

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

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ЗИМАРОЄВА АНАСТАСІЯ АНАТОЛІЇВНА**

УДК 631.559

**ДИСЕРТАЦІЯ**

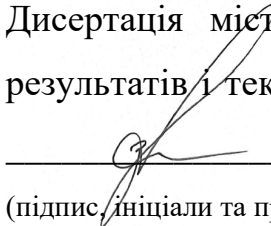
**«АГРОЕКОЛОГІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ  
ДИНАМІКИ ПРОДУКЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЛАНДШАФТІВ ПОЛІСЬКОЇ ТА  
ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОН УКРАЇНИ»**

03.00.16 – екологія

Сільськогосподарські науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
\_\_\_\_\_ Зимароєва А.А.  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

**Дніпро - 2024**

## АНОТАЦІЯ

Зимароєва 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.

Визначення детермінантів просторово-часової динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України є актуальною науковою проблемою, оскільки ця інформація є підґрунтям для реалізації будь-якої стратегії управління сільськогосподарським виробництвом щодо забезпечення продовольчої безпеки та сталого розвитку агроландшафтів. Метою роботи є встановлення закономірностей просторово-часового варіювання продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів у Поліській та Лісостеповій зонах України. У роботі вирішені наступні завдання: встановлено загальний тренд, що відображає просторово-часову мінливість врожайності основних сільськогосподарських культур на території ряду областей України у Лісостеповій та Поліській зонах впродовж 1991–2017 рр.; показано можливість застосування особливих точок поліноміальної кривої щодо змістовної інтерпретації динаміки урожайності та картування регіонів України, які мають найбільший продукційний потенціал для вирощування конкретних культур; визначено співвідношення факторів динаміки урожайності культур агроекономічної та агроекологічної природи та виявлено фактори, які на даному етапі розвитку аграрного комплексу України, лімітують урожайність сільськогосподарських культур; відокремлено

коливальну складову варіювання урожайності культур у часі під впливом комплексу агроекологічних факторів; доведена можливість дослідження локальних трендів часового варіювання урожайності за допомогою географічно зваженого аналізу головних компонент; розроблено методіку агродинамічного районування території, яка може стати основою для прийняття рішень з управління посівами сільськогосподарських культур; виявлені кліматичні фактори, які найбільше впливають на варіювання параметрів урожайності сільськогосподарських культур та виділені території, де урожайність критично залежить від цих факторів; з'ясовано основні ґрунтові предиктори варіювання показників врожайності; оцінено внесок показників ландшафтного різноманіття у варіювання параметрів урожайності сільськогосподарських культур. Об'єктом дослідження є продукційний потенціал сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України. Предметом вивчення є моделі просторово-часового варіювання продукційного потенціалу агроландшафтів Поліської та Лісостепової зон України. У дисертації уперше встановлені статистичні моделі просторово-часового варіювання врожайності основних сільськогосподарських культур на території 10 областей Поліської та Лісостепової зон України; визначено внесок факторів різної природи у варіювання урожайності культур; застосовано аналіз географічно-зважених головних компонент для виявлення локальних моделей варіювання продукційного потенціалу територій; введено новий термін – «агродинамічне районування», який запропоновано застосовувати до територіальних одиниць, котрі характеризуються однаковою часовою динамікою урожайності; розроблена методіка агродинамічного районування територій; виявлено основні агроекологічні детермінанти продукційного потенціалу агроландшафтів Поліської та Лісостепової зон; встановлено патерни взаємодії між факторами ландшафтного різноманіття та урожайністю сільськогосподарських культур у великих просторових масштабах. У роботі удосконалено: концепцію продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів, методіку картування територій за рівнем

продукційного потенціалу, методологію агроекологічного зонування, прикладні аспекти застосування ГІС технологій для моніторингу та прогнозування продукційного потенціалу територій. У дисертаційному дослідженні набули подальшого розвитку статистичні методики відокремлення агроекономічних від агроекологічних аспектів варіювання урожайності культур, дослідження продукційного потенціалу території України, концепція закону мінімуму Лібіха, уявлення про вплив зміни клімату на урожайність культур на території Поліської та Лісостепової зон України. Результати роботи розвивають просторову агроекологію як цілісний напрямок та можуть бути застосовані для наукового обґрунтування заходів з управління посівами на території Поліської та Лісостепової зон України. Принципи та методи розроблені у дисертації лягли в основу моделювання продукційного потенціалу агроландшафтів на території Поліської та Лісостепової зон України. Дослідження детермінантів просторово-часових трендів урожайності культур надає практичні інструменти для екологічної оцінки сільськогосподарських ландшафтів та їх потенціалу щодо 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, оскільки більше відповідає сучасним вимогам, бо у ньому враховані різноманітні аспекти варіювання урожайності, які є неминучими в умовах глобальних змін клімату та трансформації екосистем. Для моделювання продукційного потенціалу агроекосистем за впливів кліматичних змін та деградаційних процесів у ґрунтах, здійснені нами дослідження можуть стати відправною точкою. У зв'язку з важливими «екосистемними послугами» об'єктів природо-заповідного фонду або природних осередків поблизу агроландшафтів, отримані результати можуть бути використані при обґрунтуванні створення нових об'єктів такого

скерування, а, так звані, «екосистемні послуги» ще й можуть бути економічно обраховані на основі отриманих нами статистичних закономірностей.

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і новий підхід 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, оскільки він повністю віддзеркалює економічний цикл, який пройшла Україна за період 1991–2017 рр. Для описання динаміки урожайності культур можна змістовно інтерпретувати та застосувати особливі точки поліноміальної кривої четвертого порядку. Так, на урожайність культури в стартовий період вказує вільний член поліному. 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. Як показник ролі агротехнологічних та агроекономічних чинників у динаміці врожайності може бути інтерпретований коефіцієнт детермінації регресії загального тренду, а його картування дозволяє виділити території, які найбільш чутливі до цих факторів. Найбільш чутливою культурою до впливу агроекономічних та агротехнологічних факторів є цукровий буряк, а найменш чутливою – соняшник. Встановлено, що роль лімітуючих факторів для агроекологічних систем регіонів України, які знаходяться далеко від максимальної екологічної ємності, виконують агроекономічні та агротехнологічні фактори. Україна наразі має потенціал стати надійним постачальником сільськогосподарських культур на світові ринки за умови якісної перебудови виробництва, а це потребує економічних витрат та впровадження новітніх агротехнологічних підходів. 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. 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. 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. У результаті аналізу головних компонент виділено 4 головних кліматичних компоненти, які разом пояснюють 92,5% варіабельності простору ознак. Параметри урожайності кукурудзи, сої, картоплі та 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 залежить від мінливості температурних умов в період вегетації. Всі зазначені закономірності проявляються у просторовому варіюванні урожайності культур. Так, зокрема, урожайність культур зростає з півночі на південь дослідженого регіону. Факторний аналіз просторової варіабельності ґрунтових умов виділив 6 головних компонент, які пояснюють

98,5% загальної варіабельності ґрунтових умов. Кожна з шести компонент проявляє найбільшу кореляцію із однією або декількома ґрунтовими змінними. Урожайність усіх досліджених культур, за виключенням картоплі, у найбільшій мірі знаходиться у залежності від гранулометричного складу ґрунтів, при цьому проявляє негативну кореляцію до вмісту піску. Параметри урожайності картоплі (ухил логарифмічної прямої, нижня та верхня границя продуктивності) найбільшу кореляцію проявляють до вмісту мулу у ґрунті. 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. Майже в усіх досліджуваних культур (за винятком сої) параметр максимального рівня урожайності проявляє залежність від показників ландшафтного різноманіття. Цей показник, 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 даному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва, коли потенціал агротехнологій вже майже повністю вичерпаний, на передній план виходять екологічні фактори, які і визначають верхній ліміт урожайності культур. За умов посиленого тиску на природні екосистеми, точна оцінка впливу екологічних чинників на продукційний потенціал агроландшафтів є надзвичайно важливим завданням, оскільки дозволяє адаптувати агроекосистеми до можливих змін у навколишньому середовищі.

**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.

Defining the determinants of the spatiotemporal dynamics of the productive potential of agricultural landscapes in the Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine is an urgent scientific problem, which is the basis for the implementation of any agricultural management strategy for ensuring food security and sustainable development of agricultural lands. The aim of this study is to establish regularities of the spatio-temporal variation of the productive potential of agricultural landscapes in the Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine. The following tasks are solved in the dissertation: the general trends of yield spatiotemporal variability within the administrative regions in Polissia and Forest-steppe zones of Ukraine during 1991–2017 were established; the possibility of using characteristic points of the polynomial curve for meaningful interpretation of yield dynamics and mapping of areas of Ukraine that have the highest production potential for crops cultivation was shown; the contribution of agroeconomic and agroecological factors in crop yields dynamics was determined and factors that limiting land productive potential at the current stage of the agrarian complex of Ukraine development were identified; the oscillatory component of yield variation over time under the influence of a complex of agro-environmental factors was differentiate; the possibility of investigating local patterns of yield temporal variation due to geographically weighted principal components analysis has been proved; the methodology for agrodynamic zoning of the territory, which can become the basis for crop management decision was developed; climatic factors that most influence the variation of crop yield parameters were identified and areas where yields are critically dependent on these factors were



determined; the major soil predictors of productivity indicators variation were found out; the contribution of landscape diversity to the variation of crop yield parameters was evaluated. The object of the study is the productive potential of agricultural landscapes in the Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine. The study subject is models of spatiotemporal variation of production potential of agricultural landscapes of Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine. In the thesis, for the first time, the statistical models of spatial and temporal variation of the crops yields on the territory of 10 regions of the Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine were established; the contribution of different factors to the crop yield variation was determined; the geographically weighted principal components analysis was applied to identify local patterns of land productive potential variation; a new term – "agrodynamic zoning", which is proposed to be applied to the territorial units, which are characterized by the same temporal dynamics of productivity was introduced and the methodology for the agrodynamic zoning of territories was developed; the basic agro-ecological determinants of the land production potential of the Polissia and Forest-steppe zones were identified; the patterns of interaction between landscape diversity and crop yields on a large spatial scale have been established. The study improved: the concept of the productive potential of agricultural landscapes, the methodology of mapping territories by the level of productive potential, agro-ecological zoning methodology, applied aspects of GIS technologies for monitoring and forecasting of land productive potential. In the dissertation have been further developed: the statistical methods of separating agro-economic from agroecological aspects of crop yield variation, the study of the land productive potential of Ukraine, the concept of Liebig law of the minimum, an idea of the impact of climate change on crop yields in the Polissya and Forest-Steppe zones of Ukraine.

The results develop spatial agroecology as a holistic direction and can be applied for scientific substantiation of crop management in the areas of Polissia and Forest-steppe zones of Ukraine. The principles and methods developed in the dissertation formed the basis for modelling the productive potential of agricultural landscapes in the Polissya and Forest-Steppe zones of Ukraine. Research of the

determinants of the yields spatiotemporal trends provides practical tools for the ecological assessment of agricultural landscapes and their potential for crop-specific cultivation. The method of agrodynamic zoning of the territory was developed and tested on the basis of dynamic aspects of crop yield variation. This technique has considerable practical importance and is fundamentally different from the classical zoning of the territory based on the average level of crop yields. Our methodological approach is more consistent with current requirements because it takes into account various aspects of yield variation, which are inevitable in the context of the global climate change and ecosystem transformation. The study can be a starting point for the modelling of the productive potential of agroecosystems which are influenced by climate change and degradation soils processes. The results can also be used to justify the creation of new nature reserve assets or natural cells near agro-landscapes due to their important "ecosystem services". Moreover, based on the obtained statistical regularities, these ecosystem services can be economically calculated.

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 Polissia and Forest-steppe zones of Ukraine can be described by the fourth-degree polynomial. The general trend has agro-economic origin because it fully reflects the economic cycle that Ukraine has over the period 1991–2017. The characteristic points of the fourth-degree polynomial curve can be meaningfully interpreted and applied to describe the dynamics of crop yields. In particular, the constant term of polynomial equation (constant  $b$ ) indicates the productivity of the crop in the starting period. It can be an indicator of favourable soil and climatic conditions for crop-specific cultivation. The indicators of the maximum rate of reduction and the maximum rate of increase of yields can be used as markers of agroecosystem stability to external factors. The coefficient of determination of the general trend regression can be interpreted as an indicator of the role of agro-technological and

agro-economic factors in the yield dynamics, and its mapping allows to distinguish the territories most sensitive to these factors. Sugar beet is the most sensitive crop to agro-economic and agro-technological factors, and sunflower is the least sensitive one. We found that the agroecological systems of the regions of Ukraine are far from the maximum ecological capacity, and the role of limiting factors has agro-economic and agro-technological factors. Under the condition of qualitative restructuring of agricultural production, which requires economic costs and the introduction of the latest agrotechnological approaches, Ukraine has the potential to become a reliable breadbasket of the world. 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. Also, the global principal components analysis revealed the presence of yield dynamic processes of oscillatory nature with different frequency under the influence of agroecological factors. 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. Knowledge of these dynamic aspects of crop variation is essential for crop management. 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. Each cluster is characterized by a specific nature of productive potential dynamics and, in a certain range, by invariant patterns of response to ecological changes. As a result of the principal component analysis, 4 principal climate components were identified, which together account 92.5% of the variability of the feature space. Yields parameters of corn, soybeans, potatoes and sunflowers show the highest correlation with the index of climate continentality. Sugar beet and rye yields are the most sensitive to temperature variability in extreme seasons, and vegetable yields depend on temperature variability during the growing season. All these patterns are manifested

in the spatial variation of crop yields. Thus, in particular, crop yields increase from the north to the south of the studied region. Factor analysis of spatial variability of soil conditions identified 6 principal components that explain 98.5% of the total variability of soil conditions. Each of the six components has the highest correlation with one or several soil variables. 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 parameter of the maximum level of the yield of all crops (except soybean), shows dependence on landscape diversity. This indicator, 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. In the face of increased pressure on natural ecosystems, accurately assessing the impact of environmental factors on the productive potential of agro-landscapes is an extremely important task as it allows to adapt agroecosystems to possible changes in the environment.

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

**Список публікацій здобувача в яких опубліковані основні наукові  
результати 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). Agroeconomic and 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, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).

3. **Zymaroieva, A.**, Zhukov, O., Romanchuck, L. & Pinkin, A. (2019). Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (6), 1107–1113. **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання 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., **Zimarioieva 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., **Zymarioieva, 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. **Zymarioieva 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. **Zymaroieva 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, підбір та опрацювання літератури, 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 буряка 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, підбір та опрацювання літератури, 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.) Merril) 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, МІП 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 наукових 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. **Zymarioieva, 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, підбір та опрацювання літератури, збір та обробка експериментальних даних, написання анотації).*

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	25
ВСТУП.....	26
<b>РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ТА ФАКТОРІВ, ЯКІ ЙОГО ЛІМІТУЮТЬ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....</b>	<b>35</b>
1.1. Поняття продукційного потенціалу сільськогосподарських культур та його оцінка в Україні.....	35
1.2. Моделі просторового-часового варіювання урожайності.....	43
1.3. Особливості агроекологічного районування території. Стан вивчення питання в Україні.....	52
1.4. Вплив змін клімату на варіювання урожайності сільськогосподарських культур.....	57
1.5. Вплив ґрунтових показників на урожайність сільськогосподарських культур.....	66
1.6. Встановлення взаємозв'язку між біорізноманіттям та урожайністю.....	74
<b>РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>86</b>
2.1. Фізико-географічна характеристика регіону досліджень.....	86
2.2. Методологія досліджень.....	96
<b>РОЗДІЛ 3. ЧАСОВІ ТРЕНДИ УРОЖАЙНОСТІ ОСНОВНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ТЕРИТОРІЇ ПОЛІСЬКОЇ ТА ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОН УКРАЇНИ.....</b>	<b>110</b>
3.1. Просторово-часові закономірності варіювання урожайності кукурудзи.....	111
3.2. Просторово-часовий тренд урожайності сої в Україні .....	119

3.3.	Агроекономічні та агротехнологічні аспекти просторового варіювання урожайності жита озимого у Поліський та Лісостеповій зонах України.....	128
3.4.	Закономірності просторово-часової варіабельності урожайності картоплі у Поліській та Лісостеповій зонах України.....	133
3.5.	Аналіз просторово-часового тренду врожайності цукрового буряка.....	137
3.6.	Аналіз варіювання врожайності овочів відкритого ґрунту у Поліссі та Лісостеповій зоні України.....	145
3.7.	Динаміка урожайності ріпаку озимого на території України...	151
3.8.	Аналіз динаміки урожайності соняшника на території Поліської та Лісостепової зон України.....	158
<b>РОЗДІЛ 4. ПРОСТОРОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ДИНАМІКИ</b>		
	<b>УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР</b>	<b>168</b>
4.1.	Визначення просторових аспектів варіювання урожайності зернових та зернобобових культур під впливом екологічних факторів.....	169
4.2.	Регіональна диференціація впливу екологічних факторів на урожайність коренебульбоплодів, технічних та овочевих культур.....	200
<b>РОЗДІЛ 5. АГРОЕКОЛОГІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ ПРОДУКЦІЙНОГО</b>		
	<b>ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ</b>	
	<b>ЛАНДШАФТІВ У ПОЛІСЬКІЙ ТА ЛІСОСТЕПОВІЙ ЗОНАХ</b>	
	<b>УКРАЇНИ.....</b>	<b>246</b>
5.1.	Аналіз екологічних факторів дослідженого регіону.....	247
5.1.1.	Характеристика біокліматичних змінних.....	247
5.1.2.	Характеристика ґрунтових змінних.....	251
5.1.3.	Оцінка ландшафтного різноманіття дослідженої території.....	254

5.2.	Вплив екологічних факторів на варіювання урожайності кукурудзи.....	256
5.2.1.	Дослідження параметрів урожайності кукурудзи.....	256
5.2.2.	Оцінка впливу екологічних факторів на врожайність кукурудзи.....	259
5.3.	Агроекологічні чинники варіювання урожайності сої.....	261
5.4.	Агроекологічні детермінанти урожайності жита озимого.....	266
5.5.	Агроекологічні детермінанти параметрів урожайності картоплі.....	271
5.6.	Закономірності просторового варіювання параметрів урожайності цукрового буряка під впливом екологічних факторів.....	276
5.7.	Варіювання параметрів урожайності овочів відкритого ґрунту під впливом екологічних факторів.....	281
5.8.	Екологічні детермінанти варіювання урожайності ріпаку.....	286
5.9.	Оцінка внеску екологічних факторів у варіювання параметрів урожайності соняшника.....	292
РОЗДІЛ 6. КОНЦЕПЦІЯ ПРОДУКЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АГРОЛАНДШАФТІВ.....		298
ВИСНОВКИ.....		307
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....		311
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....		312
ДОДАТОК 1.....		368
ДОДАТОК 2.....		369
ДОДАТОК 3.....		370
ДОДАТОК 4.....		371
ДОДАТОК 5.....		372
ДОДАТОК 6.....		373
ДОДАТОК 7.....		374
ДОДАТОК 8.....		375
ДОДАТОК 9.....		376



**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ**

FAO (Food and Agriculture Organization) – Продовольча і сільськогосподарська організація ООН.

PCA (Principle component analysis) – аналіз головних компонент.

PC (Principle component ) – головна компонента.

GWPCA (Geographically weighted principal components analysis) – географічно-зважений аналіз головних компонент.

GWPC (Geographically weighted principal component) – географічно-зважена головна компонента.

AEZ (Agro-ecological zoning) – агроекологічне районування.

PTV (Percentage of Total Variance) – процент загальної варіації.

Lower Limit – найменший рівень врожайності за період досліджень.

Slope – ухил кривої тренду, 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.

Shannon – коефіцієнт Шеннона.

ПЕЛ – природні елементи ландшафту (natural landscape elements – NLEs).

Mean – середнє значення врожайності культури.

CV – коефіцієнт варіації.

b – вільний член поліному четвертого ступеню.

a1 – максимальна швидкість зниження врожайності.

a2 – максимальна швидкість зростання врожайності.

R<sup>2</sup> або R2 – коефіцієнт детермінації.

ПЗФ – природно-заповідний фонд.

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі.

ГІС – геоінформаційні системи.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Продукційний потенціал сільськогосподарських ландшафтів є ключовим показником наукової оцінки продуктивності рослинництва та збалансованого використання земельних ресурсів [496]. Концепція продукційного потенціалу агроландшафтів ґрунтується на урожайності сільськогосподарських культур як динамічному показнику, який відображає поточний стан агроєкосистеми та складні зв'язки між її компонентами [282, 436, 481]. До глобальних чинників, які визначають урожайність та її варіювання відносять технологію виробництва, генетичний потенціал культур та екологічні фактори [282, 436, 481]. Серед останніх, визначальними і найбільш впливовими є клімат (погода) та ґрунтові умови [355, 294, 366, 506]. 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 [102], Ю. Л. Раунера [125], Х. Г. Тоомінга [140], А. М. Польового [121], В.М. Пасова [109], Т.Ф. Платонової [113], О. Г. Тараріко [138], О. В. Жукова [512], В. В. Медведєва [92], а також В. Eghball [248], Т. М. Osborne [415], М.С. Anderson [165], D. K. Ray [436], D. V. Lobell [370, 371], R. Muller [403], D. Tilman [481] 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 агроекологічне районування, різноманітні методичні підходи до проведення якого розробляли вітчизняні вчені: О. М. Маринич [84], О. Г. Мордвінов [98], П. В. Писаренко [73], О. І. Фурдичко [143], Т. М. Єгорова [36], Д. С. Добряк та Д. І. Канаш [34], Н. М. Міщенко та К. В. Гуменюк [97], В. І. Пічура [425] та інші. Але у агроекологічному 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 агроекологічного 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) [124], 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 було виконано у рамках науково-дослідної теми «Моделювання продукційного потенціалу агроecosистем Поліської та Лісостепової зон України» (№ держреєстрації 01191103684), де керівником є Зимароєва А. А. Питання дослідження тваринного світу агроecosистем 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 агроекологічних 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/z3iA1lo>), де Зимарова 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.

Зимарова 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 і завдання дослідження.** Метою роботи є встановити закономірності просторово-часового варіювання продукційного потенціалу

сільськогосподарських ландшафтів у Поліський та Лісостеповій зонах України.

Щоб досягти поставлену мету 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 впродовж 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 та Лісостепової зон України.

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

**Методи досліджень:** загальнонаукові (аналізу, синтезу, індукції, дедукції, абстракції, аналогії та моделювання) – для оцінки взаємозв'язку між агроекологічними факторами впливу та просторово-часовими аспектами варіювання врожайності сільськогосподарських культур; методи математичної статистики та методи 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 та візуалізації просторової бази даних; ДЗЗ-технології – для встановлення просторового варіювання ґрунтових умов та 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 та 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 та 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;

- прикладні аспекти застосування ГІС технологій для моніторингу та 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 просторову агроекологію як цілісний напрямок та можуть бути застосовані для наукового обґрунтування заходів з управління посівами на території Поліської та Лісостепової зон України. Принципи та методи розроблені у дисертації лягли в основу моделювання продукційного потенціалу агроландшафтів 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», «Агроекологія», «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 весь 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 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.

**РОЗДІЛ 1****ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКЦІЙНОГО  
ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ТА  
ФАКТОРІВ, ЯКІ ЙОГО ЛІМІТУЮТЬ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД  
ЛІТЕРАТУРИ)****1.1. Поняття продукційного потенціалу сільськогосподарських культур  
та його оцінка в Україні**

Наразі ми спостерігаємо стрімке збільшення попиту на сільськогосподарську продукцію через зростання чисельності населення Світу, а це, в свою чергу, призвело до безпрецедентного виклику для продовольчої безпеки людства [207, 282, 436, 481]. За оцінками [331], глобальний попит на рис зросте з 676 мільйонів тонн у 2010 році до 852 мільйонів тонн у 2035 році за загального приросту на 26% або 176 млн тонн у найближчі 25 років. Світовий попит на пшеницю та кукурудзу до 2027 р. оцінюється відповідно 882 та 916 млн. тонн [214].

Зростання темпів виробництва продуктів харчування може досягатися як через розширення площі виробництва рослин, так і за рахунок підвищення врожайності сільськогосподарських культур на існуючих сільськогосподарських угіддях або обома цими шляхами [216]. Проте, якщо вирішувати існуючу проблему розширюючи площі посівів, то це може призвести до значного збільшення викидів парникових газів, що відповідно викличе зміни кліматичних показників [497].

Низька мінливість урожайності сільськогосподарських культур з року в рік є бажаною з багатьох причин, зокрема, з таких як зменшення ризиків втратити дохід та стабільність поставок, що призведе до спаду нестабільності цін на важливі харчові продукти [415]. Щорічні варіації урожайності сільськогосподарських культур обумовлені наступними чинниками: коливанням погодних умов, зміною чисельності шкідників та інтенсивності хвороб сільськогосподарських культур, ступенем використання ресурсів і

удосконаленням технології ведення господарства [415, 165]. Відмінності у вирішенні агрономічних проблем, таких як зараження шкідниками/патогенами та рівень зрошення, призводять до різниці в урожайності у різних країнах. Відмінності в технологічних інвестиціях, а також різноманітність застосовуваних сільськогосподарських технологій, як то посів, захист рослин та використання мінеральних добрив, також можуть спричиняти відмінності у врожайності [168].

Одним із завдань сільськогосподарського виробництва є досягнення максимальної урожайності за мінімальних витрат. Раннє виявлення та управління проблемами, пов'язаними з показниками врожайності сільськогосподарських культур, дає можливість підвищити як показники врожайності, так і подальший прибуток від його реалізації. Моніторинг сільського господарства, особливо в країнах, що розвиваються, може покращити виробництво харчових продуктів та дасть змогу підтримати гуманітарні зусилля людства, які пов'язані зі змінами клімату і поширенням посух [165]. Ці підходи є досить успішними в США та європейських країнах, де дані з моніторингу є високоякісними та достатніми для прийняття рішень. До таких відносяться, наприклад, комплексні дані параметрів погоди, такі як Daumet та про типи земельних покривів територій, зокрема, Cropland Data Layer [479, 507]. Вони є загальнодоступними та значно полегшують завдання прогнозування урожайності. Проте, в Україні та інших країнах, що розвиваються, дані стосовно погоди, властивостей ґрунту та точна інформація про типи земельного покриву, зазвичай, є недоступними, хоча надійні прогнози врожайності також вкрай потрібні.

Продукційний потенціал сільськогосподарських ландшафтів вперше розглядався в публікації «Обмеження зростання» (The Limits to Growth) [392]. У 1982 році Продовольча і сільськогосподарська організація ООН (ФАО, ФАО) опублікувала звіт: «Підтримка населенням продукційного потенціалу земель у світі, що розвивається» (Potential Population Supporting Capacities of Lands in the Developing World) [257]. У цій роботі ФАО розробила метод

агроекологічного зонування територій для оцінки продукційного потенціалу територій, використовуючи емпіричні формули. Продукційний потенціал територій – це складне поняття, що визначає придатність земельної ділянки для певного виду землекористування певним способом. Продукційний потенціал агроландшафтів вимірюється за рівнем урожайності конкретних культур. З 1980-х рр. були розроблені імітаційні моделі для різних сільськогосподарських культур, зокрема, MACROS, WOFOST, CERES та EPIC [421, 203, 201, 393, 278]. Імітаційні моделі розглядають урожайність та екологічні фактори, що його визначають, в цілому, описуючи основні фізіологічні процеси росту сільськогосподарських культур у кількісному вираженні щоденно, та можуть оцінювати ступінь навантаження на ріст сільськогосподарських культур температури, наявності води та інших чинників [201]. Перевагами імітаційних (симуляційних) моделей є їх краща точність порівняно з емпіричними формулами саме тому вони широко застосовуються для оцінки продукційного потенціалу агроландшафтів.

Деякі вчені [254], під потенціалом врожайності розуміють урожайність сорту, котрий виростили в умовах, до яких він адаптований, без будь-яких обмежень у поживних речовинах чи воді, а також за ефективного контролю шкідників, хвороб, бур'янів та інших стресів. Хоча це визначення є досить точним, вимірювання потенціалу врожайності в реальних польових умовах досить непросте завдання, оскільки неможливо усунути усі біотичні та абіотичні стреси для рослини [215]. Тому, К. Г. Кассман (1999) [214] дав порівняно більш функціональне визначення поняття «потенціал врожайності»: урожайність, отримана при вирощуванні адаптованого сорту з мінімально можливим стресом, яку можна досягти за допомогою найкращих методів управління посівами. Однак, існує певна ступінь неточності у конкретизації мінімально можливого стресу та найкращих практик управління. Крім того, точна оцінка потенціалу врожайності в реальних польових умовах малоймовірна.

Інші вчені [223] визначали потенціал урожайності як урожай, який можна отримати з сучасних сортів в ідеальних умовах за відсутності поганої погоди, хвороб, ґрунтових чи поживних обмежень за оптимізації управління та генетики. Хоча, потенціал врожайності можна розглядати і в іншому контексті, зокрема врожай рису визначали як максимальну урожайність культури даного сорту в даному середовищі за відсутності нестачі води, поживних речовин, конкуренції або обмежень хвороб [234]. Останні будуть різними в умовах, що різняться за температурним режимом та режимом сонячної радіації. Згідно з цим визначенням, потенціал урожайності не вимірюється в ідеальному кліматичному середовищі, а тому може змінюватися від регіону до регіону або від середовища до середовища.

Розрізняють потенційну та реалізовану врожайність сорту [193]. Потенційний урожай досягається тоді, коли сорт не піддавався ніякому негативному впливу, зокрема, шкідників та хвороб, а реалізована урожайність отримана в умовах наявності цих негативних явищ.

Доведено, що потенціал урожайності можна використовувати, в основному, для вимірюваних порівнянь культурних сортів, а потенційну врожайність можна застосовувати для порівнянь між різними культурами та різними середовищами, а також для оцінки ймовірних майбутніх меж урожайності культури [255]. Отже, існує чітке розмежування між потенціалом урожайності та потенційною урожайністю. Так, потенціал урожайності визначається як «максимальний урожай, який може досягти сорт за найкращого середовища, а потенційна урожайність – як максимальний урожай, який може бути реалізований комбінацією сорту та навколишнього середовища за умов найкращого менеджменту» [251].

Отже, продукційний потенціал (або потенціал урожайності) – це урожайність з урахуванням комбінації сорту та навколишнього середовища за найкращого управління посівами; вона буде різною в середовищах, які відрізняються температурним та сонячним режимами. Більшу частину часу вегетації навколишнє середовище обмежує потенціал урожайності сорту,

таким чином, потенційна врожайність сорту помножена на комбінацію факторів навколишнього середовища є величиною, яку можна оцінити [157]. Потенційна врожайність варіює просторово, залежно від рівня екологічних обмежень та сортів, що використовуються. Тому, якщо розглядати регіон або зону, потенційна урожайність змінюється у залежності від конкретного середовища у межах регіону чи зони, врешті-решт, вимагаючи оцінки максимальної, мінімальної та середньої потенційної врожайності для регіону чи зони. Аналогічно, даний сорт матиме різний потенційний рівень урожайності залежно від місця його вирощування і різні сорти матимуть однакові значення потенційного врожаю залежно від відмінностей у середовищах, у яких вони вирощуються. Реалізована урожайність на рівні господарства чітко відрізняється від потенціалу врожайності. Реалізований урожай, який є фактичним урожаєм на рівні господарства, часто нижчий, ніж потенційний урожай і дуже мінливий у просторі та часі, оскільки на нього впливають не тільки різні фізичні та біологічні середовища, але і практика управління посівами [255]. Різниця між потенціалом урожайності та фактичною урожайністю являє собою «прогалину» або «розрив» урожайності (yield gap) (рис. 1.1).

Отже, генотип, сонячне випромінювання, температура, популяція рослин та ступінь дефіциту води визначають обмежений потенціал урожайності. На додачу до зменшення, врожайність від обмеженого водопостачання та фактичні врожаї господарства визначаються величиною зниження врожаю чи втрат від інших факторів, таких як дефіцит або дисбаланс поживних речовин, бідний ґрунт, хвороби рослин, комахи-шкідники, конкуренція з боку з бур'янів, заболочування тощо [254].

Такі управлінські рішення як вибір гібриду, дата та густина сівби рослин можуть впливати на потенціал урожайності в даних умовах, визначаючи використання наявного сонячного випромінювання і запасів вологи в ґрунті протягом вегетаційного періоду [255].

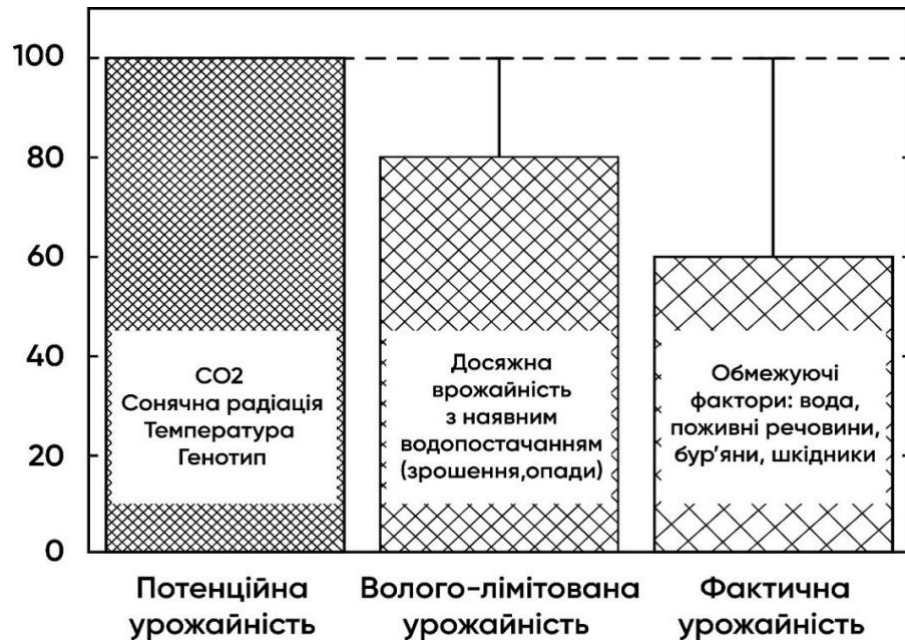


Рис. 1.1. Концептуальні рамки потенціалу врожайності: обмежений водопостачанням потенціал врожайності та фактична врожайність господарства, обмежена низкою виробничих факторів, вісь ординат – урожайність, % [215]

Потенціал урожайності також коливається з року в рік (як правило,  $\pm 10\text{--}15\%$ ) у зв'язку зі стандартним варіюванням інтенсивності сонячної радіації та температурного режиму [157]. Для досягнення потенціальної врожайності, культури повинні бути оптимально забезпечені водою і поживними речовинами та повністю захищені від бур'янів, шкідників, хвороб та інших факторів, які можуть бути лімітуючими. Таке рідко досягається в польових умовах, і фермерам, мабуть, не буде економічно вигідно прагнути до такої досконалості в управлінні [223]. Натомість, розуміння потенціалу врожайності культури у конкретних умовах та її нормальне річне варіювання може допомогти при виборі варіантів управління та при розробці вимог, що покликані зменшити розмір «розриву» в фактичній урожайності за умови збереження прибутків та високої ефективності виробництва [470].

Реалізована урожайність на рівні господарства вимірюється та реєструється як районна, регіональна, зональна, загальнодержавна та сезонна



або щорічна середня з урахуванням систем вирощування, таких як підживлення, зрошення тощо [157]. Різноманітні аспекти, що впливають на стійке збільшення реалізованої урожайності на рівні господарства, – це збільшення потенціалу врожайності сорту та зменшення розриву між потенційними та реалізованими врожаєм за рахунок поліпшення адаптивності сорту у різних середовищах [215].

Наприклад, у країнах ЄС в останні десятиріччя вирощувані сорти цукрових буряків щорічно показували зростання врожайності на 1,5% [302, 381]. Таке зростання врожайності обумовлене, певною мірою, збільшенням середньої температури початку вегетаційного періоду [314] та вдосконаленням агротехнології, що включала оптимізацію застосування потрібних добрив та захист сільськогосподарських культур від шкідників. Важливим моментом є те, що у європейських країнах прирости потенціалів врожайності досягаються шляхом вдосконалення систем управління сільськогосподарськими рослинами, а не через збільшення інтенсивності сільськогосподарського виробництва. Також тут краще використовують природні ресурси та виробничі фактори [314]. Крім того, прогресом селекції було досягнуто близько 50% приросту врожаю та його якості [303, 336], що, в свою чергу, призвело до збільшення потенціалу врожайності.

Регіональний продукційний потенціал може змінюватися з часом тому існує нагальна потреба визначити основні фактори, що впливають на регіональні відмінності в таких змінах. Дослідження потенціалу урожайності культурних рослин може допомогти у визначенні виробничих обмежень у будь-якій системі посіву [223]. Оцінки потенціалу врожайності використовуються як індикатори для оцінки успішності певної сільськогосподарської практики та з метою аналізу відносного внеску селекції рослин та агрономічного прогресу на шляху до збільшення врожайності культур [255].

Слід зазначити, що потенціали зростання врожайності культур також мають свої ліміти. Так, останні дослідження [157, 497] показують, що

урожайність рису в Японії та Китаї наразі є стагнаційною; у Китаї, Італії та Франції застійною є урожайність кукурудзи; у Північній Європі та Індії не зростають показники врожайності пшениці. Також, існують дослідження, в яких стверджується, що у розвинених країнах світу потенціал урожайності цукрових буряків наближається до своїх лімітних значень [302]. Така стагнація врожайності в основних районах вирощування культур суттєво впливає на інші регіони, оскільки така ситуація змушує їх прискорювати темпи приростів врожаїв, збільшувати площі під культурами, щоб можна було скоротити різницю між глобальним попитом і пропозицією [497].

Україну відносять до країн з відносно великим невикористаним сільськогосподарським потенціалом як з точки зору занедбаних сільськогосподарських угідь, так і з точки зору існуючих «прогалін» врожайності [451, 449]. Таку ситуацію пов'язують з тривалою економічною кризою, яка асоціюється з розпадом Радянського союзу [310, 359, 359, 236]. Незважаючи на те, що урожайність динамічно зростала впродовж 2000-х років, «розриви» врожайності в Україні залишаються значними, головним чином через недостатнє забезпечення сільськогосподарських культур поживними речовинами і водою [451, 401].

Окрім того, необхідні більші інвестиції у сільськогосподарську інфраструктуру, зокрема, у об'єкти зберігання та транспортування, а також у модернізацію сільськогосподарського обладнання [359, 462]. Однак, існуючі кредитні установи обмежують доступність капіталу, а відсутність функціонуючих ринків землі та захист прав власності перешкоджає приватним інвестиціям [364, 411]. І останнє, але не менш важливе, – дефіцит кваліфікованих робітників у сільськогосподарському секторі є досить болючою проблемою [359]. Підсумовуючи вищенаведене, слід зазначити, що значне збільшення обсягів виробництва, ймовірно, вимагатиме великих інституційних змін.

Декілька досліджень кількісно оцінюють наявні «розриви» врожайності на вже оброблюваних сільськогосподарських землях України [401, 451] та

кількість наявних сільськогосподарських земель, придатних для потенційної рекультиваци [351, 451, 462]. Наприклад, Schaffartzik та ін. (2014) [451] надають результати аналізу потенціалу виробництва біопалива на основі ріпаку в Україні. Swinnen et al. (2017) [472] аналізують потенціал урожайності пшениці в Росії, Україні та Казахстані. Рябченко О. та Нехебель С. (Ryabchenko & Nonhebel, 2016) обчислили, що за короткий термін виробництво пшениці в Україні можна збільшити на 8,4 млн тонн, враховуючи потенціал землі та врожайності культури. Причому, за прогнозами цих авторів, лише 10% невикористаного виробничого потенціалу пшениці в Україні буде пов'язане з розширенням посівних площ, тоді як 90% потенціалу – з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва [449, 396].

Поняття «продукційний потенціал сільськогосподарських ландшафтів» розглядається як поєднання характеристик ґрунтів та природних умов, що трансформуються людським суспільством, і визначають характер раціонального використання земель [22]. Продукційний потенціал земель не є стабільним показником. Під час використання сільського господарства виробничий потенціал постійно змінюється через поступове вдосконалення технології, зміни родючості ґрунтів та клімату тощо. Для оцінки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів найчастіше застосовують концепцію досяжної загальної біомаси та врожайності [173]. У наших дослідженнях ми використовуємо врожайність сільськогосподарських культур, як маркер продукційного потенціалу агроландшафтів.

## **1.2. Моделі просторового-часового варіювання урожайності**

Продукційний потенціал агроландшафтів є динамічною категорією, і відслідкувати ці динамічні зміни можна за допомогою вивчення динамічних аспектів врожайності культур. Коливання урожайності культур у просторі та часі є реальністю сільськогосподарського виробництва. Щорічне варіювання врожайності може бути спричинене відмінностями у таких факторах як сезонні погодні умови, тиск шкідників, хвороб і бур'янів та доцільністю

прийнятих управлінських рішень стосовно технологій вирощування сільськогосподарських культур [353, 273].

Ріст, розвиток рослин, а також їх урожайність являються результатом взаємодії генетичного складу рослин та впливу довкілля на зазначені показники. Феномен взаємодії генотипу з навколишнім середовищем (*genotype–environment interaction GEI*) є давно відомим і завжди присутнім у сільськогосподарському виробництві, саме тому генотипи мають різні значення показників урожайності та ранжуються в різних умовах навколишнього середовища [408]. Оскільки, навколишнє середовище вирізняється за кількістю та якістю речовин і подразнюючих факторів, які впливають на рослини (кількість поживних речовин, води або сонячної радіації) [379], – врожайність культур також має просторово-часову динаміку [228].

Агроекономічні чинники формування тренду врожайності мають складну природу. Відмінності як у технологічних інвестиціях, так і в агротехнологіях, таких як захист рослин, способи сівби та застосування добрив, здатні призвести до відмінностей в урожайності [168]. Просторово-часові патерни охоплюють ландшафтні системи та відіграють значну роль в екологічній динаміці сільськогосподарських процесів [484]. Урожайність, подібно до інших екологічних властивостей, демонструє варіабельність у просторі та часі. Щорічна урожайність культури може різнитися між регіонами, що являє собою просторову мінливість цієї ознаки [401]. Урожайність певної культури у межах регіону також не є постійною між роками, – це являє часову мінливість [436, 226].

Оскільки, урожайності культури часто неоднорідні у просторі та в часі, то варіювання врожайності можна розбити на її просторові та часові компоненти. Важливими компонентами просторово-часової мінливості є синхронність та постійність. Синхронними можна назвати регіони країни в яких урожайність культури одночасно (в один і той самий рік) зростає або знижується. Коли ж наявні стійкі відмінності в рівнях врожайності між двома

регіонами або іншими просторовими одиницями, тоді мова йде про постійність. У випадку використання просторових моделей для виявлення прихованих механізмів у ландшафті вони є діагностичними, а за умови, коли вони вказують на можливий майбутній розвиток процесу – прогностичними [290, 337].

Отже, мінливість врожайності сільськогосподарських культур у часі та просторі зумовлена впливом значної кількості факторів, котрі поділяють на дві групи [125, 121]. Перша група включає агроекономічні та агроекологічні фактори: технології обробітку ґрунту, меліорація земель, досягнення генетики та селекції, забезпеченість виробництва добривами та засобами захисту рослин. У другу групу входять екологічні фактори, зокрема, метеорологічні явища, від яких залежать значні відхилення від середнього рівня, в окремі роки, показників урожайності [121].

Проте, досить часто виникає необхідність роздільної оцінки ступеня впливу на урожайність як агроекономічних (агротехнологічних), так і екологічних факторів при вирішенні практичних питань [121]. Ідею В. М. Обухова [102], яка набула подальшого розвитку у дослідженнях інших авторів [83, 109, 113, 115], про можливість розкладання часового ряду урожайності будь-якої культури на дві складові: стаціонарну і випадкову покладено в основу такої оцінки. У сучасній інтерпретації цієї ідеї ряд урожайності ( $Y_t = 1, 2, \dots, n$ ) представляють як загальну статистичну модель такого виду [121]:

$$Y_t = f(t) + U_t, \quad (1.1)$$

де  $f(t)$  – стаціонарна складова;  $U_t$  – випадкова складова.

Загальну тенденцію зміни урожайності в періоді, що аналізується, визначає стаціонарна послідовність, яка представлена плавною лінією, яка називається трендом і отримана у результаті згладжування ряду. Тренд описують зазвичай параболою другого порядку або рівнянням прямої. Середній рівень урожайності, зумовлений рівнем культури землеробства,

економічними й природними особливостями конкретного району досить точно характеризується лінією тренду.

Погодними особливостями окремих років, які визначають їх вплив на формування урожайності зумовлюється випадкова складова, котра являє відхилення від лінії тренда. Саме такий підхід ми застосували у нашому дослідженні часових рядів урожайності культур [48 – 51, 54, 55].

Існує низка літературних джерел, в яких висвітлені особливості просторового, часового та просторово-часового варіювання урожайності. З точки зору просторової варіації, було проведено та ретельно задокументовано досить багато досліджень. Так, Ферфілд Сміта (Fairfield Smith, 1938) [464] визнано автором одного з найбільш раннього просторового документування мінливості врожайності культур. Сміт запропонував фрактальну модель коливання урожайності. Багато сучасних досліджень просторового варіювання врожайності застосовують аналогічні інструменти аналізу, включаючи геостатистику. Коефіцієнти варіації (CV) також є популярним підходом до кількісної оцінки варіацій врожайності [341].

Часова мінливість урожайності сільськогосподарських культур не була такою популярною темою досліджень як просторова мінливість. Основні дослідження були зосереджені на мінливості регіональної врожайності і ґрунтувалися на комбінації фрактального та геостатистичного аналізів для досліджень часових рядів. Фрактальний аналіз був популярним для дослідження часової мінливості врожайності. Егбол Б. і Пауер Ф. (1995) [246] використовували фрактальний аналіз для порівняння часової мінливості врожайності десяти сільськогосподарських культур в США впродовж тривалого періоду часу. Вони розраховували середню напівдисперсію щорічної врожайності з часовим кроком до 45 років.

За аналогічною методологією був здійснений фрактальний аналіз для тривалого експерименту з гноєм та добривами [245]. Дослідники дійшли висновку, що протягом короткого терміну часу на варіювання врожайності кукурудзи найбільше впливали умови навколишнього середовища, а практика

управління суттєво не змінила цих впливів. Подібні роботи проводилися і в Мексиці [490].

Питанням порівняння просторових та часових варіювань урожайності були присвячені роботи Макбратні та Уїлана (McBratney та Whelan, 1999) [389], Егбола і Варвела (Eghball and Varvel, 1997) [248] та Счерперса (Scherpers et al., 2004) [453].

У літературних джерелах знайдено опис теорії кількісного просторово-часового аналізу. Киріакідіс та Жоурнел (Kyriakidis і Journel, 1999) [348] опублікували огляд геостатистичних просторово-часових моделей. Вони розглядали приклади двох різних концептуальних підходів до моделювання просторово-часових розподілів. Перший підхід розглядає одну випадкову функцію, яка може бути розкладена на тренд-компонент і стаціонарний компонент. Другий підхід – кілька випадкових функцій часових рядів. Макбратні та ін., (McBratney et al., 1997) [389] підсумовують розвиток просторово-часових моделей. Зокрема, було встановлено, що часова варіація порівняно більша за просторову варіацію. Такі самі висновки також було отримано при порівнянні урожайності пшениці за два роки на двох полях Австралії. У цьому випадку аналіз включав створення карт урожайності та карт різниці врожайності між кожним роком. У ході досліджень відмічено різну урожайність у різних частинах поля, на одному з полів, і запропоновано застосувати це як основу просторового управління посівами.

Дослідження подібні за методологією до фрактального аналізу часової мінливості проводили Егбол і Варвел [248, 246]. У цьому випадку автори також розглядали просторову варіабельність, використовуючи рандомізоване повне проектування блоків і, перевіряючи, чи різняться ухили напів-дисперсії по відношенню до відставання (року) між блоками. Вони виявили, що просторова варіабельність не відбивається на врожайності культури, оскільки тимчасова варіабельність повністю домінує. Дане дослідження підкреслює важливість отриманого результату з точки зору практики господарювання на конкретній ділянці території.

У дослідженнях американських вчених [453] було виділено господарські зони на зрошуваному полі в штаті Небраска, США. Вчені використовували показники родючості ґрунту, висоти над рівнем моря і ґрунтової електропровідності ( $EC_a$ ) для визначення зон управління. Встановили, що визначені ними зони управління відображають просторову картину врожайності для трьох з п'яти років, на момент проведення аналізу даних з урожайності. У цьому дослідженні виявлено, що часові зміни у структурі врожайності можуть серйозно підірвати цінність зонального підходу до просторового управління варіюванням урожайності навіть за умов зрошення.

Є повідомлення про подібні результати досліджень, які базуються на показниках урожайності на різних полях в штаті Айова при сівозміні кукурудза-соя [181, 316]. Проаналізовано багаторічні дані з урожайності (три роки та шість років відповідно). Автори розділили структуру мінливості врожаю на великомасштабну детерміновану та дрібномасштабну стохастичну. Висновком досліджень була нестабільність даних з врожайності між роками. Також було відмічено, що вивчена недостатня кількість років для всебічного розуміння варіювання урожайності культур. Крім того, є повідомлення про деякі взаємозв'язки між кліматом та просторовою структурою [316].

Досліджуючи гіпотезу, що структури урожайності та ґрунтові води вздовж катени стабільні у часі для напівпосушливих катен в Колорадо, США, було встановлено, що зв'язки між положенням ландшафту та врожайністю культур дійсно стабільні у часі [164]. Однак, автори дослідження повідомили, що складніше пояснити коливання врожаю між роками, використовуючи вміст ґрунтової води у критичні періоди наповнення зерна.

Основне питання, яке вивчали Ламб та ін. (Lamb et al., 1997) [350], полягало в тому, чи можна використовувати урожайність зернових, більш ніж за один рік, для прогнозування врожайності зернових у наступні роки. Їх дослідницьким майданчиком було поле в штаті Міннесота, США, де п'ять років безперервно вирощувалася кукурудза. Були зібрані дані з урожайності з



1991 по 1995 рік (включно). Для визначення стабільності урожайності кукурудзи використовували рангові кореляції. Важливим висновком цих авторів є те, що вплив року на урожайність зерна був приблизно в 100 разів більшим, ніж вплив місцезнаходження. Проте, автори стверджували, що для дослідження перспективної динаміки урожайності недостатньо чотирьох років даних з урожайності культури.

Європейські науковці Жоернсгаард та Халмoe (Joernsgaard & Halmoe, 2003) [319] також намагалися використовувати карту врожайності попередніх років для прогнозування урожайності на наступні роки (пари точок у просторі). Середнє значення  $r^2$  для 82 полів у Великобританії та Данії становило 0,27, а це свідчить про те, що часова варіація досить велика. Автори з'ясували, що модель найкраще підходить для невеликих полів, де використовують одні й ті ж культури та для років з однаковим рівнем урожайності. Кількість років між культурами не мала жодної різниці.

Отже, карти врожайності надають якісну інформацію про часову стабільність просторових моделей урожайності. Це дозволяє зробити попередні висновки про те, на яких територіях простіше передбачити варіювання урожайності врожаю з року в рік. Закономірності просторово-часового варіювання є основою для прогнозних симуляційних моделей, у тому числі моделей із встановлення продукційного потенціалу територій.

Саме на забезпечення максимально можливого врожаю в існуючих ґрунтових, кліматичних та економічних умовах повинні бути скеровані заходи щодо підвищення ефективності рослинництва. Значний розрив між потенційним і фактичним врожаєм викликаний, у значній мірі, відхиленням динаміки факторів зовнішнього середовища від оптимальних, для продукційного процесу фітоценозу, протягом вегетаційного періоду [1]. Основним екологічним принципом підвищення продуктивності є прагнення до узгодження потреб рослин з умовами зовнішнього середовища [140]. При цьому, такі складові врожайності як сортовий склад, рівень агротехніки,

енергоозброєність, котрі залежать від людини, лише послаблюють або посилюють вплив природно-кліматичних чинників [109, 402].

