриманих статистичних рівнянь рекомендується проводити обрахунок економічної вигоди від «екосистемних послуг» біорізноманіття, що є особливо цінним для органічного землеробства.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ У виданнях, які включені до наукометричних баз Web of Science та Scopus

1. Kunah, O. M., Pakhomov, O. Y., **Zymaroieva, A.A.**, Demchuk, N.I., Skupskiy, R.M., Bezuhla, L.S. & Vladyka, Y.P. (2018). Agroecological aspects of spatial variation of rye (*Secale cereale*) yields within Polesia and the Forest-Steppe zone of Ukraine: The usage of geographically weighted principal components analysis. *Biosystems Diversity*, 26(4), 276–285. doi: <https://doi.org/10.15421/011842> **Web of Science Core Collection, Scopus** (особистий внесок: підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків).

2. **Zymaroieva, A.**, Zhukov, O., Fedonyuk, T. & Pinkin, A. (2019). Application of geographically weighted principal components analysis based on soybean yield spatial variation for agro-ecological zoning of the territory. *Agronomy Research*, 17(6), 2460–2473. <https://doi.org/10.15159/AR.19.208> **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).

3. **Zymaroieva, A.**, Zhukov, O., Romanchuk, L. & Pinkin, A. (2019). Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine.

Bulgarian Journal of Agricultural Science, 25 (6), 1107–1113. **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).

4. **Зимароєва А. А.** Просторово-часові закономірності варіювання урожайності кукурудзи в Україні. *Наукові горизонти*. 2019. №2 (75). С. 58–66. **Scopus**

5. **Зимароєва А. А.** Перспективи використання географічно зваженого аналізу головних компонент для оцінки просторової варіабельності врожайності кукурудзи. *Наукові горизонти*. 2019. №10 (83). С. 20–28. doi: 10.33249/2663-2144-2019-83-10-20-27 **Scopus**

6. **Зимароєва А. А.** Оцінка впливу змін клімату на врожайність кукурудзи на території Поліської та Лісостепової зон України. *Наукові горизонти*. 2019. 11(84). С. 113–120. doi: 10.33249/2663-2144-2019-84-11-113-120 **Scopus**

7. Fedoniuk R. H., Fedoniuk T. P., **Zymaroieva A. A.**, Pazych V. M. & Zubova O. V. (2020). Impact of air born technogenic pollution on agricultural soils depending on prevailing winds in Polissya region (NW Ukraine). *Ecological Questions*, 31(1), 1–24. **Scopus** <https://doi.org/10.12775/EQ.2020.007> (особистий внесок: аналітичний огляд, опрацювання літератури, формулювання висновків).

8. Fedonyuk, T. P., Fedoniuk, R. H., **Zymaroieva, A. A.**, Pazych, V. M. & Aristarkhova, E. O. (2020). Phytocenological approach in biomonitoring of the state of aquatic ecosystems in Ukrainian Polesie. *Journal of Water and Land Development*, 44, 65 - 74. <https://doi.org/10.24425/jwld.2019.127047> **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, опрацювання літератури, формулювання висновків).

9. **Зимароєва А. А.**, Пінкіна Т. В., Іванюк Т. М., Тишковський В. В. Оцінка залежності між параметрами врожайності кукурудзи та показниками ландшафтного різноманіття. *Наукові горизонти*. 2020. 1(86). С. 29–38. doi: 10.33249/2663-2144-2020-86-1-29-38 **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).

10. **Zymaroieva A.**, Zhukov O., Fedonyuk T., Pinkina T. (2020). The spatio-temporal trend of rapeseed yields in Ukraine as a marker of agro-economic factors influence. *Agronomy Research*, 18(S2), 1584–1596. **Scopus** <https://doi.org/10.15159/ar.20.119> (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).

11. **Zymaroieva, A.**, Zhukov, O. & Romanchuck, L. (2020). The spatial patterns of long-term temporal trends in yields of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) in the Central European Mixed Forests (Polissya) and East European Forest Steppe ecoregions within Ukraine. *Journal of Central European Agriculture*, 21(2), 320-332. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.2.2402> **Scopus**. (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).

12. **Zymaroieva A.** & Zhukov O. (2020). Analyzing cereal and grain legumes (pulses) yields patterns in the forest and forest-steppe zones of Ukraine using geographically weighted principal components analysis. *Acta agriculturae*

Slovenica, 116/2, 287 – 297. <https://doi.org/10.14720/aas.2020.116.2.873> **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, написання статті).

13. **Zymaroieva, A.**, Zhukov, O., Fedoniuk, T., Pinkina, T., & Vlasiuk, V. (2021). Edaphoclimatic factors determining sunflower yields spatiotemporal dynamics in northern Ukraine. *OCL*, 28, 26. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021013> **Scopus, Web of Science** (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті.)

14. **Zymaroieva, A.**, Zhukov, O., Fedoniuk, T., Pinkina, T. & Hurelia, V. (2021). The Relationship Between Landscape Diversity and Crops Productivity: Landscape Scale Study. *Journal of Landscape Ecology*, 14(1), 39-58. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2021-0003> **Scopus, Web of Science** (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).

15. **Zymaroieva, A.**, Fedoniuk, T., Matkovska, S., Andreieva, O., & Pazych, V. (2021). Agroecological Determinants of Potato Spatiotemporal Yield Variation at the Landscape Level in the Central and Northern Ukraine. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 4(2), 34-47. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040203>. (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, написання статті).

16. Fedoniuk, T.P., **Zymaroieva A.A.**, Pazych V. M., Petruk A.A. (2021). Influence of Landscape Organization on Surface-water Quality Forming on an Example of Ustya River Basin (Ukraine). *Ecologia Balcanica*. 13(2), 1-21. **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, опрацювання літератури, оформлення статті).

17. **Zymaroieva, A.**, Fedoniuk, T., Matkovska, S., Pinkin, A., & Melnychuk, T. (2022). Analysis of the spatio-temporal trend of sugar beet yield in polissya and forest steppe ecoregions within Ukraine. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1049(1) doi:10.1088/1755-1315/1049/1/012073 **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті)

18. Fedoniuk T.P., Skydan O.V., Melnichuk T.V., **Zymaroieva A.A.**, Pazych V.M. GIS-based landscape management of the Uzh river basin: a strategy to enhance river water quality. *Space Science and Technology*. 2023; 29(4):04-04. **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, опрацювання літератури, оформлення статті).

Публікації у наукових фахових виданнях України

19. **Зимароєва А. А.** Особливості просторово-часового тренду врожайності зернових і зернобобових культур в Поліській та Лісостеповій зонах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. №3. С. 66–73.

20. **Зимароєва А. А.** Закономірності просторово-часової варіабельності урожайності картоплі у Поліській та Лісостеповій зонах України. *Наукові доповіді НУБІП України*. 2019. №1 (77). С. 75–85.
21. **Зимароєва А. А.** Дослідження просторових моделей варіювання врожайності картоплі у Поліській та Лісостеповій зонах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. №1. С. 49–55.
22. **Зимароєва А. А.** Використання географічно зваженого аналізу головних компонент для агроекологічного зонування території України на основі даних варіювання врожайності картоплі. *Збалансоване природокористування*. 2019. №1. С. 48–57.
23. **Зимароєва А. А.** Аналіз варіювання врожайності овочів відкритого ґрунту у Поліссі та Лісостеповій зоні України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. №109 (1). С. 49–56.
24. **Зимароєва А. А.** Регіональна диференціація впливу екологічних факторів на врожайність цукрового буряку. *Таврійський науковий вісник*. 2019. №110 (1). С. 71–81.
25. **Зимароєва А. А.,** Писаренко П. В. Просторовий взаємозв'язок властивостей ґрунту та урожайності кукурудзи. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. №4. С. 108–115. (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).
26. **Zymaroiieva A. A.,** Fedonyuk T. P. Assessing the spatiotemporal dynamics of maize yield in the central and northern regions of Ukraine. *Agrology*. 2019. 2(4), С. 199–204. doi: 10.32819/019028 (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).
27. **Зимароєва А. А.,** Федонюк Т. П., Пінкіна Т. В., Пінкін А. А. Агроекологічні детермінанти варіювання врожайності ріпаку. *Agrology*. 2020. 3(1). С. 12–18. doi: 10.32819/020002 (особистий внесок: аналітичний огляд, збір та обробка експериментальних даних, написання статті).
28. **Зимароєва А. А.** Оцінка впливу кліматичних факторів на просторове варіювання середньої врожайності овочів у відкритому ґрунті в Поліській та Лісостеповій зонах України. *Вісник Львівського національного аграрного університету, серія «Агрономія»*. 2020. 24. С. 107 – 116.
29. **Зимароєва А.А.** Екологічні детермінанти урожайності сої. *Таврійський науковий вісник*. 2020. №112 (1). С. 69 – 76.
30. **Зимароєва А.А.,** Федонюк Т.П., Пінкіна Т.В., Пазич В.М. Закономірності просторового варіювання параметрів урожайності цукрового буряку під впливом екологічних факторів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2021. Вип. 118. С. 74-82. (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, збір та обробка експериментальних даних, написання статті).
31. **Zymaroiieva, A., &** Nykytiuk, Y. (2023). Agroecological drivers of winte rye (*Secale cereale*) yield spatio-temporal variation. *Agrology*, 6(4), 86–91.