У зв'язку з цим виникає проблема визначення ступеня впливу кліматично обумовлених змін чинників довкілля на загальну життєдіяльність сільськогосподарських культур та показники їх врожайності. Необхідною умовою оптимального розміщення рослин і планування виробництва є оцінка зазначеного впливу [1].

З огляду на зростаюче населення світу та, відповідно, світового попиту на сільськогосподарські продукти, однією з ключових проблем є підвищення врожайності сільськогосподарських культур на існуючих площах, шляхом зменшення розриву між потенційною та реалізованою врожайністю. Щоб цього досягти, важливо вивчати продукційний потенціал сільськогосподарських культур, кількісно оцінювати розриви в урожайності (yield gap) та визначати обмежуючі фактори для збільшення врожайності [508, 230].

Симуляційні моделі процесів можуть бути використані для оцінки потенційного виробництва в умовах без стресу від бур'янів, шкідників та хвороб та при достатній кількості поживних речовин та водопостачання [174]. Деякі вчені досліджували продукційний потенціал та розриви врожайності різних культур за допомогою симуляційних моделей [505, 268]. Наприклад, Абеледо та ін. (2008) [155] використовували модель, яка враховувала взаємодію культури та навколишнього середовища (Crop Environment Resource Synthesis (CERES)), щоб визначити потенційну урожайність пшениці та проаналізувати розрив між фактичною та потенційною врожайністю. Грассіні та ін. (Grassini et al., 2011) [287] підраховували, що середній потенціал врожайності кукурудзи коливався між 11,4 та 16,1 т/га серед 18 точок відбору у кукурудзяному поясі західних районів США на основі Моделі Гібрид-кукурудзи (Hybrid-Maize Model). Лу та ін. (Lü et al., 2013) [374] поєднали Глобальну Кліматичну модель високої роздільної здатності (High-Resolution Global Climate Model (GCM)) та Модель росту пшениці (WheatGrow Model)

для оцінки наслідків зміни клімату на урожайність цієї культури. Однак, ці симуляційні моделі урожайності, як правило, оцінюють потенціал урожайності у дрібних просторових масштабах та вимагають значної кількості вхідної інформації для їх калібрування та експлуатації [175, 198], що спричиняє неточність цих моделей врожайності в різних виробничих умовах [209, 269, 176].

Крім того, проведено чимало досліджень для прогнозування потенційної урожайності сільськогосподарських культур за допомогою емпіричних моделей, зокрема, поступово спадаючих моделей, моделей агроекологічних зон (agro-ecological zones (AEZ)) та глобальних агроекологічних зон (global agro-ecological zones GAEZ) [467, 318]. У зв'язку з тим, що ці моделі мають простіші вимоги до даних та їх параметрів, вони широко застосовуються для оцінки потенціалу врожайності культур в регіональних та світових масштабах [508]. Masutomi et al. (2009) [385] поєднали моделі GAEZ із загальними моделями циркуляції атмосферних мас (general circulation models (GCMs)) для оцінки потенційної врожайності та впливу зміни клімату на виробництво рису в Азії.

Таким чином, зазначимо, що зростає кількість досліджень зосереджених на просторово-часовій мінливості урожайності різноманітних сільськогосподарських культур. Дані аспекти варіювання є досить важливими як з точки зору прогнозних (симуляційних) моделей, так із точки зору управління сільськогосподарськими угіддями. Проте, наразі, мало що відомо про просторову та часову мінливість сільськогосподарських культур в Україні, хоча, ця інформація є вкрай необхідною для розробки та реалізації будь-якої стратегії управління сільськогосподарським виробництвом.

### 1.3. Особливості агроекологічного районування території. Стан вивчення питання в Україні

Розуміння процесів та факторів, які регулюють мінливість врожайності культури, має велике значення завдяки їх застосуванню у точному землеробстві. Реакція посівів на навколишнє середовище в масштабах поля – це складний динамічний процес, що включає взаємодію характеристик ґрунту, погодних умов та управління посівами. Численні статичні фактори, що поєднуються з тимчасовими варіаціями, дуже ускладнюють ідентифікацію та управління урожайністю. Тому моделі урожайності вважаються корисними інструментами для аналізу впливу зміни ґрунту чи погодних умов на просторову мінливість з метою виявлення причини змін врожаю та кількісної оцінки просторової та часової змін.

Просторова мінливість врожайності культури у межах поля дає можливість визначити, так звані, «зони управління» (management zones – MZ). Існує значна кількість робіт скерованих на визначення «зон управління» [408, 458]. Визначення просторового варіювання характеристик ґрунту не є достатнім для окреслення зон управління, тому необхідними є характеристики врожайності, оскільки урожайність сільськогосподарських культур є результатом інтеграції дії різних факторів, впливу яких зазнає культура протягом росту та розвитку. Зокрема, Robertson et al. [442] показали, що зонування можна здійснити на основі показників урожайності.

Найбільш поширеним підходом до поділу великих територіальних одиниць на екологічно однорідні зони є агроекологічне зонування, яке описує поняття, методи та процедури. Основу агроекологічного зонування було вперше розроблено FAO (1976) [256].

*Агро-екологічне районування* відноситься до поділу ділянки землі на земельні ресурси, які мають унікальне поєднання форми рельєфу, ґрунтових і кліматичних характеристик і земельного покриву [258, 417].

*Агроекологічна зона* – це одиниця картографування земельних ресурсів, яка має унікальний характер поєднання форми рельєфу, ґрунтових та кліматичних особливостей та/або рослинного покриву, останні, в свою чергу, мають специфічний спектр потенціалів та обмежень для використання земель [258]. Іншими словами, під агроекологічною зоною розуміють територію, де екологічні процеси мають аналогічний перебіг [461]. Таким чином, поділ площі (земельної ділянки) на менші одиниці, які мають подібні характеристики, пов'язані з потенціалом придатності земель до виробництва та впливом на довкілля, становить сутність агроекологічного районування [417]. Отже, кожна зона має подібне поєднання, обмеження та потенціал для використання землі, що служить осередком рекомендацій, скерованих на поліпшення ситуації існуючого землекористування або через збільшення виробництва, або шляхом обмеження деградації земель [471]. Інвентаризація даних екологічних ресурсів, визначення гомологічних середовищ, визначення сільськогосподарського потенціалу регіону, планування регіонального розвитку та визначення пріоритетів досліджень є основними завданнями агроекологічного районування. Звичайними методами є накладання карт і використання різних статистичних методів [158, 347].

Агроекологічне районування (*Agro-ecological zoning – AEZ*) є однією з найважливіших основ планування сталого сільськогосподарського розвитку регіону. Воно може бути застосоване у плануванні на мікро- або місцевому рівні. В основному AEZ оцінює потенціал урожайності в різних умовах вирощування сільськогосподарських культур; розробляє майбутній план дій, який передбачає диверсифікацію культур; визначає придатність різних сільськогосподарських культур для оптимізації землекористування, поширення результатів досліджень і агротехнологій. Планування сталого розвитку сільського господарства ґрунтується на агроекологічному зонуванні. У цьому контексті дуже популярним є зонування агроклімату [493]. Основним напрямком діяльності системи агроекологічного зонування FAO є оцінка придатності різних видів землекористування для обраних територіальних

одиниць. Це важлива відправна точка для обрання адекватного типу землекористування з урахуванням характеристик усього регіону.

У загальному вигляді, районування – це упорядкування просторовосуміжних геологічних систем, які є подібними за визначеними критеріями, в індивідуальні регіони (територіальні одиниці) різних рангів. Кожний регіон є ланкою ієрархічної системи регіонів вищих рангів. Залежно від рівня ієрархії для районування обираються різні класифікаційні ознаки [1]. Наразі, розроблено різноманітні типи районування України, проте агроекологічне районування, на жаль, досі відсутнє. Зважаючи на глобальні зміни клімату та необхідність обґрунтування адаптаційних заходів в агросфері, інтенсивну антропогенну трансформацію довкілля, негативні ерозійні процеси та загрози агротехнічного впливу на екологічний стан ландшафтів, якість і безпечність продуктів харчування, – питання агроекологічного районування території України нині особливо актуальне [36, 519].

Теоретичні основи загальнонаукового і цільового екологічного районування ландшафтів України розробляли О. М. Маринич, М. А. Глазовська, А. І. Перельман, К. І. Лукашов та ін. [36]. Принцип виокремлення регіональних ландшафтних комплексів на практиці покладено у фізико-географічне районування території країни. Свого часу цим питанням опікувались Е. А. Еверсман, Г. І. Танфільєв, П. І. Броунов, А. А. Крубер, В. П. Семенов-Тянь-Шанський, О. О. Григор'єв, Г. Д. Ріхтер, Д. Л. Арманд, Н. О. Гвоздецький [96].

Цільове і загальнонаукове (багатоцільове) картування територій упродовж останніх десятиліть стало невід'ємною складовою природничих досліджень [36, 133, 147]. Узагальнення історії й існуючої практики екологічного районування як складової екологічного картування загалом, було проведено на початку ХХІ століття і висвітлило широкий спектр підходів і методологічних прийомів до класифікації та оцінювання екологічного стану і перспектив розвитку територій [143]. Виконання кожного цільового

районування територій обумовлене конкретними завданнями і принципово відрізняється за змістом результативних матеріалів [1, 35, 134, 135]. Досі завданнями районування агроландшафтів залишається доволі вузьке коло питань, присвячених оптимізації використання орних земель з метою підвищення врожайності сільгоспкультур, збереженню гумусу ґрунтів, запобіганню процесам площинної ерозії ґрунтів, розробці систем удобрення та адаптативної меліорації земель. Вирішенню цих питань на окремих територіях України, Білорусі і Росії присвячені роботи О. І. Фурдичка, О. Г. Тараріка, В. А. Баранова, М. К. Чертко, Г. І. Лисанова, Г. М. Пшиходського, Л. В. Петрової та ін. [68, 128]. Ключові питання цільового районування агроландшафтів на основі кількісних критеріїв їх еколого-геохімічного і біогеохімічного стану було викладено у роботах Т. М. Єгорової [36].

Дослідження О. Г. Мордвінова (1995) [98] присвячені розробці методики еколого-сільськогосподарського районування, скерованого на інтегральне виявлення просторової диференціації інтенсивності сільськогосподарського природокористування і екологічної ситуації. Вона дає змогу встановити характер і масштаб сільськогосподарського навантаження на агроландшафти, порушення і забруднення їх агровиробничою діяльністю, а також визначити території, які першочергово потребують проведення природоохоронних та відновлюваних заходів.

У роботі Н. М. Міщенко та К. В. Гуменюка (2006) [97] надані попередні результати оцінки вітчизняного агропотенціалу на основі методології агроекологічного зонування для оцінки продуктивності землі розробленої FAO. На жаль, подальшого розвитку дане дослідження не отримало.

Ідея проведення агроекологічного зонування території Полтавської області на основі даних урожайності сільськогосподарських культур розглянута у роботі О. О. Ласло та П. В. Писаренка (2009) [73]. Проте, це дослідження, здебільшого, присвячене оцінці екологічної стійкості ґрунтового покриву.

Значний внесок у вивчення питання агроекологічної класифікації ґрунтів зробили українські вчені. Так, у роботі Д. С. Добряка та ін. (2009) [34], на основі класифікації орних земель України за придатністю для вирощування сільськогосподарських культур з урахуванням конкретних особливостей природно-екологічних умов середовища, обґрунтовано теоретико-методологічні засади напрямів використання цих земель. Доведено, що понад 19% (6,5 млн га) орних земель України належать до деградованих і малопродуктивних, використання яких завдає збитків у середньому 65 грн на 1 га. Зважаючи на строкатість умов клімату, будову земної поверхні, якість ґрунтового покриву та придатність його для вирощування сільськогосподарських культур, землеробство повинно бути всебічно обґрунтоване й максимально пристосоване до місцевих агроекологічних умов.

На основі детального аналізу природно-кліматичних умов С. А. Букаревою (2014) [20] проведено агроекологічне районування території Херсонської області. Результатом вивчення агроекологічних категорій урожайності, комплексних оцінок і їх просторових змін стало виділення шести агроекологічних районів для озимої пшениці. Дане дослідження базувалося на моделі (заснованій на концепції максимальної продуктивності рослин Х. Г. Тоомінга [140]) оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А. М. Польового (2007) [120].

У наших дослідженнях ми використовували термін агроекологічні зони, до територій з однаковою динамікою варіювання урожайності [50, 54, 57, 58, 519], оскільки, наразі, немає спеціального терміну, який би відображав поділ великих просторових територій на менші одиниці на основі динаміки урожайності. В якості основи для агроекологічного районування обрано урожайність культур, оскільки вона є комплексним показником, що відображає виробничий потенціал агроecosистем [343]. Вивчення залишків моделі регресії врожайності дозволяє виділити екологічну детермінанту варіювання урожайності, а завдяки географічно зваженому аналізу головних компонент (GWPCA) можна наносити на карту області з аналогічними



часовими коливаннями урожайності культур, які розглядаються як агроекологічні зони.

Отже, у агроекологічному районуванні території України немає єдиного методичного підходу, який повною мірою враховував би екологічні умови ведення сільськогосподарського виробництва. Також, немає чіткого понятійного апарату щодо зонування території, який би відповідав загальносвітовим вимогам. Крім того, на даному етапі, потребує розробки єдина просторова концепція агроекологічного районування, яка б враховувала різномасштабне узгоджене картування всіх земель сільськогосподарського призначення України із цільовою оцінкою конкретних екологічних проблем.

#### **1.4. Вплив змін клімату на варіювання урожайності сільськогосподарських культур**

Наразі аграрне виробництво здійснюється за умови глобальних кліматичних змін та зростання тиску на природні біоценози [205, 358, 488]. В наш час суттєво змінюються температурні показники, структура опадів та має місце почастищення екстремальних погодних явищ [455]. Передбачають, що зміни клімату будуть пов'язані зі зростанням глобальних середніх температур, зі зміною патернів опадів та збільшенням важкості протікання і частот екстремальних метеорологічних явищ [282], що, безумовно, вплине на урожайність сільськогосподарських культур.

В умовах глобальних змін клімату очікуються довгострокові зміни середніх погодних умов. Хоча, прогнозовані зміни клімату можуть спричинити позитивні наслідки для рослинництва, у деяких регіонах земної кулі, ймовірно, переважатимуть негативні наслідки [371]. За прогнозами [370, 435], у найближчому майбутньому повені і посухи виникатимуть частіше і будуть більш інтенсивними. Нараховують значну кількість наслідків впливу глобального потепління на сільське господарство. Так, підвищити урожайність у місцях з помірним кліматом може мінімальне підвищення температури, тоді як до поганих врожаїв може призвести екстремальне її

підвищення [371, 370]. Науковцям і виробничникам варто терміново зрозуміти наслідки потенційного впливу змін параметрів погоди на врожайність сільськогосподарських культур з метою їх пристосування до цих змін [488].

Середня температура поверхні Землі є ключовим індикатором кліматичних змін. Обґрунтовані свідчення вказують на те, що глобальна середня температура збільшилась на  $0,90 \pm 0,05^\circ\text{C}$  (95% достовірність) з середини 1950 рр. та буде збільшуватися ще на  $1\text{--}3^\circ\text{C}$  до кінця цього століття [291, 403]. Рівень оксиду вуглецю значно збільшився протягом останнього століття; існує сильний зв'язок між глобальним потеплінням та рівнем парникових газів у атмосфері [212]. Передбачають, що зі змінами патернів опадів, збільшенням глобальної середньої температури та зростанням частоти та важкості екстремальних метеорологічних явищ будуть пов'язані кліматичні зміни на великих територіях землі [210].

Поширеною є думка, що врожайність сільськогосподарських культур є дуже чутливою до погодних умов. Зокрема, вона залежить від довгострокових тенденцій та зміни клімату [410]. Так, процеси зміни клімату наразі мали значний вплив на врожайність сільськогосподарських культур, незважаючи на вдосконалення технологій вирощування [309]. Тому важливо розуміти, як зміни різних кліматичних змінних впливають на врожайність, щоб розробити більш точні прогнози врожайності та відповідні стратегії адаптації та пом'якшення наслідків.

Тенденція до підвищення середньорічної температури, що супроводжується збільшенням частоти посух, впливає на сільськогосподарське виробництво у всіх країнах Європи, проте центральна та південна частини європейського континенту знаходяться під особливою загрозою [466]. Щоб мінімізувати негативний вплив змін клімату на виробництво рослин у багатьох регіонах ЄС у сільськогосподарській практиці застосовують низку заходів (зрошення, мінеральне підживлювання, переमेжовування культур, тощо). За деякими даними [500] найбільш поширеним варіантом адаптації вирощування культур до змін клімату є

коригування строків сівби. Дата сівби визначає тривалість вегетаційного періоду та кількість поглинутої сонячної радіації, тому від неї суттєво залежить потенціал урожайності багатьох культур [492].

Аналіз історичних кліматичних даних показує очевидну тенденцію до підвищення температури в Україні, а кліматичні моделі прогнозують подальше потепління, особливо щодо зимових температур. Більше того, кількість опадів у південній степовій зоні України зменшилася протягом 1961-2009 років. За прогнозами Міжурядової групи експертів зі зміни клімату [312], температури в зерновиробничих регіонах України зростатимуть, причому найбільше зростання очікується в зимові місяці. Літні опади, ймовірно, зменшаться, а зимові – збільшаться. Посухи можуть стати більш вірогідними та тривалими. Очікується, що такі кліматичні зміни призведуть до зниження врожайності соняшнику в степовій зоні України, що вже підтверджено для Туреччини, але в той же час врожайність зросте в поліському (північному) регіоні, де клімат вже є більш континентальним [516]. Вивчення можливих наслідків зміни клімату для майбутнього вирощування різних культур в Україні є дуже перспективним напрямком досліджень.

Сільськогосподарське виробництво досить критично залежить від погодних умов. Особливо воно чутливе до довгострокових трендів та змін кліматичних умов [410]. Можна стверджувати, що кліматичні зміни безпосередньо впливають на продукцію сільськогосподарських культур. Цей вплив може змінюватися у залежності від рівня потепління та пов'язаних з ним змін інтенсивності опадів [182].

Потенційний урожай культури визначається поглинутою сонячною радіацією [175]. Проте, зважаючи на вплив різних абіотичних та біотичних стресових чинників, які пригнічують фотосинтез рослин і, таким чином, обмежують ріст урожаю, врожайність сільськогосподарських культур, як правило, є нижчою від потенційної [371]. Найважливіші фактори абіотичного стресу – температурний і водний стреси. Так, температура нижче нуля восени або сильна спека навесні, які є аномальними явищами, спричиняють значні

втрати врожаю сільськогосподарських культур [475]. Екстремальні температурні умови також призводять до значного дефіциту виробництва зернових [358]. Частота екстремальних температур збільшиться в багатьох регіонах світу і цьому існують вагомі докази [455]. Тому, виходячи із зазначеного вище, зрозуміло, що на ріст сільськогосподарських культур, включаючи їх розподіл під час періоду вирощування, впливає велика кількість параметрів, пов'язаних з температурою та опадами, а також сезони екстремальних температур.

Кліматична мінливість значно впливає на флуктуації урожайності сільськогосподарських культур. У деяких регіонах світу варіабельність клімату здатна пояснити більш ніж 60% мінливості урожайності у часі таких культур як кукурудза, рис, пшениця та соя [436]. Різні кліматичні аспекти (мінливість температури або опадів) можуть мати різний вплив на зростання сільськогосподарських культур та їх результуючу врожайність [487]. Такі кліматичні змінні як температура та опади є значними факторами просторової диференціації урожайності [436]. Зменшення урожайності зі збільшенням температури було відмічене у всьому світі [370, 372, 317]. У східній Європі (у тому числі в Україні) 23–66% міжрічної мінливості урожайності може бути пояснене кліматом та нормальними або екстремальними температурами [436]. Але аналіз спостережень урожайності сільськогосподарських культур у часі дозволив встановити негативну кореляцію між урожайністю та температурою переважно тільки для кукурудзи. Як позитивна так і негативна кореляція була встановлена для рису та пшениці [506].

Як відомо [295], кукурудза є вразливою до впливу кліматичних змін. Посилення кліматичного потепління призводить до зниження урожайності кукурудзи, оскільки рослини не пристосовані до дуже високих температур. Постійно підвищена температура шкодить розвитку рослин різними способами, включаючи зниження урожайності рослин, зменшення приросту зерна та збільшенням використання води та енергії [480, 371]. Численні дослідження свідчать, що неминуче потепління призведе до значного

зниження середньої урожайності кукурудзи до середини 21 століття [487, 509]. Відповідно до дослідження Tigchelaar (2018) [480], де розглядаються два сценарії потепління: 1) потепління на 2 градуси призведе до зниження урожайності кукурудзи на 20–40 відсотків у основних регіонах, де вирощують цю культуру; 2) потепління на 4 градуси викличе зниження урожайності на 40–60 відсотків. Урожайність кукурудзи також чутлива до опадів [205]. Кількісне визначення відносного впливу зміни температури та кількості опадів важливе для розуміння їх впливу та розробки альтернатив адаптації культивування кукурудзи до майбутніх кліматичних змін [295, 512, 44 ].

В літературі описано проведення експериментів з картоплею за впливу екологічних факторів (кількість опадів (грунтова вологість) і температура), в яких встановлено, що ці чинники мають значний вплив на ріст і врожайність цієї культури [238]. Погодні умови впливають на фотосинтетичну продуктивність рослин картоплі та на ступінь розвитку різних інфекційних хвороб та шкідників, що, в свою чергу, визначає ступінь коливань врожайності цієї культури [400].

Підвищені температури мають негативний вплив на урожайність зернових у межах різних регіонів Європи. Хоча, продовольча безпека Європи, вірогідно, незначно залежить від кліматичних умов внаслідок технологічно складних сільськогосподарських практик [206], проте, індукована кліматом невизначеність (суттєві флуктуації) у виробництві їжі у результаті підвищення температури, може виникнути у близькому майбутньому [420].

Більшість попередніх досліджень по вивченню впливу змін навколишнього середовища на сільське господарство стосувалися, переважно, врожайності зернових [452]. Встановлено, що майбутні зміни температури та кількості опадів призведуть до значного зниження врожаю багатьох основних сільськогосподарських культур, важливих для людського населення, а це визначає існування загального консенсусу у прогнозованих кліматичних сценаріях. Проте, існує порівняно мало досліджень, що стосуються впливу змін факторів навколишнього середовища на овочі, які є досить чутливими до

чинників довкілля. Наприклад, помідори та квасоля характеризуються нижчим порогом температури для зупинки їхнього розвитку (failure point temperatures – це температура навколишнього середовища, за якої ріст припиняється), ніж зернові культури та є більш вразливими до теплового стресу [183]. За останніми дослідженнями [452], глобальне збільшення концентрації CO<sub>2</sub> на 250 ppm призведе до збільшення врожайності на 22,0% всіх овочевих і бобових культур разом, зростання на 25% концентрації O<sub>3</sub>, в свою чергу, зменшить урожайність овочів та бобових на 8,9%, зменшення доступності води на 50% призведе до зменшення врожайності на 34,7%, а зростання температури на 4°C на 31,5% знизить середню урожайність овочевих культур. Тому дослідження варіювання врожайності у залежності від впливу екологічних факторів є важливим питанням сьогодення.

Під егідою Міністерства екології та природних ресурсів України у нашій державі здійснюється вивчення проблем зміни клімату та оцінювання окремих його характеристик, у т. ч. температури та зволоження. Результати цієї роботи узагальнено у п'яти Національних повідомленнях [18]. Цьому питанню присвячено також численні наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ) [24, 67, 137]. У роботах О. Т. Тараріко [136, 137, 138, 139] досить повно висвітлено питання впливу кліматичних змін на екологічний стан агроландшафтів, систем землекористування та продуктивність агроєкосистем, у т. ч. на урожайність та валові збори зернових культур. Низкою вчених, такими як, В. Л. Дмитренко [33], Т. І. Адаменко [1], Л. М. Попитченко [123], В. М. Калініченко [61], М. Б. Барабаш [10], В. Д. Панніков [108], П. М. Грицюк [31], В. О. Балабух [8] та ін. розглядалися питання залежності врожайності культур від кліматичних факторів.

Якщо детально розглянути історичні кліматичні дані, то стає зрозумілим, що в Україні вже можна простежити тенденцію до підвищення середньорічних сезонних температур, і за кліматичними прогнозами передбачене подальше потепління, особливо взимку, коли температури

стають все вищими, ніж в попередні десятиліття. Більш того, зростання температурних показників на території нашої держави відбувається швидше у порівнянні з глобальними показниками по планеті [88, 137]. Так, наприклад, за даними Інституту зрошуваного землеробства НААН [24] впродовж останніх 35 років у підзоні Сухого Степу має місце досить стійка тенденція до зростання середньорічних температур з 9,3 (1973–1980 рр.) до 11,3°C (2006–2010 рр.), тобто спостерігається збільшення температурних показників на 2°C. Одночасно зміни середньорічної кількості опадів не мають чіткої закономірності змін у часі, проте має місце тенденція посилення вітрового режиму та зростання кількості опадів зливового характеру, а це підсилює ризику прояву водної ерозії та дефляції ґрунтів [67]. Означені ризики збільшуються через прогнозоване значне збільшення площ посіву просапних культур (кукурудзи, соняшнику та сої), а також з просуванням їх у північні зони (зону Полісся), які мають низьку протиерозійну стійкість ґрунтів [111]. Також суттєво зменшилася кількість опадів у південній степовій зоні України у період 1961–2009 рр. [400].

Передбачають, що температура в зерновиробничих районах України зросте, а найбільший її приріст очікується у зимові місяці (за прогнозами Міжурядової групи з питань зміни клімату) [312]. Зимові опади посиляться, а літні опади, ймовірно, зменшаться, що призведе до більшої імовірності посух, які можуть посилитись [364]. Однак, докази довготермінового впливу кліматичних змін на урожайність культур в Україні є недостатніми і потребують доповнення.

Українське сільське господарство може мати позитивні наслідки від зміни клімату в деяких регіонах через підвищення зимових температур і зимових опадів, більш тривалого безморозного сезону та більш високої концентрації CO<sub>2</sub> [267, 362]. Посівні площі можуть розширюватися у відповідь на прогнозовані зміни клімату, особливо на півночі України [415, 364]. Однак тривалі періоди з літньою температурою набагато вищою середніх багаторічних показників, можуть стати нормою, особливо в Південно-степовій

зоні України [192], що загрожує виробництву продукції рослинництва протягом ключового періоду для розвитку сільськогосподарських культур у цьому найпродуктивнішому аграрному регіоні, з його широко відомими родючими чорноземними ґрунтами [364, 470]. На жаль, детальна оцінка, того як можуть різні сценарії майбутніх змін клімату впливати на виробництво більшості сільськогосподарських культур в Україні, досі відсутня.

Вплив зміни клімату на врожайність пшениці в Україні проведено в рамках українсько-німецького Проекту «Діалог про Аграрну політику» (Project "German-Ukrainian Agricultural Policy Dialogue" (APD)) [404]. Отримані німецькими колегами результати свідчать про незначні позитивні наслідки потепління клімату на урожайність пшениці у північній частині Полісся, через збільшення кількості сонячної радіації та опадів. У Лісостепу вплив клімату на урожайність був незначним, але підвищення температури на 2°C загрожує врожайності пшениці у південних, від цієї зони, районах. Ключовим питанням для розробників аграрної політики держави є оцінка майбутньої врожайності пшениці у родючій Степовій зоні, де більш спекотний і сухий клімат, а також вища іпотранспірація можуть зменшити врожайність пшениці до 5,5 ц/га до 2070 р. Загалом, виробництво пшениці в цілому по Україні може зменшитися на 6% за найбільш м'якого сценарію зміни клімату та більш ніж на 11% за сценарієм потепління, який, ймовірно, всього, відбудеться, якщо не зменшити кількість викидів у атмосферу найближчим часом. Тому розробка ефективних заходів з адаптації повинна зосереджуватися на підготовці цього регіону до очікуваних кліматичних змін.

Деякі вчені вважають [404], що заходи щодо адаптації рослинництва до зміни клімату повинні включати в себе покращення як агротехнології (наприклад, зрошення, мінімальний обробіток ґрунту, сівозміни), так і розробку нових генотипів (розвиток посухостійких сортів). Однак, щоб розвивати і впроваджувати такі заходи адаптації, необхідно більше державних та приватних інвестицій у наукові дослідження. Наприклад, капітальні внески в «клімат-розумні» (climate-smart) та стійкі сільськогосподарські технології



допоможуть підтримати або навіть підвищити рівень урожайності в умовах підвищених температур та випаровування. Однак, мораторій на продаж землі, який існує в Україні, скорочує інвестиції в аграрний сектор як з вітчизняних, так і з зарубіжних джерел.

Для прогнозування впливу зміни клімату на врожайність сільськогосподарських культур використовують модель, яка статистично фіксує внесок погодних умов у показники урожайності культур [370]. Існують два основні типи моделей для прогнозування впливу майбутніх погодних умов та варіанти управління врожайністю культур. Перший тип – симуляційні моделі, які ґрунтуються на процесах росту рослин. Вони дозволяють змоделювати умови вирощування для конкретних ділянок та вимірювати біомасу та врожайність в експериментальній моделі середовища. Симуляційні моделі врожайності є також потужними в оцінці впливу різних варіантів управління посівами, що є досить важливим для розробки різноманітних варіантів адаптації землеробства до змін клімату на рівні господарства [372, 175]. Однак, калібрування симуляційних моделей, які імітують ріст рослин та урожайність, потребує низки суб'єктивних рішень для кількох невизначених параметрів, а також широкого діапазону вхідних даних, таких як щоденна інформація про погоду та експериментальна інформація (наприклад, фенологія культур) для визначення основних параметрів моделі [454, 370]. На жаль, дані та інформація, отримані в таких експериментах, рідкісні та розподілені просторово нерівномірно. В багатьох регіонах повністю відсутні експериментальні дані, які б дозволили генерувати параметри, необхідні для урахування гідрологічних процесів та процесів росту рослин.

Другим важливим підходом для встановлення зв'язку між урожайністю та погодою є статистичні моделі, що пов'язують історичні дані про урожайність, температуру та кількість опадів. Статистичні моделі також фіксують дію інших факторів, які безпосередньо не розглядаються. Наприклад, шляхом включення спостережуваної врожайності, яка опосередковано враховує людський фактор та адаптацію навколишнього

середовища до змін умов ділянки впродовж періоду спостереження, оскільки це відображає реакцію врожайності на вплив зовнішніх факторів [370, 404, 285]. Фермери, наприклад, як правило, зменшують внесення добрив, коли погодні умови стають сухішими і водяний стрес обмежує ріст рослин або збільшується ризик посухи. Отже, погодні ефекти призводять до змін в управлінні посівами, що, в свою чергу, впливає на врожайність. У нашому дослідженні використано статистичний підхід через менші вимоги до польових даних, менший ступінь суб'єктивності та менші вимоги до оцінки невизначеностей.

Отже, 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 кількісне визначення залежності між погодними умовами та врожайністю культур є досить важливим [370]. Щоб вчасно інформувати фермерів, інвесторів та політиків щодо формулювання стратегій адаптації та, таким чином, найкраще використовувати поточні та майбутні кліматичні умови, потрібно краще розуміти взаємозв'язки між погодними даними та урожайністю у просторовому масштабі.

### **1.5. Вплив ґрунтових показників на урожайність сільськогосподарських культур**

Ґрунти вкривають більшу частину Земної поверхні, але, відносно можливості їх використання людиною, являються обмеженим та, значною мірою, невідновним ресурсом [194]. На земній кулі близько 3,2 млрд. га земель, які використовуються як рілля, що становить близько чверті всієї площі земель [233]. Всього сільськогосподарські угіддя займають близько 40–50% світової площі землі [463].

Розвиток та виживання цивілізацій ґрунтувалося на продуктивності ґрунтів та на їх здатності забезпечувати людство продовольством та іншими необхідними для людини товарами [298]. Глобальні питання XXI століття, такі

як продовольча безпека, потреба енергії та води, зміни клімату та біорізноманіття взаємопов'язані зі сталим використанням продукційного потенціалу ґрунту [349]. Забезпечення їжею близько 10 мільярдів людей – одна з найбільших проблем нашого століття. Борлауг (Borlaug, 2007) [201] констатував: «Боротьба зі зниженням рівня бідності, поліпшення здоров'я та продуктивності праці вимагає динамічного розвитку сільського господарства». Існують серйозні занепокоєння, що світові тенденції збільшення врожайності зернових недостатньо швидкі, щоб відповідати очікуваним вимогам та потребам [215]. Однак розвиток сільського господарства не може бути активізованим незалежно від продукційної здатності ґрунтів. Обробіток ґрунтів повинен бути стійким для того, щоб підтримувати основні їх функції [196, 298]. Глобальний цикл вуглецю, води та поживних речовин також впливає на сільське господарство [200]. Ґрунти повинні виконувати декілька екологічних та соціальних функцій [194]. На основі визначення Блума (1993), одна із ключових функцій ґрунту – це «виробництво їжі та іншої біомаси» або, іншими словами, це функція продуктивності. Вона пов'язана з визначенням «якості ґрунту» як здатності конкретного його виду функціонувати в межах природної або керованої людиною екосистеми для підтримки продуктивності рослин і тварин, підтримки або підвищення якості води та повітря і підтримки здоров'я людини [324].

Продуктивність ґрунту лімітується природними чинниками та діяльністю людини. Найважливішими зовнішніми природними факторами є сонячне випромінювання, що впливає на температуру і випаровування та опади [360]. Ґрунти можуть забезпечити ріст рослини, але за умови, якщо клімат як основний ґрунтоутворюючий фактор, знаходиться у відповідному діапазоні [354].

Таким чином, у глобальному масштабі природні обмеження продуктивності ґрунту можна класифікувати у три основні групи. Перша група включає режим тепла і вологи ґрунтів – рослини вимагають відповідної

температури ґрунту та вологи для свого зростання [354]. Термічний режим і режим зволоження безпосередньо залежать від кліматичних умов. Вологість ґрунту у всьому світі є головним обмежуючим фактором більшості сільськогосподарських систем [298, 261]. Посухи охоплюють більше ніж 50% земної поверхні [171]. Доступні ґрунтові води є необхідною умовою росту рослин. У будь-якому кліматі вологоємність ґрунту є вирішальною властивістю функціональності ґрунту, включаючи продуктивність ґрунту [459, 321]. Цей показник тісно пов'язаний з урожайністю сільськогосподарських культур [293, 503].

Друга група обмежень включає інші ґрунтові недоліки, що, в основному, пов'язані з недоліками субстрату, який обмежує вкорінення і живлення рослин. До них відносяться піщані ґрунти, кам'янистість, тверді включення, анаеробні горизонти, а також ґрунти з несприятливими хімічними умовами, такими як солоність, кислотність, виснаження поживних речовин чи забруднені ґрунти, що спричиняє обмеження росту рослин або використання біомаси [407, 373].

Третя група обмежень включає топографію, яку іноді розглядають як зовнішні властивості ґрунту. Вона запобігає ерозії ґрунту та забезпечує доступність для людей та машин, наприклад, ґрунти на крутих схилах [244].

Структура ґрунту є складною категорією та ключем до біологічних, хімічних та фізичних процесів ґрунтів [313, 324, 445]. Просторове розташування агрегатів та пористість є основним аспектом структури ґрунту. Структура пов'язана з продуктивністю ґрунту і з транспортуванням у ньому води та розчинених поживних речовин. Несприятлива структура може призвести до зниження врожайності культур та більших втрат при вилуговуванні [327]. Ґрунтова структура формується на основі ґрунтового субстрату, генетичних особливостей та факторів управління. Структура ґрунту є досить вразливою до змін шляхом ущільнення та ерозії; її збереження є ключовим фактором для підтримання функцій ґрунту. Стратегії обробітку ґрунту повинні бути скеровані на створення оптимальної структури ґрунту для

отримання високих та стійких врожаїв [306]. Структура ґрунтів є особливо важливою в органічному землеробстві [406].

У результаті розвитку ґрунтознавства та практики землеробства встановлено, що родючість ґрунту визначається такими властивостями, як потужність гумусового горизонту, вміст гумусу, поживних речовин і вологи, гранулометричний склад, щільність складання тощо. У роботах низки дослідників висвітлено вплив різних властивостей ґрунтів на формування урожайності, здійснено кількісну оцінку ґрунтів як чинників ефективної родючості [127, 21, 81, 74, 131, 41, 132, 16, 70].

Знання параметрів родючості ґрунтів в конкретних природних умовах і їх впливу на урожайність сільськогосподарських культур дозволить більш ефективно використовувати земельні ресурси та міңдобрива і не допускати при цьому зниження показників родючості ґрунтів та забруднення довкілля.

Дослідники по-різному оцінюють роль гумусу у формуванні врожаю сільськогосподарських культур. Так, одні [71, 79] вказують на те, що між вмістом гумусу в ґрунті і врожайністю сільськогосподарських культур існує пряма залежність, інші дослідники таку залежність заперечують. Так, А. Д. Хлистовский і ін. (1979) [144] у своїх дослідженнях не встановили такої прямої залежності, а Н. Ф. Ганжара, В. А. Васильєв [26] відзначають, що застосування добрив згладжує відмінності в урожайності сільськогосподарських культур на ґрунтах з різним вмістом гумусу.

У дослідженнях дерново-підзолистих піщаних ґрунтів проведених Ф. В. Моїсеєнко [17] встановлено, що рівень вмісту гумусу в ґрунті впливає на підвищення врожайності всіх культур, вирощуваних у сівозміні. Найбільш чутливими до вмісту гумусу в ґрунті є картопля, овес, менш чутливе – озиме жито і дуже слабкою чутливістю відрізняються люпин і ячмінь, тобто, для кожної культури існує свій оптимальний рівень його вмісту в ґрунті.

У роботах Шевцової Л. К. і ін. [151, 152], які узагальнюють результати тривалих дослідів на дерново-підзолистих ґрунтах, встановлено, що оптимальним рівнем вмісту гумусу у цих ґрунтах є 2–2,1% (1,2% вуглецю).

Кулаковська Т. Н. [71] для суглинкових ґрунтів вважає оптимальним 2,5–3%, гумусу, для легких ґрунтів – 1,8–2%. Такої ж думки дотримуються М. А. Смуригін і Д. А. Алтунін [129]. Зі збільшенням вмісту гумусу в ґрунті посилюються процеси його мінералізації, а для підтримки його високого рівня необхідні підвищені дози органічних добрив, що є економічно недоцільним [77]. Гумус є не тільки індикатором родючості ґрунтів, а й захисним біогеохімічним бар'єром в умовах антропогенного забруднення ґрунтів [146].

У своїх роботах В. В. Медведєв [93] підкреслює, що система агротехнічних заходів має бути скерована не просто на покращення певної властивості ґрунтів, а й на приведення параметрів цієї властивості у відповідність до потреб конкретної культури.

Оптимальною вважається така щільність ґрунту, за якої, за інших рівних умов, отримують найбільші врожаї сільськогосподарських культур. Оптимальні значення щільності ґрунту коливаються в досить широких межах. Вимоги рослин до щільності ґрунту залежать від рівня забезпечення його поживними елементами та від вологопостачання. Так, на підвищену щільність ґрунтів в умовах недостатнього зволоження, зернові культури відгукуються краще. Численними дослідженнями [114, 94, 65, 23] у ґрунтово-кліматичних зонах України були встановлені оптимальні параметри агрофізичних властивостей ґрунтів для вирощування сільськогосподарських культур. У Лісостеповій зоні на сірих опідзолених ґрунтах, чорноземах опідзолених і типових, залежно від гранулометричного складу, оптимальна щільність становить 1,0–1,4 г/см<sup>3</sup>; у степовій зоні на чорноземах звичайних і південних, темно-каштанових ґрунтах – 1,1–1,3 г/см<sup>3</sup>. Наведені інтервали щільності ґрунтів не є константами. Залежно від вологості ґрунту, вони здатні змінюватися у часі. За підвищеної вологості оптимум зсувається до нижчих значень, за умов недостатнього зволоження – до вищих [82].

На особливу увагу заслуговують праці В. В. Медведєва [89 – 94], які присвячені пошуку шляхів розв'язання проблеми зниження родючості ґрунтів нашої держави та перспективам відтворення та збереження ґрунтів. Автором

наведені заходи, які скеровані на те, щоби мінімізувати негативний вплив основних процесів деградації ґрунтів у результаті їх водної та вітрової ерозії, переущільнення, дегуміфікації, техногенних забруднень, тощо на родючість ґрунтів і врожайність основних сільськогосподарських культур. Балаєв [9] охарактеризував родючість ґрунтів зони Лісостепу України за умови різної інтенсивності їхнього використання. У західних областях України проблеми збереження родючості ґрунтів досліджені Р. М. Панасом [105 – 107]. У працях Ю. О. Тараріко [44] розглянуто технології, які застосовуються у сучасному землеробстві для відтворення родючості ґрунтів та росту продуктивності агроєкосистем. Полупаном М. І. [116–119] обґрунтовано види родючості ґрунтів та їх оцінка, а також визначено екологогенетичний статус родючості ґрунтів нашої країни. М. К. Шикула [153] досліджував збереження і відтворення продукційного потенціалу ґрунтів у ґрунтозахисному землекористуванні. Низка вчених (Л.М. Александрової [3], А.М. Горєвої [30], М.М. Кононової [66, 67], Г.А. Мазура [80], Б.С. Носка [101], Д.С. Орлова [104]) присвятила свої праці питанням дегуміфікації ґрунтів різних регіонів України. Широкий спектр питань пов'язаних з ґрунтами висвітлено в роботах О. В. Жукова [32, 41 – 44, 511, 512]. Його дослідження присвячені екологічним особливостям процесу рекультивации ґрунтів; просторовій організації ґрунту та динаміці фізичних властивостей ґрунтів у процесі рекультивации; біорізноманіттю в умовах природного землеробства, зокрема, зоологічній діагностиці ґрунтів; відновленню біотичного потенціалу агробіоценозів, точному землеробству та ін.

Збільшення попиту на більш глибокі знання факторів, котрі лімітують урожайність, спричиняється необхідністю виробництва продуктів харчування (за умов, щоб при цьому не викликати деградацію довкілля) для зростаючої кількості населення Світу.

Дуже часто процес виснаження ґрунту, за будь-якої системи сільськогосподарського виробництва, спричинений дисбалансом між тим, що вноситься в ґрунт, і тим, що виймається з нього. Втрата органічної речовини

внаслідок вирощування без відновлення може ініціювати процеси фізичної деградації [494]. Зазвичай це починається з деякого пошкодження структури ґрунту, що перешкоджає потоку води та повітря і закінчується зпустелюванням. Існують повідомлення, що деградація ґрунту впливає приблизно на третину світової поверхні суші [349]. У цій ситуації важливим є знання просторової мінливості ґрунтових ознак та параметрів врожайності сільськогосподарських культур [494]. Особливого розвитку дослідження просторової взаємодії між варіюванням урожайності та ґрунтовими показниками набуло у точному землеробстві. Точне землеробство є екологічно дружнім методом землеробства. Воно засноване на просторовій неоднорідності характеристик ґрунту, води та урожайності в межах поля [180].

Ґрунт як природний ресурс має мінливість, що обумовлена взаємодією факторів ґрунтоутворення в ландшафті. Однак мінливість може виникнути і в результаті обробітку, використання землі та ерозії. Незважаючи на потенційну користь врахування ефектів просторової та часової мінливості взаємовідносин «рослина та ґрунт», більшість досліджень урожайності культур зосереджене лише на описі просторової мінливості врожайності [391]. Вважається, що взаємодія ґрунт-рослина є найбільш значним фактором, що сприяє просторовій мінливості урожайності культур [224, 242]. Повідомлення про вплив просторової мінливості властивостей ґрунту на урожайність культур з'являлися починаючи з початку цього століття [498], але всебічний інструмент аналізу просторової мінливості був недоступний до 1971 року [386]. Цей інструмент називається геостатистикою та інтенсивно використовується у ґрунтознавстві та інших агрономічних галузях протягом останніх двох десятиліть [494]. Так, наприклад, за допомогою методів геостатистики Дарвіш (Darwish) та ін. (2015) [232] досліджували просторову мінливість та кореляцію певних ґрунтових змінних: рН ґрунту, електропровідність ( $EC_a$ ), вміст карбонату кальцію ( $CaCO_3$ ) та гумусу, а також ємність обміну катіонів (CE), вміст гіпсу та гранулометричний склад. Методи геостатистики дозволяють створити карти варіювання урожайності та



грунтових показників. Поєднання аналізу властивостей ґрунтів та параметрів росту культурних рослин може бути ефективним для визначення територій з різним потенціалом продуктивності [185, 265].

Зв'язки між показниками урожайності та ґрунтом залежать від складних взаємодій фізичних та хімічних властивостей ґрунту та інших зовнішніх природних факторів і є досить складними [474]. Важливою складовою конкретних і стійких систем управління та планування землекористуванням є розуміння мінливості ландшафтних та ґрунтових властивостей та їхній вплив на врожайність. Властивості ґрунтів змінюються через особливості процесів ґрунтоутворення у різних ландшафтах та через різницю в підходах до землекористування під час сільськогосподарських практик, що, врешті-решт, зумовлює просторово залежне коливання властивостей ґрунтів [444].

Урожайність залежна від просторової мінливості властивостей ґрунту і на цю мінливість можуть впливати різноманітні фактори [446, 332]. Застосовуючи поетапний багатофакторний лінійний регресійний аналіз (SMLR) виявлено, що педологічні показники мають суттєвий зв'язок із урожайністю культур [166, 439, 322, 460]. Слід зазначити, що прості математичні функції, зазвичай, не повністю здатні описати вплив показників ґрунту на урожайність сільськогосподарських культур. До того ж, взаємозв'язок між характеристиками ґрунту може спричинити проблеми мультиколінеарності щодо співвідношення урожайності та властивостей ґрунту. Але якщо йти шляхом видалення деяких змінних, то це може призвести до втрат досить важливої інформації. Для вирішення проблеми мультиколінеарності між незалежними змінними було застосовано часткову регресію найменших квадратів (PLS) [224]. Навантаження лінійних комбінацій змінних в PLS дозволило встановити властивості ґрунту, котрі найбільше впливають на врожайність. Ще одним варіантом може бути комбінування змінних на базі їх лінійної кореляції за допомогою аналізу головних компонент (Principal components analysis – PCA). Цей метод (PCA) спрощує структуру набору змінних, оскільки замінює їх кількома

некорельованими лінійними комбінаціями оригінальних змінних, що, в свою чергу, дасть можливість створити головні компоненти (нові менш інтерпретовані комбіновані змінні), за допомогою яких можна пояснити переважну частку дисперсії набору даних [468, 378, 397]. Взаємозв'язок між характеристиками ґрунту та урожайністю можна визначити шляхом проведення лінійних багатофакторних регресійних процесів із похідними факторами РСА як незалежними змінними [177, 225]. У нашому дослідженні, ми застосуємо саме аналіз головних компонент, щоби виявити основні ґрунтові предиктори врожайності сільськогосподарських культур зон Лісостепу та Полісся України.

#### **1.6. Встановлення взаємозв'язку між біорізноманіттям та урожайністю**

Головною позицією ландшафтної екології є уявлення про визначальний вплив ландшафтних патернів на екологічні процеси [484, 513]. Деградація земель та екологічні процеси створюють потенційно небезпечний зворотній зв'язок (зпустелення, засолення) та створюють джерело тривалого негативного впливу на виробництво сільськогосподарської продукції [441]. Урожайність сільськогосподарських культур може бути збільшена за допомогою покращення агротехнологій [401] та генетики культур [476]. Проте, з огляду на зростаючі витрати, пов'язані з ризиками хвороб та негативного впливу шкідників, ефективність цих напрямків буде обмеженою [413, 345]. Збільшенню урожайності сільськогосподарських культур сприяє традиційний менеджмент шкідників та хвороб, проте він має певні недоліки. Природні механізми контролю чисельності шкідників можуть бути порушені через неспецифічний вплив синтетичних інсектицидів, які знищують нецільові групи організмів [395, 511].

Ландшафтний менеджмент є важливим для збереження біорізноманіття [361, 482]. Агрегація сільськогосподарських полів та занепад площ, які не культивуються, призводить до трансформації складних ландшафтів з відносно

високою часткою напівприродних місцеіснувань, у ландшафти, які є простими за своєю структурою і де домінують орні поля [447]. Ландшафтна структура є ключовим фактором підтримання біорізноманіття [170, 513, 167, 427].

Одним з найбільш актуальних питань сьогодення є пошук компромісів між задоволенням зростаючих продовольчих потреб людства та збереженням біорізноманіття з огляду на те, що розширення орних площ та процеси інтенсифікації сільського господарства призвели до великих втрат світового біологічного різноманіття [387, 231, 325]. Проте, зменшення інтенсивності використання сільськогосподарських земель викликають стратегії, що скеровані на збереження неоднорідності ландшафту [227]. Дослідження останніх десятиліть вказують на тенденцію стрімкого збільшення сільськогосподарського виробництва, яке повинно прогнати глобально зростаючу людську популяцію у поєднанні з очікуваними змінами у харчуванні [491, 423, 282]. Органічне землеробство часто асоціюється зі зниженою врожайністю, хоча воно є менш інтенсивною сільськогосподарською практикою, яка менш згубно впливає на біорізноманіття [428, 249], і, крім того, є незрозумілим вплив цього виду землеробства на сукупне біорізноманіття у глобальному масштабі [333, 190, 456]. Ще одним способом мінімізації впливу інтенсифікації аграрного виробництва на природні системи та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур є заохочення надання екосистемних послуг у сільськогосподарських ландшафтах [199]. Одним із підходів є збереження, відновлення чи створення нових напівприродних осередків в межах поля чи на сусідніх територіях [352].

Для користі сільського господарства, у всьому світі ландшафти модифікуються людською діяльністю [270]. Обмеження надання екосистемних послуг, тобто, регульованих природою процесів, які є корисними та безкоштовними для людини, виникає внаслідок руйнування природних ареалів [229]. Екосистемні послуги, необхідні для сільського господарства, включають біологічну боротьбу зі шкідниками, яка полягає у

застосуванні хижих членистоногих, що є присутніми в екосистемі, для захисту рослин від шкідників та процес запилення рослин комахами [270, 482]. За деякими оцінками, 50–90% боротьби зі шкідниками в посівах сільськогосподарських культур забезпечують природні вороги, котрі являють собою ефективний заміник використання хімічних препаратів (пестицидів) з метою захисту рослин [426]. Через це, у локальному аспекті, на чисельність природних ворогів і комах-запилювачів і, як наслідок, на врожайність, позитивно впливає різноманіття ландшафтів [188, 218, 383].

Для сільськогосподарської науки питання про зв'язок між просторовою структурою ландшафту і врожайністю має неабиякий практичний інтерес [145]. У деяких літературних джерелах детально висвітлено вплив на врожайність рельєфу, причому, основна увага приділяється розгляду питань стосовно змін врожайності у залежності від приналежності поля до форми та солярної експозиції мезорельєфа [150, 1], або, якщо поле неоднорідне за мікрорельєфом (зокрема, в дослідженнях пов'язаних з точним землеробством), розглядають варіювання врожайності всередині поля [270, 62, 145]. Проте, в літературі не знайдено робіт в яких би оцінювали вплив індексів ландшафтного різноманіття у великих просторових масштабах на урожайність сільськогосподарських культур.

Останнім часом гетерогенні ландшафти, які були доволі розповсюдженими, перетворені сучасним управлінням землеробством на монокультури. Цей процес призводить до локального виснаження природних елементів ландшафту (ПЕЛ, natural landscape elements – NLEs) та до їх деградації [481, 495]. Безхребетні та птахи [163, 274], котрі надають цілий спектр екосистемних послуг, таких як біологічний контроль шкідників [218, 504] та запилення [300, 362], використовують природні елементи ландшафту як цінні місця існування та харчові ресурси. Більш складні сільськогосподарські ландшафти не тільки є середовищем проживання корисних для сільського господарства організмів, зокрема птахів, плазунів,

комах [218], але й виконують ряд важливих функцій, наприклад, багаторічна рослинність забезпечує зберігання вуглецю [307].

Хоча цінність біологічного різноманіття природних елементів ландшафту вивчається досить часто [189], менш вивченими є питання впливу цих природних осередків на виробництво продукції рослинництва. Кількість ПЕЛ часто є «зоною конфлікту» в дискусіях щодо збереження біорізноманіття і виробництва продуктів харчування в сільськогосподарських ландшафтах [422].

Різні ефекти зміни урожайності залежно від типу природних елементів ландшафту відзначають у дослідженнях, присвячених вивченню врожайності сільськогосподарських культур. Так, Хош та ін. (Ghosh et al., 2012) [281] відзначили, що виробництво пшениці збільшується, якщо на краях поля посіяти місцеві види трав. Цчумі та ін. (Tschumi et al., 2015) [483] виявили на 10% вищі врожаї на ділянках, які близькі до смужок засіяних квітами. Таку особливість вони пояснювали непрямыми вигодами від боротьби зі шкідниками. На противагу цьому, Суттер та ін. (Sutter et al., 2018) [473] продемонстрували, що райони екологічної спрямованості, такі як смуги диких квітів, не мали суттєвого впливу на урожай олійного ріпаку, хоча ступені запилення та боротьби зі шкідниками зросли приблизно на 10%. Дослідження Пивелла та ін. (Puwell et al., 2015) [432] показало, що створення трав'янистих середовищ, сприятливих для дикої природи, на кордонах полів не тільки збільшує чисельність запилювачів, але й призводить до збільшення врожаю тієї культури, яка знаходиться поруч із таким середовищем. З досліджень присвячених вивченню живоплотів ми знаємо, що негативний вплив на урожайність може мати місце в межах перших метрів від кордону поля [338]. Цей ефект може бути спричинений абіотичними факторами, такими як затінення [253], а також біотичними факторами, такими як конкуренція за поживні речовини та воду [339] або шкідниками та хворобами [253, 478]. Корт (Kort, 1988) [338], однак, також довів, що зі збільшенням відстані до живоплоту врожайність сільськогосподарських культур може зростати вище

середніх значень урожайності через зменшення інтенсивності випаровування, спричинене укриттям від вітру.

Зв'язок між відстанню до кордону поля та урожайністю був доведений для різних видів культур [237, 465] та досліджений з метою роз'єднання різних факторів впливу, таких як чисельність бур'янів, кількість шкідників та ущільнення ґрунту [195, 501]. Проте вплив різних структур на кордонах полів зрідка досліджується в порівняльному аналізі. Багато авторів зосередилися на конкретних структурах, тобто деревних або трав'янистих ландшафтних елементах і не включили інші елементи, такі як невеликі водойми.

У роботі Раатз та ін. [434] кількісно визначили вплив широкого спектру елементів ландшафту, зокрема, сільськогосподарських доріг, лісових насаджень, живоplotів та наземних водних об'єктів, на урожайність озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) в залежності від віддалі до меж поля. У ході досліджень встановлено знижені показники урожайності пшениці у смугах, що примикають до кордонів поля, поряд із елементами природного ландшафту, порівняно із показниками у середині поля. Це явище вони пов'язують із багатьма факторами: інтенсивнішим впливом шкідників, оскільки німецьке законодавство чітко обмежує використання засобів захисту сільськогосподарських рослин в безпосередній близькості до природних екосистем, ущільненням ґрунту на краях полів внаслідок повороту машин [195, 501], конкуренцією за воду та поживні речовини з корінням дерев та затіненням, особливо на ділянках суміжних з високою рослинністю [208, 253, 338]. Лілес та ін. [375], показали зниження врожайності на полях озимої пшениці в межах відстані, еквівалентної двом висотам дерев, із середнім зниженням на 31%, порівняно з урожайністю в середині поля. Затінок також викликає збільшення вологості ґрунту поруч з елементами природного ландшафту, що призводить до підвищеного ризику зараження культури патогенами. Є повідомлення, що велика кількість збудників грибкових хвороб пшениці корелює з підвищеною вологістю ґрунту [405]. Дане дослідження виявило і позитивні тенденції до підвищення врожайності на відстані 20 м від

деревних елементів ландшафту порівняно з урожайністю у середині поля, а це свідчить про те, що лісові масиви також надали позитивного (потенційно захисного) ефекту для врожайності культур, які знаходилися за межами затінення дерев. За таких умов культури необмежені в світлі і отримують користь від зменшення випаровування, оскільки, як відомо, лісові масиви виконують роль вітрозахисту і можуть знижувати швидкість вітру на відстані в два-чотири рази більшій за висоту дерев [339]. Ці захисні властивості можуть бути особливо актуальними у посушливі роки або в майбутньому при більш посушливих сценаріях зміни клімату, коли здатність підтримувати вологість ґрунту стає досить цінною [477]. Отже, щоб уникнути негативного ефекту, пов'язаного зі зниженням урожайності на краях полів, які примикають до лісосмуг, деякі дослідники [434] рекомендують створювати смугу із лучних трав на кордоні між лісом або живоплотом та полем, оскільки трав'янисті елементи ландшафту не призводять до значних втрат врожаю [473, 483]. Трав'яниста смуга з різноманітною сумішшю короткоживучих і багаторічних місцевих рослин може стати ідеальним середовищем для отримання кількох переваг: по-перше, відсутність серйозних втрат врожаю на польових кордонах у поєднанні з подальшими позитивними ефектами від різних місць існування; по-друге – вітрозахист та контроль ерозії, отриманий деревним елементом ландшафту та висока чисельність запилювачів та ентомофагів, що забезпечується трав'янистим елементом ландшафту. Отже, елементи природного ландшафту в агроекосистемах мають вирішальне значення не тільки для збереження біорізноманіття, але і для сприяння регулюванню та підтримці таких послуг, як регулювання води та боротьба зі шкідниками.

Дослідження різних систем землеробства показали, що диверсифікація рослинності на полі може покращити врожайність та забезпечити екосистемні послуги [243, 277]. В масштабах великих ландшафтних одиниць, які більші за розмір поля, вплив складності ландшафту на врожайність сільськогосподарських культур виміряти важче [202]. Дослідження, що вивчають різноманітних корисних членистоногих, включаючи павуків, жуків,

бджіл та інших «відвідувачів» квітів, визначають, як близькість до природних об'єктів може збільшити запилення та боротьбу з шкідниками, а також урожайність сільськогосподарських культур [275, 237, 160].

Складність ландшафту також може негативно впливати на посіви. Оскільки, напівприродні ареали, близькі до полів, можуть бути резервуарами для шкідників і насіння бур'янів. Хоча метааналізи свідчать про те, що розповсюдження комах-шкідників зазвичай ніяк не пов'язане зі складністю ландшафту [276]. Так само, з ним не пов'язане розповсюдження бур'янів у посівах, хоча воно у певній мірі і залежить від конкретних характеристик рослин та їхньої історії життя [162]. Складні ландшафти можуть також представляти ризики для цілей збереження біорізноманіття, наприклад, шляхом надання шляхів для поширення інвазійних видів [414]. Проте негативні ефекти складності ландшафтів не є переважаючими, про що свідчать більшість досліджень [276].

Птахи агроландшафтів також сприяють низці необхідних екосистемних послуг, таких як видалення насіння бур'янів, боротьба зі шкідниками [380, 197, 438] та кругообіг поживних речовин [499]. З'ясовано, що різноманітність птахів сільськогосподарських угідь обумовлена не структурою посівів, як вважалося раніше, а саме ландшафтним різноманіттям [47, 87, 388, 122, 514]. Виявлено наявність нелінійної залежності між показниками різноманіття угруповань птахів та параметрами, що відображають продуктивність лісових екосистем [178, 516]. У дослідженнях проведених для тропічних агроекосистем встановлено, що ізоляція фруктових плантацій від птахів та кажанів знизила загальну урожайність на 31% і це пов'язане із впливом комах-шкідників [376]. З іншого боку, багато видів птахів завдають шкоди безпосередньо, поїдаючи зернові, овочеві або фруктові культури [450] або опосередковано, споживаючи природних ворогів шкідників [382] та передаючи захворювання культурних рослин [213]. Так, наприклад, є повідомлення про негативний вплив птахів на урожайність рису, проте цей вплив є набагато меншим ніж вплив шкідників та бур'янів [443]. Зважаючи на



неоднозначний вплив птахів на урожайність сільськогосподарських культур, необхідно проводити дослідження в конкретних умовах з метою розробки заходів щодо регуляції чисельності популяцій птахів.

Оцінка відносин між особинами в популяції та їхнім середовищем існування – одне із головних завдань будь-яких екологічних досліджень. Зокрема, на особливості вибору місць існування окремими особинами помітно впливає відношення організмів до умов навколишнього середовища [184]. Протягом останніх десятиліть моделі придатності оселищ (*habitat suitability models* – HSMs) або моделі видового розповсюдження (поширення) (*species distribution models* – SDMs) застосовуються при вирішенні широкого кола наукових питань, зокрема, у дослідженнях, пов'язаних зі збереженням біологічного різноманіття [250, 288]. Ці моделі використовуються як для виявлення найбільш впливових показників (змінних) навколишнього середовища, які можуть пояснити присутність або значну щільність виду в даній локації так і для прогнозування розподілу видів по відношенню до біотичних і абіотичних чинників. Такі підходи дозволяють краще зрозуміти взаємодію «вид-середовище» у великих просторових масштабах [186].

Підвищення доступності таких передових інструментів, як географічні інформаційні системи (ГІС), і постійне збільшення потужності комп'ютерів надають можливості включити все більше біологічної інформації для проведення статистичних процедур. Просторові моделі придатності екологічних ніш, які основані на ГІС, можуть створювати карти з великою роздільною здатністю, котрі враховують велике різноманіття взаємодій між видами та навколишнім середовищем. Карти можуть бути отримані з невеликих наборів даних, легко інтерпретуються вченими, які займаються збереженням біологічного різноманіття та можуть бути легко оновлені [186, 288, 515].

Отже, моделювання придатності місць існування є статистичною технікою, що дозволяє передбачити розподіл видів на великих площах,

користуючись даними характеристик навколишнього середовища та записами реєстрацій присутності видів [186, 516, 184].

Однією з найбільш популярних моделей придатності місць існування є факторний аналіз екологічної ніші (ENFA) [184, 42]. ENFA базується на концепції екологічної ніші за Хатчінсоном [308], і показує міру реалізованої ніші у межах доступного простору екологічних чинників. У рамках цього підходу екологічна ніша ідентифікується за допомогою обчислення двох параметрів – маргінальності та спеціалізації [186, 515].

Маргінальність ідентифікує схильність особин популяції до умов навколишнього середовища, які відрізняються від типових серед всієї сукупності можливостей, і визначається шляхом вимірювання відхилення параметрів екологічної ніші від модальних значень для даної території проживання. Спеціалізація розглядається як міра «вузькості» ніші стосовно певних параметрів середовища [184, 516].

Також існує думка, що більш різноманітний ландшафт, до складу якого входять різноманітні елементи екосистем, зазвичай є більш стійким до екологічних змін різних напрямків, у тому числі і кліматичних, у порівнянні з однорідним і рівномірним ландшафтом [457]. Тому, наразі, надзвичайно актуальним питанням сьогодення є вивчення взаємозв'язку між урожайністю сільськогосподарських культур та різноманіттям ландшафтів.

Наразі доведено сильний та стійкий вплив біорізноманіття на урожайність сільськогосподарських культур як у природних умовах [304] так і в агроекосистемах [424, 272]. У дослідженнях Poveda et al. (2012) [429] виявлено позитивний вплив на урожайність картоплі саме ландшафтного різноманіття. Зменшення шкоди від шкідників, підвищення врожайності та збільшення функціонального біорізноманіття можна розглядати як корисні «екосистемні послуги», що тісно пов'язані зі збереженням природних місць існування в агроландшафтах [429]. Продуктивність кукурудзи також залежить від екосистемних послуг, а, отже, і від ландшафтного різноманіття [222]. Дослідження канадських вчених, які аналізували залежність між складністю

ландшафту та урожайністю семи основних зернових культур (посівні площі понад 250 000 км<sup>2</sup>), встановили у посівах чотирьох з семи культур, використовуючи функціональний регресійний підхід, докази достовірно позитивного зв'язку між урожайністю та складністю ландшафту [276]. З огляду на важливу екологічну роль природних осередків поблизу агроландшафтів, їх потрібно зберігати, незважаючи на те, що варіювання урожайності, що пояснюється різноманіттям ландшафту, є незначним. Подібні дослідження, на нашу думку, потребують уваги, тому що в Україні вони не проводяться.

Отже, оцінка ролі різноманіття у стабільності та функціонуванні екосистем є одним з найбільш важливим питань сучасної екології. Гіпотеза «різноманіття означає стабільність» постулює ключове значення біорізноманіття у формуванні стабільності екосистем [482]. Було сформульовано гіпотезу, згідно з якою сільськогосподарська система, що ґрунтується на повному використанні потенціалу біорізноманіття, надає можливості для формування стійкої системи, в якій можуть процвітати як сільськогосподарське виробництво, так і природа. Доведено, що диверсифікація сільського господарства сприяє збільшенню виробництва сільськогосподарських культур [428]. Було висловлено припущення, що більш різноманітні агроекосистеми є більш продуктивнішими та стабільнішими, ніж менш різноманітні ландшафти [288]. Сільське господарство, що базується на біорізноманітті може підвищити свою ефективність за рахунок розширення екосистемних послуг. Дослідження різних систем землеробства показали, що диверсифікація рослинності на полях може підвищити врожайність та забезпечити екосистемні послуги [277]. Було показано, що в сільськогосподарських ландшафтах багатство видів птахів зростає зі збільшенням гетерогенності ландшафтів, яку оцінювали за допомогою індексу Шеннона [178].

З іншого боку, збереження біорізноманіття обговорюється як антипод економічному зростанню в сільському господарстві. Однак важливо знайти

компромiси мiж збереженням бiорiзноманiття та наданням екосистемних послуг при прийняттi рiшень щодо землекористування [166]. У нашому дослідженнi ми плануємо оцiнити роль бiологiчного рiзноманiття як чинника сталого ведення сiльського господарства. Однак, вплив складностi ландшафту на врожайнiсть сiльськогосподарських культур у ландшафтних одиницях, якi є бiльшими за розмiр поля, складнiше оцiнити. Дуже мало досліджень у яких на ландшафтному рiвнi оцiнювали зв'язок мiж складнiстю ландшафту та врожайнiстю сiльськогосподарських культур. У нашому дослідженнi ми плануємо використовувати математичне моделювання для визначення параметрiв динамiки врожайностi сiльськогосподарських культур, щоб дослідити, як на них впливають фактори ландшафтного рiзноманiття.

### **Висновки до роздiлу 1**

Таким чином, з результатiв бiблiографiчного аналізу можна зробити висновки, що Україна має значний невикористаний сiльськогосподарський потенцiал культур, який бiльшою мiрою обумовлений економiчною ситуацiєю перехiдного перiоду та недостатнiм реферуванням сiльського господарства на сучасному етапi. Для оцiнки продукцiйного потенцiалу часто використовуються симуляцiйнi моделi, якi будуються на основi даних просторово-часового варiювання урожайностi культур. Проте, на даний час мало що вiдомо про просторову та часову мiнливiсть сiльськогосподарських культур в Україні. Ця iнформацiя є вкрай необхідною для розробки та реалiзацiї будь-якої стратегiї управлiння сiльськогосподарським виробництвом. Однiєю з найважливиших основ планування сталого сiльськогосподарського розвитку краiни є агроекологiчне районування. На даний час розроблено багато пiдходiв цiльового агроекологiчного районування України. Проте, у свiтлi зростаючих клiматичних змiн та деградацiї ландшафту, необхідна розробка методичної основи для агроекологiчного районування, яка б вiдображала екологiчнi умови сiльськогосподарського виробництва. На нашу думку, такою основою могла

би бути урожайність сільськогосподарських культур. Вплив змін клімату на продукційний потенціал є одним із найбільш актуальних питань сьогодення, з огляду на загрозу для продовольчої безпеки Світу. Для формування своєчасних заходів щодо адаптації та реагування сільськогосподарських культур на зміни клімату та для кращого розуміння та прогнозування реакцій росту рослин на довготривалі зміни погодних умов, досить важливим є кількісне визначення залежності між погодними умовами та врожайністю культур. 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 урожайність культур, але це питання не розглядалося українськими вченими, що робить його, безумовно, актуальним.

## РОЗДІЛ 2

## ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 2.1. Фізико-географічна характеристика регіону досліджень

Щоби розуміти процеси, які впливають на особливості вегетації будь-яких сільськогосподарських культур, слід знати фізико-географічні особливості територій, де ці рослини культивуються.

Україна має континентальний клімат зі спекотним літом та холодною зимою. Кількість опадів зменшується, а температура зростає з півночі до півдня (рис. 2.1) [469].

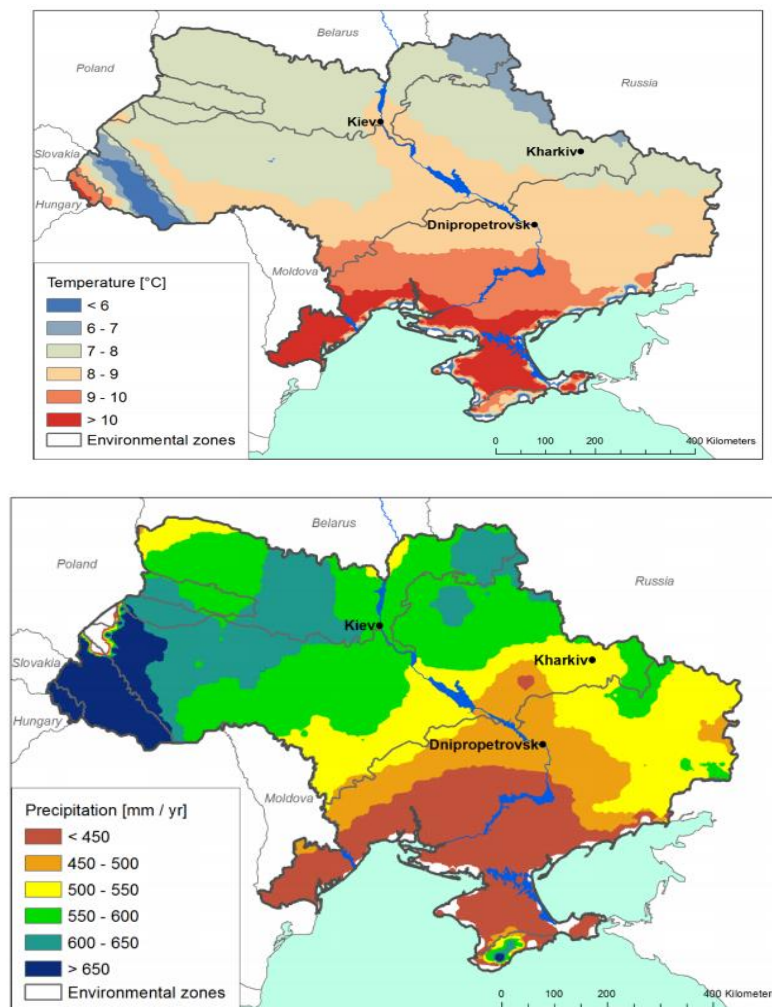


Рис. 2.1. Середня щорічна температура (°C) та опади (мм) в Україні, 2005–2012 рр. Precipitation [mm/yr] – опади [мм/рік], Temperature – температура [404]

Кліматичні та ґрунтові умови дозволяють поділити Україну на три зони, котрі характеризуються чіткими умовами навколишнього середовища, які є важливими для сільського господарства: зона мішаних лісів, лісостеп, зона степу (рис.2.2). Ще 2 зони України – це Карпатські гори на заході та Кримські гори на півдні країни [404].



Рис. 2.2. Екологічні зони України: Mixed Forest – зона мішаних лісів, Forest Steppe – Лісостеп, Steppe – зона Степу

Регіон проведених нами досліджень знаходиться у двох природно-кліматичних зонах: Полісся та Лісостеп (Додаток 1).

**Зона Полісся** (зона мішаних лісів) знаходиться в північній частині України і є складовою зони мішаних лісів на Східноєвропейській рівнині. Поліська провінція, яка знаходиться в межах рівнини, займає території трьох країн: України, Білорусі та Росії. 19% української території займає зона мішаних лісів, яка простягається із заходу на схід більш як на 750 км, з півночі на південь (в межах України) – на 150–200 км. У названу зону входять значна частина півночі Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської та Чернігівської областей, а також відносно невеликі частини Львівської, Тернопільської, Хмельницької та Сумської областей [45].

Природні умови зони характеризуються низовинним рельєфом, піщаними та піщано-глинистими відкладами, густою річковою сіткою, широкими річковими долинами, достатнім зволоженням, високим рівнем ґрунтових вод, переважанням дерново-підзолистих ґрунтів, значним поширенням соснових лісів [329]. В антропогені, під час дніпровського зледеніння, більша частина цієї зони була вкрита льодовиками. Саме тоді були сформовані еолові форми рельєфу, моренні пасма та зандрові (піщані) рівнини [141]. Зона характеризується низовинним рівнинним рельєфом, значною зволоженістю земель, наявністю заболочених масивів і боліт, відносно великими запасами водних ресурсів [45]. Річкова мережа густа, з великою кількістю боліт, значними запасами підземних вод. Є чимало озер. Найбільші за площею озера мають карстове походження (Шацькі озера) [46, 329].

Клімат Полісся є помірно-континентальним, літо – тепле і вологе; зима – м'яка та хмарна. Середні температурні показники повітря в липні становлять +17–+19°C, у січні вони знижуються до -4,5– -7,8°C. Безморозний період складає 160–180 днів. Період вегетації триває з другої декади квітня до третьої декади жовтня. Період із середньодобовими температурами понад +15°C трапляється близько 95–125 діб. Приблизно 2 600°C становить річна сума температур, які є більшими за +10°C. У зоні мішаних лісів на рівнинній частині країни випадає найбільша кількість опадів, їх річні суми складають 550–650 мм. Найбільшу кількість опадів, на рівні 400–450 мм, спостерігають у зоні торф'яно-підзолистих ґрунтів, що домінують у верхніх шарах ґрунту і займають біля 75% території Полісся [6, 262].

Зональними типами ґрунтів зони мішаних лісів є різні дерново-підзолисті і болотні. Вони разом займають близько 95% території зони. Крім того, тут трапляються перегнійно-карбонатні, сірі лісові та зрідка опідзолені чорноземи. Для ґрунтового покриву зони Полісся характерна значна строкатість. Окремі типи ґрунтів, не займаючи великих масивів, змінюються іншими типами. Це обумовлює строкатість ландшафтів та ускладнює їх використання [84, 469].



Провідне місце у структурі земельних угідь належить орним землям. Рілля займає 33% всієї території Поліської зони, що становить понад 4 мільйони га. Зона мішаних лісів – важливий район сільськогосподарського виробництва країни [7, 46].

Лісистість Полісся варіює від 10 до 60%, з середнім рівнем – 30%. Найпоширенішими деревними породами є сосна, береза, дуб, граб, липа, клен. Переважаючими є дубово-соснові ліси, що займають 45% лісовкритої площі. Соснові (борові) ліси розташовані на піщаних ґрунтах. До 10% території зони знаходиться під лучними ландшафтами у заплавах річок. В їхніх травостоях панують різнотравно-злакові угруповання. У поліських ландшафтах частіше всього трапляються болотяні природні комплекси, серед них найбільше низинних лісових і трав'яно-мохових боліт.

За відмінностями у поєднанні природних умов та ресурсів в Українському Поліссі виділяють такі фізико-географічні області: Житомирське Полісся, Київське Полісся, Волинське Полісся, Новгород-Сіверське Полісся та Чернігівське Полісся [45].

*Житомирське Полісся* розташоване на більшій частині Житомирської та північно-східній частині Рівненської областей. Порівняно з Волинським Поліссям територія Житомирського Полісся є більш піднятою оскільки вона знаходиться на Українському докембрійському щиті. Житомирське Полісся є найменш заболоченим серед інших фізико-географічних областей. Болота тут займають лише 3% його площ. Великі території зайняті піщаними рівнинами з переважаючими сосновими та дубово-сосновими лісами. У східній частині цієї зони поширені моренно-піщані рівнини з дерново-підзолистими ґрунтами. На більшості площ вони є розораними і зайнятими сільськогосподарськими угіддями [5]. У цій зоні знаходяться такі об'єкти природно-заповідного фонду України як Поліський заповідник, заказники Поясківський, Городоцький, Дідове озеро [84].

*Київське Полісся* розташоване у напрямку на схід від Житомирського Полісся і займає північну частину територій Київської та східну частину

територій Житомирської областей. Ця зона розташована на схилі Українського кристалічного щита, фундамент якого поступово знижується до долини Дніпра, де знаходиться на глибині 300–400 м. Головні річки – Прип'ять, Уж, Тетерів, Здвиж, Ірпінь. Кліматичні умови мають типові Поліські риси. Середня температура січня –  $-6,4$ – $-5,9^{\circ}\text{C}$ , липня –  $+18$ – $+19,5^{\circ}\text{C}$ . Безморозний період триває близько 165 днів. За рік у середньому випадає 550–620 мм опадів [469]. Серед природної рослинності головну роль відіграють соснові, грабово-дубово-соснові, вільхові ліси, чагарники, лучна та болотна рослинність. В цілому, природні умови Київського Полісся сприятливі для сільсько- і лісогосподарського використання, рекреації, природоохоронної діяльності. Тут знаходяться новостворений Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, Іллінецький заказник та інші природоохоронні об'єкти і території [84, 141].

*Волинське Полісся* займає західну частину зони мішаних лісів, що розташована на території межиріччя Західного Бугу і Случі і знаходиться на більшій частині Волинської і південно-східній частині Рівненської областей. Серед фізико-географічних областей Українського Полісся воно є найбільш зволеним, залісненим і заболоченим. Лісами вкрито понад 45% площі Волинського Полісся, заплавний лучно-болотний ландшафт займає 10%. Природні умови Волинського Полісся сприятливі для ведення сільського і лісового господарств. Тут знаходяться такі об'єкти природно-заповідного фонду України як Шацький природний національний парк, заказники озеро Нечимне, Переброди та Почаївський [84].

*Новгород-Сіверське Полісся* займає східну частину Чернігівської і північно-західну частину Сумської областей. Клімат відрізняється найбільшою континентальністю, порівняно з іншими поліськими областями, що проявляє себе, у тому числі, у більш холодній зимі. Січень характеризується середньомісячними температурами –  $-7$ – $-8^{\circ}\text{C}$ , а липень –  $+19^{\circ}\text{C}$ . Середньорічні показники опадів становлять від 550 до 600 мм. Перевагу у ландшафтній структурі Новгород-Сіверського Полісся мають

природні комплекси моренно-піщаних рівнин з дерново-підзолистими ґрунтами, що знаходяться під сільськогосподарськими угіддями. У межах області знаходиться заказник Великий Бір [84].

*Чернігівське Полісся* розташоване на схід від Київського та охоплює частину Дніпровсько-Донецької западини. Чернігівське Полісся – це низовинна слабкохвиляста рівнина. Клімат помірно-континентальний. Середньорічна сума опадів – 500–610 мм. Заболоченість цієї зони досить велика, площа боліт складає 4,5% території. Найпоширеніші типи ґрунтів: дерново-підзолисті, болотні, сірі лісові ґрунти. Лісистість Чернігівського Полісся найменша серед інших поліських регіонів і складає – 15–18%. Основні площі зайняті сосновими та дубово-сосновими лісами. Природні умови Чернігівського Полісся є сприятливими для ведення сільськогосподарського та лісгосподарського природокористування і рекреації. Тут знаходиться Сосницький, Каморетський та Болото Мох заказники і такі пам'ятки природи як урочище Тулине, Святе Озеро та болото Гальський Мох [84, 45].

Таким чином, зона мішаних лісів займає 19% української території і є частиною Поліської низини. Вона характеризується високим рівнем ґрунтових вод, великими болотистими територіями та ґрунтами з низькою родючістю та високою кислотністю. Кліматичні умови зони мішаних лісів є сприятливими для сільського господарства, завдяки значному рівню опадів та достатньому надходженню сонячної енергії. Добре ростуть тут переважно злакові і кормові культури, картопля та льон. Крім сільськогосподарських угідь, великі території зони мішаних лісів зайняті луками та лісами [76, 329].

***Лісостепова фізико-географічна зона*** займає центральну частину України і простягається від Передкарпаття до західних відрогів Середньоруської височини приблизно на 1100 км. Її площа займає 34% території України (202 тис. км<sup>2</sup>) [84, 45].

У Лісостеповій зоні лісові ландшафти на опідзолених ґрунтах чергуються з лучно-степовими на типових чорноземах. Найбільш

поширеними є широколистяні ліси. Ці ландшафти у минулі часи займали досить значні площі на височинах. Наразі в орні угіддя тут майже цілком перетворені лучні різнотравно-злакові (степові) ландшафти. Власне лісостепові – на чорноземах опідзолених та реградованих ґрунтах – являють собою фрагментарно збережені широколистяні ліси, які виокремлюються на тлі сільгоспугідь [28, 84].

В орографічному відношенні у Лісостепу височини чергуються з низинами, при переважанні височин, що характеризуються сильною розчленованістю. Коливання висот місцевості обумовлюють властиву для Лісостепу вертикальну диференціацію ландшафтів [149, 46].

Кліматичний режим зони відзначається збільшенням континентальності клімату у східному напрямку. За рік зона отримує близько 4190 МДж/м<sup>2</sup> сонячної радіації. Середні температури липня на півдні складають +22°C, на північному заході +18°C; температури січня у середньому становлять -5– -8°C; на сході зареєстровано найнижчі температури – -36°C. 100–110 днів на заході триває період з середньодобовими температурами від +5 до +15°C, а на лівобережжі Дніпра цей період складає 80–90 днів. На заході лісостепової зони період без морозів триває 150–190 днів. Тепловий режим цієї ґрунтово-кліматичної зони має показники суми середньодобових температур (вище 10°C) за травень-вересень – 2500...2750°C [6, 469]. У ґрунтово-кліматичній зоні Лісостепу загальна середня багаторічна кількість опадів змінюється від 450–500 мм у південно-східній частині до 550 мм у центральній і 600–700 мм на заході зони, у тому числі за холодний період (листопад-березень) – 130–210 мм, теплий період (травень-вересень) – 240–440 мм. Найбільше опадів (до 75%) випадає впродовж вегетаційного періоду. Коефіцієнт зволоження змінюється від 2,8 на заході зони до 1,4–1,2 – на півдні. Особливість клімату, яку необхідно враховувати при аграрному виробництві, визначається нестійкістю зволоження, оскільки має місце чергування посушливих і вологих років, у зростанні посушливості та її ймовірності у східному напрямку.

Лісостепова зона є сприятливою для вирощування різноманітних сільськогосподарських культур за сумами тепла й вологи [149].

У цій зоні знаходяться басейни річок Дніпра, Дністра, Сіверського Дінця, Південного і Західного Бугу з весняним стоком цих річок – 42–60% від річного. Переважають снігове та дощове живлення, частка підземного стоку незначна (до 10%) [28].

Мозаїчний ґрунтовий покрив, утворений чорноземами опідзоленими і типовими, темно-сірими, світло-сірими лісовими ґрунтами різного ступеня опідзоленості, карбонатності і засоленості є типовим для лісостепової зони [84, 149].

На вододільних поверхнях центральної та південної частин Придніпровської височини та на лівобережній терасовій низовинній рівнині утворились типові малогумусні чорноземи з гумусовим профілем до 130 см та вмістом гумусу біля 5%. На правобережжі Дніпра на периферії типових чорноземів сформувалися опідзолені чорноземи й темно-сірі лісові ґрунти, які містять 3,8–6,0% гумусу. На Волинській, Подільській, Придніпровській височинах, вздовж річок Псел, Ворскла сформувалися сірі та світло-сірі лісові ґрунти. Лучно-чорноземні ґрунти утворилися на давніх терасах, в широких зниженнях, а в заплавах річок сформувалися болотні, лучні та дернові ґрунти. Загальна заболоченість зони становить 1,6% [28].

Лісистість території незначна – близько 12%. Найпоширенішими деревними породами є: дуб (43% площ вкритих лісом), сосна (23%), граб (10%), бук (5%), вільха (3,4%) і береза (2,5%) [84].

Сільськогосподарські угіддя займають 70% території Лісостепової зони, у т. ч. 66% – це рілля [6]. Для багатьох ландшафтів лісостепу характерна ерозія, тому ведення сільського господарства у цій зоні передбачає комплекс протиерозійних заходів [84].

За комбінацією ландшафтів та їх регіональних відмінностей у лісостеповій зоні України виділяють чотири фізико-географічні краї:

Західноукраїнський Лісостеп, Дністровсько-Дніпровський Лісостеп, Лівобережно-Дніпровський Лісостеп і Східноукраїнський Лісостеп [45].

*Західноукраїнська лісостепова провінція* (край) є найбільш підвищеною частиною рівнинної території України. Порівняно з центральною і східною частинами Лісостепу клімат тут є вологішим (так, у місті Львові щорічно випадає 662 мм опадів, а у Вінниці – 476 мм). Характерною особливістю є менш різкі коливання температури у літньо-зимовий період. Середньорічна температура повітря коливається у межах  $+7,1$ – $+7,4^{\circ}\text{C}$ . У Західному Лісостепу сформувалася густа річкова сітка. Ґрунтовий покрив Західноукраїнського Лісостепу представлений сірими опідзоленими ґрунтами, дерново-підзолистими, темно-сірими опідзоленими ґрунтами, сірими і ясно-сірими опідзоленими та типовими чорноземами. Більшість території зайнята сільськогосподарськими угіддями з переважанням ріллі, з незначною часткою лук і пасовищ. Частка заліснених земель в структурі земельного фонду зростає у крайніх західних регіонах провінції (Розточчя та Опілля). На території краю знаходиться декілька об'єктів природно-заповідного фонду України: природний заповідник Розточчя, національний природний парк Яворівський, природний заповідник Медобори, Національний природний парк Подільські Товтри [46, 84].

*Дністровсько-Дніпровська провінція* розташована між річками Дністер та Дніпро і охоплює Придніпровську височину та центральну і південну частини Подільської височини. Із заходу на схід зростає континентальність клімату, а з півночі на південь – пересічна температура повітря. З півночі на південь і з заходу на схід зменшується кількість опадів. Найпоширенішими є опідзолені ґрунти і чорноземи, які належать до найкращих у світі. На цих ґрунтах можна вирощувати високі і стабільні врожаї, якщо дотримуватися сучасних агротехнологій [329]. У структурі сільськогосподарських угідь, які займають близько 80% території, переважають орні землі. Серед природно-заповідних об'єктів найбільшим є Канівський заповідник [84].

### ***Лівобережно-Дніпровська лісостепова фізико-географічна провінція***

займає велику частину Придніпровської низовини і знаходиться на території Полтавської, Київської, Черкаської, Чернігівської, Сумської і Харківської областей. Річкову систему провінції формують притоки Дніпра. У провінції переважають високопродуктивні типові чорноземи. На півночі поширені сірі ґрунти та опідзолені чорноземи. Понад 80% території провінції займають сільськогосподарські угіддя, які в основному розорані. Близько 10–15% території займають ліси. На півночі і поблизу Дніпра домінують сосняки, а на решті території переважають дубові ліси [149, 45].

### ***Східноукраїнська лісостепова фізико-географічна провінція***

розташована на незначній частині крайньої північно-східної території України, а це спричинює посилення континентальних тенденцій клімату. Оскільки абсолютна висота зростає, то кількість опадів збільшується, підвищується вологість повітря і ґрунту, знижується температура. Найпоширеніші ґрунти – сірі, опідзолені чорноземи та деградовані чорноземи. Провінція має сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для розвитку сільськогосподарського виробництва, тому частка сільськогосподарських угідь складає близько 70% території. Серед природно-заповідних об'єктів можна виділити філіал Українського степового заповідника Михайлівську цілину, а також заказники – Шалигинський, Журавлиний, Банний Яр, Бакирівський і Хухрянський тощо [46].

Отже, лісостепова зона характеризується високим відсотком господарської подвоєності території, досить інтенсивним розвитком землеробства і тваринництва. Орні землі займають 70% території. Лісистість території складає 12%. Ця зона є основним районом вирощування цукрових буряків. Найважливішими сільськогосподарськими культури є озима пшениця, кукурудза, просапні та ін. Лісостеп – великий район товарного овочівництва та садівництва [99, 45].

Наразі, існують відомості про зсув природно-кліматичних зон України на північ, що неминуче позначиться на умовах вирощування

сільськогосподарських культур [100]. Тому дослідження продукційного потенціалу культур, за умови вищезгаданих змін, є досить актуальним питанням.

## 2.2. Методологія досліджень

Урожайність культури є функціональним показником, який повною мірою віддзеркалює складні взаємовідносини між рослиною та довкіллям [165]. Тому, застосування врожайності як основного показника для оцінки продукційного потенціалу територій є цілком виправданим.

Для оцінки продукційного потенціалу територій використано показники урожайності наступних культур: соя, жито озиме, кукурудза, картопля, цукровий буряк, ріпак озимий, соняшник, овочі відкритого ґрунту. До овочів відкритого ґрунту відносять: перець стручковий солодкий і гіркий, помідори, баклажани, капусту, моркву столову, буряк столовий, цибулю ріпчасту, огірки (корнішони), часник, кабачки столові. В структурі площ овочевих культур найбільшу частку традиційно займають огірки, помідори, капуста та цибуля ріпчаста. Особливістю овочівництва в Україні є те, що близько 85% усіх овочів виробляють присадибні господарства [63]. Дані по урожайності культур у Поліській та 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 за адміністративними районами. Територія досліджень охоплює 206 адміністративних районів з десяти областей України (Вінницька, Волинська, Житомирська, Київська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська). Регіон досліджень знаходиться у двох природно-кліматичних зонах: Полісся та Лісостеп. Карта регіону досліджень та характеристика ґрунтових умов подана в Додатку 1.

Інформація про середньорічну врожайність кукурудзи в Україні запозичена з бази даних FAO (*Food and Agriculture Organization*) [260].



**Методика вибору моделі просторово-часового варіювання урожайності.** Часові ряди урожайності по кожному адміністративному району були розбиті на дві компоненти: тренд та залишок тренду. Глобальний тренд був пояснений за допомогою залежності урожайності культури від часу. Для встановлення аналітичної форми тренда розглядали многочлени різних порядків [436]. Тренди врожайності проаналізовані з використанням регресійних моделей зростаючого порядку: постійної моделі (константа) (рівняння 1), лінійної моделі (рівняння 2), квадратичної моделі (рівняння 3), кубічної моделі (рівняння 4) і моделі четвертого ступеня (рівняння 5):

$$Y_x = b; \quad (2.1)$$

$$Y_x = b + a_1x; \quad (2.2)$$

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2; \quad (2.3)$$

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3; \quad (2.4)$$

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4; \quad (2.5)$$

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

На підставі вибраних параметрів моделі, тренди врожайності сільськогосподарських культур можна класифікувати за чотирма основними категоріями [219]: «зростання», «стагнація», «зменшення» і «ніколи не зростало». Ці категорії можуть розглядатися як якісні властивості трендів врожайності. Проте, важливою є кількісна характеристика тренду у порівнюваних умовах.

Якщо, згідно з інформаційним критерієм Акаїке (Akaike Information Criterion (AIC))[161], пропонується постійна модель (константа), це означає, що співвідношення врожайності із року в рік було постійним або, що «врожайність ніколи не зростала». Коли обрана модель була лінійною, тренд врожайності може бути класифікований на підставі знаку нахилу. Якщо нахил був негативним, це означало, що врожайність завжди зменшувалася, і тому тренд може бути класифікований як «зменшення врожайності». Якщо нахил лінійного рівняння був позитивним, це означало, що врожайність зростає, і ми

класифікували такі області як «збільшення врожайності». У випадках, коли обрана модель була квадратичною, і якщо квадратичний член був додатним, то тренд класифікувався як «збільшення врожайності». Якщо ж квадратичний член був негативним, тренд класифікувався як «стагнація врожайності». Коли вибрана модель була рівнянням четвертого ступеня, тренд також був класифікований як «стагнація врожайності».

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

$$AIC = n \log \left( \frac{ss}{n} \right) + 2p, \quad (2.6)$$

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

За найкращу обиралася та модель, яка має мінімальний AIC серед усіх інших моделей, оскільки вона найбільш точно репрезентує тренд врожайності для даного адміністративного району. Всі розрахунки та аналіз даних були виконані з використанням R v 3.0.2 [437].

Кожен параметр лінійної моделі може незалежно інтерпретуватися таким чином, що йому можна надати чіткий фізичний зміст. Величина кута нахилу лінії регресії може бути представлена просторово у вигляді карт. Це дозволяє відповідні коефіцієнти розглядати як незалежні змінні і досліджувати їх поведінку в залежності від інших змінних довкілля, або досліджувати особливості їх просторової мінливості. Коефіцієнти поліномів вищого порядку, окрім вільного члена, не можуть бути інтерпретовані змістовно. Поліноми нижчого порядку можна розглядати як спрощений варіант поліному вищого порядку [512].

Остаточний тренд врожайності всіх культур у межах досліджуваної області найкраще описується поліномом четвертого порядку (для прикладу розглянутий тренд урожайності зернових культур) (рис. 2.3):

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4, \quad (2.7)$$

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

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 [520] (рис. 2.3).

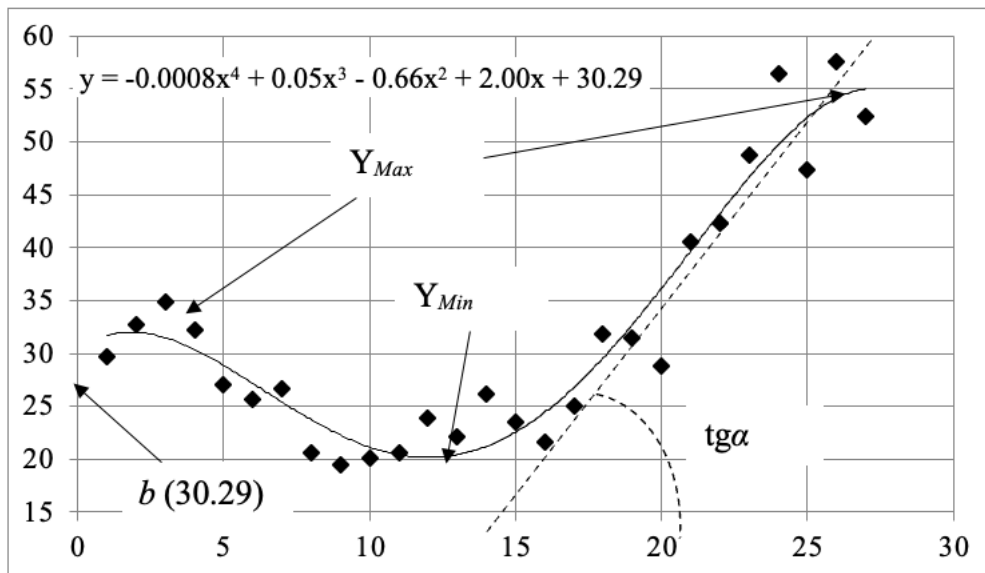


Рис. 2.3. Типова динаміка урожайності зернових культур упродовж 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку.

**Умовні позначки:** вісь абсцис – час (1 – 1991 р., 27 – 2017 р.); вісь ординат – урожайність, ц/га;  $b$  – вільний член у рівнянні поліному;  $Y_{Min}$  – значення поліному в точці локального мінімуму;  $Y_{Max}$  – значення поліному в точках локальних максимумів;  $tga$  – 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)

Слід зазначити, що описання реальної динаміки обраною аналітичною функцією – це певним чином генералізація та спрощення. Форма функції та її параметри можуть бути обрані на основі інтерполяції, але немає жодних підстав застосовувати таку функцію для екстраполяції – тобто для

перспективного або ретроспективного прогнозу. Причому обґрунтованість таких прогнозів буде суттєво знижуватися при збільшенні часового періоду, в рамках якого відбувається прогноз. Крім того, немає жодних підстав вважати, що навіть при лагу, який дорівнює одиниці вимірювання часу, система не змінює свої властивості суттєво.

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

Значення функції в точці локального мінімуму  $Y_{Min}$  вказує на «дно» динаміки урожайності культури. Сама природа тренду обумовлена, на нашу думку, агроекономічними та агротехнологічними факторами. Тому динаміка тренду має характер економічного циклу з його фазами: підйом, пік, спад, дно.

Стан максимуму продуктивності культури  $Y_{Max}$  відбиває певну рівновагу між факторами агроекономічної 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. У багатьох випадках максимуми знаходяться за межами дослідженого періоду. Тому значення функції у локальних максимумах ми не застосовуємо у якості характеристичних показників динаміки урожайності сільськогосподарських культур [49, 48].

Між локальними максимумом та мінімумом з одного боку та мінімумом і максимумом урожайності – з іншого, відбувається перегин поліноміальної кривої, де друга похідна дорівнює нулю. У цих точках швидкість зниження або зростання врожаю стає найбільшою, а відповідна динаміка може бути апроксимована лінійною залежністю. Кут нахилу дотичної до лінії регресії у точці перетину вказує на максимальну швидкість зниження або зростання

врожаю відповідно, тому він може бути характеристичним показником динаміки врожайності [51].

Координати точок екстремуму функції, що описує динаміку врожайності сільськогосподарських культур, можуть бути знайдені шляхом розв'язання рівняння, яке одержане внаслідок диференціювання поліному четвертого ступеню:

$$Y_x' = a_1 + 2a_2x + 3a_3^2 + 4a_4^3. \quad (2.8)$$

Точки перегину функції  $x_1$  знаходяться у місці, де друга похідна функції дорівнює нулю:

$$Y_x'' = 2a_2 + 6a_3 + 12a_4^2 = 0. \quad (2.9)$$

Відповідне квадратичне рівняння має два корені:

$$x_{1,2} = \frac{-6a_3 \pm \sqrt{36a_3^2 - 96a_4a_2}}{24a_4} \quad (2.10)$$

Підставивши корені рівняння (2.9) в рівняння (2.8), отримаємо максимальні показники швидкості зменшення і збільшення врожайності в межах досліджуваного періоду.

Також якість описання динаміки врожайності поліномом четвертого порядку охарактеризована за допомогою коефіцієнта детермінації, який вказує на рівень відповідності моделі реальним даним [51].

Статистичний аналіз виконаний за допомогою програмного продукту Statistica 10. Для обчислення глобального коефіцієнта просторової автокореляції застосована статистика *I*-Морана [398], яка є мірою автокореляції, аналогічною кореляційній статистиці Пірсона. Обидві статистики варіюють у межах від +1.0, що вказує на сильну позитивну

кореляцію, до 0, що визначає випадковий патерн, та до  $-1.0$ , що свідчить про сильну негативну автокореляцію [311]. Тест Коенкера-Бассетта застосовано для оцінки гетероскедатичності [334, 335]. Глобальна статистика Морана та тест Коенкера-Бассета були розраховані за допомогою Geoda095i (<http://www.geoda.uiuc.edu/>) [169].

**Методика проведення глобального аналізу головних компонент та географічно зваженого аналізу головних компонент.** Існує декілька підходів до вивчення довгострокових трендів варіювання урожайності на основі технічних або статистичних моделей [417, 369]. Ми пропонуємо використати низку локальних (нестационарних) статистичних моделей, які називаються – аналіз основних компонент (Principle component analysis – PCA) та географічно зважений аналіз головних компонент (geographically weighted principal components analysis – GWPCA).

Аналіз головних компонент (Principle component analysis – PCA) – статистичний метод, що широко використовується при дослідженні та аналізі даних [368]. Цей непараметричний метод стискає розмір набору даних і тим самим допомагає виявити деякі спрощені структури, які приховані у наборі даних. Аналіз головних компонент був застосований різними дослідниками з метою вивчення та характеристики співвідношення регіональних змінних та пов'язаних з ними факторів навколишнього середовища та кількісної оцінки просторової мінливості цих змінних [344, 365]. У екологічних дослідженнях звичайним застосуванням PCA є набори даних про навколишнє середовище, наприклад, дані біогеохімії ґрунтів [344], дані про поширеність певних біологічних видів тощо [355]. Цей метод, застосований щодо показників врожайності, дозволяє виявити фактори (головні компоненти), які вносять найбільший внесок у варіювання урожайності культури та визначити їх природу.

Часові ряди врожайності для кожного адміністративного району були розділені на дві складові: загальний тренд і залишковий тренд. Загальний тренд відображав залежність врожайності від часу. Залишки відповідних

регресійних моделей, що описують загальний тренд, складаються з випадкової складової (шум) і, ймовірно, регулярної, яку неможливо пояснити вибраною моделлю тренду [121]. Ці дві компоненти відрізняються своїми властивостями: випадкова складова є незалежною для різних точок простору, а регулярна складова має корелювати з усіма або з деякими точками простору (адміністративними районами) [50, 517]. Ми використовували аналіз основних компонент (РСА) для залишків (викидів) регресійної моделі, щоб виділити регулярну складову моделей тренду. Наявність головних компонент, чії власні значення є більшими ніж одна одиниця, свідчать про наявність кореляції у варіаціях урожайності сільськогосподарських культур [54, 57, 519].

Регресійні залишки для адміністративних районів характеризуються різним рівнем варіювання, що може призвести до зміщених результатів аналізу головних компонент, так як змінні з найбільшою дисперсією мають тенденцію бути поясненими першими головними компонентами. Відповідно, усі виділені змінні повинні бути стандартизовані шляхом відняття середнього значення від відповідної змінної та поділу результатів на їх стандартне відхилення. Така стандартизація даних робить кожен трансформовану змінну такою, що має рівну важливість у наступному аналізі [366].

Аналіз головних компонент (РСА) проводився за допомогою бібліотеки *stats* в середовищі статистичних обчислень R [437].

Для визначення оптимального числа головних компонент використовували метод кам'янистого осипу [217]. Придатність даних з урожайності для аналізу головних компонент оцінювали за допомогою тесту Кайзера-Мейєра-Олкіна (КМО) [323] допомогою функції *KMOS* з бібліотеки *REdaS* R [377]. Метод Горна (1965) [305] для оцінки компонент в аналізі головних компонент був реалізований за допомогою функції *paran* з бібліотеки «*paran*» [240].

GWPCA – локалізована версія аналізу головних компонент (РСА), є дослідницьким інструментом для визначення просторової неоднорідності в структурі багатовимірних даних. Даний метод не тільки надає корисний

інструмент для досліджень, але також розвиває результати PCA в локалізованому масштабі. Отже, GWPCA визначає як результати отримані за допомогою PCA варіюються просторово. Просторові зміни в розмірності даних і багатовимірній структурі можуть бути досліджені за допомогою карт результатів географічно зваженого аналізу головних компонент. GWPCA може також використовуватися для виявлення багатовимірних просторових аномалій [294].

В різноманітних літературних джерелах GWPCA широко застосовується для аналізу багатовимірних характеристик популяції [369], соціальної структури [294], характеристик ґрунтів та даних хімії прісної води [366]. Проте, GWPCA не застосовувався для оцінки просторової мінливості врожайності сільськогосподарських культур, які за своєю сутністю є просторово гетерогенними.

Просторові зміни в розмірності даних і багатовимірній структурі можуть бути досліджені за допомогою карт результатів географічно зваженого аналізу головних компонент. GWPCA можна також використовувати для виявлення багатовимірних просторових аномалій [294]. Важливим компонентом моделювання GWPCA є функція просторового зважування, яка кількісно визначає просторові взаємозв'язки або просторові залежності між спостережуваними змінними [271].