doi: 10.32819/021114 (особистий внесок: аналітичний огляд, збір та обробка експериментальних даних, написання статті).

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

32. **Зимароєва А. А.** Просторово-часовий тренд врожайності кукурудзи в Україні. *Сучасне сільське господарство: ключові проблеми та досягнення*: мат. міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції, 15 березня 2019 р. Миколаїв: Миколаївська ДСДС ІЗЗ НААН, 2019. – С. 17.

33. **Зимароєва А. А., Пінкін А. А.** Можливості застосування географічно зваженого аналізу головних компонент для агроекологічного районування території. *Сучасне сільське господарство: ключові проблеми та досягнення*: мат. міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції, 15 березня 2019 р. Миколаїв: Миколаївська ДСДС ІЗЗ НААН, 2019. – С. 52. (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків)

34. **Зимароєва А. А.** Просторово-часовий тренд врожайності сої (*Glycine max* (L.)) в Україні. *Наукові читання-2019*: мат. наук.-практ. конф. наук.-пед. працівн., докторантів, аспірантів та мол. вчених, 15 травня 2019 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2019. С. 32–36.

35. **Зимароєва А. А.** Особливості просторово-часового тренду врожайності жита (*Secale cereale* L.) в Україні. *Органічне виробництво і продовольча безпека*: матеріали VII Міжнар. науково-практичної конф., 23-24 травня 2019 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2019. – с. 201–205.

36. **Зимароєва А. А.** Динаміка врожайності овочів відкритого ґрунту у Поліссі та Лісостеповій зоні України. *Пріоритетні напрями досліджень в науковій та освітній діяльності*: мат. міжнар.-практ. конф., 5–6 грудня 2019 р. Львів, 2019. С. 21–23.

37. **Зимароєва А. А., Пинкина Т. В.** Региональная дифференциация влияния экологических факторов на урожайность овощей открытого грунта. *Scientific achievements of modern society: Abstracts of the 5th International scientific and practical conference*. Liverpool, United Kingdom: Cognum Publishing House, 2020. P. 21–27. URL: <http://sci-conf.com.ua> (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків).

38. **Зимароєва А. А.** Просторово-часовий тренд урожайності сої (*Glycine max* (L.) Merrill) в Україні. *Implementation of modern science into practice: Abstracts of I International Scientific and Practical Conference*. Varna, Bulgaria: SH SCW "NEW ROUTE", 2020. P. 116–121.

39. **Зимароєва А. А.** Застосування аналізу головних компонент для встановлення динамічних аспектів варіювання урожайності сої. *Problems and perspectives of modern science and practice*. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Graz, Austria: SH SCW "NEW ROUTE", 2020. P. 164–167.

40. **Зимароєва А. А.** Моделі динаміки урожайності соняшника на території північної України. *Досягнення та концептуальні напрями розвитку*

сільськогосподарської науки в сучасному світі: мат. III Всеукраїнської науково-практичної конф., 30 березня 2020 р. с. Олександрівка, Дніпропетровська обл., Україна: ТОВ «ТВОРИ», 2020. с. 122 –123.