Вікно пропускання для просторового аналізу було знайдене за допомогою перехресної перевірки з функцією ядра Гаусса. Тест Монте-Карло був проведений, щоби перевірити, чи були власні значення матриці даних з врожайності просторово залежними [311]. Метод GWPCA реалізований за допомогою пакету *GWmodel R* [284]. Для візуалізації результатів GWPCA було відображено просторовий розподіл головних компонент у відсотках від загальної дисперсії. Локальний вплив змінних на основні компоненти було візуалізовано за допомогою відображення «виграшної змінної», тобто змінної, яка мала найвище абсолютне навантаження. Традиційне представлення «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. Переважання факторного навантаження є одним з аспектів, який характеризує динаміку врожайності культур. Коливальний характер такої динаміки робить переважання наслідком випадкового викиду показника у певний час порівняно з загальною повторювальною динамікою. Тому, для кожної з статистично достовірних головних компонент нами проведена процедура класифікації адміністративних районів за допомогою кластерного аналізу на основі відстані, яка є зворотною до коефіцієнта кореляції Пірсона [418]. Такий показник відстані чутливий до форми порівнюваних показників, а не до їх абсолютних значень. Слід відзначити, що сенс знаків головної компоненти – умовний – і він вказує тільки на узгодженість динаміки урожайності в адміністративних районах. Відповідно, у районах з однойменним знаком урожайність змінюється синхронно, тоді як протилежний знак вказує на протилежний напрямок динаміки. Вказаний підхід дозволяє виділити два адміністративні райони, які характеризуються подібною часовою динамікою врожайності кукурудзи у аспекті відповідної головної компоненти [519, 517].

Просторова база даних була створена в ArcGIS 10.0.

**Методи оцінки впливу біокліматичних змінних на урожайність культур.** Впродовж досліджуваного періоду урожайність усіх сільськогосподарських культур демонструвала тренд до збільшення, за винятком початкового етапу досліджень (1991–1997 рр.), коли спостерігалось стрімке зниження врожайності культур [520, 48, 49, 51]. Якщо брати до уваги динаміку зміни цього показника з середини 90-х років по поточний період часу, то вона може бути описана сигмоїдною кривою. Ця крива описує характерні етапи спостережуваної динаміки, а саме: повільна швидкість зростання на початковому етапі, різке зростання у середній частині періоду досліджень та стабілізація зростання в останній третині періоду досліджень та у деяких випадках – вихід на плато. Для описання сигмоїдної кривої

застосована симетрична лог-логістична модель (для прикладу розглянуто модель урожайності кукурудзи) (рис. 2.4):

$$y = c + \frac{d-c}{1+\exp(b(\log\log(x) + \log(ED50)))}, \quad (2.11)$$

де  $y$  – відгук (врожайність культури);  $c$  – позначає нижній ліміт відгуку (найменший рівень врожайності), коли  $x$  наближається до нуля;  $d$  – верхній ліміт (найвищий рівень врожайності), коли  $x$  наближається до нескінченності;  $b$  – позначає нахил кривої відгуку у близькості до точки перегину, коли  $x$  набуває значення  $ED50$  (час, який потрібний для досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності) [53].

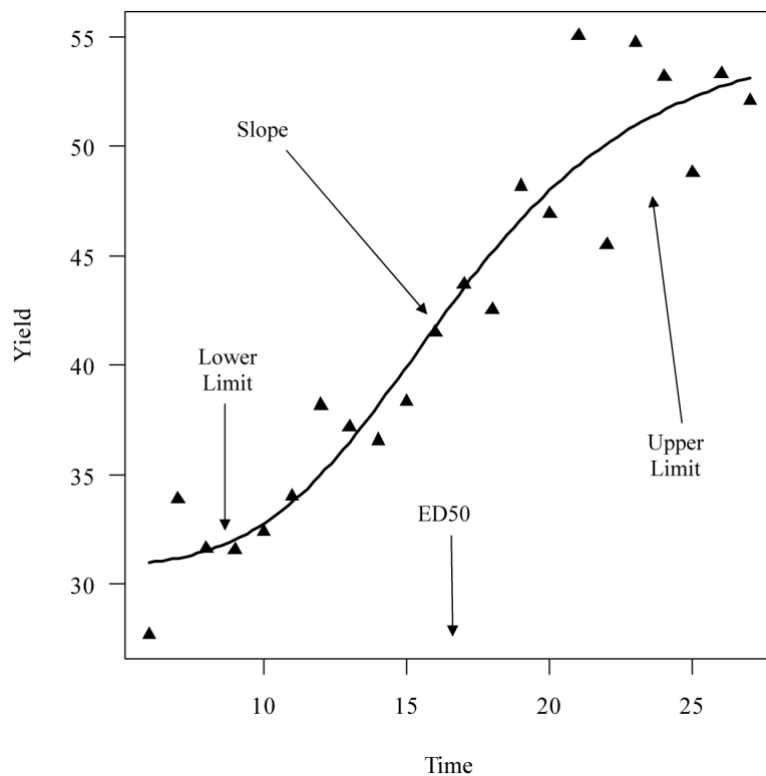


Рис. 2.4. Модель динаміки урожайності кукурудзи

**Умовні позначки:** вісь абсцис – порядок років (1 – 1991, 2 – 1992, ...), вісь ординат – урожайність кукурудзи, ц/га. Lower Limit – позначає найменший рівень врожайності за період досліджень, який спостерігався на початку та у середині 90-х років минулого століття; 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.

Вказані характеристики динаміки урожайності культур розраховано для кожного адміністративного району та застосовано як інтегральний кількісний показник варіювання урожайності у даній точці простору в часі.

У свою чергу біокліматичні змінні та ґрунтові характеристики було усереднено по кожному адміністративному району. Результати усереднення застосовано у якості предикторів характеристик урожайності культур.

Біокліматичні дані були визначені відповідно до бази WorldClim version 2 (<http://worldclim.org/version2>) [264]. Відомості про перебіг кліматичних процесів представлені у вигляді растрових карт з роздільною здатністю 1 км, що є цілком достатнім для вирішення поставлених завдань.

Біокліматичні змінні представляють екологічно значимі аспекти варіювання температури та опадів протягом року. Для аналізу було використано 19 біокліматичних змінних (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

### Біокліматичні змінні

Умовне позначення	Характеристика
bio_1	Середня річна температура
bio_2	Середній добовий діапазон (середньомісячний (максимальна температура – мінімальна температура))
bio_3	Ізотермічність (BIO2/BIO7) (*100)
bio_4	Сезонність температури (стандартне відхилення *100)
bio_5	Максимальна температура найтеплішого місяця
bio_6	Мінімальна температура найбільш холодного місяця
bio_7	Річний діапазон температури (BIO5 – BIO6)
bio_8	Середня температура найбільш вологого кварталу року
bio_9	Середня температура найсухішого кварталу
bio_10	Середня температура найтеплішого кварталу
bio_11	Середня температура найбільш холодного кварталу
bio_12	Середньорічна кількість опадів
bio_13	Кількість опадів найвологішого місяця
bio_14	Кількість опадів у найбільш посушливий місяць
bio_15	Сезонність опадів (коефіцієнт варіації)
bio_16	Кількість опадів найбільш вологого кварталу року
bio_17	Кількість опадів найсухішого кварталу
bio_18	Кількість опадів у найтеплішому кварталі
bio_19	Кількість опадів у найбільш холодному кварталі року

Дані інтегрують відомості про кліматичні процеси у період 1991–2017 рр.

Нормальність розподілу є важливою передумовою для проведення багатьох статистичних методів. Якщо дані не розподілені нормально, застосування трансформації Вох-Сох дозволяє використати параметричні статистичні методи. Тому, для оцінки даних досліджень застосували перетворення Вох-Сох [416]. Цей підхід є способом перетворення ненормальних залежних змінних у нормальну форму. Перетворення Вох-Сох має вигляд (2.12):

$$y(\lambda) = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}, & \text{if } \lambda \neq 0 \\ \log y, & \text{if } \lambda = 0, \end{cases} \quad (2.12)$$

де  $y$  – перетворювані дані,  $\lambda$  – показник перетворення.

В основі трансформації Вох-Сох лежить показник лямбда ( $\lambda$ ), який коливається від -5 до 5. Враховуючи всі значення, було обрано оптимальне значення, яке найкраще апроксимує дані до нормальної кривої розподілу. Процедура пошуку оптимального значення лямбда проводилась за допомогою бібліотеки AID [416] для середовища статистичних обчислень R [437].

Статистичний аналіз виконаний за допомогою програмного продукту Statistica 10. Аналіз головних компонент був застосований для зменшення розмірності матриць клімату та властивостей ґрунту. Загальні лінійні моделі використані для перевірки значущості впливу змінних клімату та ґрунту на параметри урожайності.

**Методи визначення впливу ґрунтових показників на урожайність культур.** Відомості про просторове варіювання ґрунтових властивостей та класифікацію ґрунтів одержали з бази даних SoilGrids (<https://soilgrids.org>) [297]. 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.

**Методи оцінки впливу факторів ландшафтного різноманіття на урожайність культур.** Просторова мінливість екосистемного різноманіття вимірювалася за допомогою індексу ландшафтного різноманіття Шеннона та відстані до «гарячих точок» біорізноманіття – природоохоронних територій. Загальна досліджена територія охоплює 233739 км<sup>2</sup> що становить 38,7 % від загальної площі України.

Карту типів ландшафтного покриття GlobCover з роздільною здатністю 300 м, яку було створено на основі двомісячних результатів вимірювань MEidium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) [172], застосовано у якості основи для створення карти різноманіття типів ландшафтного покриття

Оцінку різноманіття ландшафтів проведено на основі індексу Шеннона. Розрахунки виконані за допомогою The Corridor Designer toolbox works в ArcGIS 10.1.

## РОЗДІЛ 3

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

Динамічні зміни продукційного потенціалу можна виявити за просторово-часовими коливаннями урожайності сільськогосподарських культур. Урожай сільськогосподарських культур є результатом взаємодії між генетичними особливостями рослин, ґрунтовими властивостями, агротехнікою та кліматичними умовами [238]. Тому врожайність може бути збільшена за допомогою покращення агротехнологій вирощування та генетики культур [481]. Проте ефективність цих напрямків обмежується зростаючими витратами, пов'язаними з ризиками хвороб та негативного впливу шкідників. Традиційний менеджмент шкідників та хвороб сприяє збільшенню урожайності сільськогосподарських культур, але має певні недоліки. Неспецифічний вплив синтетичних інсектицидів призводить до знищення нецільових груп організмів і, як наслідок, до порушення природних механізмів контролю чисельності шкідників [511].

У працях низки авторів [436, 282, 205] висловлене припущення, що урожайність багатьох важливих сільськогосподарських культур досягла свого ліміту в деяких регіонах світу, що не може не викликати занепокоєння. Зокрема, врожайність може бути стагнаційною або знижуватися для трьох ключових культур – кукурудзи, рису та пшениці, які разом продукують 57% сільськогосподарських калорій у світі [481]. Така динаміка врожайності культур матиме глибокі наслідки для світової продовольчої системи [436].

Хоча деякі автори в певній мірі визначили основні глобальні тенденції змін урожайності основних сільськогосподарських культур [436], проте, на сьогоднішній день, немає робіт присвячених детальному аналізу просторових та часових закономірностей урожайності культур в Україні. Слід зауважити, що такі дослідження національного масштабу досить важливі, оскільки дають

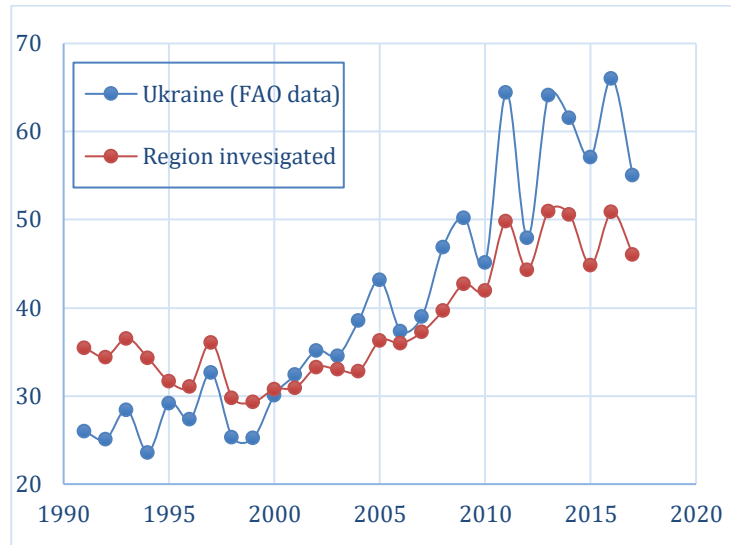
зможу виявити основні тенденції змін врожайності на регіональному рівні і проводити, на їх основі, доцільне управління сільськогосподарськими ландшафтами.

### **3.1. Просторово-часові закономірності варіювання урожайності кукурудзи**

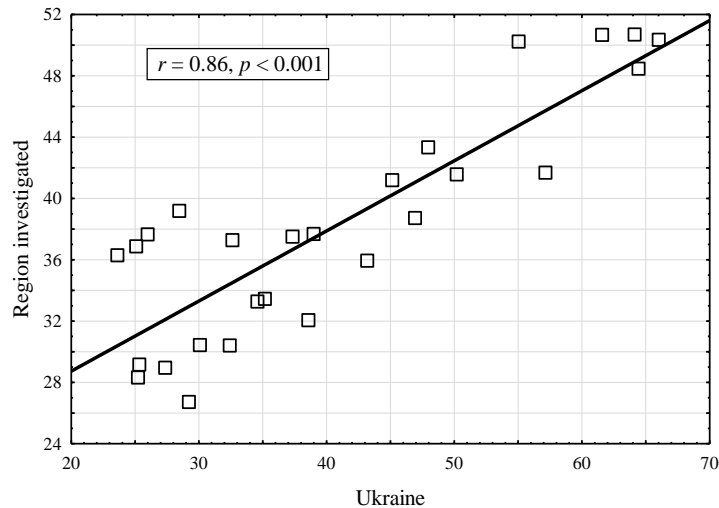
Наразі кукурудза (*Zea mays L., 1753*) є провідною сільськогосподарською культурою у світі за посівними площами та виробництвом зерна, оскільки вона є основою різноманітних кормів для худоби та цінних продуктів для людини [156]. Використання зерна кукурудзи для виробництва біоетанолу є досить перспективним з огляду на біологічне оновлення такої сировини [509]. Таким чином, у всьому світі та в Україні кукурудза є стратегічно важливою сільськогосподарською культурою для продовольства, кормів та біоенергетики.

Встановлено [366, 156, 4, 289], що врожайність кукурудзи визначається як екологічними факторами, зокрема, кліматом і типом ґрунту, так і економічними та агротехнологічними, а саме: сортами культури (гібридами), обробітком ґрунту, удобренням, боротьбою зі шкідниками, сівозміною тощо. Проте, на теперішній час, не досліджено, які із вищезгаданих факторів обумовлюють найбільшу частку варіювання урожайності кукурудзи.

Згідно даних Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO), середньорічна врожайність кукурудзи в Україні варіювала від 23,6 (у 1994 році) до 66,0 ц/га (у 2016 році), з середнім значенням 40,5 ц/га і стандартним відхиленням 13,9 впродовж 27-річного періоду між 1991 і 2017 роками (рис. 3.1.1 А). Згідно наших даних на території дослідженого регіону України, середньорічна врожайність кукурудзи коливалася від 28,5 (у 1999 році) до 48,6 ц/га (у 2013 році), середнє значення – 38,1 ц/га і стандартне відхилення – 7,0 протягом 27-річного періоду між 1991 і 2017 роком (рис. 3.1.2).



А



Б

Рис. 3.1.1. Динаміка врожайності кукурудзи за період 1992–2017 рр. в Україні та в досліджуваному регіоні (ц/га) (А); діаграма розкиду врожайності кукурудзи в Україні проти врожайності кукурудзи у досліджуваному регіоні (Б)

Між середньою урожайністю кукурудзи в Україні та урожайністю у досліджуваному регіоні спостерігається статистично значима кореляція ( $r = 0,86$ ,  $p < 0,001$ ) (рис. 3.1.1, Б). Отримані дані свідчать про те, що загальні результати та висновки можна апроксимувати на всю площу України, незважаючи на те, що для досліджень було обрано лише частину її території.



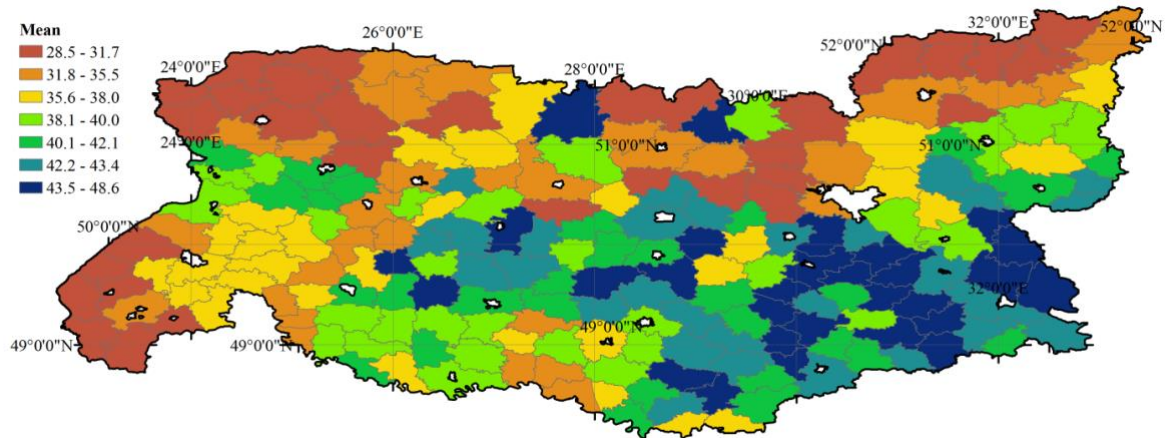


Рис. 3.1.2. Середній рівень урожайності кукурудзи у досліджуваному регіоні України

Встановлено, що більшість типів динаміки урожайності кукурудзи в адміністративних районах можуть бути описані поліномом четвертого порядку (рис. 3.1.3), який найкраще описує динаміку врожайності кукурудзи у 160 адміністративних районах (77,7% від загального обсягу). Отже, для більшості адміністративних районів характерна динаміка врожайності кукурудзи, яку можна класифікувати як «стагнація врожайності». Цей результат доводить, що неповною мірою використовується продукційний потенціал території, а також те, що необхідно переглядати стратегії ведення сільського господарства і, зокрема, вирощування кукурудзи.

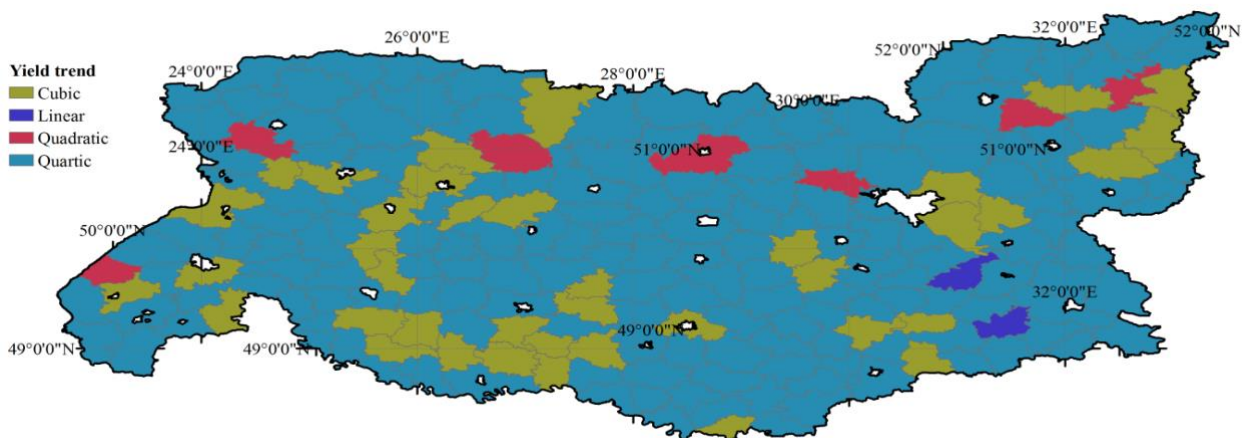


Рис. 3.1.3. Просторове варіювання типів динаміки врожайності кукурудзи

Оскільки остаточну динаміку усереднених даних врожайності кукурудзи в досліджуваному регіоні можна охарактеризувати поліномом четвертого порядку, то динаміку у кожному адміністративному районі можна визначити за допомогою трьох критичних точок, які характерні для даної моделі: двох локальних максимумів і одного локального мінімуму. Динаміку врожайності кукурудзи можна описати і інтерпретувати використовуючи характеристики точок перегину полінома четвертого порядку (рис. 3.1.4). Тренд врожайності кукурудзи описується також вільним членом поліноміального рівняння, максимальною швидкістю зниження врожайності, максимальною швидкістю зростання врожайності, що відбуваються в точках перегину і коефіцієнтом детермінації регресійної моделі.

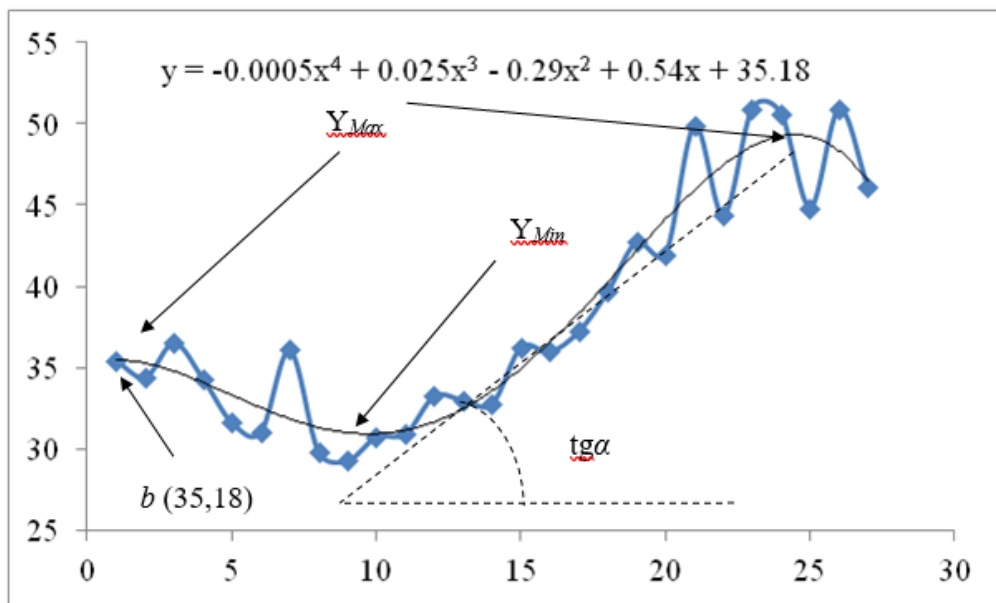


Рис. 3.1.4. Типова динаміка урожайності кукурудзи протягом 1991–2017 рр.  
та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

**Умовні позначки:** вісь абсцис – час (1 – 1991 р., 27 – 2017 р.); вісь ординат – урожайність, ц/га (у логарифмованому масштабі);  $b$  – вільний член у рівнянні поліному;  $Y_{Min}$  – значення поліному в точці локального мінімуму;  $Y_{Max}$  – значення поліному в точках локальних максимумів;  $tga$  – 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)

Стартовий рівень врожайності кукурудзи (константа  $b$ ) є просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,19;  $p < 0,001$ ) (Додаток 2) і коливається від 19 до 47 ц/га (рис. 3.1.5). Цей показник дозволяє виявити території з найбільш сприятливими агрофізичними умовами для вирощування кукурудзи. Кукурудза має підвищені вимоги до вологи, тепла, світла, поживних речовин та інших факторів навколишнього середовища [412]. Її гібриди значно відрізняються один від одного за вегетаційним періодом, звідси і різні вимоги до вищевказаних факторів [367]. При застосуванні агротехнічних прийомів з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей зони, екологічних вимог, кукурудза забезпечує отримання максимального врожаю.

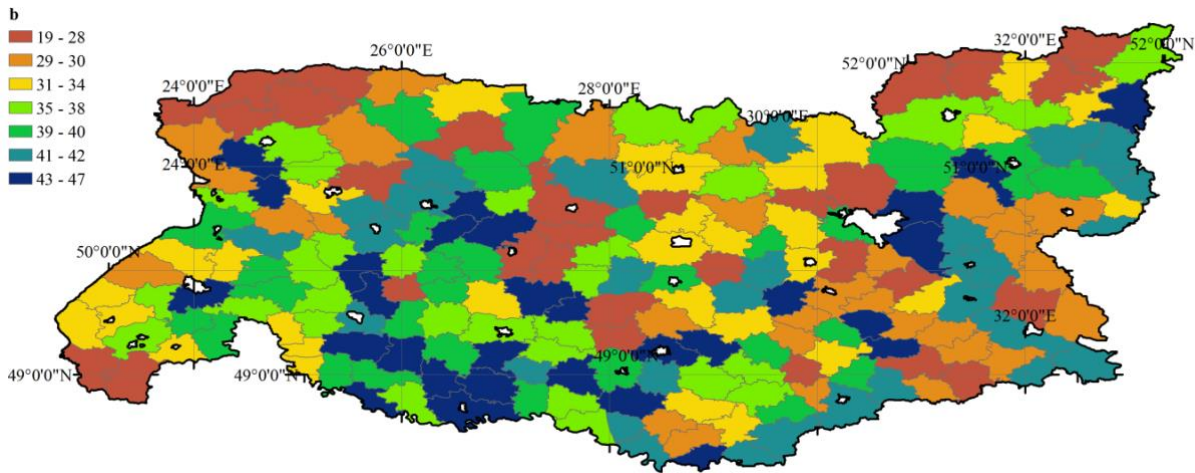


Рис. 3.1.5. Просторове варіювання рівня врожайності кукурудзи у стартовий період досліджень (константа  $b$  рівняння регресії)

Значення функції в точці локального мінімуму  $Y_{Min}$  вказує на «дно» динаміки урожайності культури, а показник  $Y_{Max}$  вказує на найбільшу врожайність кукурудзи протягом періоду досліджень.

З огляду на загальний вигляд тренду врожайності (рис. 3.1.4) можна стверджувати, що він має характер економічного циклу з його фазами: підйом, пік, спад, дно. Так, «дно» продуктивності кукурудзи ( $Y_{Min}$ ) співпадає з соціально-економічною кризою 90-х років, яка виникла як продовження процесу розпаду СРСР. Це спричинило масові соціально-економічні та

інституційні зміни, які призвели до значного занепаду сільськогосподарських земель [431]. Сільськогосподарські сектори колишніх країн СРСР раптово зіткнулися зі зростаючою міжнародною конкуренцією, в той же час різко зменшились витрати держав на ведення сільського господарства [357]. В цей час населення сіл масово покидало сільську місцевість [431], значно зменшилось використання добрив, а продуктивність сільського господарства знизилася [451, 472]. Особливо постраждав сектор тваринництва і величезне зниження виробництва тваринницької продукції призвело до зменшення попиту на корм для тварин. Ці події обумовили суттєве зниження землекористування та середньої врожайності у перші роки незалежності України [236].

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 кукурудзи, 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. У такій ситуації слід очікувати вихід продуктивності на плато, варіювання урожайності на якому буде вже обумовлене тільки природними флуктуаціями, котрі за своїм походженням будуть спільними як у природних екосистемах, так і в агроекосистемах. Так зване «плато» врожайності, в основному, обумовлене майже повним вичерпуванням потенціалу існуючої технології та відсутністю нових технологій у найближчому майбутньому [286]. Іноді до зниження або відсутності росту врожайності призводять наступні причини: нестача мінеральних добрив або пестицидів у потрібний час, обмеження природних факторів (наприклад, таких як вода), виснаження родючості, обмеження на ринку збуту тощо [497].

Замість «плато» може відбуватися зниження урожайності, внаслідок чого, власно кажучи, і формується локальний максимум. Причини зниження урожайності після досягнення максимуму потребують свого дослідження

також і в економічній площині, проте, на нашу думку, найбільшою мірою ці причини мають агротехнологічну природу.

Оскільки локальні максимуми знаходяться в зонах близьких до краю діапазону досліджуваного періоду (рис. 3.1.4.), їх точне визначення не має сенсу.

Показники максимальної швидкості зниження та максимальної швидкості зростання врожайності можуть бути використані як маркери стійкості агроєкосистеми до зовнішніх факторів (рис. 3.1.6, 3.1.7).

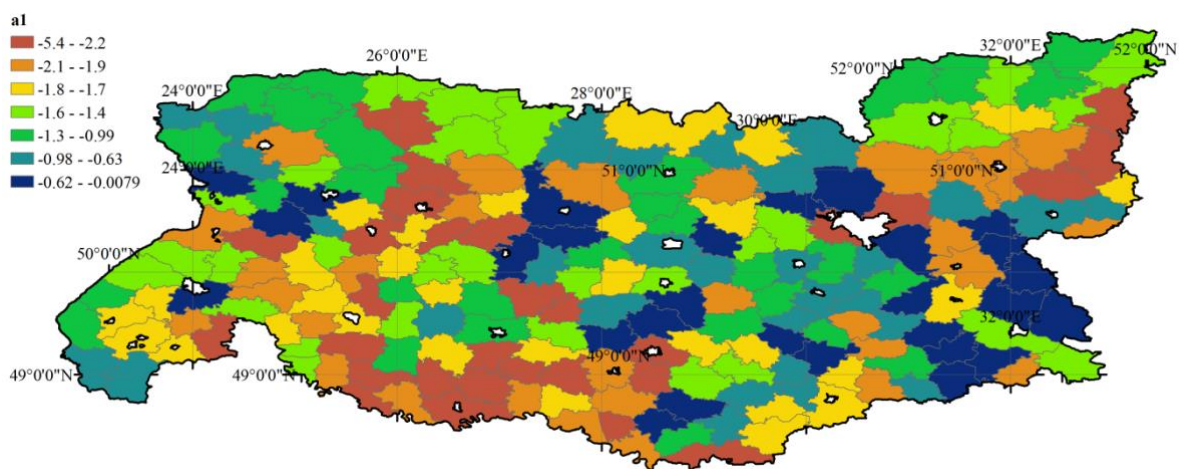


Рис. 3.1.6. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності кукурудзи

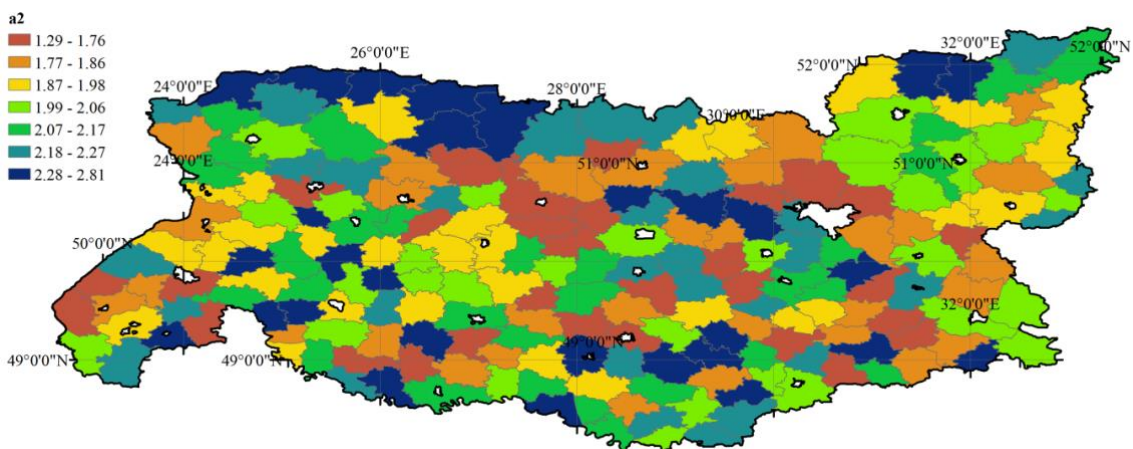


Рис. 3.1.7. Просторове варіювання максимальної швидкості зростання врожайності кукурудзи

Варіювання швидкості зниження врожайності кукурудзи є просторово залежним (статистика *I-Morgan* – 0,21;  $p < 0,001$ ). Швидкість зростання врожайності не має значимого просторового варіювання (*I-Morgan* статистика – 0,005;  $p = 0,48$ ) (Додаток 2).

Райони, де врожайність швидко знижується при настанні несприятливих умов, знаходяться на південному заході та північному сході дослідженого регіону. На противагу цьому, на південному сході та в центрі знаходяться райони, де урожайність кукурудзи більш стабільна (рис. 3.1.6).

Якість описання динаміки врожайності кукурудзи поліномом четвертого порядку може бути охарактеризована за допомогою коефіцієнта детермінації, який в наших умовах приймає значення від 0,62 до 0,93 (рис. 3.1.8). Ступінь відповідності обраної регресійної моделі реальним даним надзвичайно висока.

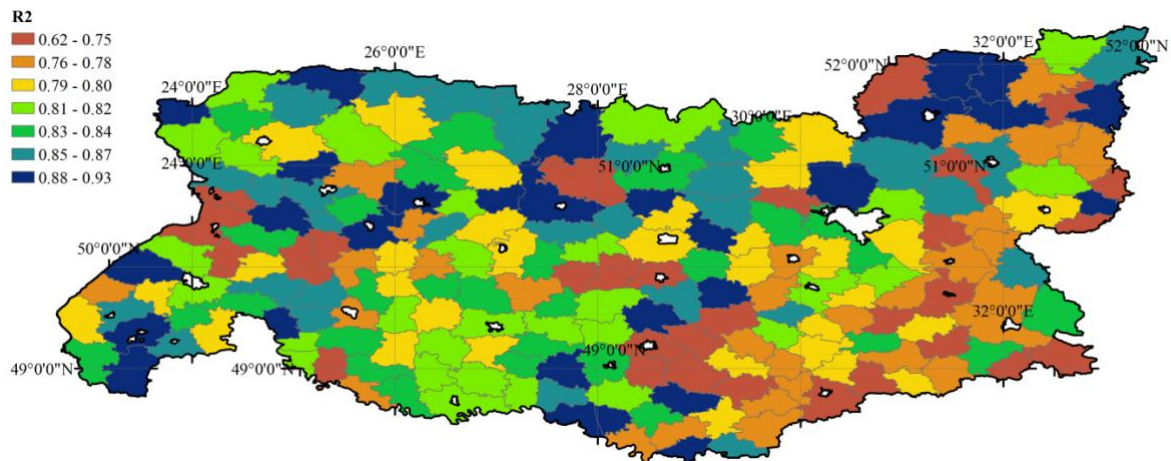


Рис. 3.1.8. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі

Отже, поліном має характер глобальної регресії. Можливість існування такої залежності виникає як результат дії постійного зовнішнього чинника, який впливає на урожайність сільськогосподарських культур. Характер загальної динаміки урожайності, який може бути пояснений регресією, вказує на те, що таким чинником є агротехнологічні та агроекологічні умови ведення сільськогосподарського виробництва. Тому коефіцієнт детермінації може

бути інтерпретований як показник ролі агротехнологічних та агроекономічних чинників у динаміці врожайності. Одержані дані свідчать про те, що ці аспекти врожайності мають найважливіше значення. Варіювання коефіцієнту детермінації не є просторово залежним (*F*-статистика Морана 0,07;  $p = 0,026$ ) (Додаток 2). Найбільш чутливими до агротехнологічних та агроекономічних чинників виявились північні та західні райони регіону, а найменш чутливими – південні.

Сприятливе географічне розташування, відповідні природні умови та розвиток генетики гібридів кукурудзи є об'єктивними обставинами для вирощування цієї культури майже у всіх регіонах України. Тому Україна щорічно збільшує виробництво кукурудзяного зерна за рахунок збільшення врожайності культури та розширення площ посівів [38]. Однак, у ході дослідження виявлено, що урожайність кукурудзи в більшості регіонів України знаходиться в стадії стагнації [54], що свідчить про низьку реалізацію потенціалу врожайності сільськогосподарських культур. Причини стагнації можуть включати сільськогосподарську політику [266], фундаментальні генетичні ліміти [211], клімат [371, 210], агрономічну практику та управління посівами [295]. Проте, наразі, факторами, що визначають ліміт урожайності кукурудзи є агроекологічні та, пов'язані з ними, агротехнологічні фактори.

### **3.2. Просторово-часовий тренд урожайності сої в Україні**

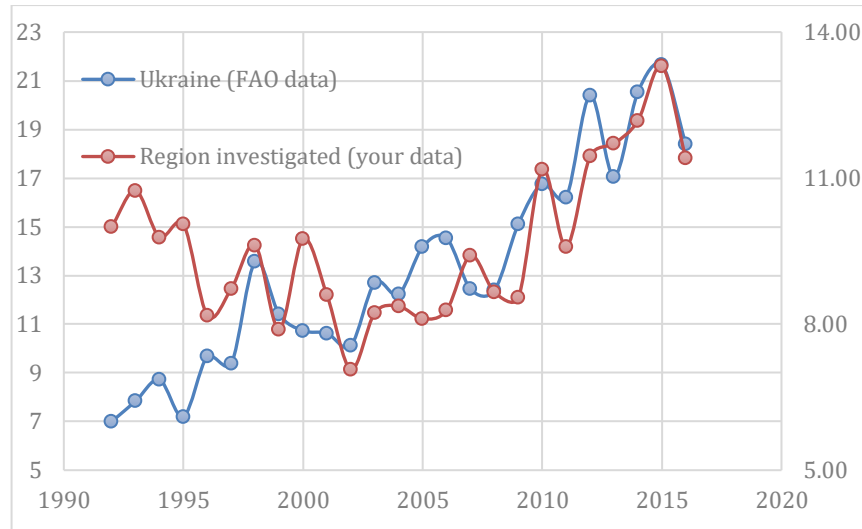
Соя (*Glycine max (L.) Merril*) є одним з основних джерел протеїнів та рослинної олії у світі, вирощується на комерційній основі та використовується у харчуванні людей та тварин впродовж сотень років [299]. Такий інтерес до цієї культури обумовлений тим, що вона містить найвищий відсоток протеїну (40%) серед поширених сільськогосподарських культур і поступається лише арахісу за вмістом олії (20%) серед харчових культур. Соя постачає приблизно одну четверту частину світової їстівної олії та дві третини світового виробництва білкової їжі [283]. Соєвий білок має чудовий баланс амінокислот у порівнянні з іншими овочевими білками [502].

Наразі, соя займає четверте місце серед найбільших поширених сільськогосподарських культур України (після зернових культур, соняшнику та кукурудзи) [15, 13]. Ринок соєвих бобів є одним з найбільш швидкозростаючих ринків в нашій країні [7, 148, 86].

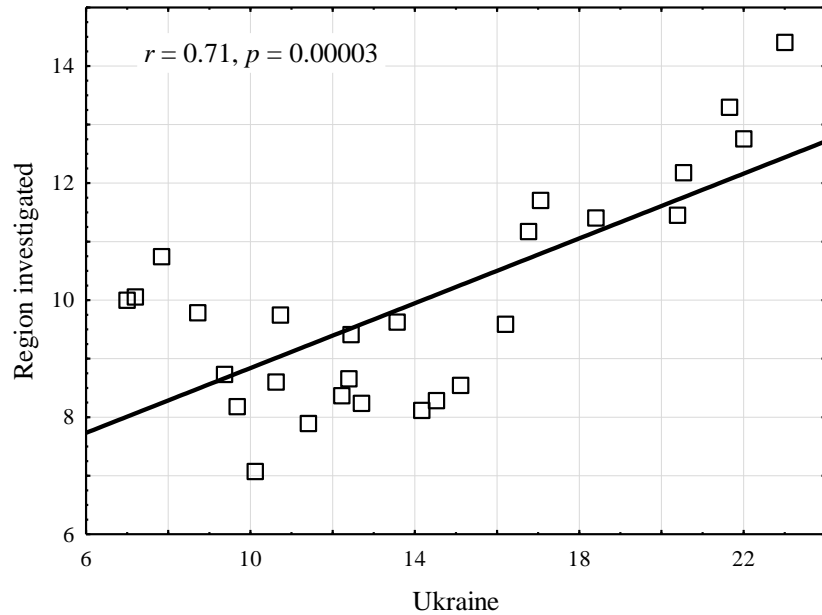
Проте через економічні причини і відсутність державної підтримки, фермери не можуть дотримуватися оптимальної технології вирощування сільськогосподарських культур. Дефіцит фінансування призводить до дестабілізації сільського господарства в цілому і, зокрема, вирощування сої. У середньому урожайність сої в Україні становить близько 20 ц/га і це майже на 30% менше, ніж середня врожайність в провідних країнах [154]. Тому зараз існує гарний потенціал для збільшення виробництва, що може бути досягнуто шляхом збільшення врожайності без будь-яких змін у площі посівів [340, 60]. Вивчення просторово-часової динаміки продуктивності сої надзвичайно важливе для оцінки потенціалу збільшення врожайності та факторів, які її стримують.

Середньорічна урожайність сої в Україні (з а даними FAO) варіювала в межах між 7,2 (у 1994 р.) та 23,0 ц/га (у 2016 р.), із середнім значенням 13,9 ц/га та стандартним відхиленням 4,7, протягом 27-річного періоду між 1991 та 2017 роками. Середньорічна урожайність сої у досліджуваному нами регіоні коливалася в межах 7,1 (у 2001 р.) та 14,4 ц/га (у 2016 р.), із середнім значенням 9,9 ц/га та стандартним відхиленням 1,8 впродовж 27 років (1991–2017 рр.). Між середньою врожайністю сої в Україні та врожайністю на досліджуваній території існує статистично достовірна кореляція ( $r = 0,71$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 3.2.1, Б). Проте характер тенденції зміни врожайності сої в Україні в цілому і в окремо взятому для досліджень регіоні є принципово різним. Для України загальну тенденцію найкраще описати поліномом другого ступеня ( $AIC = 104,6$ ;  $F = 112,2$ ,  $p = < 0,001$ ) з постійним зростанням продуктивності впродовж досліджуваного періоду. Для області досліджень загальну тенденцію можна найкраще описати поліномом четвертого ступеня ( $AIC = 73,4$ ;  $F = 26,2$ ;  $p < 0,001$ ).





А



Б

Рис. 3.2.1. Динаміка врожаю сої протягом 1991–2017 рр. в Україні (ц/га, ліва у-координата) та в дослідженому регіоні (ц/га, права у-координата) (А) та розсіяна ділянка врожаю сої в Україні в цілому по врожаю сої у досліджуваному регіоні (Б)

Встановлено, що переважну більшість типів динаміки тренду в урожайності сої в адміністративних регіонах можна описати поліномами другого або четвертого ступеня (рис. 3.2.2). Поліном четвертого ступеня

найкраще описує динаміку тенденцій зміни врожайності у 106 адміністративних районах (51,5% від загальної кількості), а поліном другого ступеня найкраще описує цю динаміку у 87 адміністративних округах (42,2% від загальної кількості). Північна частина досліджуваної області представлена адміністративними районами, динаміку продуктивності яких найкраще описує многочлен другого ступеня і ця тенденція може бути віднесена до «зростаючої врожайності». Південна частина області досліджень представлена адміністративними районами, динаміку продуктивності яких найкраще описати поліномом четвертого ступеня. Ця тенденція зміни врожайності сої може бути віднесена до «врожайності, що знаходиться в стадії стагнації».

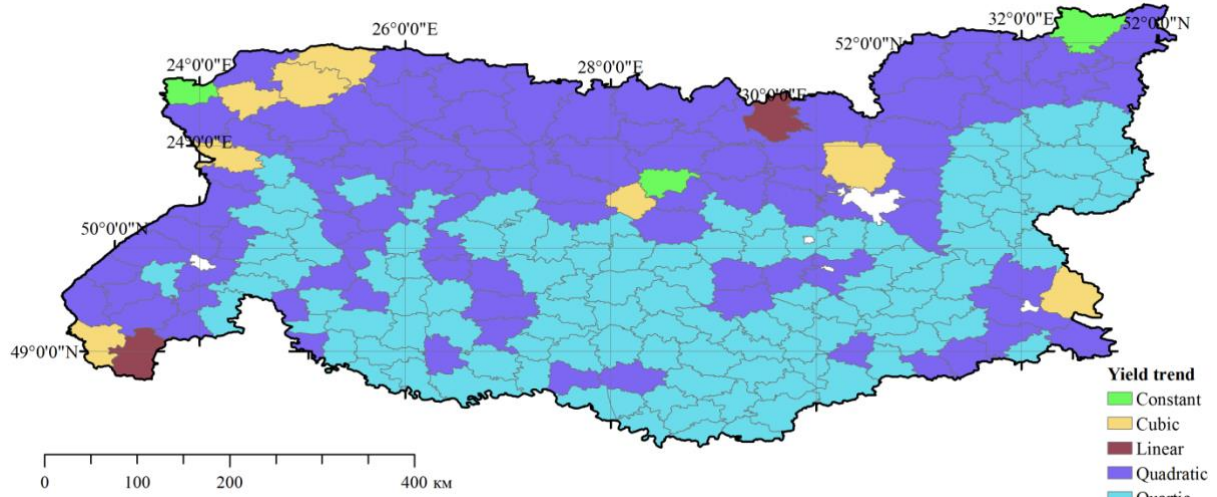


Рис. 3.2.2. Просторові зміни типів тенденцій врожайності сої

Загальний тренд динаміки врожайності сої в Україні протягом 1991–2017 рр. найбільш вдало описується поліномом четвертого порядку, який має наступний вигляд (3.1.):

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4, \quad (3.1)$$

де  $Y_x$  – урожайність сої в момент часу  $x$ ,  $b$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  – коефіцієнти.

Отже, динаміка усереднених даних по врожайності сої у дослідженному регіоні характеризується наявністю трьох точок екстремумів: двох локальних максимумів та одного локального мінімуму (рис. 3.2.3).

Загальний тренд урожайності сої, як і кукурудзи, має агроекономічне та агротехнологічне походження, оскільки динаміка тренду має характер економічного циклу з його фазами (підйом, пік, спад, дно).

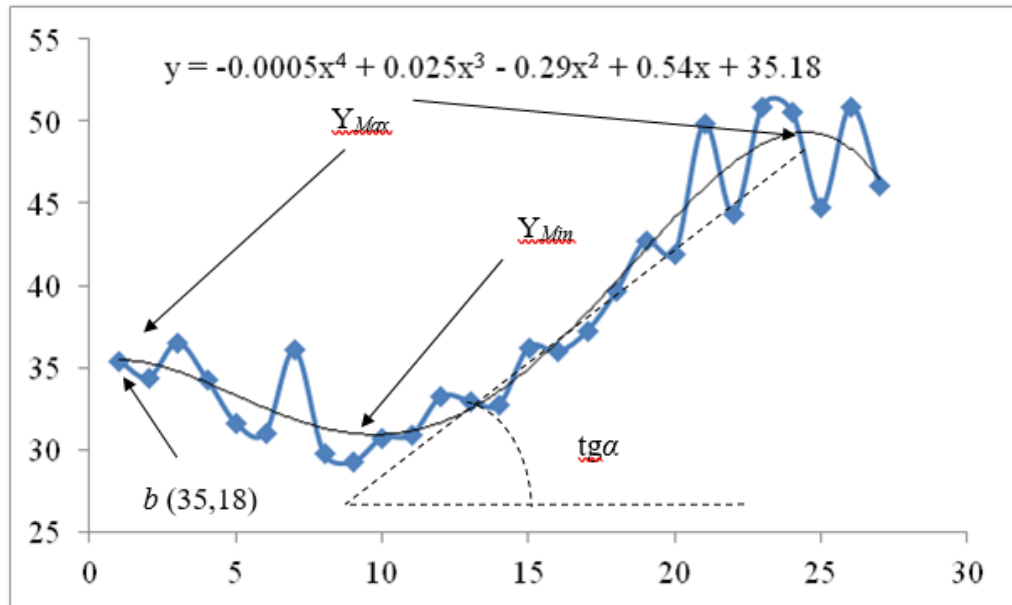


Рис. 3.2.3. Типова динаміка урожайності сої протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

**Умовні позначки:** вісь абсцис – час (1 – 1991 р., 27 – 2017 р.); вісь ординат – урожайність, ц/га;  $b$  – 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 перегіну (аналогічно максимальна швидкість зниження врожаю на низхідній гілці)

Перший максимум врожайності сої за досліджений період був досягнутий в дореформений період (1990–1991 роки), коли широко застосовувалися інтенсивні технології обробітку цієї культури [78, 37]. Мінімальна врожайність припадає на кінець 90-х років минулого століття. Найбільш різке падіння врожайності відбулося у 1995 році. Це пов'язане з соціально-економічною кризою, яка була продовженням розпаду Радянського

Союзу. Зміни форм господарювання і власності на землю, що стали основним змістом перетворень в аграрному секторі України, на жаль, негативно позначилися на родючості ґрунтів, що втратили значну частину гумусу – найродючіші у світі чорноземи перетворились у ґрунти із середнім рівнем родючості й продовжують погіршуватись. Реструктуризація виробничих відношень у сільському господарстві та фінансово-економічна криза призвели до зниження рівня агротехнології виробництва сільськогосподарських культур. Безумовно, це безпосередньо відбилося на урожайності сільськогосподарських культур. Наприкінці 90-х років кризові явища у сільському господарстві закінчуються та формуються передумови для стійкого розвитку, що проявляє себе майже у лінійному зростанні урожайності сільськогосподарських культур аж до настання максимуму цього показника наприкінці 2010-х років [236]. З початку 2000-х років визначився підйом у виробництві сої – по всій території України почали розширювати її посіви.

Другий локальний максимум припадає на останні роки періоду досліджень (2017 рік). Більшість вчених прогнозують подальше збільшення врожайності сої в Україні і не лише за рахунок розширення посівних площ, але й за рахунок інтенсифікації виробництва [6].

Динаміка врожайності сої може бути описана та інтерпретована за допомогою, так званих, характерних точок поліному четвертого порядку (рис. 3.2.3) та коефіцієнта детермінації.

Стартовий рівень урожайності цієї культури 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. 3.2.4). За допомогою цього показника, можна виявити райони з найбільш сприятливими ґрунтовими умовами для вирощування сої. Загалом вирощування сої більш доцільне у Лісостеповій зоні України і менш доцільне – у Поліській зоні. Бабич А. О. [7] стверджує, що у перспективі виробництво сої передбачає формування в Україні соєвого поясу в зоні Лісостепу. Тут ґрунтово-кліматичні умови найкраще відповідають біологічним потребам цієї

культури, завдяки чому вона досягає повної стиглості та формує високий урожай. Проте, наші дослідження є більш точними і дозволяють виділити райони, які також можуть бути включені до соєвого поясу.

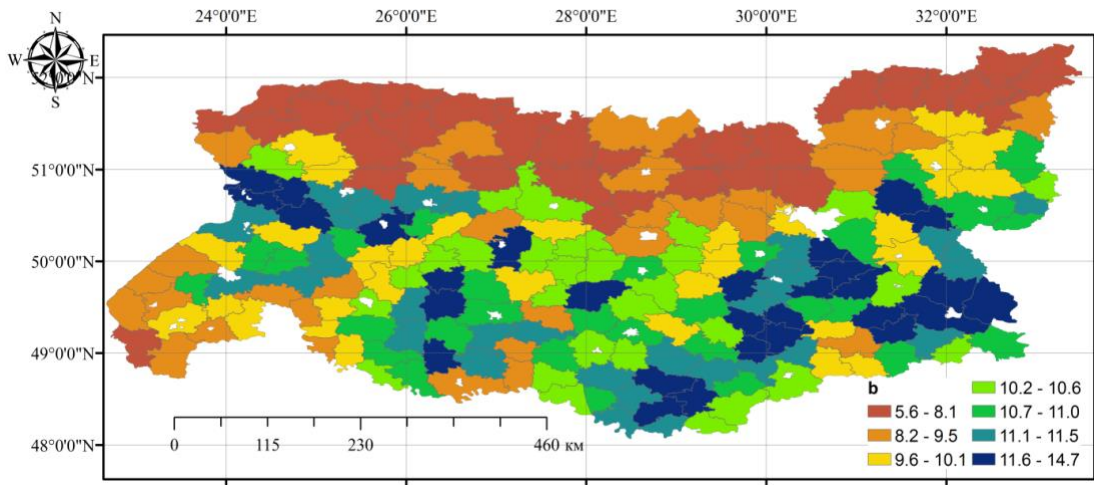


Рис. 3.2.4. Просторове варіювання рівня врожайності сої у стартовий період досліджень (константа  $b$  рівняння регресії)

За нашими розрахунками, одна точка перегину, де швидкість зменшення врожайності найменша, знаходиться у точці  $x=5$  (1995 рік), а друга, де швидкість зростання врожайності максимальна – у точці  $x=25$  (2015 рік).

Показники максимальних швидкостей зменшення та збільшення урожайності можуть слугувати маркерами стійкості агроєкосистеми до зовнішніх чинників, в нашому випадку – до агротехнологічних факторів (рис. 3.2.5, 3.2.6).

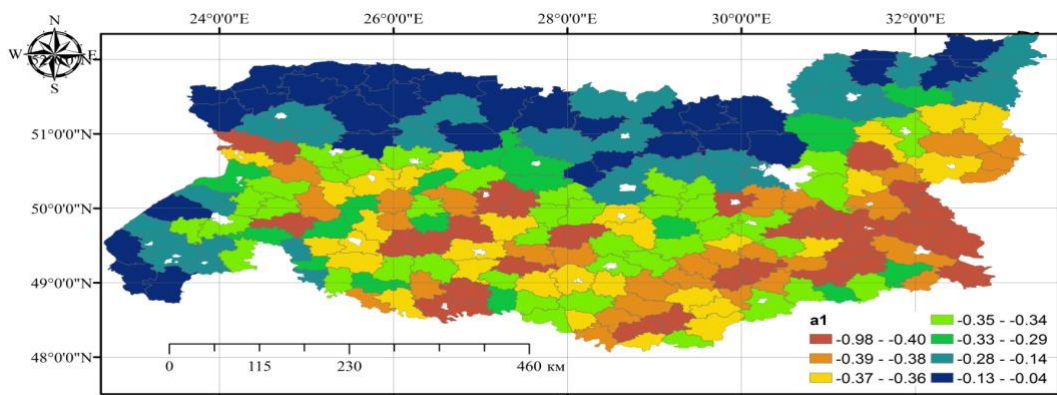


Рис. 3.2.5. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності сої

Варіювання швидкості зниження урожайності просторово залежне ( $I$ -статистика Морана 0,66;  $p = 0,001$ ). Також просторово залежним є і варіювання швидкості зростання урожайності ( $I$ -статистика Морана 0,57;  $p = 0,001$ ).

Найбільш чутливими до агротехнологічних та агроекономічних чинників є південні, східні та центральні райони регіону, а найменш чутливими – північні та західні. Райони, де врожайність сої повільно змінюється при зміні економічних та технологічних умов знаходяться на заході та півдні регіону досліджень.

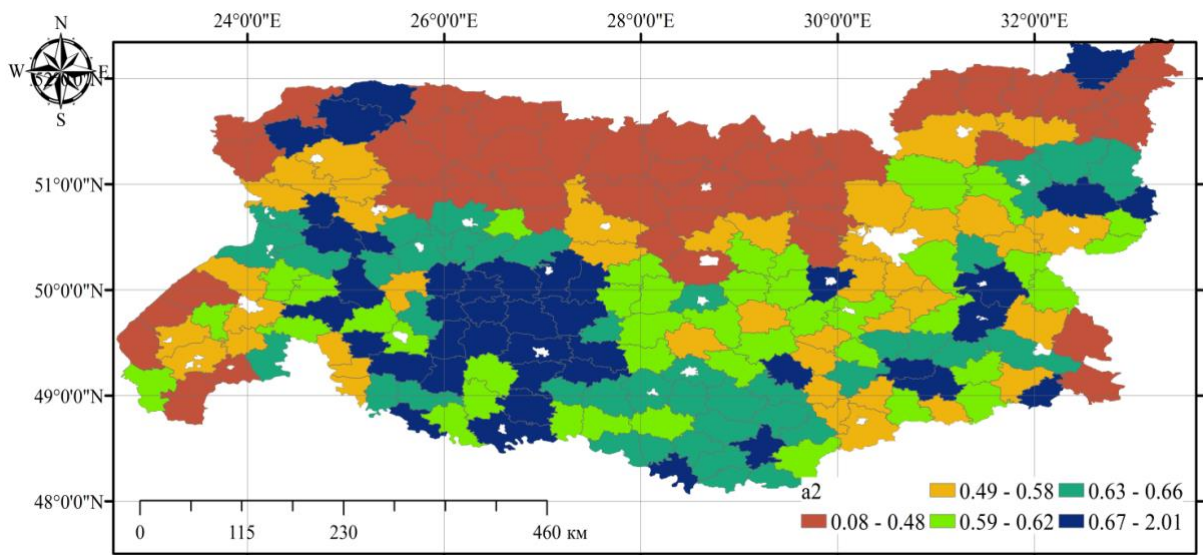


Рис. 3.2.6. Просторове варіювання максимальної швидкості зростання врожайності сої

Південні, центральні та східні райони вирощування сої є менш стабільними та більш швидко реагують на зміни в технології, нарощуючи продуктивність за сприятливих умов. Проте нами виявлена наступна залежність: райони із меншим продукційним потенціалом (південні і західні) є більш стабільними.

Коефіцієнт детермінації вказує на рівень відповідності моделі реальним даним та варіює у межах від 0,07 до 0,89. Варіювання цього показника є

просторово залежним (*I*-статистика Морана 0,50;  $p = 0,001$ ). Коефіцієнт детермінації може бути інтерпретований як показник ролі агротехнологічних та агроекономічних чинників у динаміці врожайності. Одержані дані свідчать про те, що ці аспекти врожайності мають у деяких районах вирішальне значення ( $R^2=0,89$ ), а в інших – їх вплив незначний ( $R^2=0,07$ ). Найбільш чутливими до агротехнологічних та агроекономічних чинників є південні та східні райони регіону, а найменш чутливими – північні та південно-західні (рис. 3.2.7). У центральних районах регіону формується кластер з найбільшою чутливістю до не екологічних регулярних факторів динаміки врожайності.

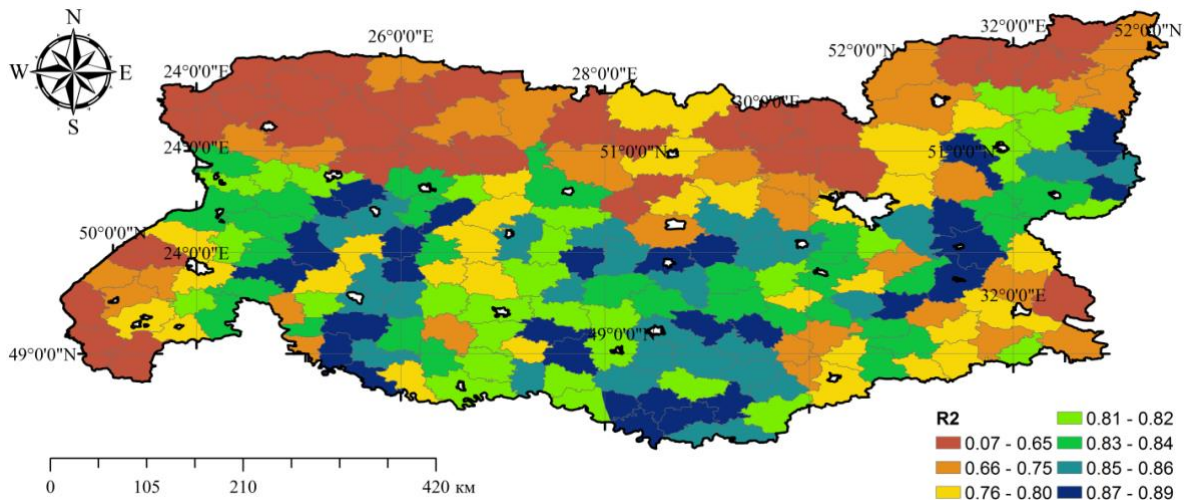


Рис. 3.2.7. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі

Світова потреба в сої продовжує зростати, оскільки в усьому світі спостерігається значне зростання попиту на корми для тварин та біодизельну сировину [384, 502, 299]. Нинішня продукція сої в Україні все ще далека від свого потенціалу. Найближчим часом слід вибрати інтенсивні або екстенсивні технології вирощування цієї культури [13, 7].

Застосування сортів сої нового покоління, якісне виконання заходів сучасних технологій її вирощування з урахуванням особливостей ґрунтово-кліматичних умов регіонів – це можливості для підвищення врожайності сої у

майбутньому. Більше того, існує потенціал росту площ, оскільки площа посівів може зрости до 3 млн. га (у порівнянні з нинішніми 2 млн. га) [6].

### 3.3. Агроекономічні та агротехнологічні аспекти просторового варіювання урожайності жита озимого у Поліссі та Лісостепу України

Типова динаміка усереднених даних по врожайності жита озимого (*Secale cereale L.*) у дослідженному регіоні може бути описана за допомогою поліному четвертого порядку [346].

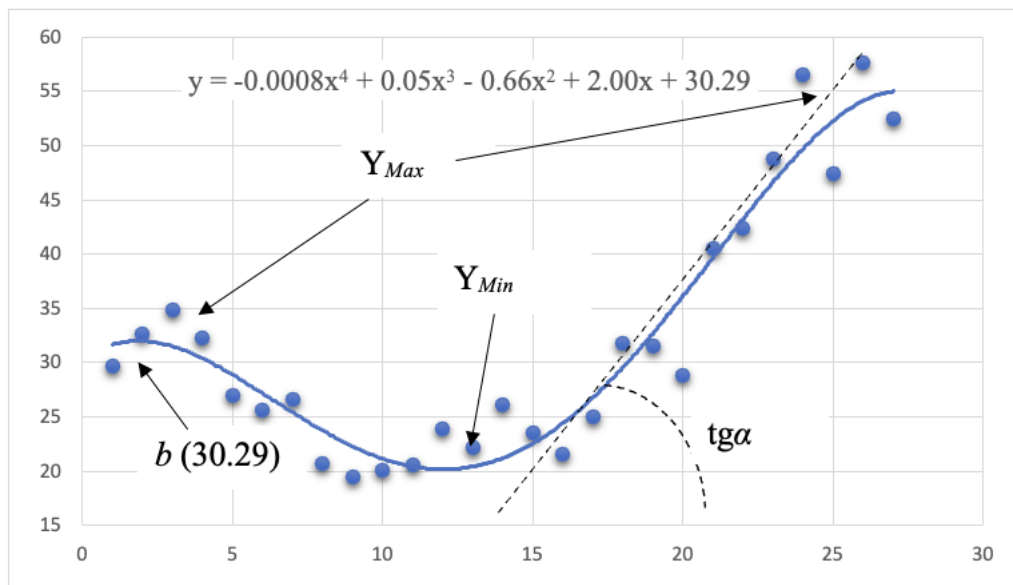


Рис. 3.3.1. Типова динаміка урожайності жита озимого протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

**Умовні позначки:** вісь абсцис – час (1 – 1991 р., 27 – 2017 р.); вісь ординат – урожайність, ц/га;  $b$  – 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)

Особливі точки поліноміальної кривої четвертого порядку можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності жита (рис. 3.3.1).



Динаміка жита описана нами за допомогою вільного члена, який віддзеркалює стартові умови родючості ґрунтів на початку періоду досліджень, показники максимальної швидкості зменшення урожайності у 90-ті роки та максимальної швидкості збільшення урожайності жита у 2000-ні роки. Якість описання поліномом четвертого порядку також охарактеризована за допомогою коефіцієнта детермінації, який вказує на рівень відповідності моделі реальним даним та варіює у межах від 0,56 до 0,91 (рис. 3.3.2). Це свідчить про те, що внесок агротехнологічних та агроекономічних чинників у динаміку врожайності жита становить 56–91%. Одержані дані вказують, що ці аспекти урожайності мають найважливіше значення. Варіювання коефіцієнту детермінації є просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,14;  $p = 0,001$ ). Найбільш чутливими до агротехнологічних та агроекономічних чинників є південні, східні та південно-західні райони регіону, а найменш чутливими – північні.

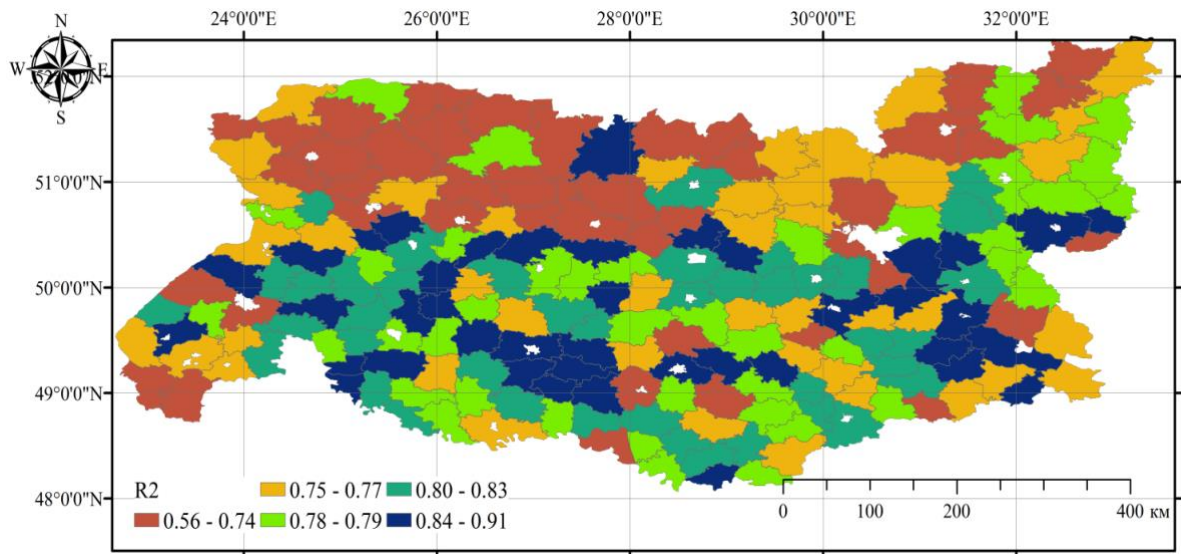


Рис. 3.3.2. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі жита озимого

Стартовий рівень урожайності жита варіює у межах від 10,6 ц/га (північні та північно-східні райони) до 35,6 ц/га (південні та південно-східні райони) (рис. 3.3.3). Варіювання стартової урожайності жита просторово залежне ( $I$ -статистика Морана 0,46;  $p = 0,001$ ). Регресійні коефіцієнти моделей

тренду урожайності жита між собою сильно скорельовані, що вказує на те, що інтенсивність зниження врожайності (константа  $a1$ ) обернено пропорційна початковому потенціалу врожайності (константа  $b$ , коефіцієнт кореляції між  $a1$  та  $b - r = 0,74$ ;  $p = 0,000$ ), а інтенсивність збільшення урожайності у другій половині досліджуваного періоду також обернено пропорційна інтенсивності попереднього зниження ( $a1$  та  $a2 - r = 0,81$ ;  $p = 0,000$ ).

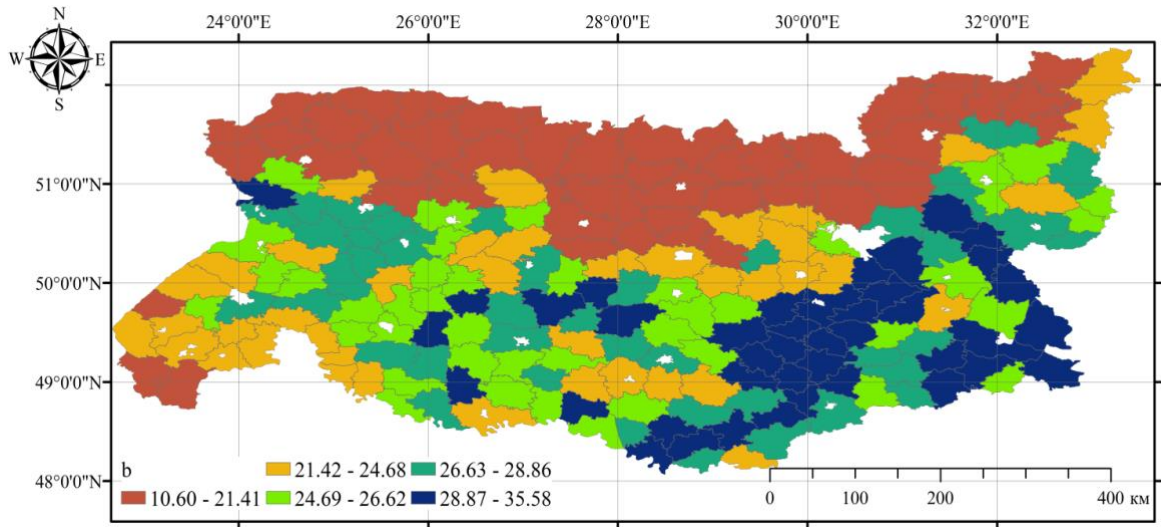


Рис. 3.3.3. Просторове варіювання рівня врожайності жита озимого у стартовий період досліджень (константа  $b$  рівняння регресії)

Для того, щоб оцінити фактори динаміки, які незалежні від початкових умов, нами був проведений регресійний аналіз залежності параметрів тренду від параметрів попередніх умов. Для параметру  $a1$  регресійне рівняння має вигляд (3.2):

$$a1 = -0,11 \pm 0,05 - 0,027 \pm 0,017b; R^2 = 0,54, \quad (3.2)$$

де  $a1$  – швидкість зниження урожайності у перший період дослідження за результатами оцінки тотального тренду,  $b$  – стартовий потенціал врожайності на початок періоду досліджень.

Для параметру  $a2$  знайдена регресійна залежність від двох предикторів (3.3):

$$a2 = 0,72 \pm 0,04 - 0,0079 \pm 0,0025a1 - 1,08 \pm 0,068b; R^2 = 0,66, \quad (3.3)$$

де  $a_2$  – швидкість збільшення урожайності у другий період дослідження,  $a_1$  – швидкість зниження урожайності у перший період дослідження за результатами оцінки тотального тренду,  $b$  – стартовий потенціал врожайності на початок періоду досліджень.

У подальшій частині роботи швидкості тотального зниження та збільшення урожайності відповідно до встановленого тренду охарактеризовані за допомогою залишків відповідних регресійних моделей, що є незалежними від параметрів, які характеризують особливості динаміки попередніх періодів і, таким чином, несуть самостійну інформацію.

Варіювання відхилення від залежності максимальної швидкості зниження врожайності від початкового потенціалу врожайності просторово залежне ( $I$ -статистика Морана 0,08;  $p = 0,001$ ) (рис. 3.3.4).

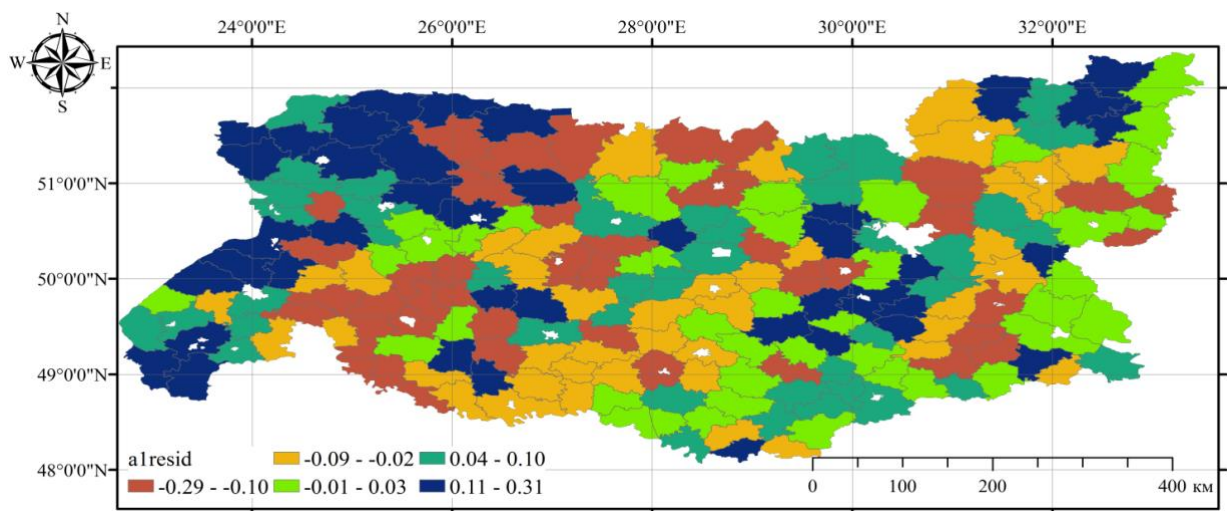


Рис. 3.3.4. Просторове варіювання відхилення від залежності максимальної швидкості зниження врожайності жита озимого від початкового потенціалу врожайності

Зони з позитивним відхиленням (швидкість зниження більш повільна, ніж динаміка загального тренду) сконцентровані на сході, північному сході, північному заході та в окремих районах центру. У південних та східних

районах відхилення від загального тренду від'ємні. В цих регіонах зниження було більш інтенсивне, ніж у цілому по дослідженій території.

Варіювання відхилення від залежності максимальної швидкості зростання врожайності жита від початкового потенціалу врожайності та максимальної швидкості зниження врожайності не є просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,003;  $p = 0,41$ ). Візуальне дослідження карти просторового розподілу цього показника (рис. 3.3.5) дозволяє зробити припущення, що динаміка швидкості відновлення продуктивного потенціалу підкорюється складному та нелінійному просторовому патерну, який не може бути кількісно оцінений без урахування складної полімасштабної організації цього явища. Для його описання може бути застосований PCNM-аналіз [510], але це не входить у завдання нашого дослідження.

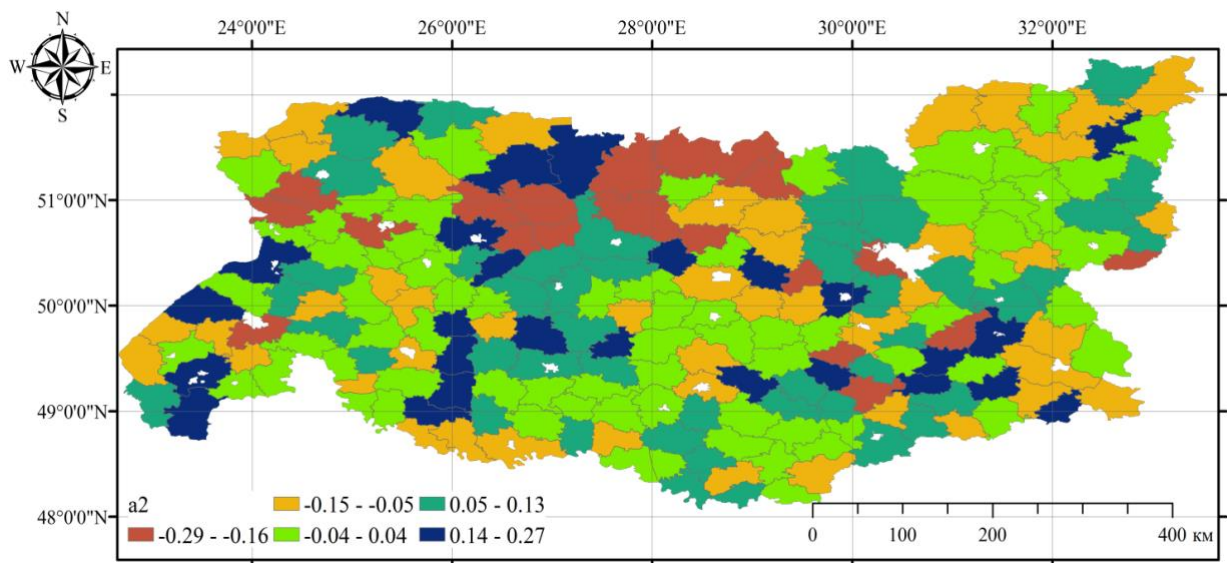


Рис. 3.3.5. Просторове варіювання відхилення від залежності максимальної швидкості зростання врожайності від початкового потенціалу врожайності та максимальної швидкості зниження врожайності жита озимого

Динаміка урожайності жита у просторі та часі представляє собою траєкторію у багатовимірному просторі, що значно ускладнює її відображення та, відповідно, дослідження. Параметри трендів можуть бути розраховані для

кожної з досліджених точок простору, які представлені географічними центроїдами адміністративних районів. Нами встановлено, що особливості просторового варіювання параметрів, які вказують на динаміку врожайності жита можуть бути картографічно відображені.

### **3.4. Закономірності просторово-часової варіабельності урожайності картоплі у Поліській та Лісостеповій зонах України**

Картопля (*Solanum tuberosum*) є однією з провідних сільськогосподарською культур світового виробництва поряд з рисом, пшеницею та кукурудзою [179]. Україна входить у десятку найбільших виробників картоплі, але ніколи не посідала перших місць у світовій експортній торгівлі нею. Хоча наша країна вирощує стільки ж картоплі, скільки і США, але на площах в три рази більших. За урожайністю картоплі Україна посідає 92 місце в світовому рейтингу і, на жаль, цей показник майже не змінюється впродовж останніх 5 років. Основою українського картоплярства є приватні домогосподарства, частка яких у виробництві картоплі сягає 97%. Зважаючи на сприятливі ґрунтово-кліматичні умови нашої країни урожайність картоплі має бути надзвичайно високою, проте, вважають, що значна зараженість культури шкідниками та хворобами не дає використати її повний потенціал [142].

Найкращою функцією для описання динаміки врожайності картоплі у дослідженному регіоні є поліном четвертого порядку. Особливі точки поліноміальної кривої можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності досліджуваної культури (рис. 3.4.1).

Загальний тренд врожайності підпорядковується закономірностям економічного циклу. Так, перший локальний максимум врожайності картоплі за досліджуваний період спостерігався на початку 90-х років минулого століття, коли широко застосовувалися екстенсивні технології вирощування цієї культури [64]. Мінімальна врожайність картоплі припадає на середину 90-

х років. Найбільш різке падіння врожайності відбулося у 1995 році, що пов'язано з соціально-економічною кризою [51]. З початку 2000-х років намітився підйом у виробництві картоплі. Найбільша швидкість нарощування врожайності відбулася у 2002 році. Другий локальний максимум припадає на 2014 рік. У цілому врожайність картоплі за досліджений період зростає приблизно на 10%.

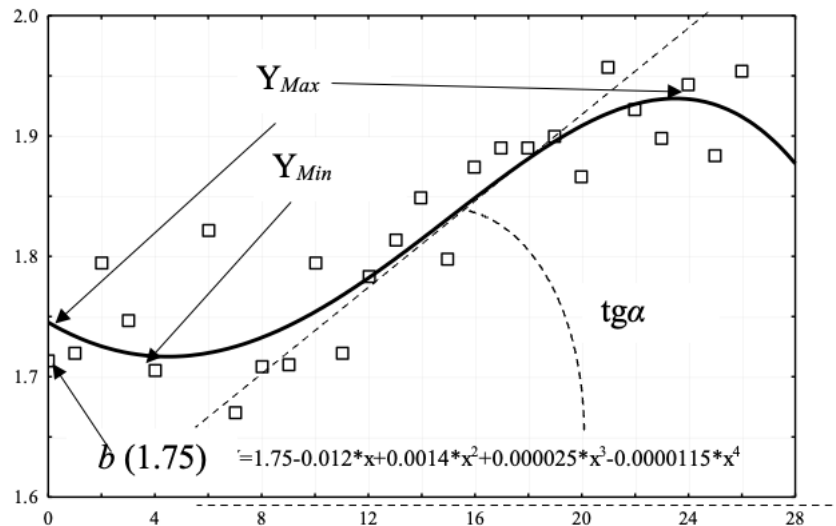


Рис. 3.4.1. Типова динаміка врожайності картоплі протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

**Умовні позначки:** вісь абсцис – час (1 – 1991 р., 27 – 2017 р.); вісь ординат – врожайність, т/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).

За допомогою характеристичних точок регресійної моделі маємо можливість провести районування території України та виділити регіони, що мають найбільш сприятливі умови для вирощування картоплі.

Стартовий рівень врожайності картоплі варіює у межах від 1,71 т/га (південно-східні райони) до 2,27 т/га (північні райони) (рис. 3.4.2). Варіювання стартової врожайності картоплі просторово залежне ( $I$ -статистика Морана 0,28;  $p = 0,001$ ) (Додаток 3). Карта просторового варіювання рівня врожайності картоплі у стартовий період досліджень (константа  $b$  рівняння регресії)

демонструє, що більш сприятливими ґрунтовими умовами для вирощування картоплі характеризуються центральні, північні та південно-західні регіони території досліджень (рис. 3.4.2).

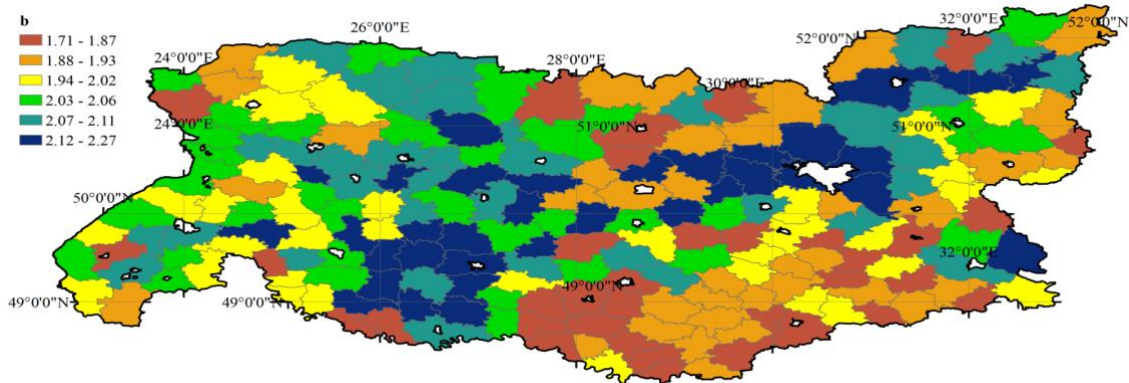


Рис. 3.4.2. Просторове варіювання рівня врожайності картоплі у стартовий період досліджень (константа  $b$  рівняння регресії), т/га

За допомогою максимальних швидкостей збільшення та зменшення врожайності, ми можемо виділити райони, в яких врожайність більш стабільна і менше залежить від флуктуацій зовнішніх чинників, зокрема, агроекономічних та агроекологічних. Варіювання швидкості зниження урожайності слабо просторово залежне ( $I$ -статистика Морана 0,08;  $p = 0,05$ ) (Додаток 3) (рис. 3.4.3). Варіювання швидкості зростання урожайності просторово залежне ( $I$ -статистика Морана 0,17;  $p = 0,001$ ) (рис. 3.4.4) (Додаток 3).

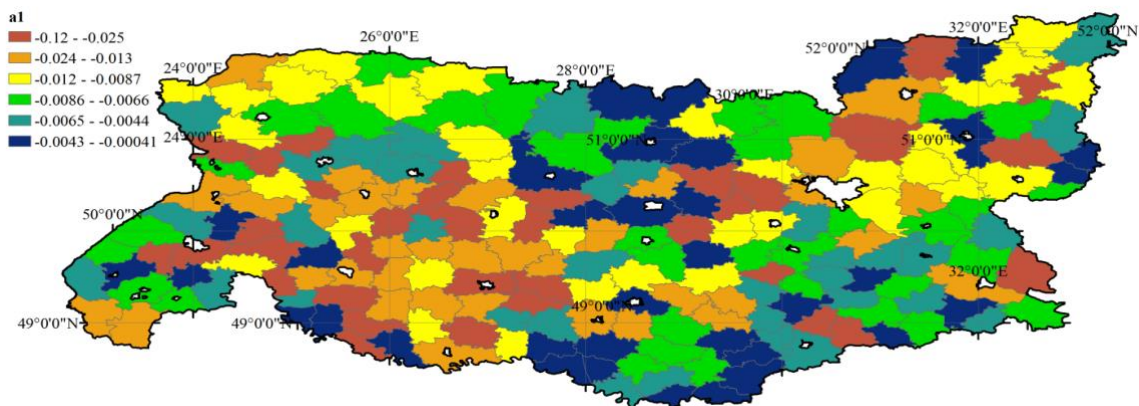


Рис. 3.4.3. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності картоплі

Менші показники швидкості зниження врожайності характерні для центральних та східних районів України (рис. 3.4.3), оскільки ці райони характеризуються більшою стабільністю до впливу агроекологічних чинників. Менш стабільними є західні та південно-західні регіони.

Зони з позитивним відхиленням (швидкість зростання повільніша, ніж динаміка загального тренду) сконцентровані в західних та південно-західних районах дослідженого регіону (рис. 3.4.4).

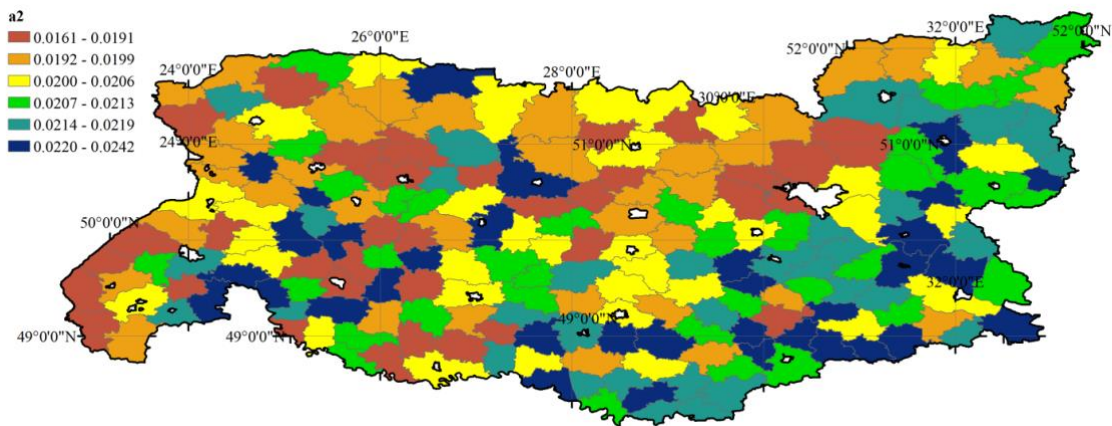


Рис. 3.4.4. Просторове варіювання максимальної швидкості зростання врожайності картоплі

У цих районах зростання врожайності картоплі відбувалося більш інтенсивно, ніж у цілому по дослідженій території. У північних та північно-східних районах відхилення від загального тренду від'ємні.

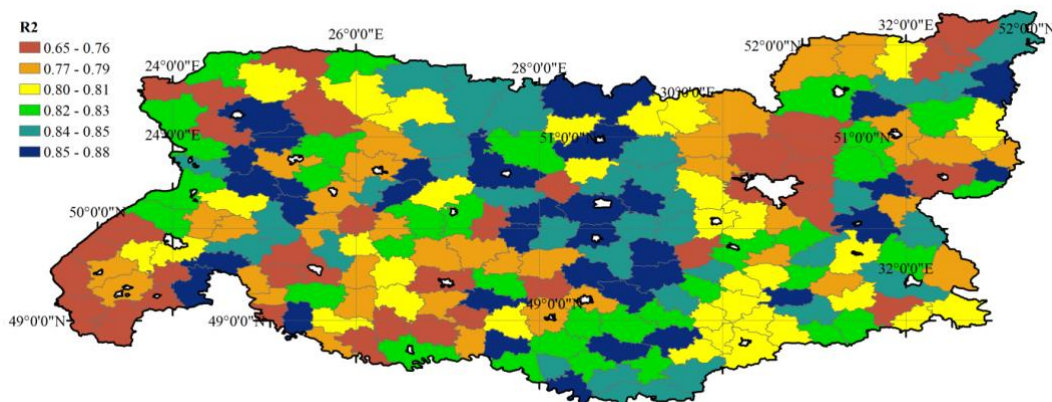


Рис. 3.4.5. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі



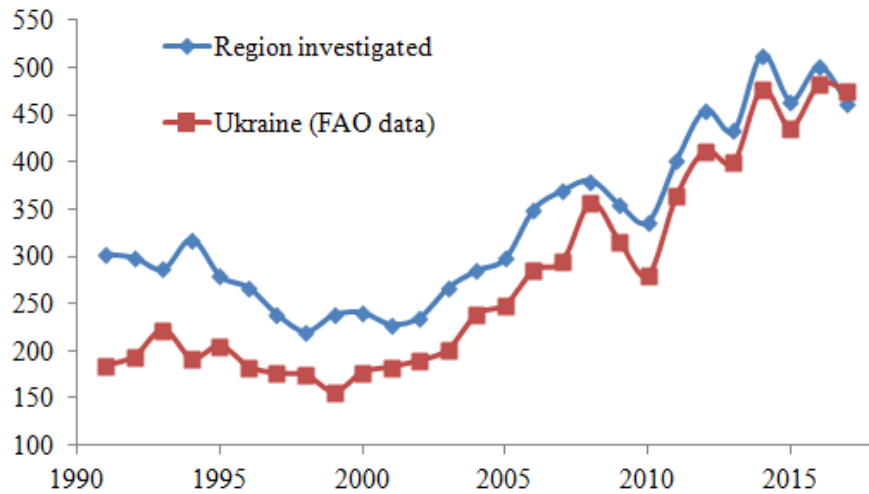
Коефіцієнт детермінації вказує на рівень відповідності моделі реальним даним та варіює у межах від 0,65 до 0,88 (рис. 3.4.5).

Отже, внесок агротехнологічних та агроекономічних факторів у загальне варіювання врожайності картоплі становить від 65 до 88%. Варіювання коефіцієнту детермінації є просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,23;  $p = 0,001$ ) (Додаток 3). Найбільш чутливими до агротехнологічних та агроекономічних чинників є центральні, північні райони регіону, а найменш чутливими – західні та східні.

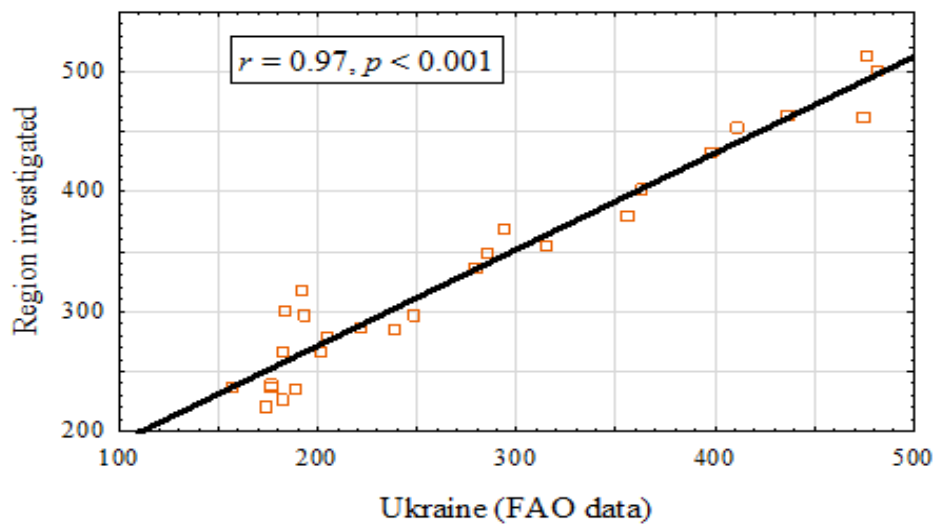
### 3.5. Аналіз просторово-часового тренду врожайності цукрового буряка

Цукровий буряк (*Beta vulgaris saccharifera L.*) є основною культурою для виробництва цукру в Європі і, оскільки його вирощують у широкому діапазоні екологічних умов, успішне управління врожайністю цієї культури є викликом для селекціонерів та фермерів [314]. Вибір гібриду цукрових буряків з високим потенціалом урожайності є важливим, так як і добре адаптовані агрономічні заходи та практики, що синхронізовані з потребами рослини [296]. У комерційному відношенні найважливішою ознакою цукрових буряків є врожайність [63], на яку досить сильно впливають фактори навколишнього середовища [430, 303]. Встановлення просторових патернів варіювання врожайності цукрових буряків за впливу екологічних факторів є мало вивченим питанням в Україні.

З метою оцінки репрезентативності отриманих даних ми порівняли їх із середніми показниками щодо врожайності цукрового буряка по всій території України, які були представлені Продовольчою і сільськогосподарською організацією ООН (FAO) (рис. 3.5.1, А). У результаті порівняння з'ясовано, що між середньою урожайністю цукрового буряка в цілому по Україні та урожайністю у досліджуваному регіоні спостерігається статистично значима кореляція ( $r = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 3.5.1, Б), а це свідчить про високу точність отриманих нами даних та про синхронність процесів коливання врожайності по всій території України.



А



Б

Рис. 3.5.1. 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)

Така синхронність є результатом постійно діючого зовнішнього фактору агроекономічного походження [520]. Це припущення підтверджує і загальна форма тренду, яка має вигляд економічного циклу з підйомами та спадом. «Дно» врожайності буряка припадає на початок 2000-х років [57]. Після 2010 року нарощування врожайності відбувається майже лінійно і досягає локального максимуму у 2016 році. Як відомо, агроекологічні фактори тісно

пов'язані із агротехнологією та селекцією, тому ці фактори можна об'єднати в одну групу.

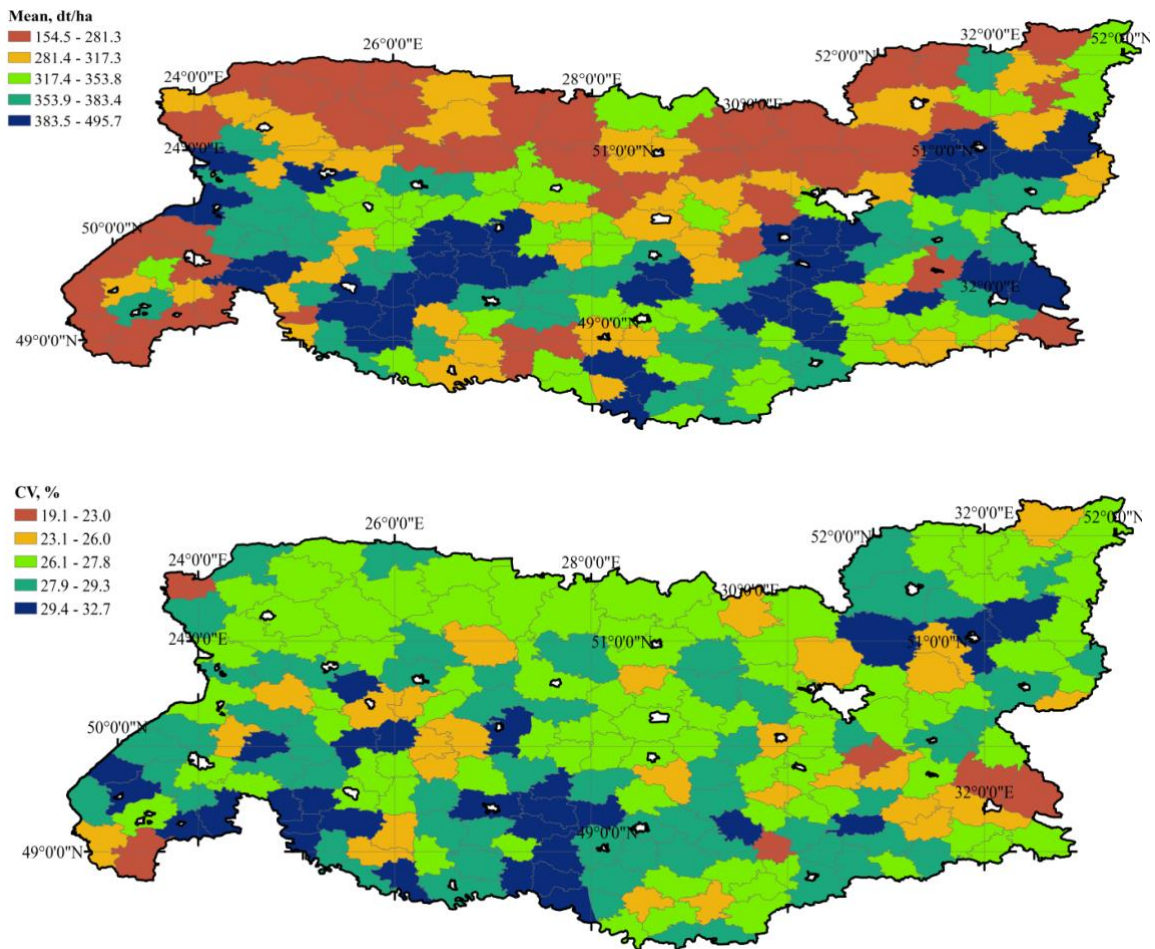


Рис. 3.5.2. Середній рівень урожайності та коефіцієнт варіації урожайності цукрового буряка

Встановлено, що середня врожайність цукрового буряка на території дослідженого регіону коливалася від 154,5 до 495,7 ц/га (рис. 3.5.2). Найбільшою середньою врожайністю характеризуються центральні та південні райони регіону, а найменшою – північні. Коефіцієнт варіації має найвищі показники на південному заході (29,4–32,7%); для решти території переважаючим є значення цього показника на рівні 20,14–29,3%.

Між середнім рівнем врожайності цукрового буряка та коефіцієнтом варіації є слабка від'ємна кореляція на вірогідному рівні ( $r = -0,19$ ;  $p < 0,007$ ) (рис. 3.5.3). Це свідчить про те, що райони з більшою врожайністю, як правило, мають менший коефіцієнт варіації, тобто є більш стабільними до впливу

зовнішніх факторів. Середній рівень врожайності та коефіцієнт варіації цього показника є просторово залежними ( $I$ -статистика Морана 0,36;  $p < 0,001$  та 0,17;  $p < 0,001$  відповідно).

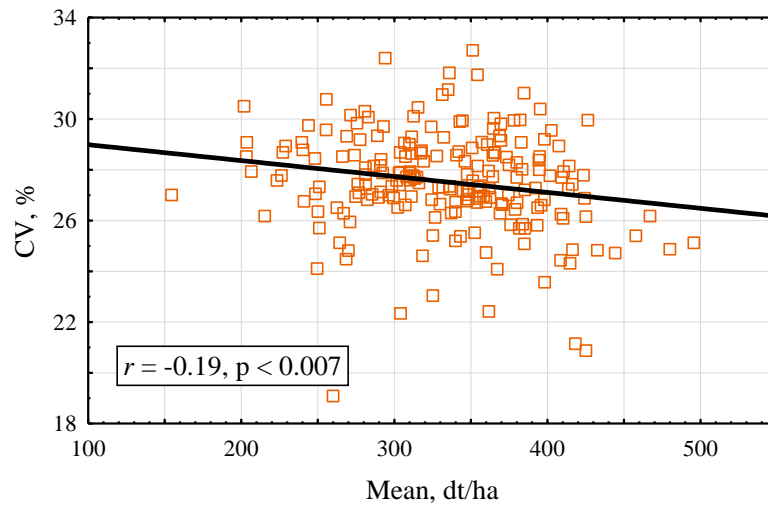


Рис. 3.5.3. Залежність між середнім рівнем урожайності цукрового буряка та коефіцієнтом варіювання цього показника

Динаміка урожайності цукрових буряків у 144 адміністративних районах (70% від загальної кількості) найкраще описується поліномом четвертого порядку (рис. 3.5.4).

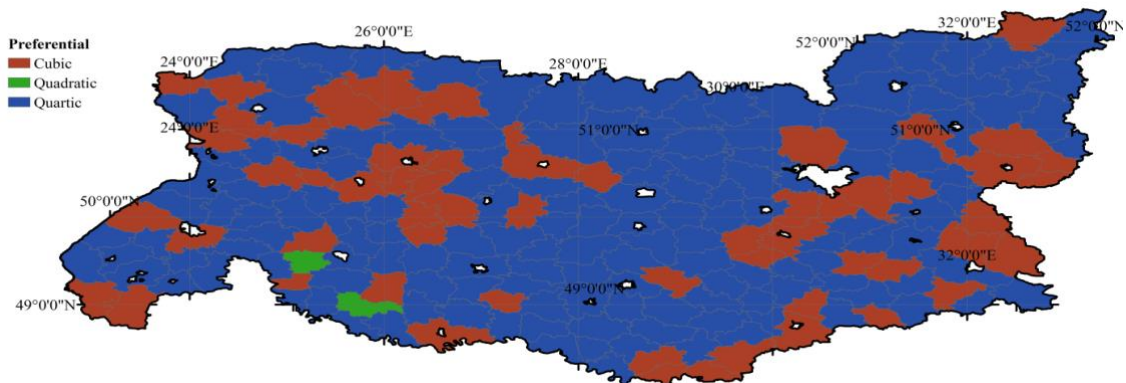


Рис. 3.5.4. Просторове варіювання типів трендів урожайності цукрового буряка

Тому, згідно із інформаційним критерієм Акаїке (AIC) [161], даний вид тренду ми визначили як основний. Оскільки обрана модель є рівнянням

четвертого ступеня, то тренд врожайності цукрового буряка може бути класифікований як «стагнація врожайності».

Оскільки остаточну динаміку усереднених даних урожайності нашої культури в досліджуваному регіоні можна охарактеризувати поліномом четвертого порядку, то динаміку врожайності можна описати та інтерпретувати використовуючи наступні характеристичні точки та показники: точки максимуму та мінімуму, точки перегину (рис. 3.5.5). Тренд врожайності цукрового буряка описується також вільним членом поліноміального рівняння, максимальною швидкістю зниження врожайності, максимальною швидкістю зростання врожайності, що відбуваються в точках перегину і коефіцієнтом детермінації регресійної моделі.

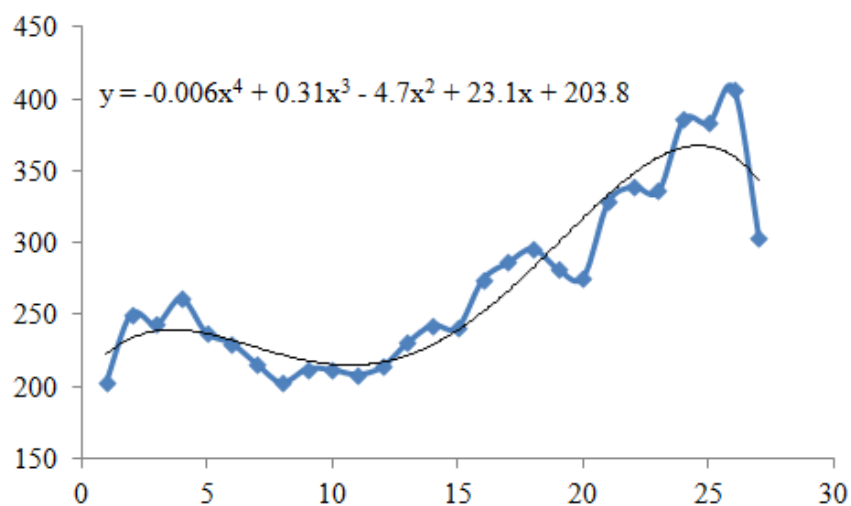


Рис. 3.5.5. Типова динаміка урожайності цукрового буряка протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

Для загального тренду врожайності цукрового буряка характерні два локальні максимуми ( $Y_{\max}$ ) та один локальний мінімум ( $Y_{\min}$ ) (рис. 3.5.5). Локальний мінімум відображає найнижчу врожайність за увесь період досліджень і припадає, у нашому випадку, на 2010 рік. Локальні максимуми припадають на 1993 та 2016 роки і відповідають найбільшій продуктивності культури за період досліджень. Оскільки локальні максимуми лежать на краях дослідженого діапазону, їх подальше вивчення є сумнівним.