41. **Зимароєва А. А.** Встановлення моделей варіювання урожайності ріпаку озимого у Поліссі та Лісостепу України. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур*: мат. VIII Міжнар. науково-практичної конф. мол. вчених та спеціалістів., 24 квітня 2020 р. с. Центральне, НААН, МПП ім. В. М. Ремесла, М-во розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. Електр. ресурс: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5ea14c5ce8a3e.pdf>

42. **Зимароєва А. А.,** Пінкіна Т.В. Дослідження впливу ландшафтного різноманіття на продукційний потенціал ріпаку (*Brassica napus L.*) На території Поліської та Лісостепової зон України. *Органічне виробництво і продовольча безпека*: матеріали VIII Міжнар. науково-практичної конф., 21 травня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020 – с. 260 –264.

43. **Зимароєва А. А.** Встановлення взаємозв'язку між урожайністю культур та ландшафтним різноманіттям. *Біологічні дослідження – 2020*: збірник науковх праць, 30 квітня, 2020, Житомир, С. 402 – 404.

44. **Zymaroieva A., Zhukov O., Fedonyuk T., Pinkina T.** The spatio-temporal trend of rapeseed yields in Ukraine as a marker of agro-economic factors influence. *Biosystems Engineering: Abstracts of 11 th International Conference*, May 6-8, 2020. Tartu, Estonia: Estonian University of Life Sciences, 2020, P. 25. (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, збір та обробка експериментальних даних, написання анотації).

45. **Zymaroieva, A., Zhukov, O., Fedonyuk, T. & Pinkin, A.** (2019). Application of geographically weighted principal components analysis based on soybean yield spatial variation for agro-ecological zoning of the territory. *Biosystems Engineering: Abstracts of 11 th International Conference*, May 6-8, 2020. Tartu, Estonia: Estonian University of Life Sciences, 2020, P. 88. (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, збір та обробка експериментальних даних, написання анотації).

46. **Зимароєва А.** Поняття продукційного потенціалу сільськогосподарських культур та його оцінка в Україні. *Органічне виробництво і продовольча безпека*: мат. X Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 100-річчю Поліського національного університету, 21–22 квітня 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 415 – 418.

47. **Zymaroieva, A., Fedoniuk, T., Matkovska, S., Pinkin, A., & Melnychuk, T.** (2022). Analysis of the spatio-temporal trend of sugar beet yield in polissya and forest steppe ecoregions within Ukraine. *Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters. Biodiversity and Ecosystems Sustainability*: 3rd International Conference, May 24 – 27, 2022, Kryvyi Rih, Ukraine, 1049. (особистий внесок: аналітичний огляд, збір та обробка експериментальних даних, підбір та опрацювання літератури).

АНОТАЦІЯ

Зимаросва А. А. Агроекологічні детермінанти просторово-часової динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія. – Дніпровський державний аграрно-економічний університет Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2024.

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і новий підхід до вирішення наукової проблеми встановлення та аналізу моделей просторово-часового варіювання продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів у Поліській та Лісостеповій зонах України. Урожайність культур розглядається як маркер продукційного потенціалу агроландшафтів. Загальний тренд просторової та часової динаміки урожайності основних сільськогосподарських культур на території Поліської та Лісостепової зон України, може бути описаний поліномом четвертого ступеня. Природа тренду має агроекономічне походження. Особливі точки поліноміальної кривої четвертого порядку можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності культур.

У результаті аналізу головних компонент нами була виявлена просторова компонента варіювання залишків регресійних моделей урожайності культур, а це свідчить про те, що ці залишки є результатом впливу не випадкових чинників, а регулярної екологічної складової, яка має регіональні відмінності. Також, глобальний аналіз головних компонент виявив наявність динамічних процесів середньої урожайності культур коливальної природи з різною частотою під впливом агроекологічних факторів. За допомогою географічно-зваженого аналізу головних компонент встановили, що на досліджуваній території існують зони з певними закономірностями часової динаміки урожайності культур, які є однорідними всередині кожної області, але якісно відрізняються між зонами. На основі принципу однорідності характеру динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських територій нами виконано виділення агродинамічних кластерів, які віддзеркалюють характер взаємозв'язків між окремими просторовими одиницями. Кожний кластер характеризується певним характером динаміки продукційного потенціалу та, у певному діапазоні, інваріантними патернами реагування на варіювання агроекологічних чинників.