Стартовий рівень врожайності цукрового буряка варіює від 175 до 421 ц/га (рис. 3.5.6). Цей показник дозволяє виявити території з найбільш сприятливими ґрунтовими умовами для вирощування цукрового буряка.

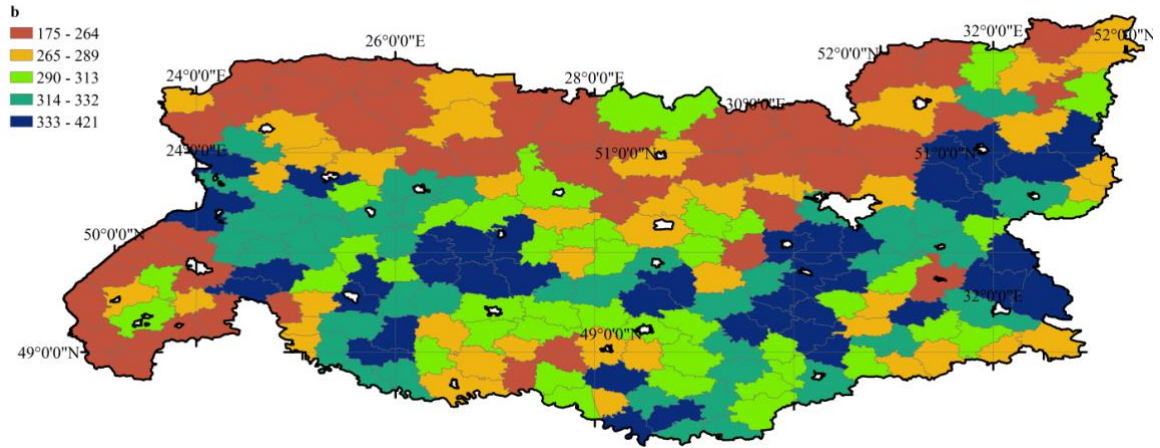


Рис. 3.5.6. Просторове варіювання рівня врожайності цукрового буряка у стартовий період досліджень (константа  $b$  рівняння регресії)

Середній рівень врожайності за період досліджень та стартовий її рівень (коефіцієнт  $b$  поліноміального рівняння) значно позитивно скорельовані ( $r = 0,98$ ;  $p < 0,001$ ). Це пояснює ту обставину, що просторове варіювання значень коефіцієнту  $b$  (рис. 3.5.6) є просторово залежним, що підтверджується тестом Морана ( $I$ -статистика Морана  $0,42$ ;  $p < 0,001$ ).

Показники максимальної швидкості зниження та максимальної швидкості зростання врожайності можуть бути використані як індикатори стійкості агроєкосистеми до зовнішніх факторів (рис. 3.5.7, 3.5.8).

Райони, де врожайність буряка швидко знижується в перехідний період знаходяться на півночі регіону досліджень (рис. 3.5.7), а райони, де врожайність має тенденцію до швидкого зростання більшою мірою розташовані на півдні (рис. 3.5.8). Стартовий рівень врожайності від'ємно корелює зі швидкістю зниження врожайності культури на першому етапі досліджень ( $r = -0,72$ ;  $p < 0,001$ ).

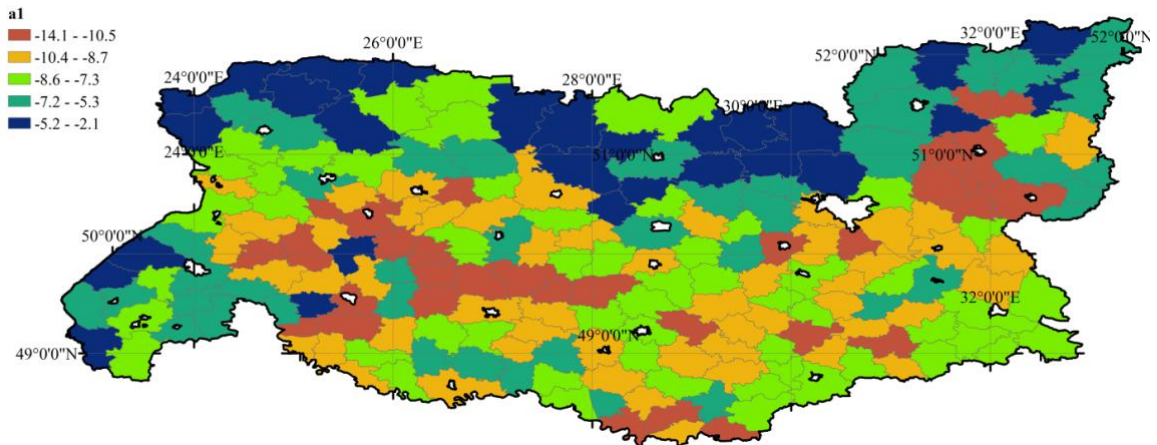


Рис. 3.5.7. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності цукрового буряка

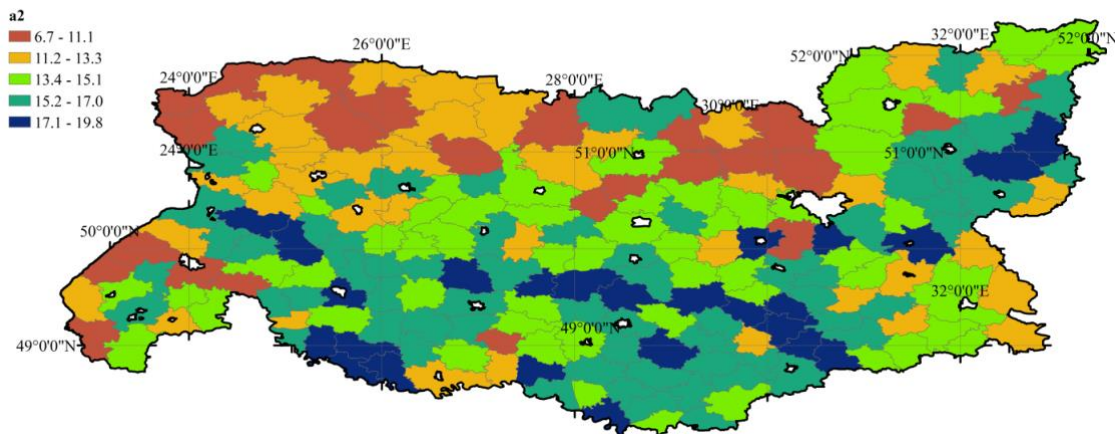


Рис. 3.5.8. Просторове варіювання максимальної швидкості зростання врожайності цукрового буряка

За допомогою показника «стартовий рівень врожайності» можна виявити райони, які мають найродючіші ґрунти і характеризуються високим потенціалом врожайності цукрового буряка. Висока кореляція цього показника із середньою врожайністю культури свідчить про те, що ці умови (родючість ґрунту) і є вирішальним фактором у досягненні високої врожайності. Так, найвища середня врожайність і стартовий рівень врожайності географічно відповідають Тернопільській, Вінницькій, Хмельницькій та Черкаській областям (рис. 3.5.2., 3.5.6), які є основними виробниками цукрових буряків в Україні [75]. Цінність проведених

досліджень полягає також у тому, що вони дають можливість провести порайонну диференціацію врожайності культур.

Швидкість зниження врожайності буряка (рис. 3.5.7) є просторово залежною ( $I$ -статистика Морана 0,33;  $p < 0,001$ ). Швидкість відновлення врожайності пропорційна інтенсивності попереднього зниження ( $r = -0,57$ ;  $p < 0,001$ ). Інтенсивність зростання врожайності (рис. 3.5.8) також є просторово залежною ( $I$ -статистика Морана 0,28;  $p < 0,001$ ).

Провівши картування показників максимальних швидкостей зниження та зростання врожайності цукрового буряка, можна виявити райони, які реагують швидким зменшенням або зростанням врожайності у відповідь на зміну умов господарювання, а також райони з більш стабільною врожайністю (рис. 3.5.7, 3.5.8). Також встановлено, що чим вища початкова врожайність культури, тим повільніше вона знижується, навіть за настання несприятливих умов для вирощування цукрового буряка.

Коефіцієнт детермінації показує наскільки точно була підібрана модель для описання загального тренду врожайності. Поліном четвертого порядку пояснює 72–96% часової варіації врожайності цукрового буряку (рис. 3.5.9). Цей показник є просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,29;  $p < 0,001$ ).

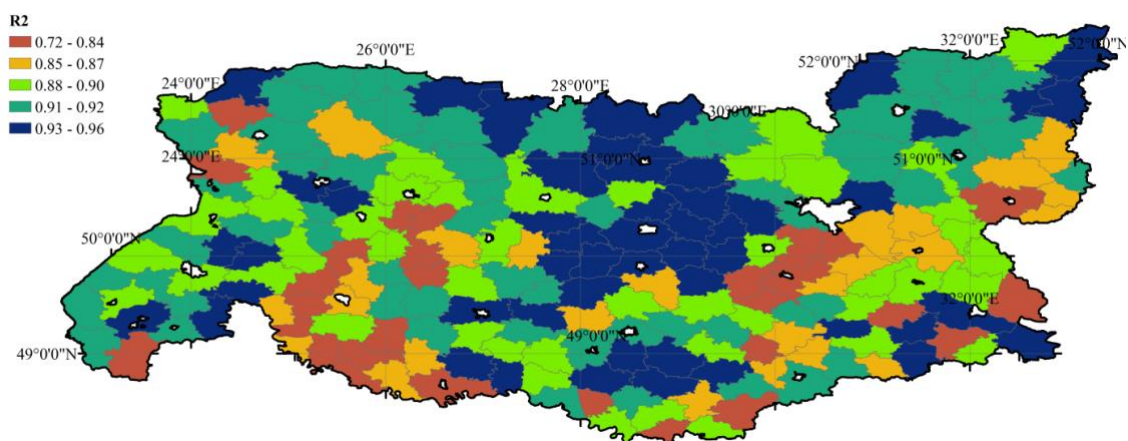


Рис. 3.5.9. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі врожайності цукрового буряка

Оскільки ми визначили, що загальний тренд носить агроекономічний та агротехнологічний характер, то коефіцієнт детермінації може бути



інтерпретований як показник ролі цих чинників у динаміці врожайності цукрового буряка. Одержані дані свідчать про те, що ці аспекти урожайності мають найважливіше значення (72–96% внеску у загальне варіювання врожайності культури). Найбільш чутливими до агротехнологічних та агроекономічних чинників є центральні та північні райони регіону, а найменш чутливими – південні.

Незважаючи на загальне збільшення врожайності цукрового буряка в останню декаду досліджуваного часового періоду, загальний тренд можна охарактеризувати як «стагнація врожайності», що свідчить про те, що нарощення продуктивності все ж відбувається досить повільно.

### **3.6. Аналіз варіювання врожайності овочів відкритого ґрунту у Поліссі та Лісостеповій зоні України**

Овочівництво належить до стратегічно важливих напрямів розвитку сільськогосподарського виробництва, що не лише гарантує продовольчу безпеку держави, але також забезпечує сировиною харчову переробну промисловість [69, 126]. Тому точна статистика врожайності овочевих культур відіграє важливу роль у плануванні та розподілі ресурсів для сталого розвитку сільського господарства України. На основі статистичних даних з урожайності цих культур можна проводити планування подальшого їх виробництва, здійснювати агроекологічне районування та приймати рішення, пов'язані із придбанням, зберіганням, розповсюдженням продукції, імпортом, експортом та іншими суміжними з ними питаннями [328]. Незважаючи на загальнодоступність статистичної інформації з урожайності овочевих культур, наразі відсутні роботи, у яких проводився би глибокий аналіз варіювання врожайності овочів на території України впродовж тривалого періоду та розглядалися можливі причини такого варіювання.

Відповідно до даних Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO), середньорічна врожайність овочів на території України протягом

27-річного періоду між 1991 і 2017 роками варіювала від 3,8 (у 1999 році) до 20,6 ц/га (у 2005 році), з середнім значенням 16,1 ц/га, стандартним відхиленням 4,2 і коефіцієнтом варіації 26% (рис. 3.6.1, А).

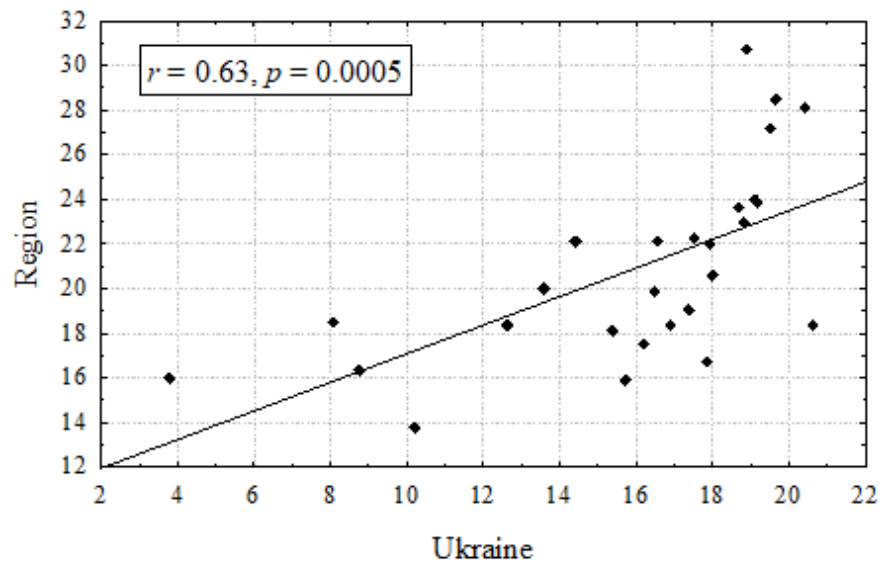
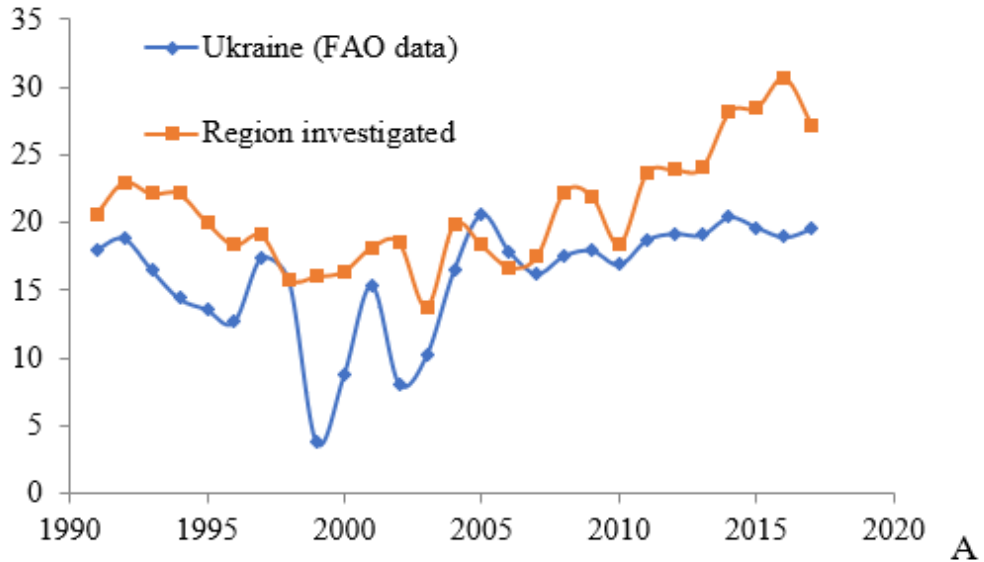


Рис. 3.6.1. Динаміка врожайності овочів за період 1991–2017 рр. в Україні та в досліджуваному регіоні (ц/га) (А); діаграма розкиду врожайності овочів в Україні відносно врожайності овочів у досліджуваному регіоні (Б)

Між середньою урожайністю овочів в Україні та урожайністю у досліджуваному регіоні спостерігається статистично значима кореляція ( $r = 0,63$ ,  $p = 0,0005$ ) (рис. 3.6.1, Б), що свідчить про те, що отримані нами дані

характеризуються високою точністю та відображають загальну динаміку урожайності овочів в Україні.

За нашими даними на території дослідженого регіону України, у цей самий період часу, середньорічна врожайність овочів коливалася від 13,8 (у 2003 році) до 48,6 ц/га (у 2016 році); середнє значення – 20,9 ц/га, стандартне відхилення 4,3 і коефіцієнт варіації – 20% (рис. 3.6.2).

Середній рівень урожайності овочів та коефіцієнт варіації цього показника є просторово залежними (*I*-статистика Морана 0,67;  $p < 0,001$  та 0,18;  $p < 0,001$  відповідно) (Додаток 4).

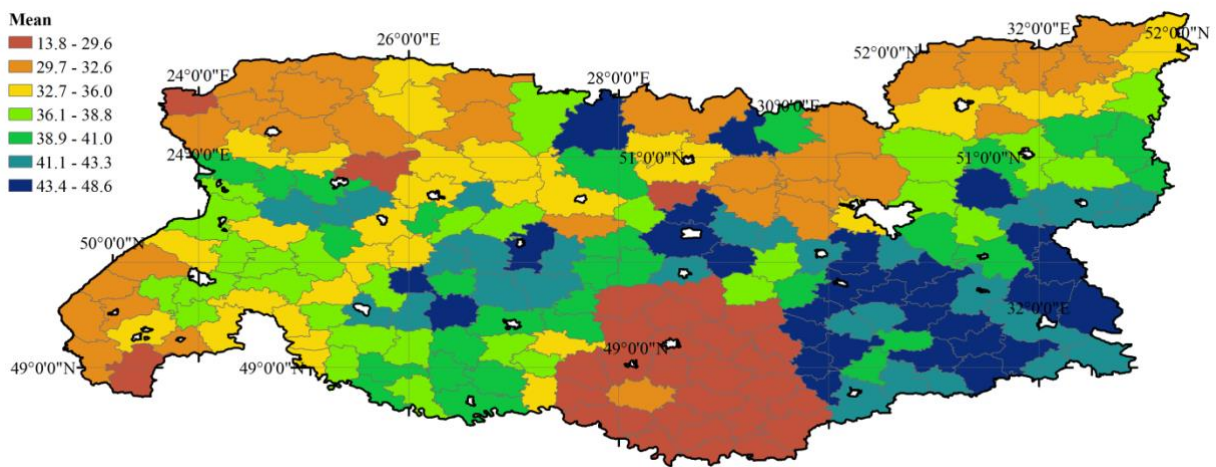


Рис. 3.6.2. Середній рівень урожайності овочів у досліджуваному регіоні України

Встановлено, що динаміка урожайності овочів у більшості адміністративних районів може бути описана поліномом четвертого порядку (рис. 3.6.3), який найкраще описує динаміку врожайності овочів у 179 адміністративних районах (86,9 % від загального обсягу). Згідно з інформаційним критерієм Акаїке (Akaike Information Criterion (AIC)) [161], якщо вибрана модель є рівнянням четвертого ступеня, то тренд можна класифікувати як «стагнація врожайності». Цей результат доводить, що неповною мірою використовується продукційний потенціал території, а також те, що овочівництво в Україні розвивається вкрай повільно.

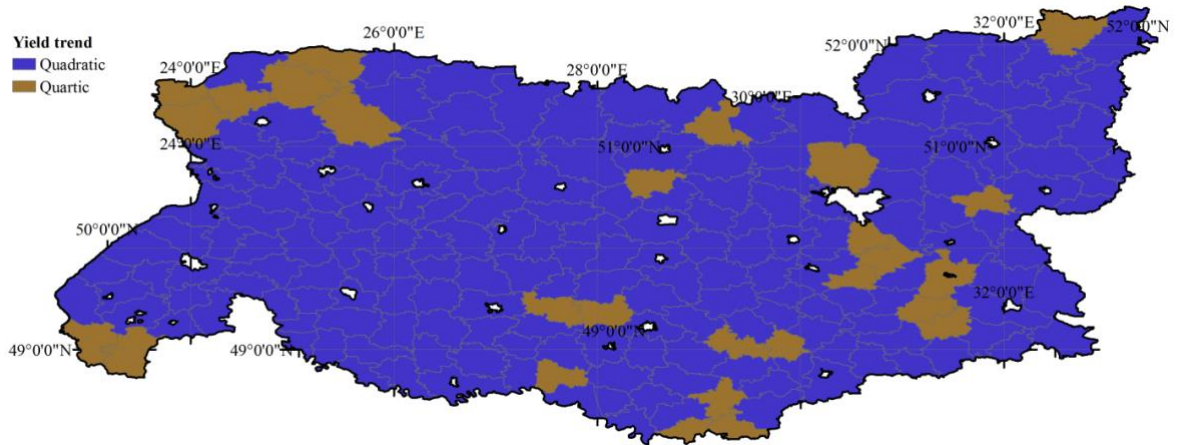


Рис. 3.6.3. Просторове варіювання типів динаміки врожайності овочів

Оскільки остаточний тренд врожайності овочів в межах досліджуваної області описується поліномом четвертого порядку, то для аналізу просторово-часового варіювання врожайності овочів було обрано характерні точки кривої даного виду (рис. 3.6.4).

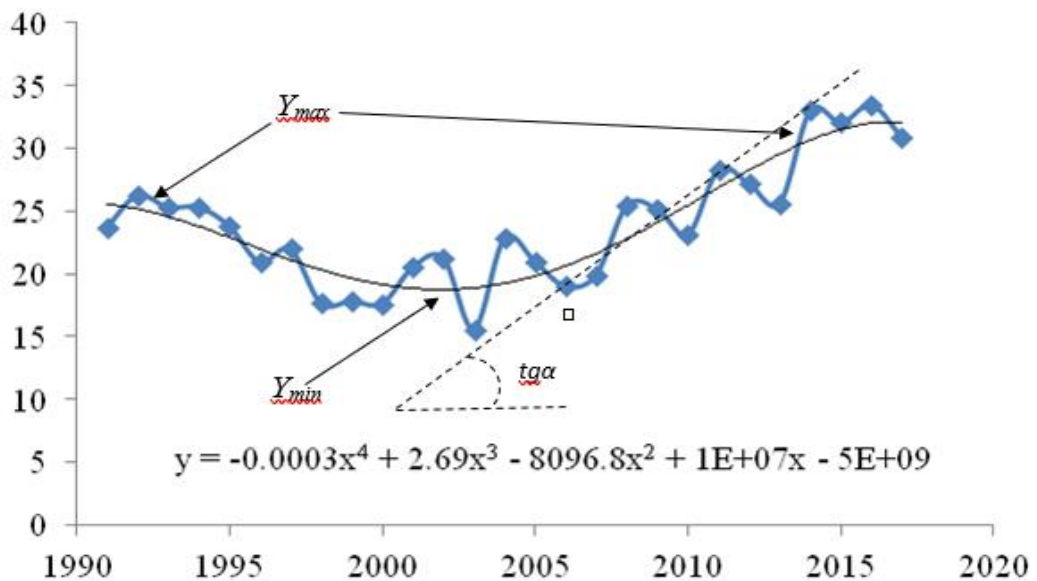


Рис. 3.6.4. Типова динаміка урожайності овочів протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

Стартовий рівень урожайності овочів є просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,67;  $p < 0,001$ ) і коливається від 7,8 до 32,4 ц/га (рис. 3.6.5). Цей показник дозволяє виявити території з найбільш сприятливими

агрофізичними умовами для вирощування овочів. Отже, найбільший ґрунтово-кліматичний потенціал для овочівництва мають південно-східні райони дослідженого регіону (рис. 3.6.5).

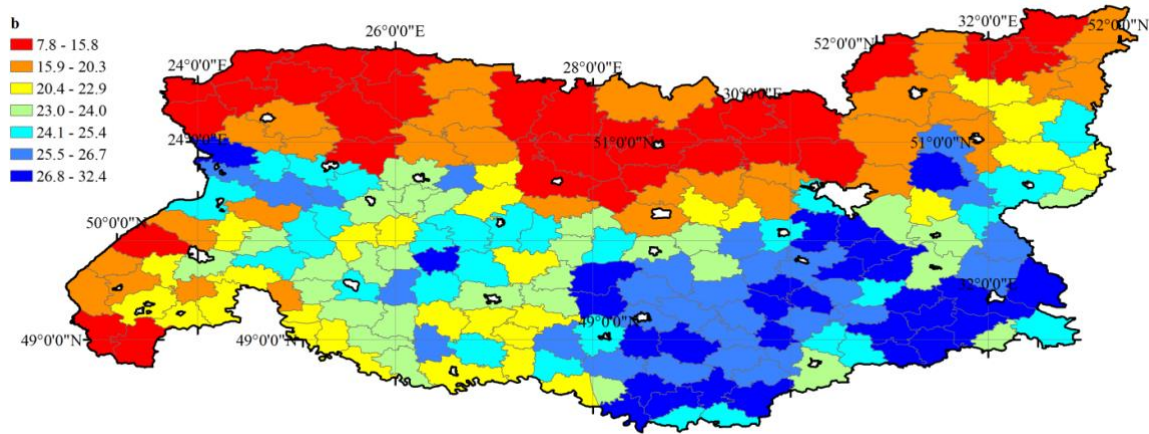


Рис. 3.6.5. Просторове варіювання рівня врожайності овочів у стартовий період досліджень (константа  $b$  рівняння регресії)

Показники максимальної швидкості зниження та максимальної швидкості зростання врожайності овочів можуть бути використані як маркери стійкості агроекосистеми до зовнішніх факторів (рис. 3.6.6, 3.6.7).

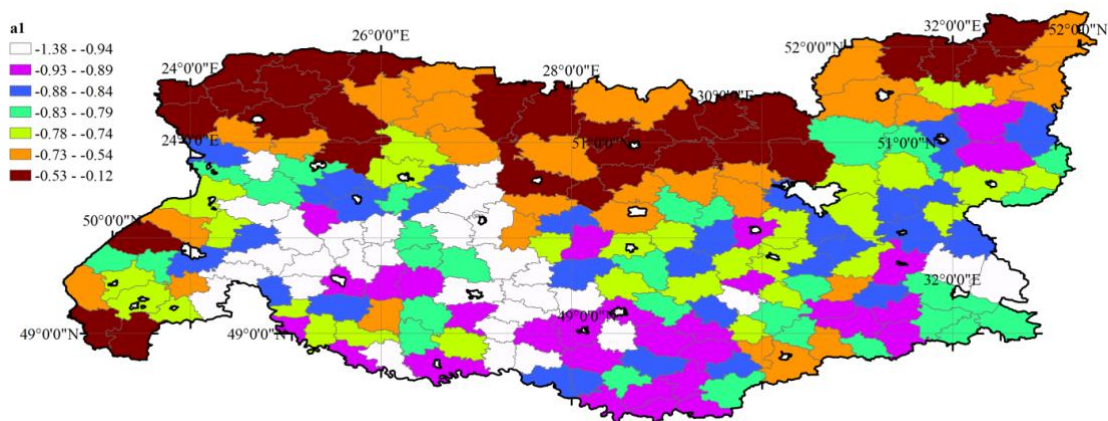


Рис. 3.6.6. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності овочів відкритого ґрунту

Варіювання швидкості зниження врожайності овочів відкритого ґрунту є просторово залежним (статистика  $I$ -Moran 0,54;  $p < 0,001$ ) (Додаток 4).

Райони, де врожайність стрімко знижується при настанні несприятливих умов, знаходяться на півночі дослідженого регіону (рис. 3.6.6).

Показник максимальної швидкості зростання врожайності овочів також має просторову детермінацію ( $I$ -статистика Морана 0,26;  $p < 0,001$ ) (Додаток 4). Регіони, де показники максимальної швидкості зростання врожайності найбільші, знаходяться на південному сході регіону, а найбільш інертні до зростання врожайності овочів райони знаходяться на півдні та в центрі (рис. 3.6.7).

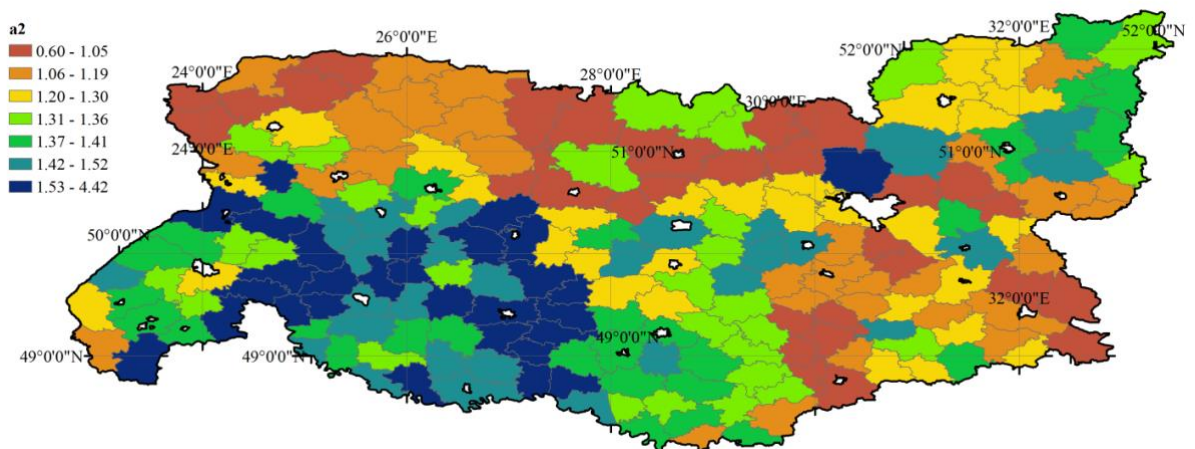


Рис. 3.6.7. Просторове варіювання максимальної швидкості зростання врожайності овочів відкритого ґрунту

Картування останніх двох показників дозволяє виявити райони, які стрімко реагують на зміни агроекономічних умов зростанням або падінням урожайності, а також виявити території більш стабільні, які характеризуються поступовими змінами врожайності овочів.

Коефіцієнт детермінації визначає відповідність встановленого тренду (полінома четвертого порядку) реальній динаміці врожайності овочів. Згідно наших досліджень коефіцієнт детермінації варіює у межах від 0,53 до 0,90 і є просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,30;  $p = 0,026$ ) (Додаток 4) (рис. 3.6.8).

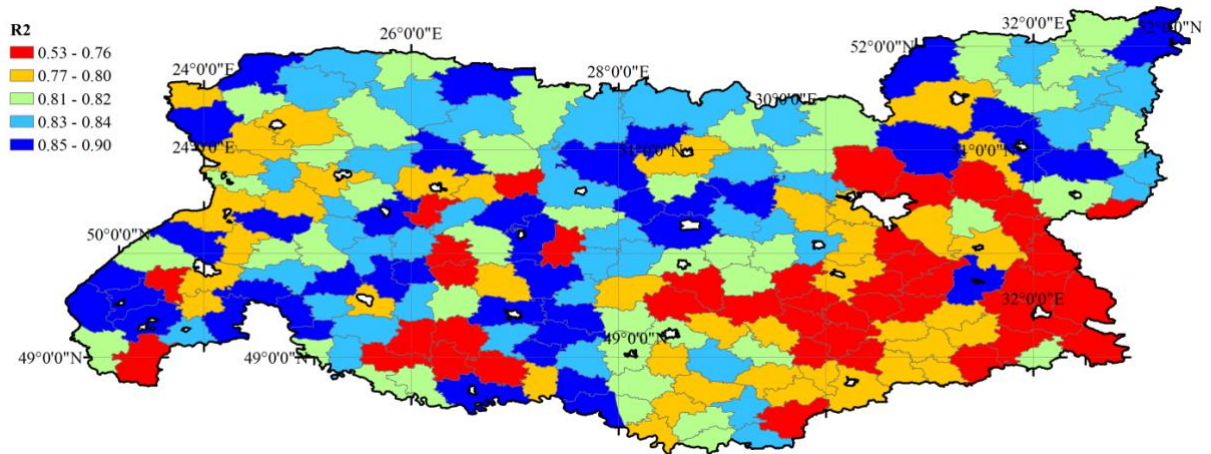


Рис. 3.6.8. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі врожайності овочів відкритого ґрунту

Таким чином, обрана модель досить точно описує динаміку процесу. Виходячи з того, що тренд має агроекономічне та агротехнологічне походження – вплив вищезгаданих факторів на урожайність овочів подекуди має вирішальне значення.

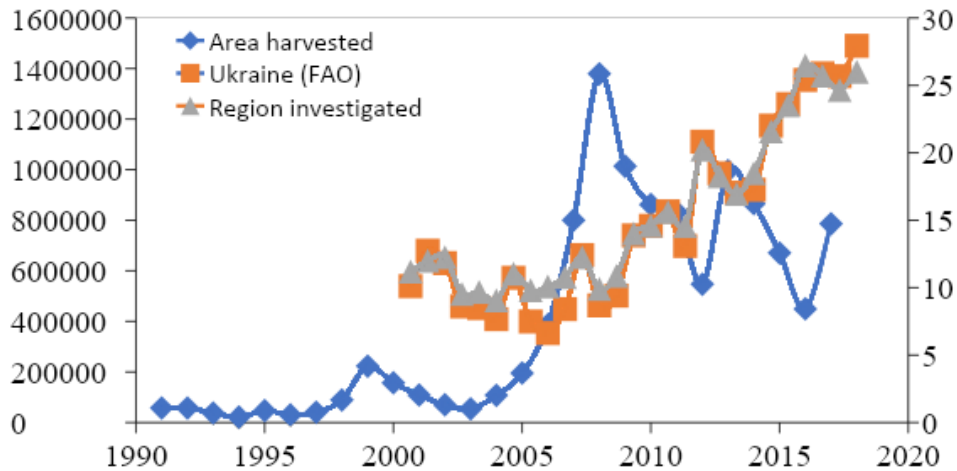
### 3.7. Динаміка урожайності ріпаку озимого на території України

За останні 30 років світове виробництво ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) збільшилося більше, ніж у п'ять разів, досягнувши відмітки 6 млн. тон. Серед 25 промислових олійних культур лідирує соєва олія – 28,4%, на другому місці – пальмова – 25,4% і на третьому місці – ріпакова олія 6,8%. У наші дні ріпак вирощується більше, ніж у 30 країнах. Це одна з найпоширеніших культур у світі, що займає 30 млн. га (10,5% площі основних олійних культур) [220].

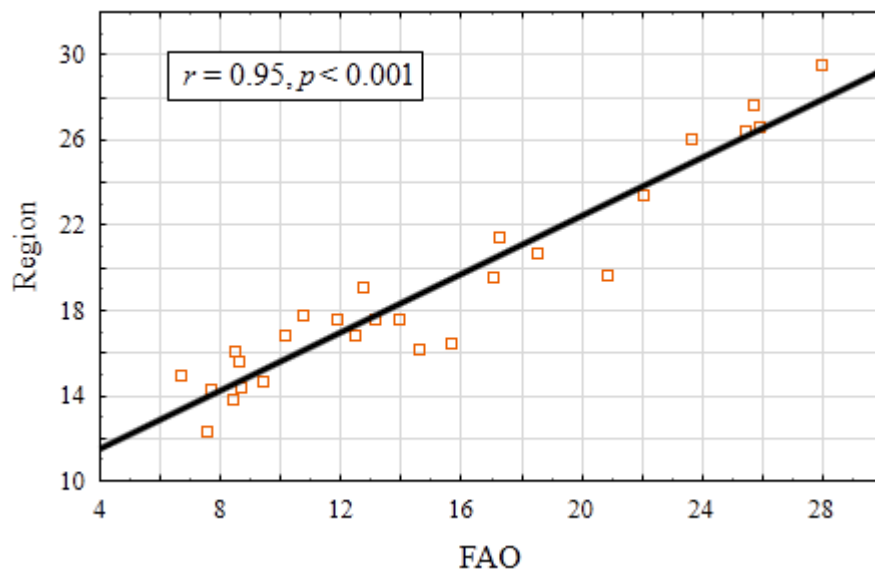
Україна має сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування озимого та ярого ріпаку. Зокрема, добра родючість ґрунтів, їхня задовільна водо- та повітропроникність, оптимальна кількість опадів і температурний режим дають змогу, за правильної технології вирощування, отримувати

врожайність до 4 т/га [27]. Проте, наразі, мало відомо про фактори, які обмежують продукційний потенціал цієї культури в Україні.

Проаналізувавши дані із середньої врожайності ріпаку озимого в Україні за роками, які надані Продовольчою і сільськогосподарською організацією ООН (FAO), визначили, що врожайність ріпаку коливалася від 6,6 (у 1999 році) до 27,9 ц/га (у 2017 році) (рис. 3.7.1).



А



Б

Рис. 3.7.1. Зібрана площа ріпаку (га, ліва вісь у) та динаміка його врожаю протягом 1991–2017 рр. в Україні та в досліджуваному регіоні (ц/га, права вісь у) (А); діаграма розкиду врожайності ріпаку в Україні відносно врожайності ріпаку у досліджуваному регіоні (Б)



Середнє значення врожайності ріпаку протягом 1991–2017 рр. становило – 15,03 ц/га, стандартне відхилення – 6,06.

За нашим даними врожайність ріпаку на території 10 областей Поліської та Лісостепової зон впродовж 1991–2017 рр. коливалася від 9,1 (1996 рік) до 26,48 ц/га (2014 рік), і в середньому становила – 15,55 ц/га, із стандартним відхиленням – 5,82.

Між середньою врожайністю ріпаку в Україні та урожайністю у досліджуваному регіоні спостерігається статистично значима кореляція ( $r = 0,95$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 3.7.1, Б). Це свідчить про часову узгодженість варіювання урожайності ріпаку в цілому в Україні та у регіоні досліджень.

Щодо зібраної площі ріпаку у дослідженому регіоні, то вона залишалася майже незмінною з початку 90-х до середини 2000-х років (рис. 3.7.1, А). Згідно літературних джерел [25, 103], відродження ріпаківництва в Україні почалося лише з 1980 року і найбільші площі під ріпаком були в 1986–1990 рр. З наших даних видно, що у 2000-му році відбулося незначне зростання зібраних площ ріпаку до 0,22 млн. га (рис. 3.7.1, А). Ця тенденція характерна і для України в цілому, оскільки у 2000-му році планувалося засіяти ріпак на площі 0,5 млн. га з перспективою подальшого розширення до 1,2–1,5 млн. га. Проте, очікуваного росту посівних площ в Україні у 1990–2000 рр. не відбулося, в основному, через відсутність переробних підприємств і зниження попиту на насіння: приріст був значно нижчим від запланованого [25]. Починаючи з 2005 року спостерігається стрімке розширення площ, де висівався ріпак, аж до досягнення максимуму у 2008 році – 1,4 млрд. га (рис. 3.7.1, А). Після 2008 року посівні площі трохи зменшилися, але урожайність продовжує зростати, що свідчить про перехід України до інтенсивних технологій у сільському господарстві.

Дослідивши просторовий розподіл середньої урожайності ріпаку визначили, що врожайність коливалася від 6,9 до 21,9 ц/га. Найменшою урожайністю характеризуються північні та південно-східні, а найбільшою – південно-східні райони регіону досліджень (рис. 3.7.2).

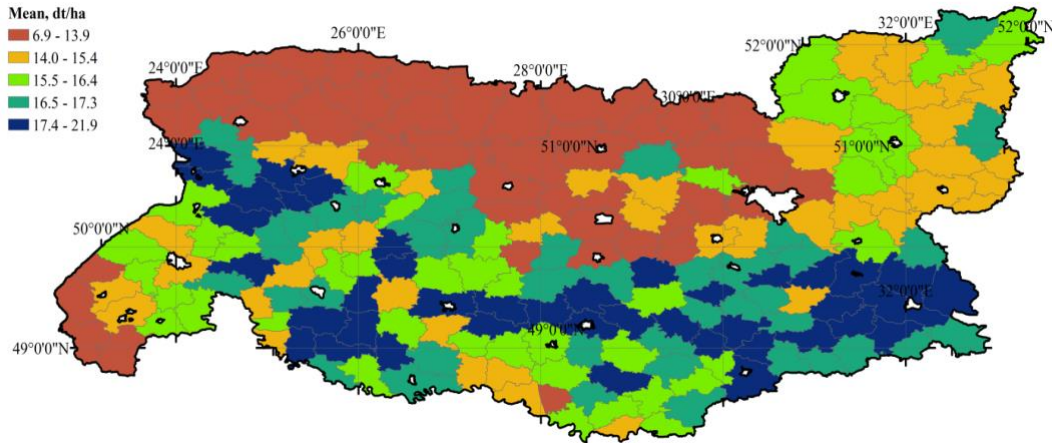


Рис. 3.7.2. Середній рівень урожайності ріпаку у досліджуваному регіоні України

Середній рівень урожайності ріпаку та коефіцієнт варіації цього показника є просторово залежними ( $I$ -статистика Морана 0,51;  $p < 0,001$  та 0,28;  $p < 0,001$  відповідно). Найвищі показники коефіцієнта варіації урожайності ріпаку (45,4–74,3%) мають північні райони, а найменші (27,2–39,8 %) – східні та південні райони регіону досліджень (рис. 3.7.3).

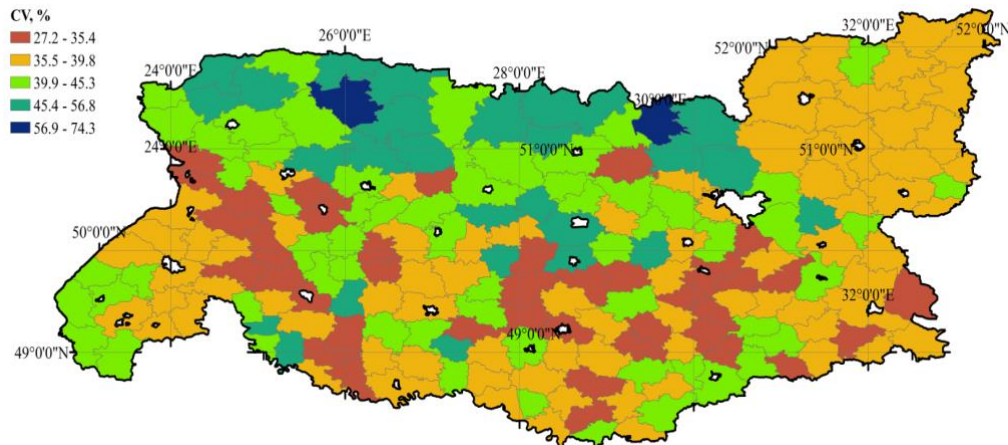


Рис. 3.7.3. Просторовий розподіл коефіцієнта варіації урожайності ріпаку

Між середньою урожайністю ріпаку та коефіцієнтом варіації цього показника існує логарифмічна залежність ( $R = -0,77$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 3.7.4). Загалом спостерігається наступна закономірність – чим вища урожайність ріпаку, тим менший коефіцієнт варіації.

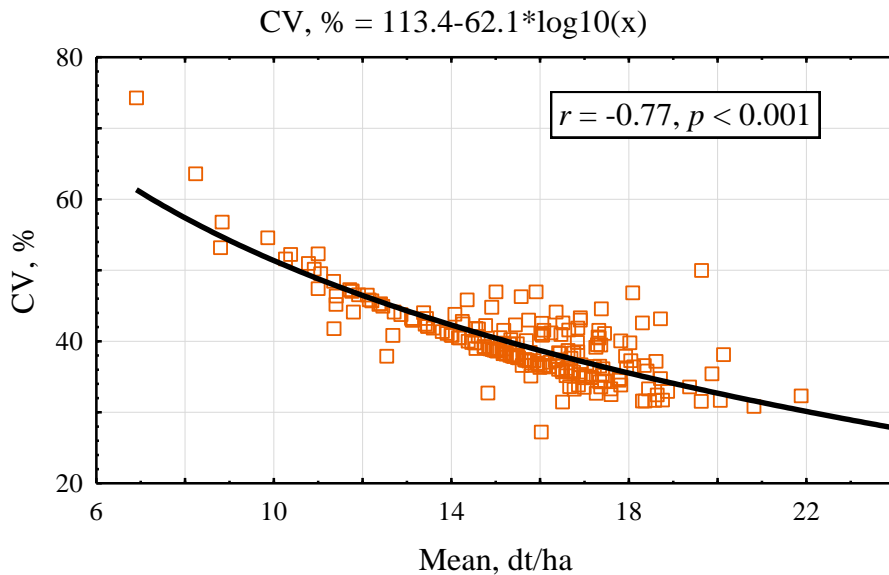


Рис. 3.7.4. Залежність між середнім рівнем врожайності ріпаку та коефіцієнтом варіювання цього показника

Ми використали інформаційний критерій Акаїке, щоб оцінити придатність різних математичних моделей для описання динаміки урожайності ріпаку у 206 адміністративних районах України. Встановили, що загальний тренд урожайності ріпаку у більшості районів найкраще описується кубічною функцією (рис. 3.7.5). Тобто, урожайність ріпаку зростала починаючи з початку 2000-х років, але на даний момент часу досягла точки максимуму та почала знижуватися.

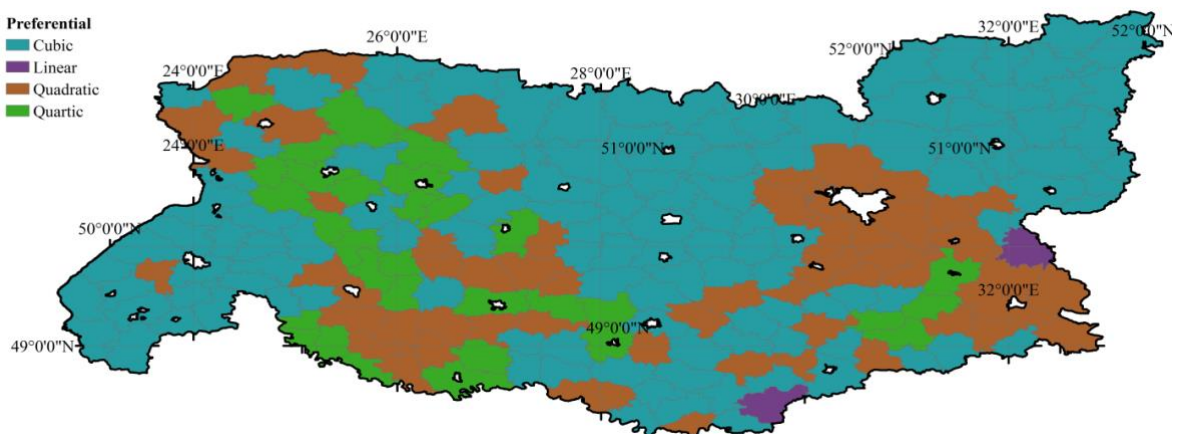


Рис. 3.7.5. Просторове варіювання типів динаміки врожайності ріпаку

Проте, поліном четвертого ступеня має більшу пояснювальну здатність та має характеристичні точки, які можуть бути використані для змістовної інтерпретації динаміки урожайності ріпаку (рис. 3.7.6).

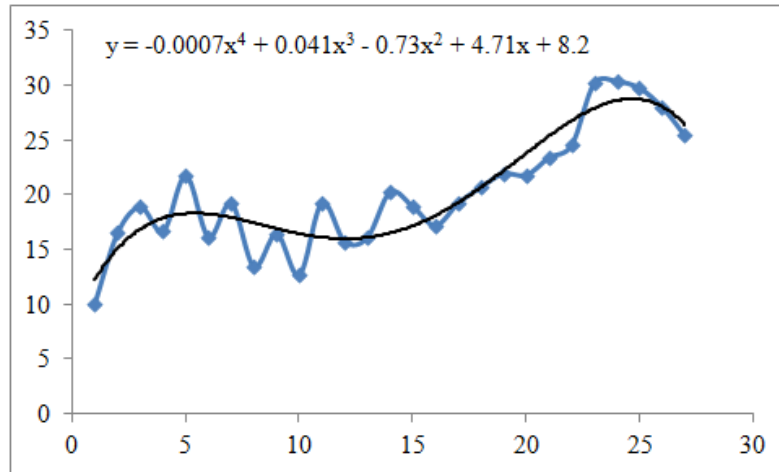


Рис. 3.7.6. Типова динаміка урожайності ріпаку протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку

Значення коефіцієнта детермінації вказують на те, що тренд четвертого порядку пояснює 59–97% часової варіації врожайності ріпаку (рис. 3.7.7). Коефіцієнт детермінації є просторово залежним (*I*-статистика Морана 0,36;  $p < 0,001$ ).

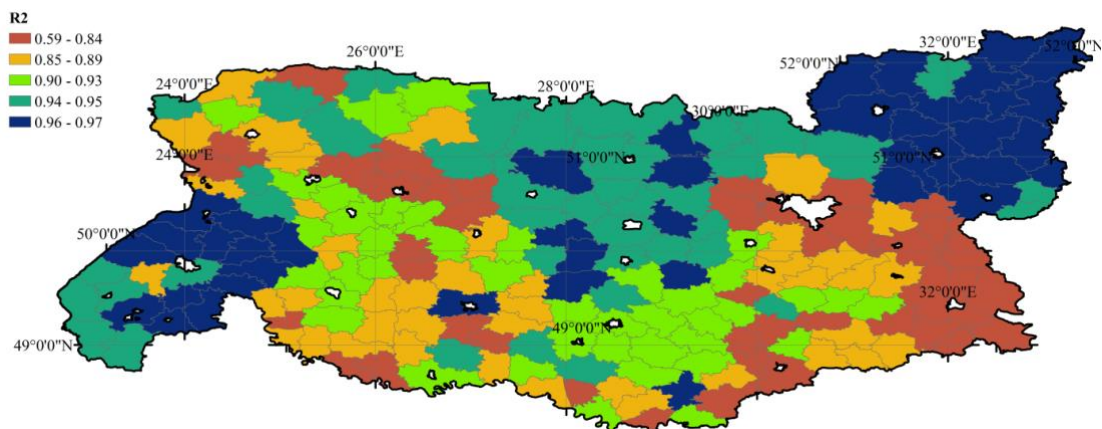


Рис. 3.7.7. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі врожайності ріпаку

Стартовий рівень урожайності ріпаку на дослідженій частині території України коливався від 5,2 до 20,1 ц/га (рис. 3.7.8).

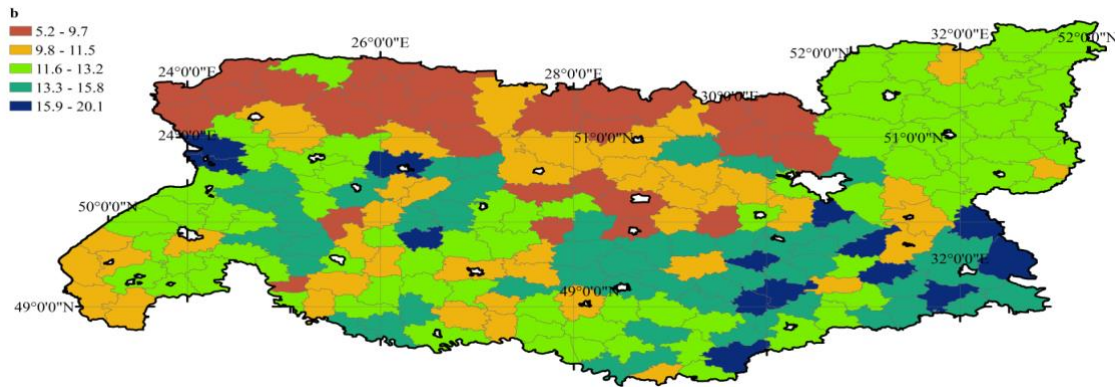


Рис. 3.7.8. Просторове варіювання рівня врожайності ріпаку у стартовий період досліджень

Райони із низькими значеннями показника стартової врожайності знаходяться на півночі, а з високими – на південному сході регіону досліджень. Середній рівень врожайності за період досліджень та стартовий рівень врожайності (коефіцієнт  $b$  поліноміального рівняння) значно позитивного зкорельовані ( $r = 0,98$ ;  $p < 0,001$ ). Це пояснює ту обставину, що варіювання значень коефіцієнту  $b$  (рис. 3.7.8) є просторово залежним, що і підтверджується тестом Морана ( $I$ -статистика Морана 0,34;  $p < 0,001$ ).

Характеристичний показник – швидкість зниження врожайності ріпаку (рис. 3.7.9) не був просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,02;  $p = 0,27$ ).

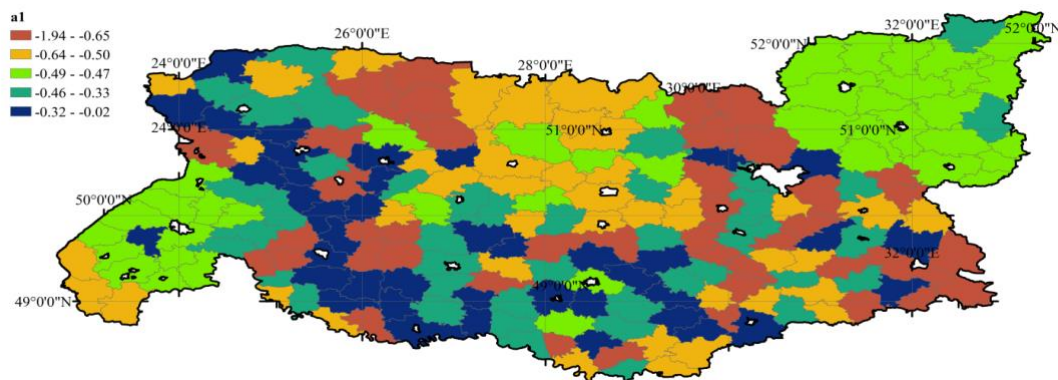


Рис. 3.7.9. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності ріпаку

Стартовий рівень врожайності від'ємно корелює зі швидкістю зниження врожайності культури на першому етапі досліджень ( $r = -0,14$ ;  $p = 0,03$ ). Отже,

чим більший показник стартової урожайності, тим більш стабільною є урожайність культури за настання несприятливих умов.

Швидкість відновлення урожайності була пропорційна інтенсивності попереднього зниження ( $r = 0,25$ ;  $p < 0,001$ ), що свідчить про те, що ці показники взаємопов'язані. Інтенсивність зростання врожайності (рис. 3.7.10) є просторово залежною ( $I$ -статистика Морана  $0,21$ ;  $p < 0,001$ ).

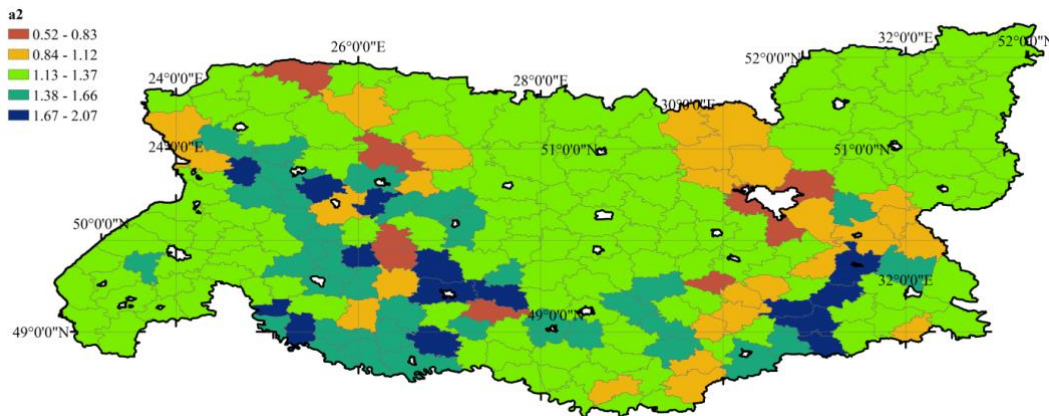


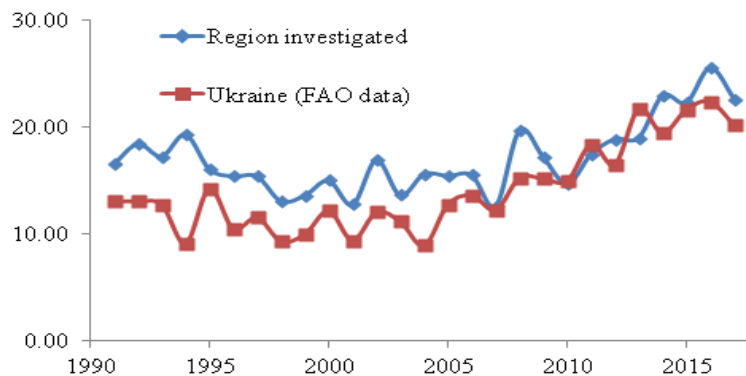
Рис. 3.7.10. Просторове варіювання максимальної швидкості зростання врожайності ріпаку

З агроекологічної точки зору, саме українське Полісся та Лісостеп мають найсприятливіші ґрунтово-кліматичні умови для вирощування озимого та ярого ріпаку [11]. Згідно наших досліджень найперспективнішими з точки зору вирощування ріпаку є Чернігівська, Черкаська та Вінницька області, що підтверджується показниками стартової та середньої урожайності.

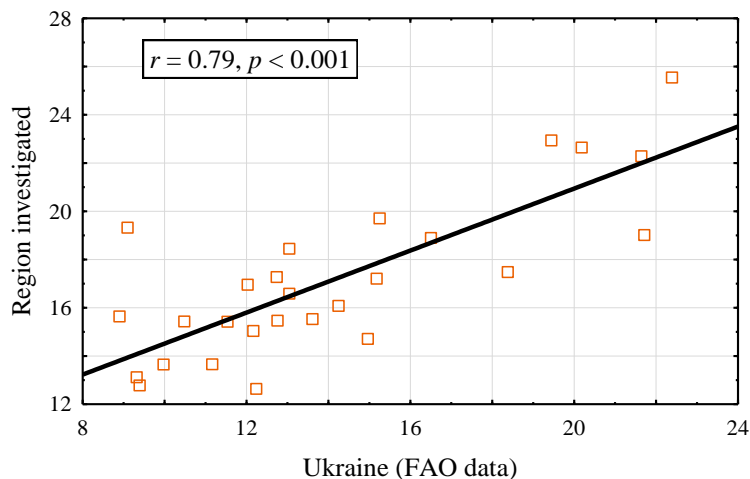
### 3.8. Аналіз динаміки урожайності соняшника на території Поліської та Лісостепової зон України

Соняшник (*Helianthus annuus* L.) входить у трійку найважливіших олійних рослин у світі (поряд із соєю та ріпаком) та є однією з двох найбільш продуктивних олійних культур у Європейському Союзі (разом із ріпаком). Звіт Департаменту сільського господарства Сполучених Штатів Америки дозволяє припустити, що Україна на даний час займає перше місце у виробництві соняшника в світі із часткою 29,3% (40,57 млн. тонн) в загальній світовій продукції соняшника [489]. Проте фактори навколишнього середовища

обмежують середню врожайність соняшнику в діапазоні 1,5–3,0 т/га. Хоча, згідно останніх досліджень [394], впровадження нових високопродуктивних сортів і гібридів та вдосконалення технологій вирощування соняшника для конкретних природно-кліматичних зон, забезпечить урожайність насіння соняшника 2,9–3,5 т/га. Також, подальше збільшення світового виробництва насіння соняшника очікується, в основному, з України без розширення посівних площ. Тому, аналіз просторової динаміки урожайності соняшнику є, наразі, надзвичайно актуальним питанням.



А



Б

Рис. 3.8.1. Динаміка урожайності соняшника за період 1991–2017 рр. в Україні та в досліджуваному регіоні (ц/га) (А); діаграма розкиду врожайності соняшника в Україні відносно врожайності соняшника у досліджуваному регіоні (Б)

Хоча для проведення досліджень ми брали лише частину території України, а саме 10 областей, які знаходяться у Поліській та Лісостеповій зонах

України, загальна динаміка урожайності соняшника в дослідженому регіоні та в цілому по Україні дуже подібні (рис. 3.8.1, А).

Більш того, нами встановлений статистично значимий сильний кореляційний зв'язок між показниками урожайності соняшника, що були надані FAO та тими, що були представлені управлінням статистики для регіону досліджень ( $r = 0,95$ ;  $p < 0,001$ ), що вказує на універсальність загальних закономірностей варіювання урожайності соняшника для всієї території України. Цікавим є також той факт, що, незважаючи на поступове зростання урожайності соняшника впродовж періоду досліджень, на сучасному етапі вона змінилася незначно порівняно з 90-ми роками минулого століття.

Середня урожайність соняшника на території 206 адміністративних районів Поліської та Лісостепової зон України варіювала в межах від 9,2 до 28,9 ц/га (рис. 3.8.2).

Найбільшою середньою урожайністю цієї культури характеризуються південно-східні райони, а найменшою – південні райони регіону досліджень (рис. 3.8.2). Коефіцієнт варіації урожайності соняшника приймає значення від 10,5% до 27,6%. Розмах урожайності соняшника незначний, порівняно із іншими дослідженими культурами, що свідчить або про те, що природно-кліматичні умови регіону досліджень майже однаково добре підходять для вирощування цієї культури або, що в кожному регіоні вирощуються гібриди цієї культури, які максимально адаптовані до місцевих умов.

Середній рівень врожайності соняшника та коефіцієнт варіації цього показника є просторово залежними (*I*-статистика Морана 0,69;  $p < 0,001$  та 0,50;  $p < 0,001$  відповідно).

Між середньою урожайністю та коефіцієнтом варіації існує залежність, яка описується квадратичною функцією (рис. 3.8.3). Причому, у районах із більш високими показниками середньої врожайності соняшника, коефіцієнт варіації нижчий. Ця закономірність була підтверджена і для інших культур, зокрема, для ріпаку, цукрового буряку, овочів відкритого ґрунту.



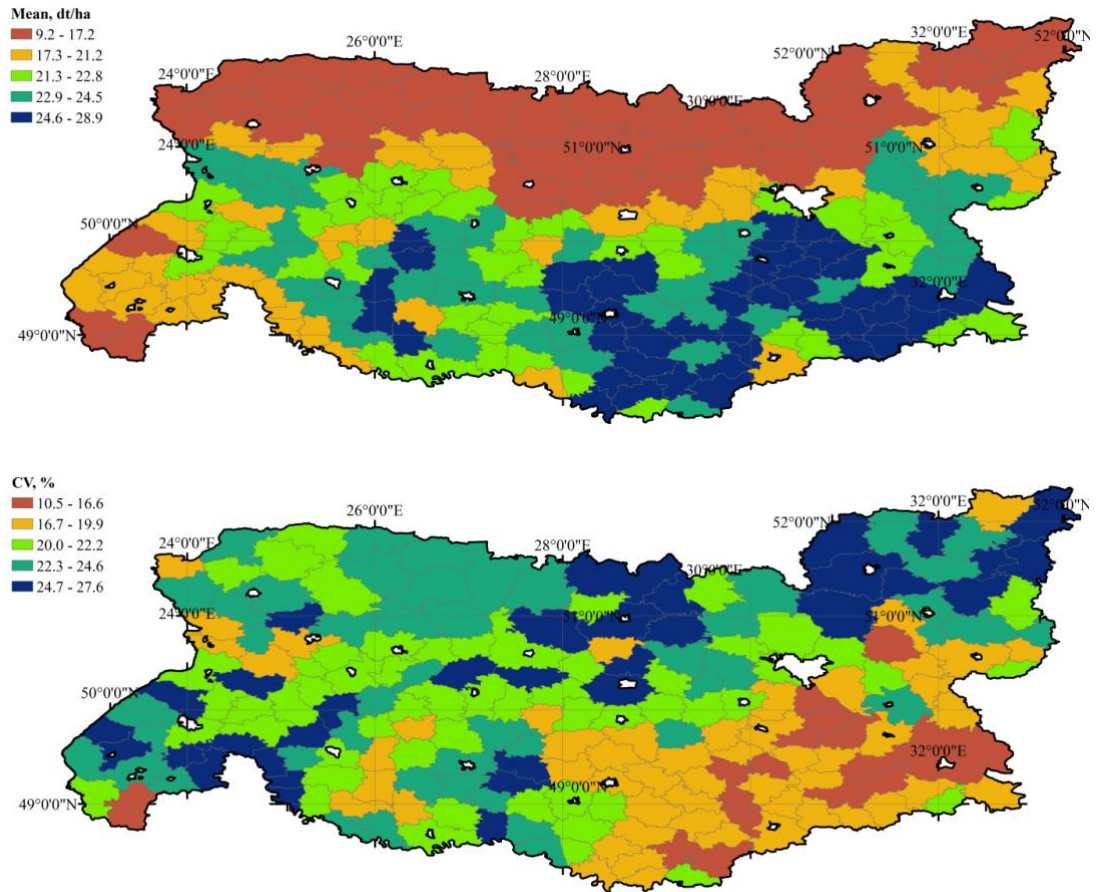


Рис. 3.8.2. Середній рівень урожайності та коефіцієнт варіації урожайності  
соняшника

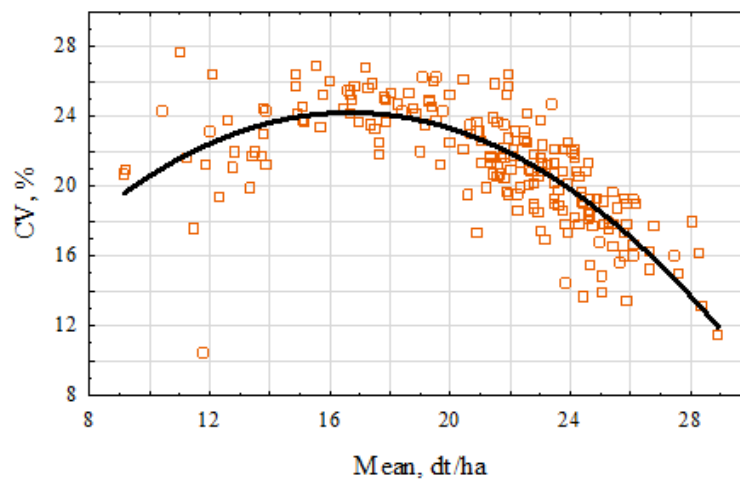


Рис. 3.8.3. Залежність між середнім рівнем врожайності соняшника та  
коефіцієнтом варіації цього показника

Переважаючими типами динаміки урожайності соняшника на території Поліської та Лісостепової зон є два тренди – кубічний і квадратичний (рис. 3.8.4).

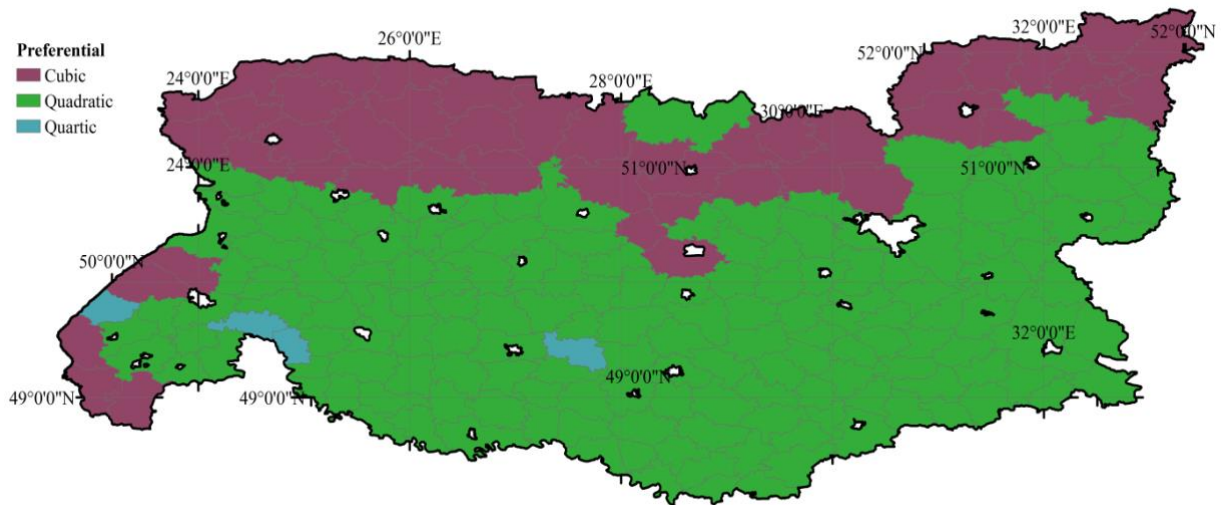


Рис. 3.8.4. Просторове варіювання типів динаміки врожайності соняшника

Кубічний тренд характерний для північної частини регіону, а для іншої – тренд квадратичний. Кубічний тренд вказує на зниження врожайності (або її стабілізацію) в кінці періоду досліджень, що характерно для північних районів регіону. На решті території динаміка зростання не досягла своєї точки насичення. Зниження урожайності соняшника може бути обумовлене дією лімітуючих факторів, що цілком закономірно для теплолюбної культури на півночі регіону.

Проте, в якості загального тренду урожайності для усіх сільськогосподарських культур нами був попередньо обраний поліном четвертого ступеня (рис. 3.8.5).

Даний тип рівняння досить вдало описує динаміку процесу, про що свідчать високі значення коефіцієнта детермінації (рис. 3.8.6). Оскільки нами встановлено, що природа тренду має агроекономічне та агротехнологічне походження, то вплив вищезгаданих факторів на урожайність соняшника становить 33–86%. Цей показник є просторово залежним (*I*-статистика Морана 0,38;  $p < ,001$ ).

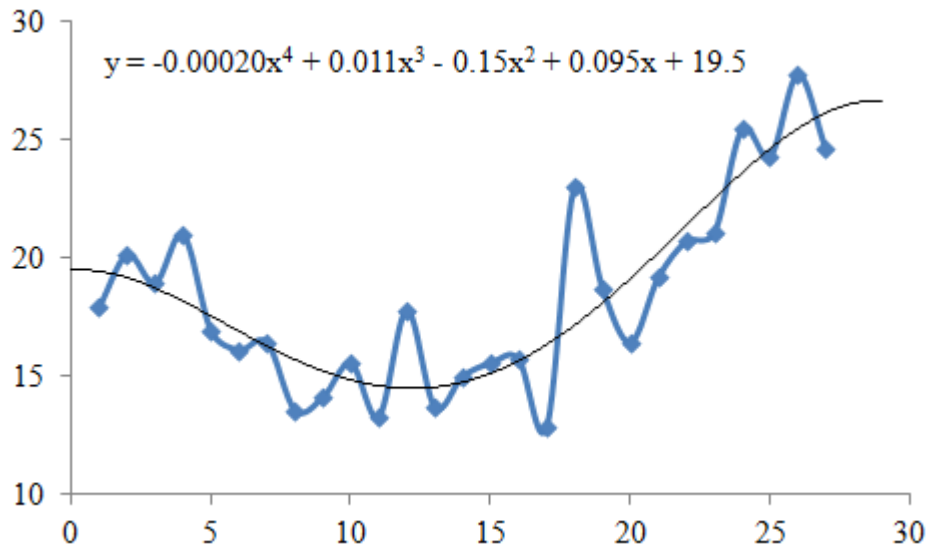


Рис. 3.8.5. Типова динаміка урожайності соняшника протягом 1991–2017 рр. та апроксимація тренду поліномом четвертого порядку.

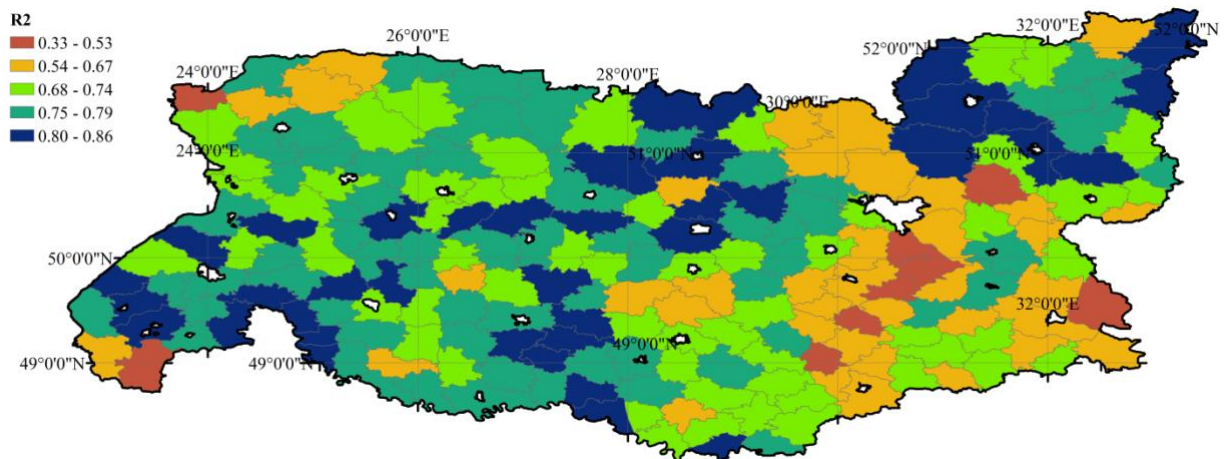


Рис. 3.8.6. Просторове варіювання коефіцієнта детермінації регресійної моделі врожайності соняшника

Показник урожайності соняшника у стартовий період досліджень варіює в межах 5,3–26,1 ц/га. Просторове варіювання значень коефіцієнту  $b$  (рис. 3.8.7) є просторово залежним ( $I$ -статистика Морана 0,66;  $p < 0,001$ ). Середній рівень врожайності за увесь період досліджень та стартовий рівень урожайності досліджуваної культури (коефіцієнт  $b$  поліноміального рівняння) значно позитивно зкорельовані ( $r = 0,92$ ;  $p < 0,001$ ).

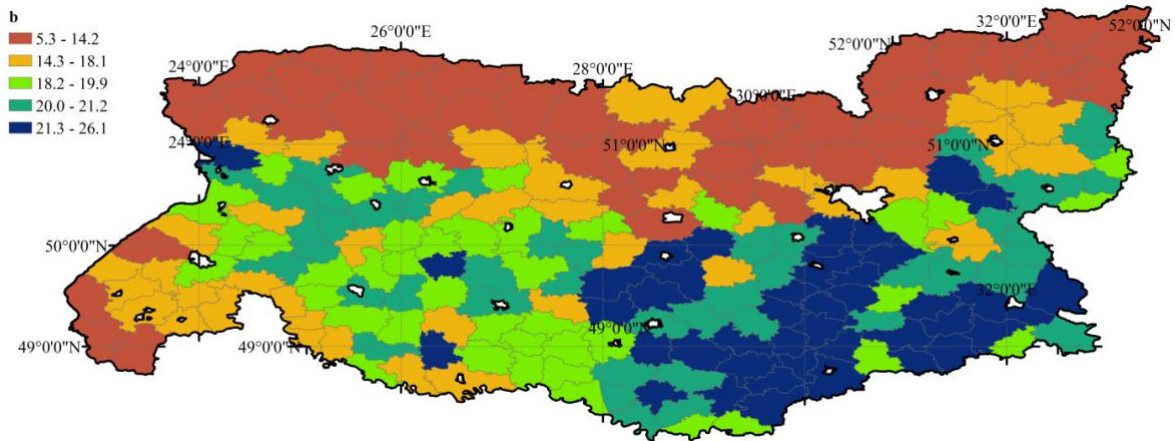


Рис. 3.8.7. Просторове варіювання урожайності соняшника в початковий період дослідження (константа  $b$  рівняння регресії)

Стартовий рівень врожайності від'ємно корелює із максимальною швидкістю зниження врожайності соняшника ( $r = -0,62$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 3.8.7). Швидкість зниження врожайності просторово залежна ( $I$ -статистика Морана  $0,41$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 3.8.8).

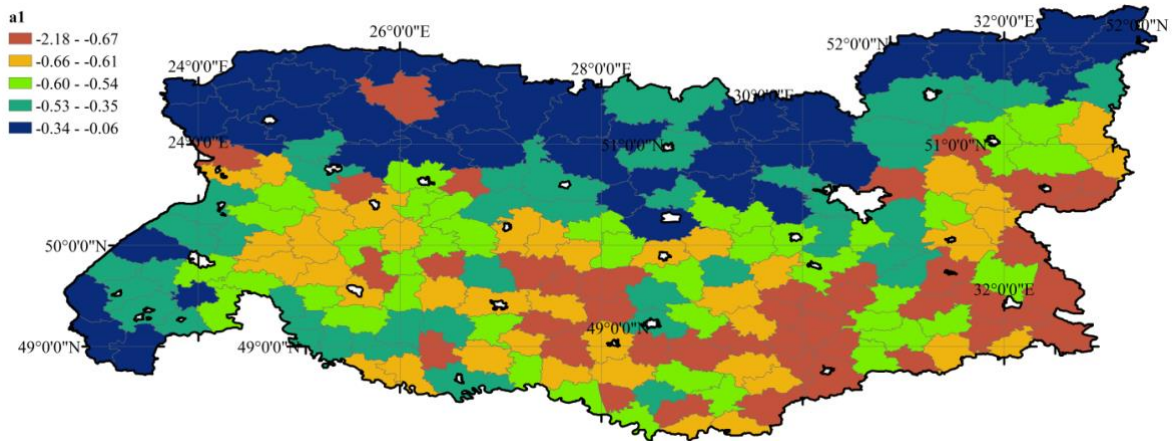


Рис. 3.8.8. Просторове варіювання максимальної швидкості зниження врожайності соняшника

Швидкість зростання врожайності соняшника пропорційна інтенсивності попереднього зниження ( $r = 0,55$ ;  $p < 0,001$ ). Інтенсивність зростання врожайності є просторово залежною ( $I$ -статистика Морана  $0,44$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 3.8.9).

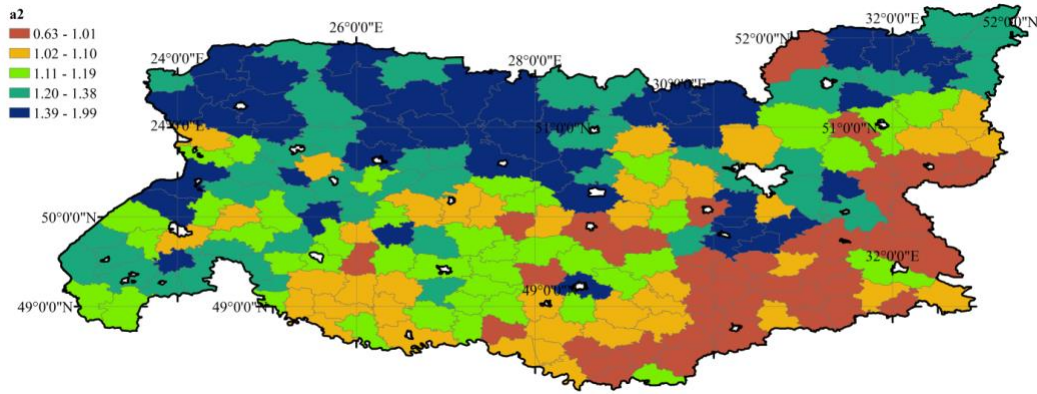


Рис. 3.8.9. Просторове варіювання максимальної швидкості зростання врожайності соняшника

Про значний потенціал виробництва насіння соняшника в Україні свідчить позитивна динаміка загальної врожайності культури за останні 27 років. Найбільшу середню урожайність та стартову врожайність цієї культури мають райони Вінницької та Черкаської областей. Примітно, що ці території мають найкращі природо-кліматичні умови для культивування цієї культури [394] і урожайність соняшника в цих районах найменше залежить від впливу агроекономічних та агротехнологічних факторів. У північних районах дослідженої території урожайність соняшника вийшла на плато, в той час як у південних районах є ще потенціал для зростання урожайності культури.

### Висновки до розділу

1. Порівнявши дані з урожайності сільськогосподарських культур, які надані Продовольчою і сільськогосподарською організацією ООН (FAO) та дані по урожайності у дослідженому регіоні, котрі ми отримали зі звітів Державної служби статистики України, з'ясували, що між середньою урожайністю основних культур в Україні та урожайністю у досліджуваному регіоні 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, незважаючи на обрання для досліджень лише частини її території.

2. Загальний тренд урожайності основних сільськогосподарських культур на території Поліської та Лісостепової зон України, може бути описаний поліномом четвертого ступеня. Дана модель динаміки найкраще описує варіювання врожайності культур у більшості досліджених адміністративних районах.

3. 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 та набуттям Незалежності. Трансформація виробничих відношень стала генератором чітко позначеного 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.

4. Для описання динаміки урожайності культур можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані особливі точки поліноміальної кривої четвертого порядку. Так, вільний член поліному вказує на урожайність досліджуваної культури в стартовий період. Він може бути індикатором сприятливих ґрунтово-кліматичних умов для вирощування конкретної культури. Існує статистично значимий кореляційний зв'язок між показником стартової та середньої урожайності для більшості досліджених культур. Показники максимальної швидкості зростання та зменшення врожайності є маркерами стабільності агроєкосистем до зовнішніх впливів. Значення функції у точці локального мінімуму ( $Y_{Min}$ ) вказує на «дно» динаміки урожайності культури. У часі спостережуване «дно» продуктивності досліджуваних сільськогосподарських культур співпало з соціально-

економічною кризою 90-х років минулого століття, яка виникла як продовження процесу розпаду СРСР.

5. 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 тренду можна інтерпретувати у якості показника значимості агротехнологічних та агроекономічних факторів у динаміці врожайності культури, а його картування дозволяє виділити території, які найбільш чутливі до цих факторів. Внесок агроекологічних (агротехнологічних) факторів варіювання урожайності коливається: для кукурудзи – 62–93%, сої – 7–89%, жита – 56–91%, картоплі – 65–88 %, цукрового буряку – 72–96%, овочів – 53–90%, ріпаку – 59–97%, соняшнику – 33–86%. Найбільш чутливою до впливу агроекологічних та агротехнологічних факторів культурою є цукровий буряк, а найменш чутливою – соняшник.

6. Встановлено факти знаходження агроекологічних систем різних регіонів України досить далеко від максимальних екологічних ємностей. При цьому функцію лімітуючих врожайність факторів виконують агроекономічні та агротехнологічні чинники. Загалом, Україна має потенціал стати надійним постачальником сільськогосподарських культур на світові ринки, якщо будуть виконані умови якісної перебудови виробництва, а це потребує економічних витрат та впровадження новітніх агротехнологічних підходів.

**РОЗДІЛ 4****ПРОСТОРОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ДИНАМІКИ УРОЖАЙНОСТІ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

Наявність тренду, математична форма якого є незмінною, вказує на наявність постійно діючих зовнішніх факторів на динаміку процесу. В якості такого фактору ми розглядаємо агроекономічні та агротехнологічні умови господарювання. Поряд з агроекономічними чинниками на варіювання урожайності культур вплив здійснюють агроекологічні фактори, які мають локальний характер. Оскільки встановлено, що загальний тренд варіювання урожайності визначається агроекономічними факторами, то залишки (викиди) моделі тренду, найбільш вірогідно, мають екологічну генезу, якщо довести, що вони є просторово-структурованими. З метою виявлення просторової компоненти варіювання залишків регресійних моделей урожайності культур був проведений аналіз головних компонент.

Сталий розвиток сільського господарства вимагає систематичного і адекватного планування землекористування. Агроекологічне районування є однією з найважливіших підстав для планування розвитку сільського господарства, оскільки процвітання або занепад певного виду землекористування або системи землеробства в певному регіоні значною мірою залежить від ретельної оцінки агрокліматичних ресурсів [417].

Агроекологічна зона – це територія з аналогічним перебігом екологічних процесів [461]. Звідси, під агроекологічним районуванням розуміють поділ площі (земельної ділянки) на менші одиниці, які мають подібні характеристики, пов'язані з продукційним потенціалом агроландшафтів та впливом на довкілля [417]. Врожайність культури є функціональним показником, який повною мірою відбиває складні взаємовідносини між рослиною та довкіллям [165]. Тому застосування врожайності як основного показника для агроекологічного районування цілком виправдано.

Проте, щоб уникнути асоціацій з класичним визначенням поняття «агроекологічна зона», яке розроблене ФАО, ми пропонуємо застосовувати



нове визначення – «агродинамічні кластери», для територій з однаковими частотними показниками варіювання урожайності під дією екологічних факторів. Дане визначення цілком відбиває сутність територіальних одиниць, які встановлені на основі залишків регресійних моделей варіювання врожайності культур за допомогою географічно зваженого аналізу головних компонент.

Хоча, на питання, які саме екологічні фактори найбільше впливають на продукційний потенціал сільськогосподарських ландшафтів, не можна дати однозначної відповіді, проте в роботі показано як на основі просторового варіювання урожайності культури під впливом екологічних факторів може здійснюватися районування території, а також нами визначені територіальні одиниці, на які вплив екологічних факторів є визначальним.

#### **4.1. Визначення просторових аспектів варіювання урожайності зернових та зернобобових культур під впливом екологічних факторів**

##### **Кукурудза**

Дія екологічних факторів проявляється у наявності викидів регресійної моделі урожайності кукурудзи, які і будуть матеріалом нашого подальшого дослідження. Аналіз головних компонент залишків регресійної моделі урожайності кукурудзи дозволив встановити, що за процедурою Горна (Horn, 1965) кількість статистично вірогідних головних компонент становить 5 (табл. 4.1.1).

*Таблиця 4.1.1.*

##### **Кукурудза. Результати глобального аналізу головних компонент**

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. 4.1.1). Це дозволяє змістовно інтерпретувати встановлені головні компоненти як коливальні процеси різної періодичності.

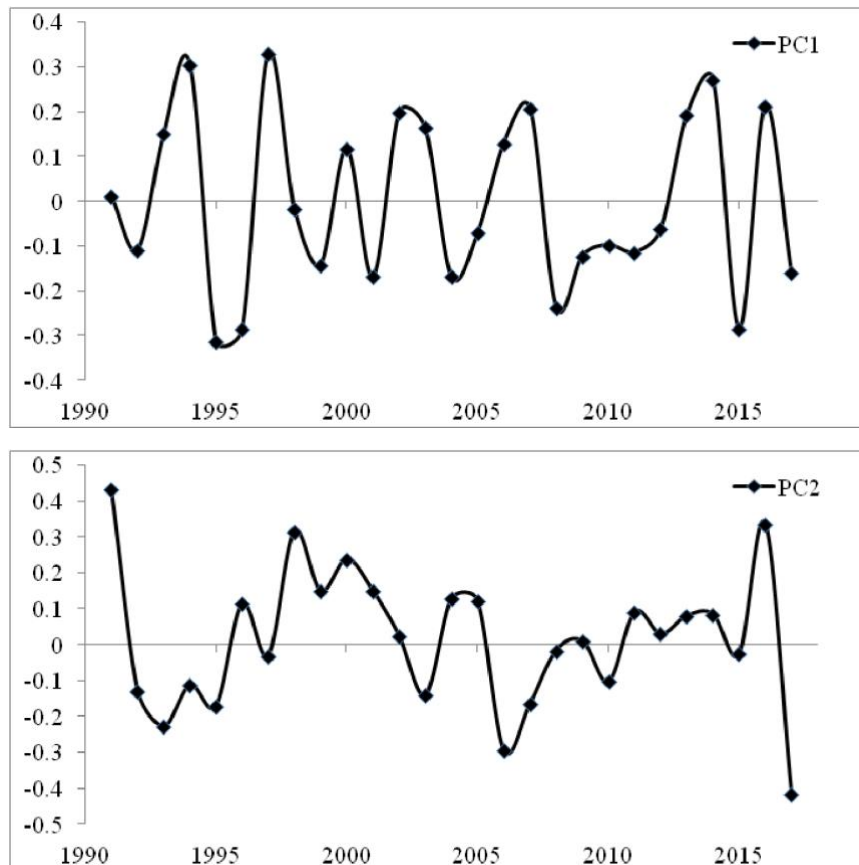


Рис. 4.1.1. Кукурудза. Значення навантажень головних компонент 1–2 на змінні

Так, головна компонента 1 описує 20,57% загальної варіабельності врожайності кукурудзи. Для головної компоненти 1 характерний переважаючий коливальний процес з періодом 3 роки. Також, слід зазначити,

що для головної компоненти 1 характерне 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. 4.1.2). Зони зі зниженими значеннями цієї головної компоненти знаходяться на півночі та заході регіону. Слід відзначити, що сенс знаків головної компоненти – умовний і він вказує тільки на узгодженість динаміки урожайності в адміністративних районах. Відповідно, у районах з однойменним знаком урожайність змінюється синхронно, тоді як протилежний знак вказує на протилежний напрямок динаміки.

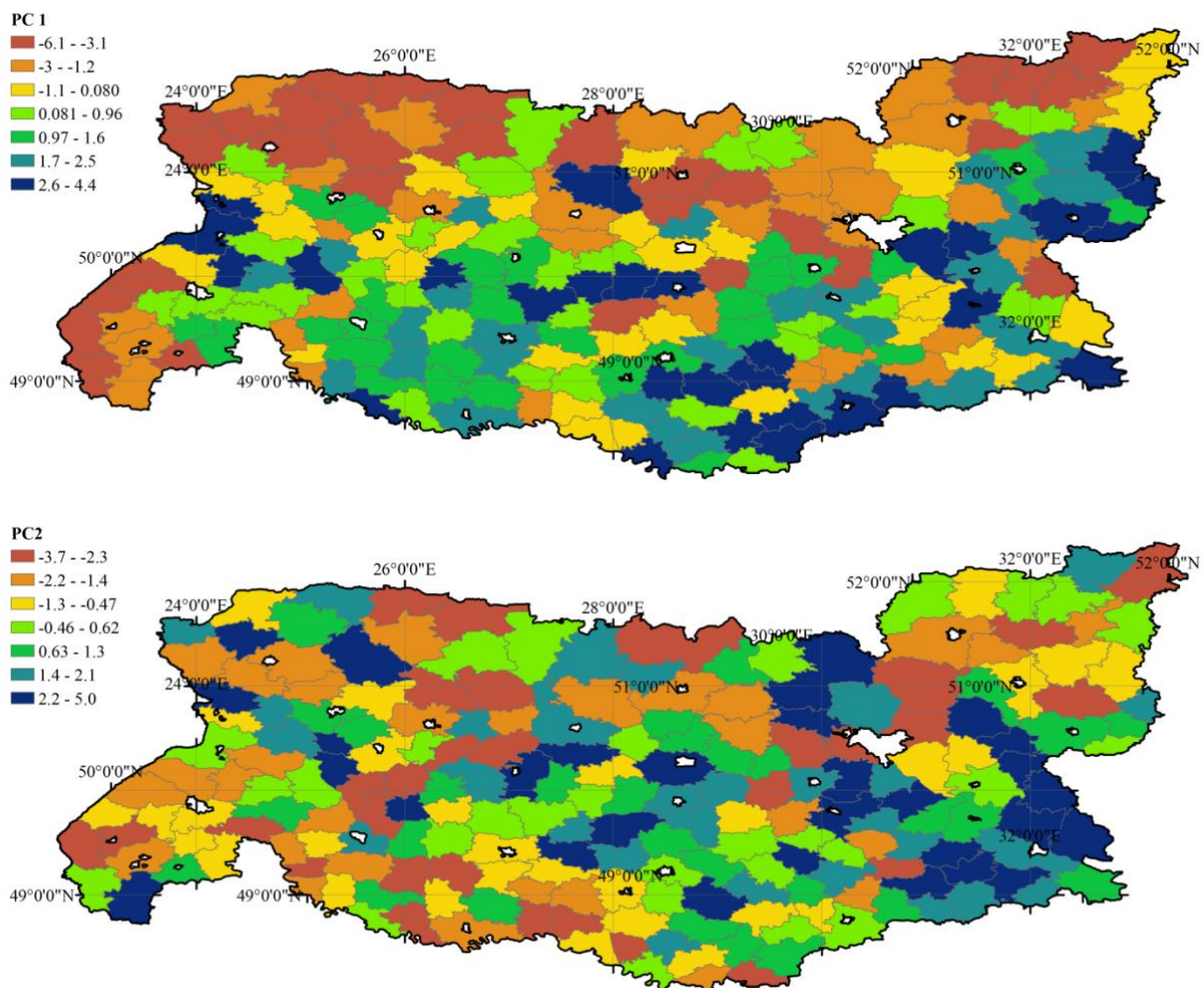


Рис. 4.1.2. Кукурудза. Просторове варіювання головних компонент 1–2

Головна компонента 2 пояснює 13,48% варіабельності простору ознак та для її коливання характерний коливальний процес з лагом 10 років. Для даного коливального процесу характерне затухання 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. 4.1.2).

Аналіз головних компонент дозволяє визначити основні статистичні характеристики регіонального розвитку сільського господарства та виявити внутрішньо ускладнені взаємодії між вибраними змінними [366]. У наших дослідженнях глобальний аналіз головних компонент виявив наявність динамічних процесів урожайності кукурудзи коливальної природи з різною частотою.

Умови зростання сільськогосподарських культур змінюються з часом внаслідок змін у природному середовищі та технологіях вирощування [371, 219]. Вважається [371], що серед екологічних чинників найбільший вплив на врожайність культур мають кліматичні фактори, такі як середньорічна кількість опадів, кількість сонячної радіації та температура вегетаційного періоду. Також, глобальне потепління негативно впливає на урожайність культур у глобальному масштабі [219, 480, 509]. Можна припустити, що головна компонента 2 (РСА 2), яка характеризується коливальним процесом протягом найдовшого періоду (10 років) обумовлена саме кліматичними змінними [343]. Для головної компоненти 1 процес коливання більш частий (3–4 роки). Процеси з високою частотою коливань можуть мати екологічне походження внаслідок таких явищ, як вплив хвороб та шкідників або вплив погодних аномалій, які, в свою чергу, обумовлюються впливом кліматичних факторів [519].

Для обох головних компонент, які ми використали у подальшому аналізі, характерне затухання 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

Для того, щоб встановити чи мають наші дані просторову складову варіювання, було проведено тест Монте-Карло. Як показано на рис. 4.1.3,  $p$ -рівень для тестування стандартного відхилення локальних власних чисел за результатами GWPCA становить 0,03. Це значення вказує, що існує високий рівень просторової нестационарності, який поданий у даних по врожайності кукурудзи. Отже, ці дані є придатними для проведення географічно-зваженого аналізу головних компонент.

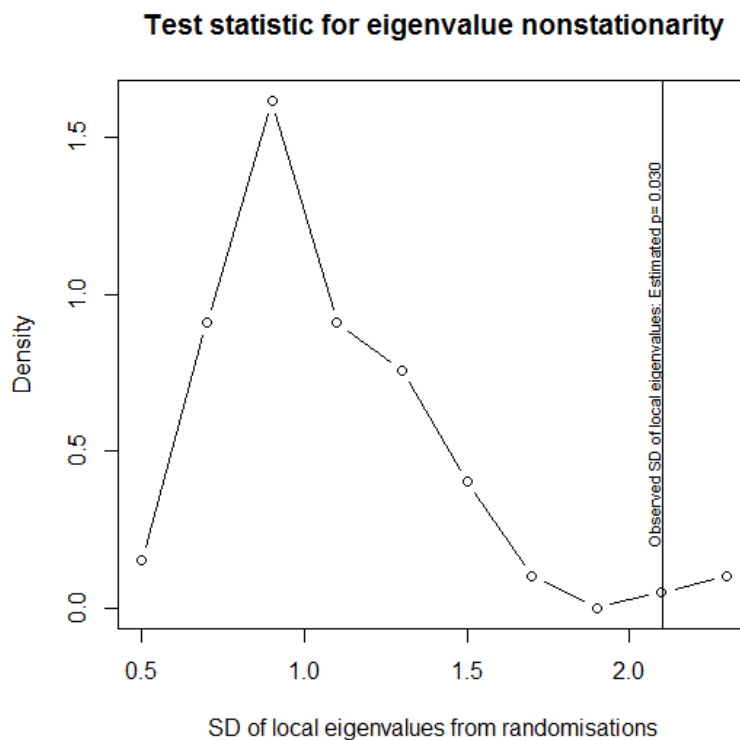


Рис. 4.1.3. Кукурудза. Тест Монте-Карло для GWPCA

Друге питання, яке необхідно вирішити перед проведенням GWPCA, – яку кількість головних компонент залишити [294]. Відповідно до 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, було встановлене оптимальне вікно пропускання з 54 найближчими сусідами, яке було обрано для виконання GWPCA процедури. 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. Процент просторового варіювання загальної варіації демонструє чітко виражену 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. 4.1.4). Порівняно з глобальним аналізом головних компонент, GWPCA демонструє свою ефективність та результативність в аналізі просторових патернів регіонального розміщення урожайності кукурудзи за допомогою картування просторової варіабельності головних компонент.

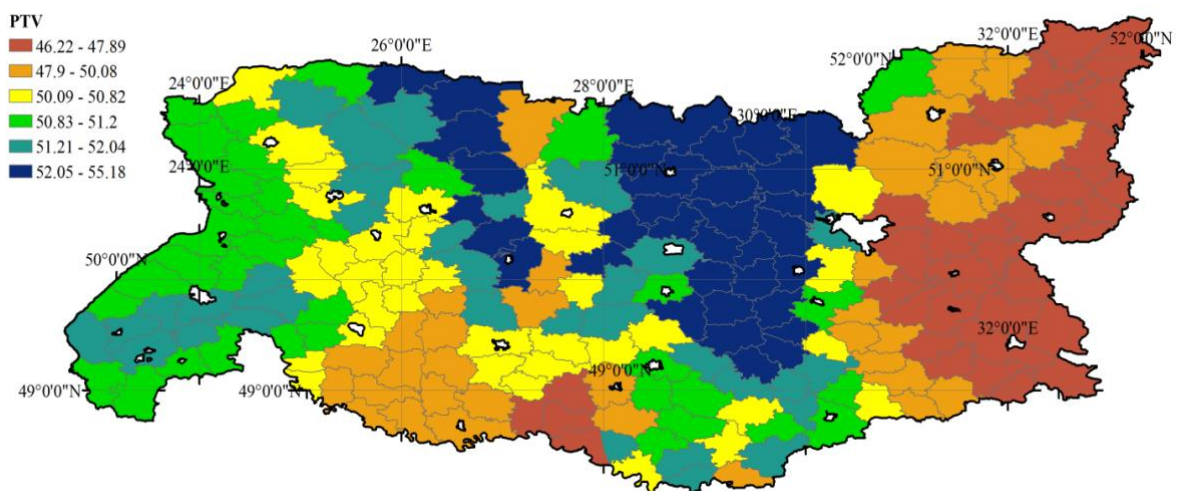


Рис. 4.1.4. Кукурудза. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших двох головних компонент (*percentage of total variance – PTV*)

Змінні з найбільшими навантаженнями та інтенсивність їх впливу можуть бути локально відображені [369]. 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 (Додаток 6, А). 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 кластера (рис. 4.1.5). Для кожного кластера були розраховані середні значення факторних навантажень, що дало змогу оцінити специфіку відповідних кластерів (рис. 4.1.6).

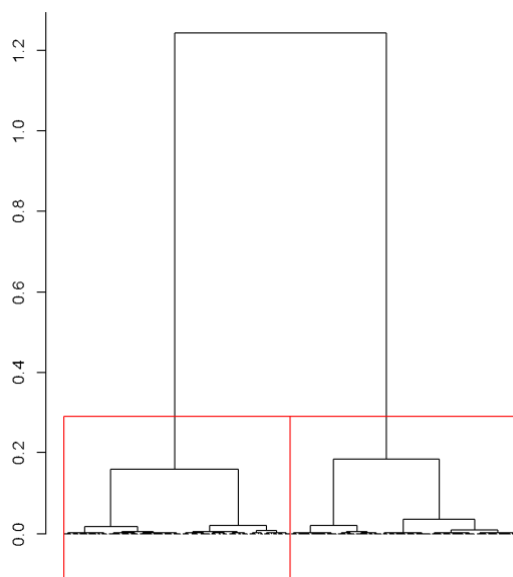


Рис. 4.1.5. Кукурудза. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1

Встановлені кластери та їх профільні розподіли факторних навантажень дають уявлення про перебіг процесів, які характерні для відповідного кластеру. Часові відмінності у перебігу процесів незначні (рис. 4.1.6). Ці два процеси сильно зкорельовані ( $r = 0,98$ ;  $p < 0,001$ ).

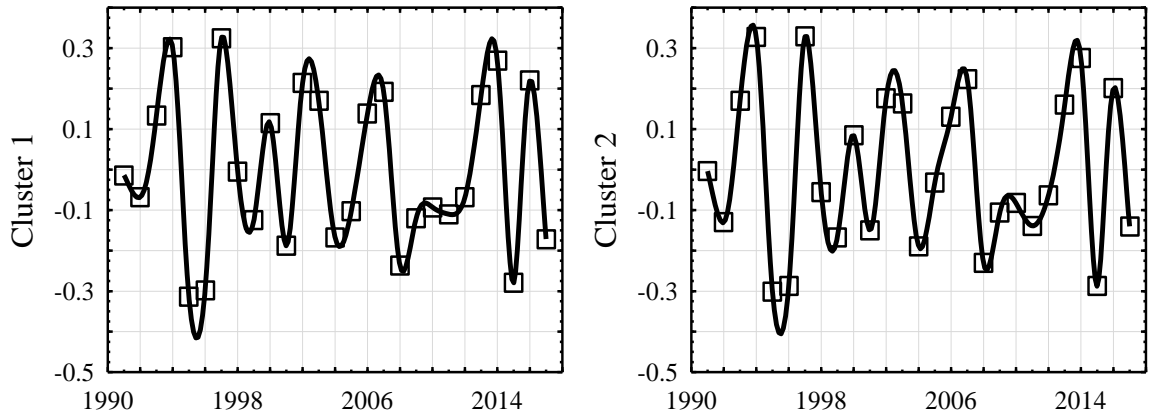


Рис. 4.1.6. Кукурудза. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–2. Вісь абсцис – роки, вісь ординат – факторні навантаження

Просторове розміщення адміністративних районів, які включені у відповідні кластери, є просторово регулярним і ділить територію практично навпіл (рис. 4.1.7).

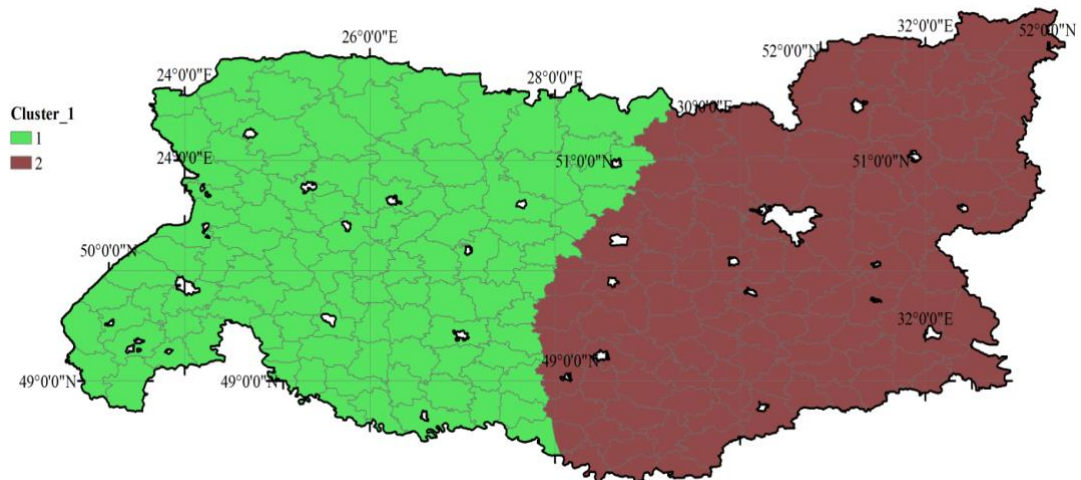


Рис. 4.1.7. Кукурудза. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1



Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2 дозволив встановити три гомогенних кластера (рис. 4.1.8).