Параметри урожайності кукурудзи, сої, картоплі та соняшнику проявляють найбільшу кореляцію до показника континентальності клімату. Урожайності цукрового буряка і жита найбільш чутливі до мінливості температурного режиму в екстремальні періоди року, а параметри урожайності овочів залежать від мінливості температурних умов в період вегетації. Урожайність усіх досліджених культур, за виключенням картоплі, найбільшою мірою залежить від гранулометричного складу ґрунту, причому до вмісту піску проявляє негативну кореляцію. У ході дослідження виявлено значний вплив показників

ландшафтного різноманіття на параметри урожайності усіх досліджених культур. Причому, як правило, ці залежності мають нелінійний характер, а це свідчить про те, що існує якийсь оптимальний рівень ландшафтного різноманіття для досягнення максимально можливої урожайності культури. Параметр максимального рівня урожайності, який по суті і віддзеркалює продукційний потенціал території, проявляє найбільшу чутливість до екологічних факторів (від 35 до 70 % в залежності від культури). Це пояснюється тим, що на цьому етапі розвитку сільськогосподарського виробництва, коли потенціал агротехнологій вже майже повністю вичерпаний, на передній план виходять екологічні фактори, які і визначають верхній ліміт урожайності культур.

Ключові слова: продукційний потенціал, врожайність, агроландшафти, просторово-часова динаміка, варіювання, модель, тренд, агроекологічні детермінанти.

ABSTRACT

Zymarioieva A. A. Agroecological determinants of the productive potential spatio-temporal dynamics in agricultural landscapes of Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine. – Qualification scientific paper, manuscript.

Thesis for the Degree of Doctor of agricultural sciences, specialty 03.00.16 – ecology. – Dnipro State Agrarian and Economic University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2024.

The dissertation presents a theoretical generalization and a new approach to solving the scientific problem of modelling spatiotemporal variation of the productive potential of agricultural landscapes in the Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine. Crop yield is the marker of agricultural landscapes' productive potential. The general trend of spatiotemporal dynamics of basic crops yield in the Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine can be described by the fourth-degree polynomial. The general trend has agro-economic origin. The characteristic points of the fourth-degree polynomial curve can be meaningfully interpreted and applied to describe the dynamics of crop yields. According to the principal components analysis, there is a spatial component of variation of crop regression models residuals, which indicates that these residuals are spatially-structured and therefore they are not the result of the random factors influence, but of a regular environmental component that has regional differences. It was established via geographically weighted principal components analysis that there are zones with certain patterns of temporal dynamics of crop yields under the influence of environmental factors, which are homogeneous within each region, but qualitatively different between the zones. Based on the principle of uniformity of land productive potential dynamics character, we distinguished agrodynamic clusters, which reflect the nature of interconnections between separate spatial units. Yields parameters of corn, soybeans, potatoes and sunflowers show the highest correlation with the index of climate continentality. The yield of the studied crops, with the exception of potatoes, is most dependent on the particle size distribution of the soil, and negatively correlated with the sand content. Potato yield

parameters (logarithmic slope, lower and upper yield limits) are most correlated with the silt content of the soil. The study revealed a significant impact of landscape diversity on the yield parameters of all the studied crops. Typically, these dependencies are nonlinear, indicating that there is an optimal level of landscape diversity to maximize crop yields. The maximum level of the yield of all crops, which essentially reflects the productive potential of the territory, shows the greatest sensitivity to environmental factors (from 35 to 70% depending on the crop). This is due to the fact that at this stage of agricultural production when the potential of agricultural technologies is almost completely exhausted, environmental factors that determine the upper limit of crop yields come to the fore.

Keywords: productive potential, yield, agro-landscapes, spatiotemporal dynamic, variation, model, trend, agroecological determinants.