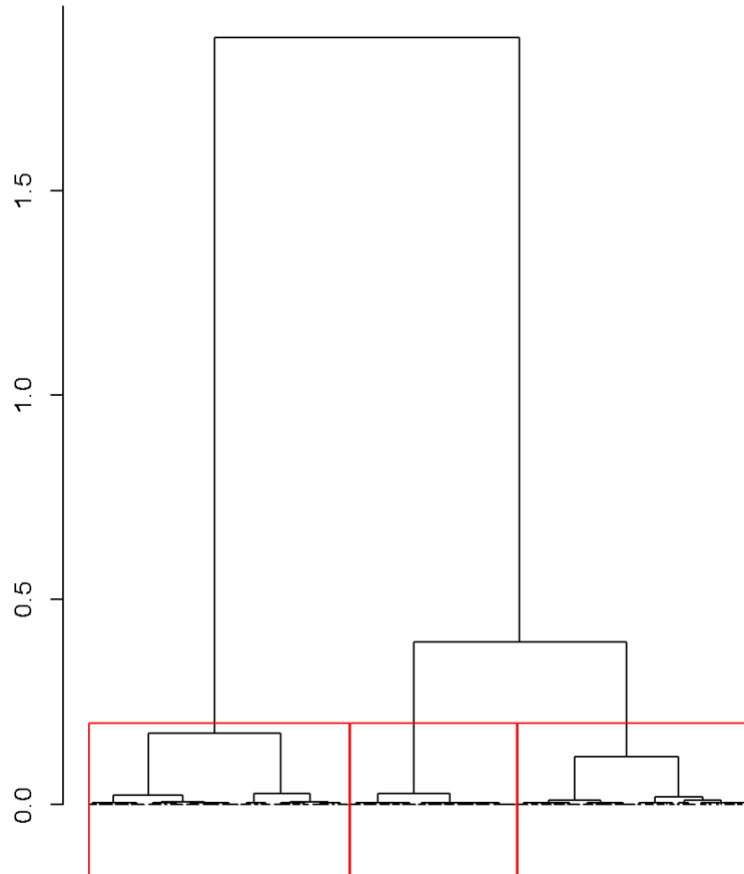


Рис. 4.1.8. Кукурудза. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2

Для кожного кластера були розраховані середні значення факторних навантажень, що дало змогу оцінити специфіку відповідних кластерів (рис. 4.1.9). Усі три кластера мають подібну динаміку коливань, що говорить про схожість та взаємообумовленість процесів, які їх визначають. У просторовому аспекті ці кластери розділяють досліджену територію майже на три рівні ділянки (рис. 4.1.10): кластер 1 займає центральну частину, кластер 2 – займає східну, а кластер 3 – західну частину території.

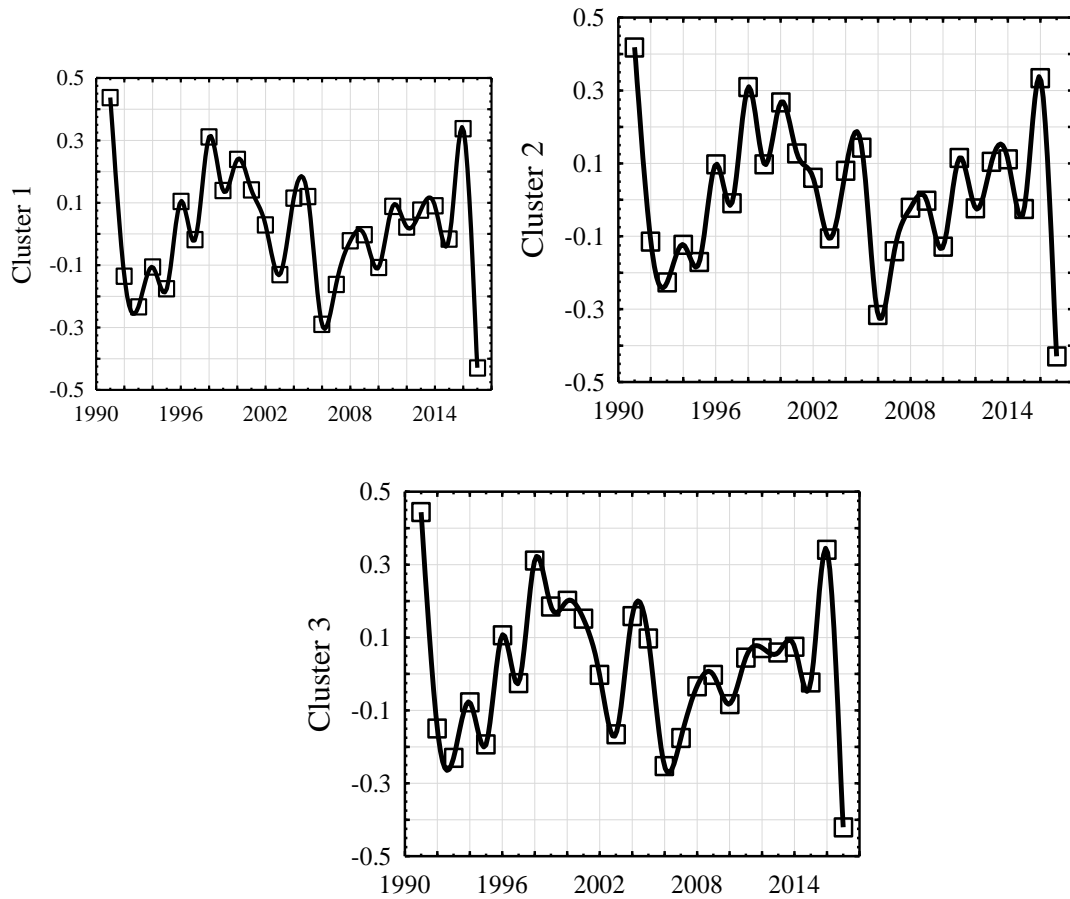


Рис. 4.1.9. Кукурудза. Середні значення факторних навантажень GWPC 2 для кластерів 1–3

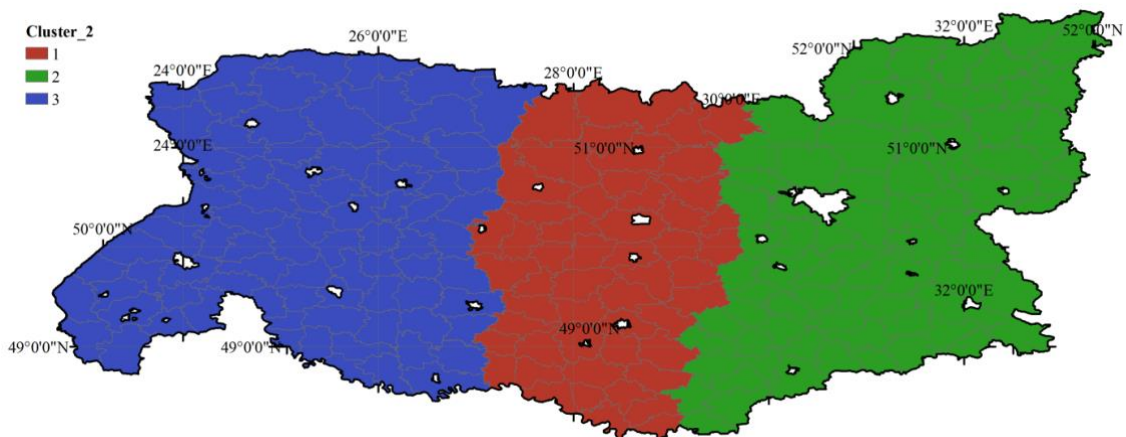


Рис. 4.1.10. Кукурудза. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 2

Застосування методу головних компонент для аналізу динаміки врожайності базується на припущенні одноманітності характеру

взаємозв'язків у межах усієї дослідженої території. Географічно-зважений аналіз головних компонент дозволяє дослідити локальні патерни у динаміці врожайності сільськогосподарських культур, і, зокрема, кукурудзи. Локальні моделі характеризуються більшою пояснювальною здатністю, ніж тотальна модель, що цілком закономірно, оскільки урахування локальної специфіки дозволяє більш предметно віддзеркалити реальність. Але застосування такого підходу викликає певні методичні труднощі для змістовної інтерпретації [346]. Найбільш поширений прийом – картографування «виграшних» змінних – не є придатним у випадку аналізу часових рядів [366]. Тому на основі наближених типів локальної динаміки нами проведено кластерний аналіз для кожної головної компоненти і застосовано саме картографування цих кластерів. Такий підхід має певні переваги. Так, за допомогою картування кластерів, можна встановити екологічно гомогенні території, де динаміка екологічних процесів однакова [461]. Ці території за своєю суттю є агродинамічними зонами щодо впливу екологічних факторів. Також, запропонований нами методичний прийом надає можливості змістовно інтерпретувати одержані кластери за допомогою дослідження динаміки кожного кластера у часі. Якщо паралельно накладати карти кліматичних змін, родючості ґрунтів, ландшафтного біорізноманіття тощо, то можна виявити екологічні детермінанти врожайності культури, у нашому випадку – кукурудзи. Отже, застосування географічно-зваженого аналізу головних компонент щодо даних врожайності кукурудзи дозволяє провести агроекологічне зонування території та виявити динамічні аспекти детермінантів врожайності. Ці ж підходи ми застосували і до інших досліджуваних культур.

### Соя

Нами досліджена урожайність сої по 206 адміністративним районам для 27 змінних (років). Індекс Кайзера-Мейера-Олкіна (КМО) був застосований для усього об'єму даних, щоб визначити адекватність зібраних матеріалів для

проведення аналізу головних компонент. КМО дорівнює 0,63 тому, відповідно до емпіричного правила Кайзера [323], досліджені дані слід визнати придатними для проведення аналізу головних компонент «помірно».

Аналіз головних компонент залишків регресійної моделі урожайності сої дозволив встановити, що за процедурою Горна [305], кількість статистично вірогідних головних компонент становить 4. Разом перші чотири головних компоненти пояснюють 58% загальної варіабельності простору ознак (табл. 4.1.2).

Таблиця 4.1.2.

### Соя. Результати глобального аналізу головних компонент

Головна компонента	Налаштоване* власне значення	Власне значення	Зсув	Пояснена варіація	Стандартне відхилення
1	8,30	9,04	0,73	33,47	3,00
2	2,45	3,08	0,62	11,39	1,75
3	1,33	1,86	0,54	6,90	1,36
4	1,21	1,67	0,46	6,20	1,29

Позначки: \* – за процедурою Горна

Змінні, які застосовані в аналізі головних компонент, є порядковими величинами – роками, тому навантаження головних компонент на змінні можуть бути подані як динамічні зміни у часі (рис. 4.1.11) і головні компоненти інтерпретуються як коливальні процеси різної періодичності. Так, головна компонента 1 описує 33,47% загальної варіабельності врожайності сої. Для неї властивий переважний коливальний процес з періодом 5 років. Також спостерігається чітка тенденція до затухання коливального процесу для цієї компоненти протягом періоду досліджень.

Варіювання головної компоненти 1 чітко просторово детерміновано (статистика *I*-Морана 0,29;  $p = 0,001$ ). Зони з підвищеними значеннями головної компоненти 1 формують кластери у деяких районах півночі досліджуваного регіону, а також на заході (рис. 4.1.12). Зона зі зниженими значеннями головної компоненти формує чіткий кластер у південно-східному напрямку від центру регіону.

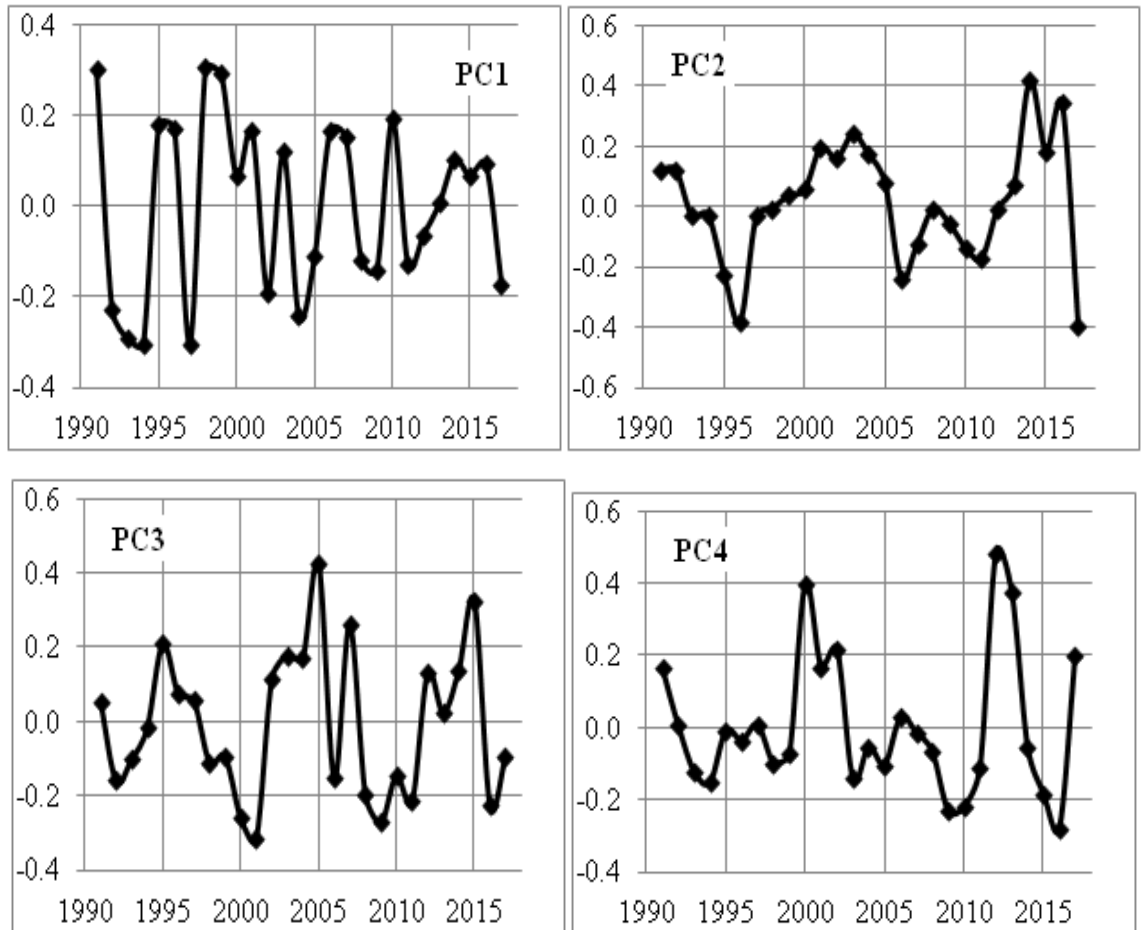


Рис. 4.1.11. Соя. Значення навантажень головних компонент 1–4 на змінні

Головна компонента 2 пояснює 11,39% варіабельності простору ознак та для її коливання характерний період 10 років. Ця компонента демонструє просторово закономірні патерни варіювання (статистика *I*-Морана 0,48;  $p = 0,001$ ). Кластери з підвищеними значеннями головної компоненти 2 розміщені у південно-східних та північно-західних районах регіону, а з пониженими – у північно-західних та південно-східних.

Головна компонента 3 пояснює 6,9% варіабельності урожайності сої; для неї характерне коливання з періодом 9–10 років. Висока просторова складова цієї головної компоненти підтверджується статистикою *I*-Морана (0,28;  $p = 0,001$ ). Кластери з підвищеними значеннями головної компоненти 3 характерні для північного заходу та сходу, а з пониженими значеннями – для південного сходу.

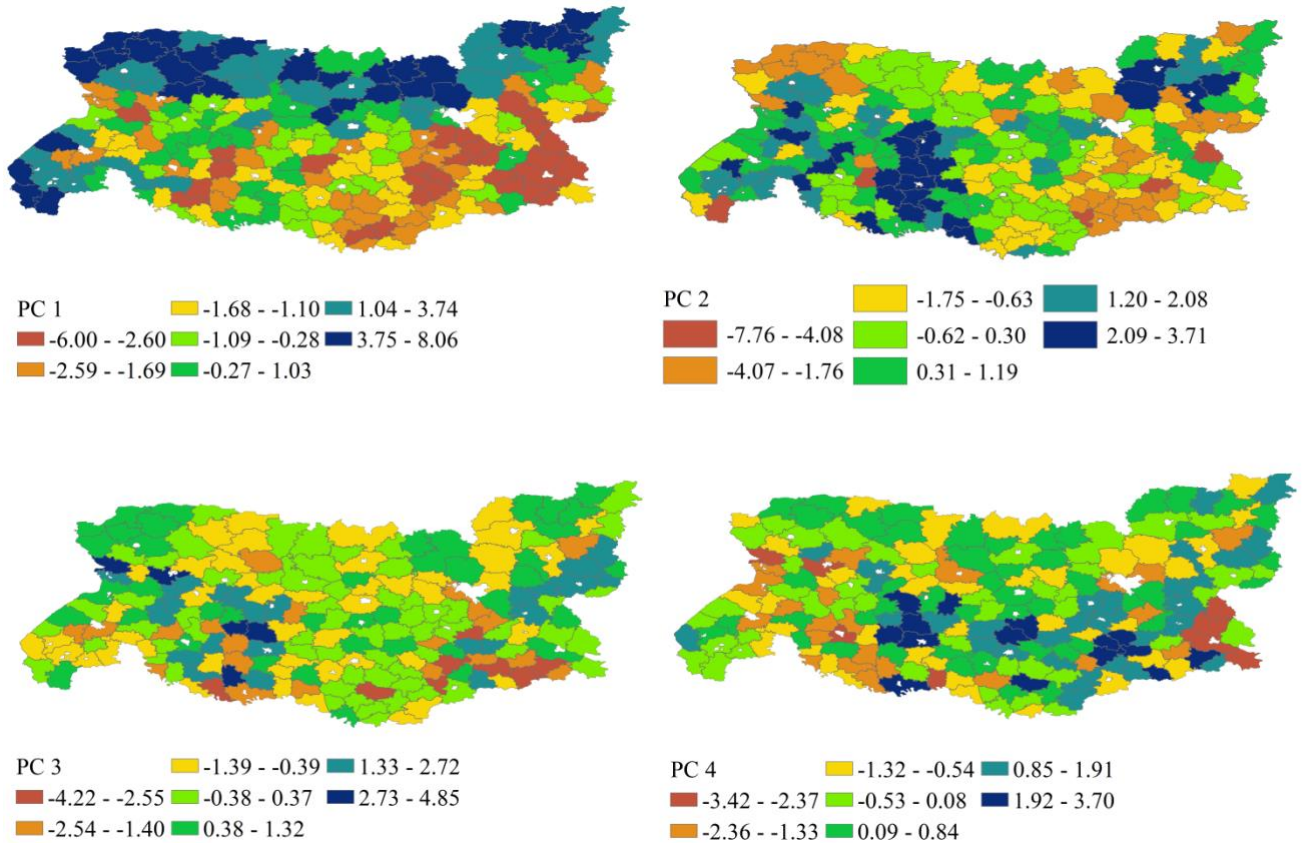


Рис. 4.1.12. Соя. Просторове варіювання головних компонент 1–4

Головна компонента 4 описує 6,20% варіабельності простору ознак. Для її коливань у часі найбільшою мірою характерний також період 8–9 років. Просторові патерни цієї компоненти є статистично вірогідними (статистика *I*-Морана 0,29;  $p = 0,001$ ). Кластери з підвищеними значеннями головної компоненти 4 характерні для центра та сходу регіону, а з пониженими – для заходу.

Таким чином, глобальний аналіз головних компонент виявив наявність динамічних процесів урожайності сої коливальної природи з різною частотою.

Аналіз головних компонент залишків регресійної моделі часового тренду дозволив встановити, що серед безлічі екологічних факторів, найбільше на врожайність сої впливають чотири головні компоненти. Специфікація та дослідження походження цих головних компонент планується в наших подальших дослідженнях. Але на цьому етапі можна

довести наявність чотирьох просторово детермінованих процесів, що впливають на врожайність сої та мають коливальну динаміку різної періодичності.

### Географічно-зважений аналіз головних компонент

За допомогою тесту Монте-Карло встановлено, що власні числа матриці даних характеризуються просторовою складовою варіювання ( $p = 0,01$ ) (рис. 4.1.13). Отже, існує високий рівень просторової нестационарності, який поданий у даних по врожайності сої.

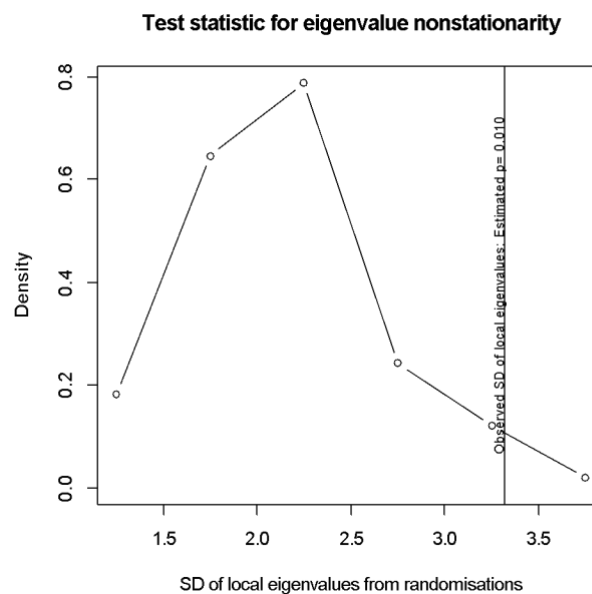


Рис. 4.1.13. Соя. Тест Монте-Карло для GWPCA

Результати попереднього глобального аналізу головних компонент вказують на те, що перші чотири компоненти здатні разом пояснити 58% варіації в структурі даних. Відповідно, обґрунтованим є рішення залишити чотири компоненти для подальшої процедури GWPCA. Але, з метою порівняння, були інтерпретовані тільки дві перші головні компоненти GWPC 1 та GWPC 2.

Результати процедури GWPCA можуть бути візуалізовані та інтерпретовані фокусуючись на тому, як розмірність даних просторово варіює та як вихідні змінні впливають на головні компоненти. Процент просторового

варіювання загальної дисперсії демонструє чітко виражену мінливість, при цьому формуються просторово однорідні кластери у меридіональному напрямку. У порівнянні з глобальним аналізом головних компонент, GWPCA демонструє свою ефективність та результативність в аналізі просторових патернів регіонального розміщення урожайності сої за допомогою картування просторової варіабельності головних компонент (рис. 4.1.14).

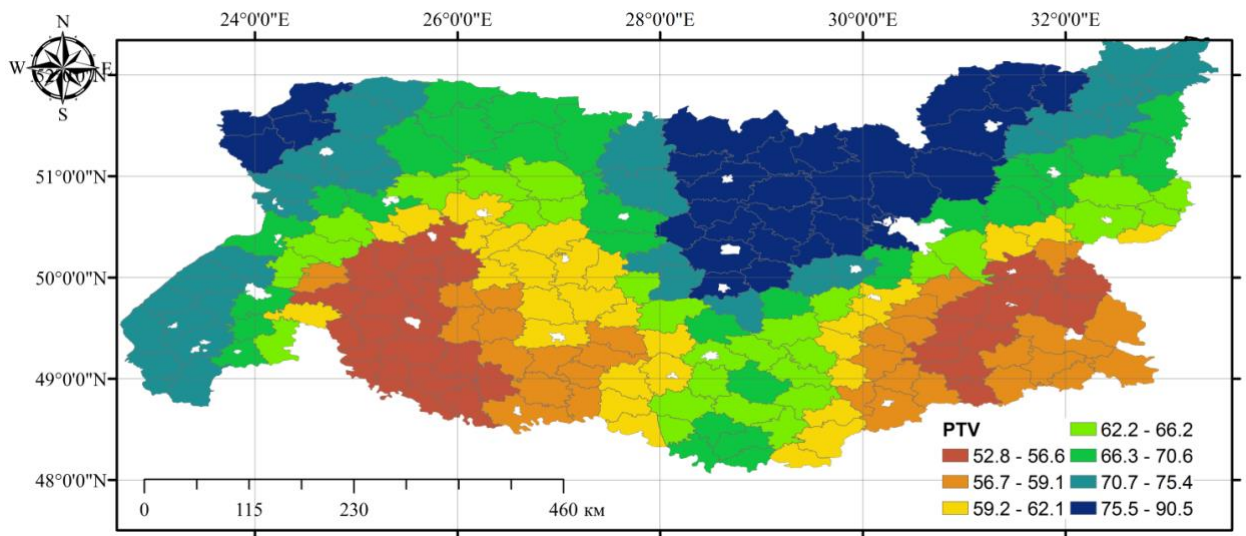


Рис. 4.1.14. Соя. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших чотирьох головних компонент (*percentage of total variance – PTV*)

Оскільки змінні з найбільшими навантаженнями та інтенсивність їх впливу можуть бути локально відображені [369], то можемо показати як кожна із змінних локально впливає на дану компоненту картуванням «виграшних» змінних, тобто таких, які мають найбільші абсолютні навантаження. На рисунку 5.1.15 показано просторовий розподіл змінних з найбільшим абсолютним навантаженням головних компонент GWPC 1–4 відповідно.

Для кожної із статистично достовірних головних компонент нами проведена процедура класифікації адміністративних районів за допомогою кластерного аналізу. Сукупності адміністративних районів, які характеризуються подібною динамікою врожайності, а також географічно



наближені – формують однорідні кластери, які за своєю сутністю є екорегіонами.

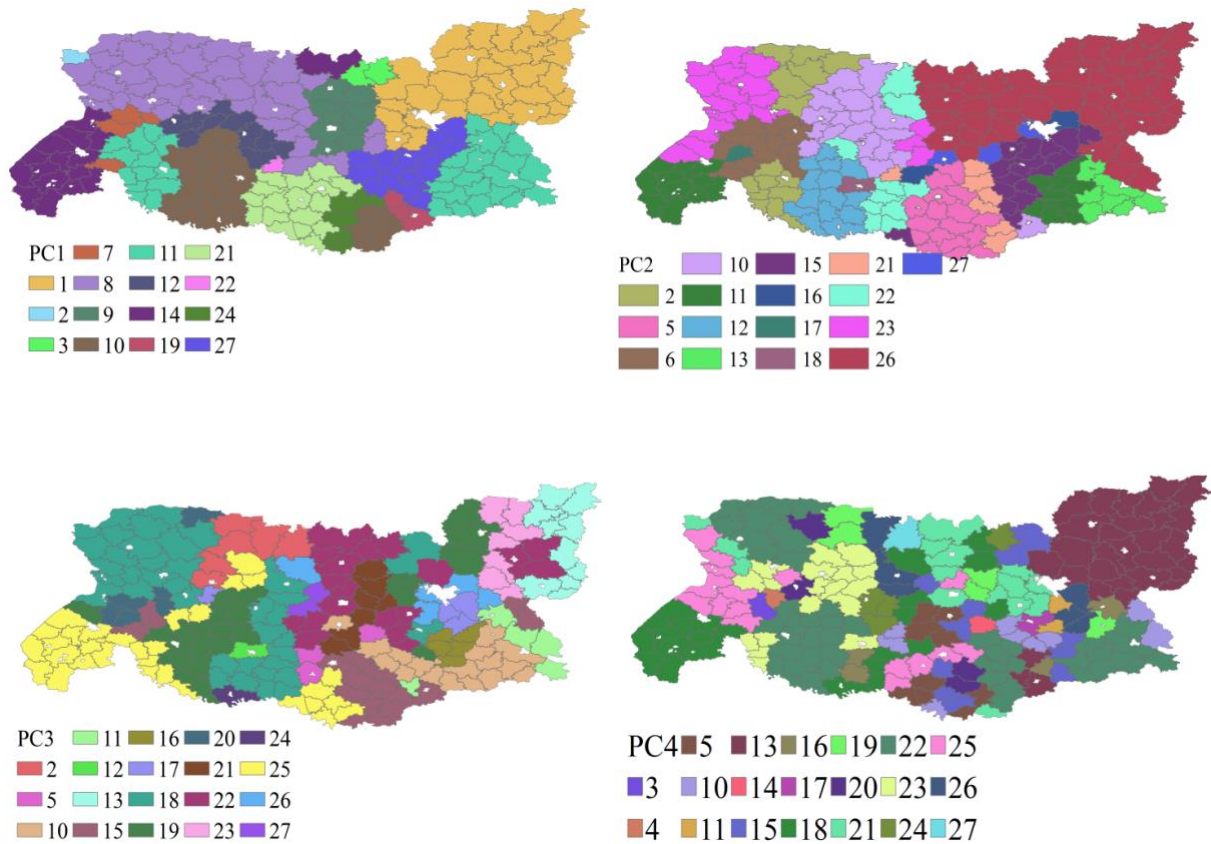


Рис. 4.1.15. Соя. Просторове розміщення «виграшних» змінних для головних компонент 1–4

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1 дозволив встановити три гомогенних кластера (рис. 4.1.16). Для кожного кластера були розраховані середні значення факторних навантажень, що дало змогу оцінити специфіку відповідних кластерів (рис. 4.1.17).

Очевидно, загальною тенденцією головної компоненти 1 є згасання амплітуди коливань впродовж досліджуваного періоду та переважання високочастотних компонентів коливальної динаміки, що відповідає неоднорідності спостережень у часі або гетероскедастичності. Таким чином, тест Кенкера-Бассета для кластерів 1 і 3 вказує на гетероскедастичність

часової динаміки факторних навантажень (1,17;  $p = 0,28$  і 1,35;  $p = 0,24$ , відповідно). Для кластера 2 встановлено гетероскедастичність (5,09;  $p = 0,024$ ). Таким чином, якісною особливістю динаміки врожайності сої у відповідних кластерах є різний рівень загасання коливань головної компоненти 1 у часі.

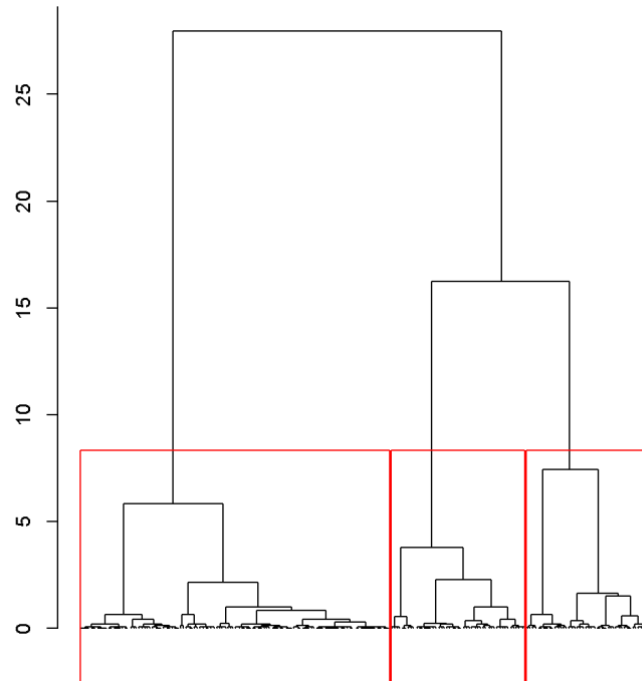


Рис. 4.1.16. Соя. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1

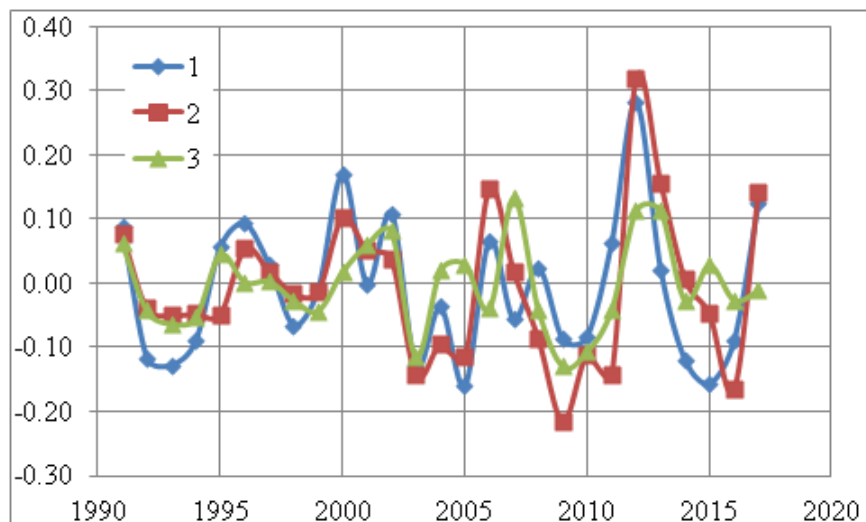


Рис. 4.1.17. Соя. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–3. Вісь абсцис – первинні змінні (залишки регресійних моделей тренду врожайності сої по роках); вісь ординат – факторні навантаження

Просторовий розподіл адміністративних районів, що входять до відповідних кластерів, є просторово регулярним (рис. 4.1.18). Кластер 3 охоплює більшу частину України і розташований на півночі, в центрі та на заході досліджуваної території, а кластери 1 і 2 займають південну частину.

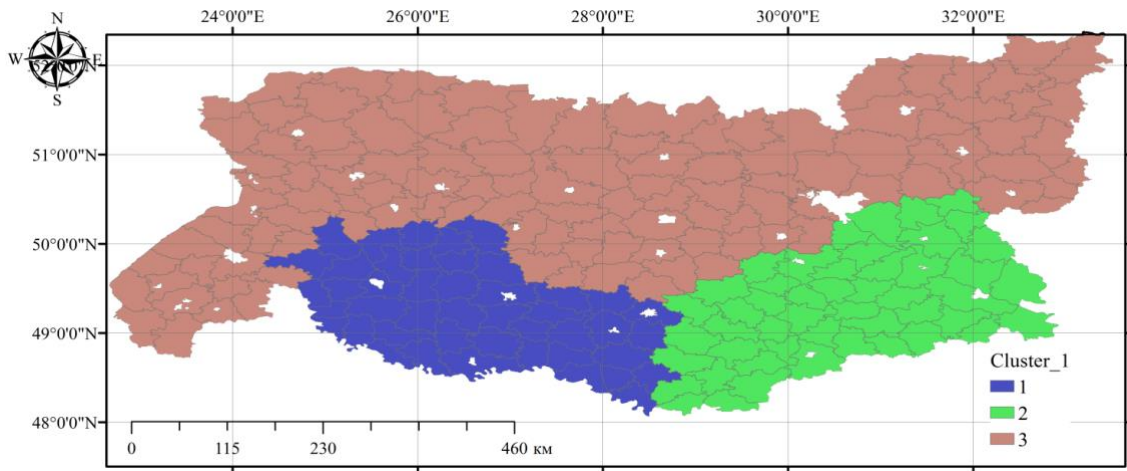


Рис. 4.1.18. Соя. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1

Кластерний аналіз значень коефіцієнтів навантажень GWPC 2 виявив чотири однорідних кластера (рис. 4.1.19).

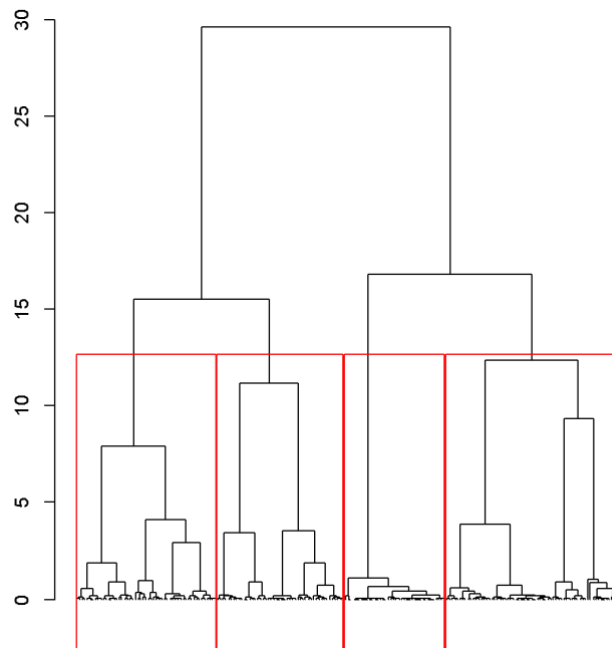


Рис. 4.1.19. Соя. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2

Для кожного кластера ми розрахували середні значення факторних навантажень, що дозволило оцінити специфічність відповідних кластерів (рис. 4.1.20). Для кластерів 1 і 3 згасання амплітуди спостерігаються впродовж досліджуваного періоду, а для кластерів 2 і 4 – в середині періоду дослідження.

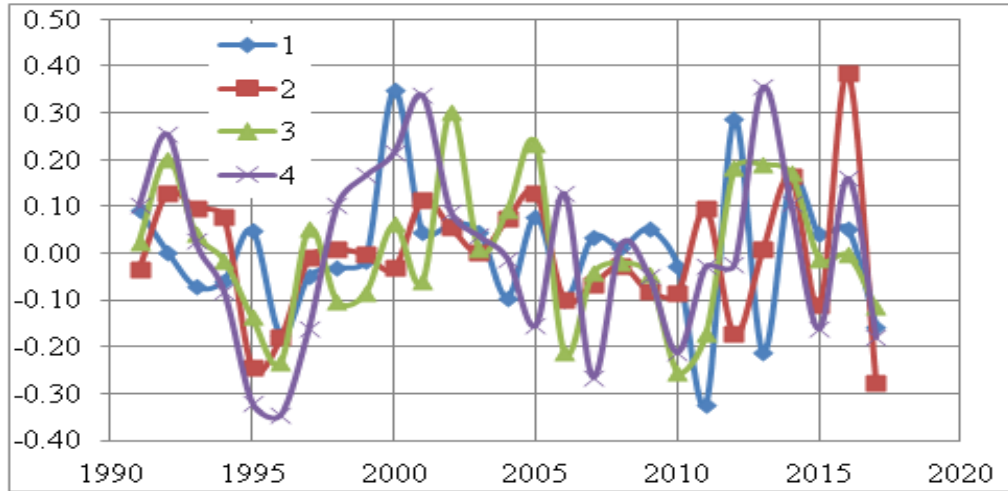


Рис. 4.1.20. Соя. Середні значення факторних навантажень GWPC 2 для кластерів 1–4. Вісь абсцис – первинні змінні (залишки регресійних моделей тренду урожайності по роках); вісь ординат – факторні навантаження

У просторовому аспекті кластер 4 займає західну частину досліджуваного регіону. Кластери 1, 2 і 3 є дизруптивними, тому кластер 1 переважно розташований в центрі, кластер 2 – на сході, а кластер 3 – на південному заході регіону (рис. 4.1.21).

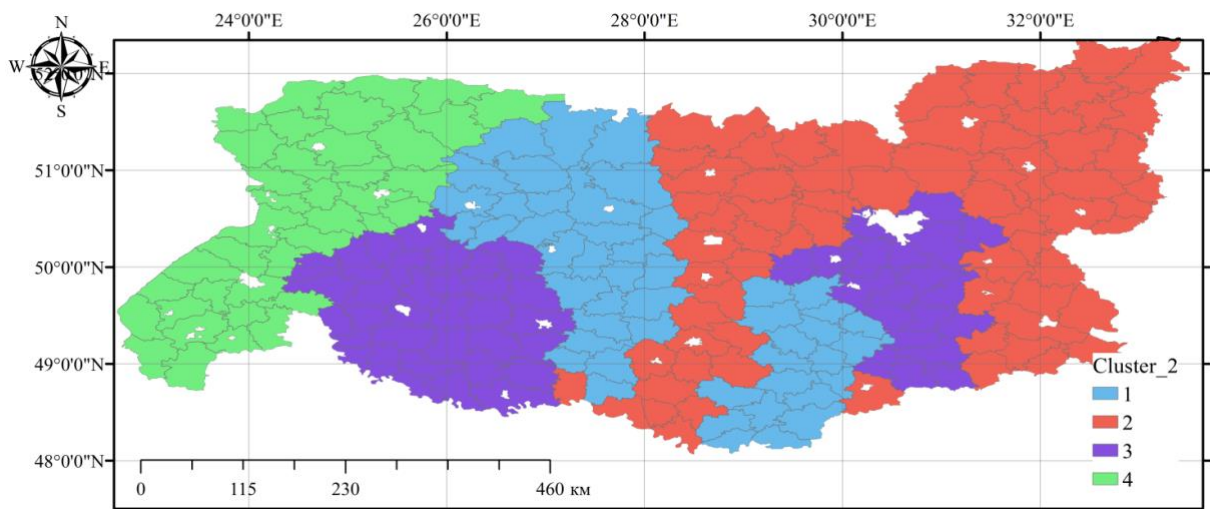


Рис. 4.1.21. Соя. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 2

Головна компонента 1 (РСА 1) пояснює більшу частину варіабельності врожайності сої (33,5%). Вона характеризується коливальною динамікою з періодом 5 років і має природу нерегулярної складової. Головна компонента 2 (РСА 2) має амплітуду коливань 8–10 років. Основні компоненти є просторово неоднорідними і розділяють територію України на 4 зони, які характеризуються різною чутливістю врожаю сої до факторів навколишнього середовища. Такі територіальні кластери можна визначити як агроекологічні зони. Оскільки агроекологічна зона є територією з подібним ходом екологічних процесів [461], то агроекологічне районування означає поділ ділянки землі на менші одиниці, які мають подібні характеристики, пов'язані з потенціалом придатності землі до виробництва та впливу на навколишнє середовище [417]. Урожайність є функціональним показником складних відносин між рослинами та їх навколишнім середовищем [165]. Тому застосування врожаю як основного показника агроекологічного районування цілком виправдане.

### **Жито озиме**

Регресія за допомогою поліному четвертого порядку пояснює значну частину дисперсії урожайності жита. У подальшому аналізі будуть застосовані залишки регресійної моделі, що мають екологічну природу.

Індекс Кайзера-Мейера-Олкіна (КМО), який був застосований для даних з урожайності жита по 206 адміністративним районам для 27 змінних (років), встановив придатність даних для проведення аналізу головних компонент (КМО = 0,68).

Аналіз головних компонент залишків регресійної моделі виявив 7 статистично вірогідних головних компонент (табл. 4.1.3), які пояснюють 58,4% загальної варіабельності простору ознак. За критерієм «осипу» (Cattell, 1966) ми залишили перші 3 головні компоненти, які пояснюють 35,1% загальної варіабельності простору ознак.

**Жито. Результати глобального аналізу головних компонент**

Головна компонента	Налаштоване* власне значення	Власне значення	Зсув	Пояснена варіація	Стандартне відхилення
1	3,39	4,13	0,73	15,29	2,03
2	2,22	2,84	0,62	10,54	1,68
3	1,98	2,51	0,54	9,30	1,58
4	1,36	1,82	0,46	6,74	1,35
5	1,36	1,76	0,40	6,51	1,32
6	1,04	1,37	0,34	5,09	1,17
7	1,04	1,33	0,28	4,91	1,15

Позначки: \* – за процедурою Горна

У якості змінних в аналізі головних компонент застосовано порядкові величини – роки. На рис. 4.1.22 показано, що навантаження головних компонент на такі змінні можуть бути подані як динамічні зміни у часі.

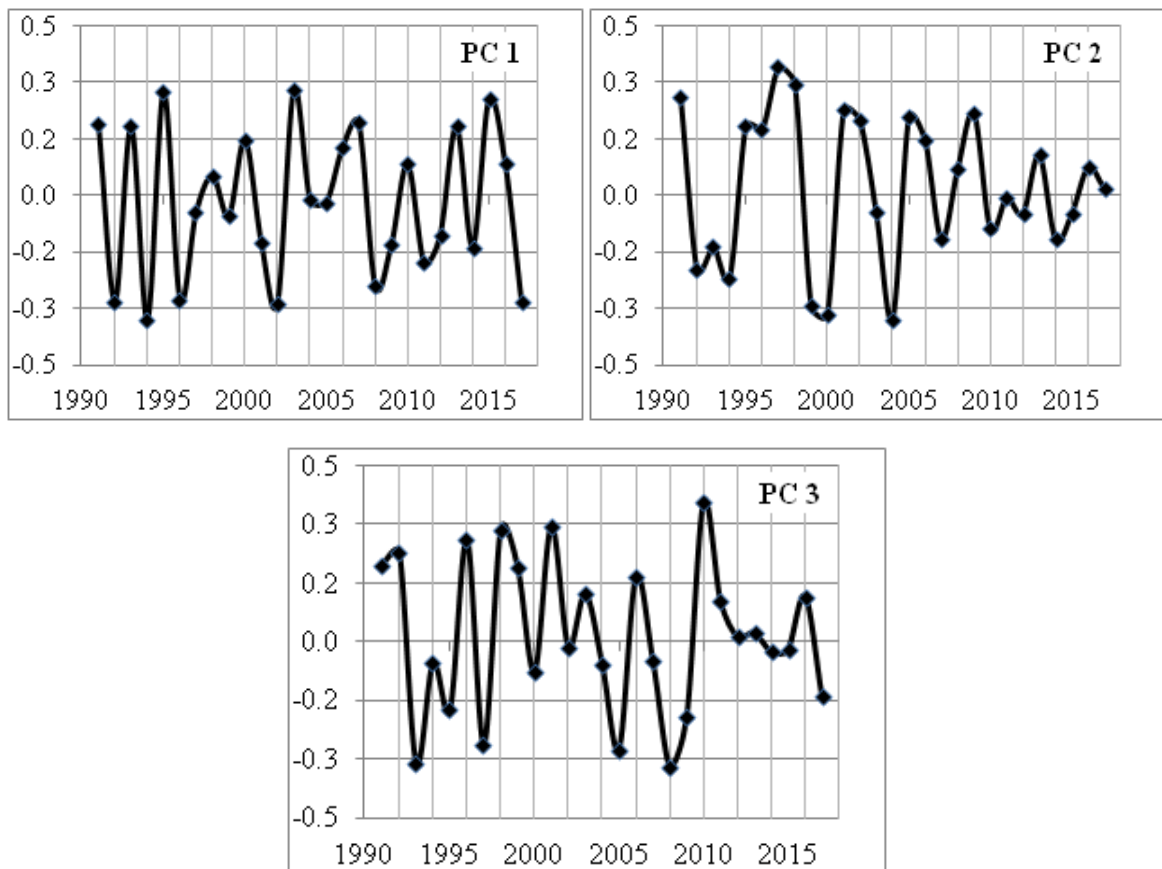


Рис. 4.1.22. Жито озиме. Значення навантажень головних компонент 1–3 на змінні

Така форма подання дозволяє змістовно інтерпретувати встановлені головні компоненти як коливальні процеси різної періодичності. Так, головна компонента 1 описує 15,29% загальної варіабельності врожайності жита. Для неї властива від’ємна часова автокореляція з лагом 1 та 11 років та позитивна автокореляція з лагом 12 років. Варіювання головної компоненти 1 чітко просторово детерміноване (статистика *I*-Морана 0,16;  $p = 0,001$ ). Зони з підвищеними значеннями головної компоненти 1 формують кластери у деяких районах сходу та півночі досліджуваного регіону (рис. 4.1.23). Зона зі зниженими значеннями цієї головної компоненти формує чіткий кластер у південно-східному напрямку від центру регіону.

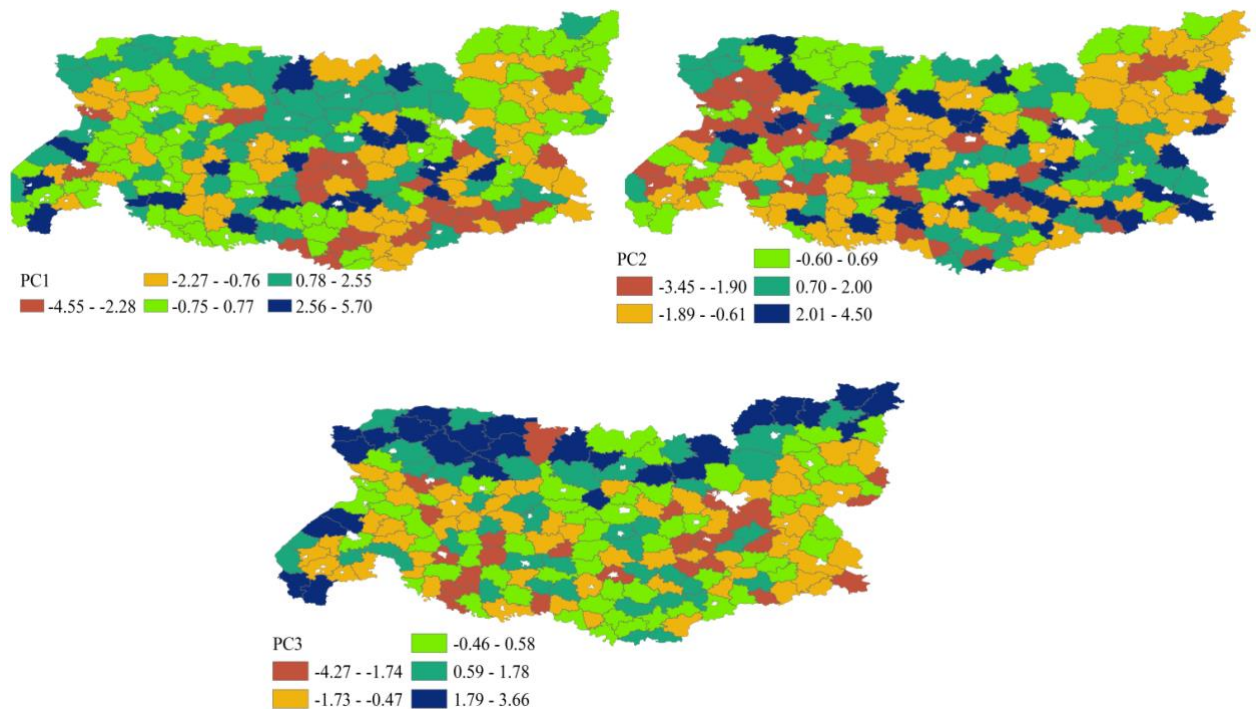


Рис. 4.1.23. Жито озиме. Просторове варіювання головних компонент 1–3

Головна компонента 2 пояснює 10,54% варіабельності простору ознак та для її коливання характерна від’ємна автокореляція з лагом 2 та 9 років та позитивна – з лагом 11 років. Найбільш характерним є періодичний процес з лагом чотири роки. Ця компонента демонструє просторово закономірні патерни варіювання (статистика *I*-Морана -0,07;  $p = 0,05$ ). Від’ємне значення

*I*-Морана вказує на просторовий патерн, який обумовлений тяжінням ділянок з більш високим значенням головної компоненти до ділянок з найменшим значенням та навпаки. Також для цієї головної компоненти чітко виражена тенденція до затухання коливального процесу впродовж періоду дослідження.

Головна компонента 3 пояснює 9,30% варіабельності урожайності жита та для неї характерним є коливання з періодом 2–3 роки. Висока просторова складова цієї головної компоненти підтверджується статистикою *I*-Морана (0,28;  $p = 0,001$ ). Кластери з підвищеними значеннями головної компоненти 3 характерні для північного заходу та південного сходу, а з пониженими значеннями – для сходу та південного заходу регіону досліджень.

### Географічно-зважений аналіз головних компонент

Відповідно до тесту Монте-Карло дані з урожайності жита характеризуються просторовою складовою варіювання. Як показано на рисунку 4.1.24,  $p$ -рівень для тестування стандартного відхилення локальних власних чисел за результатами GWPCA становить 0,01. Це значення вказує, що гіпотеза просторової інваріантності локальних власних чисел може бути статистично вірогідно відхилена, або інакше, що існує високий рівень просторової нестационарності, який поданий у даних по врожайності жита.

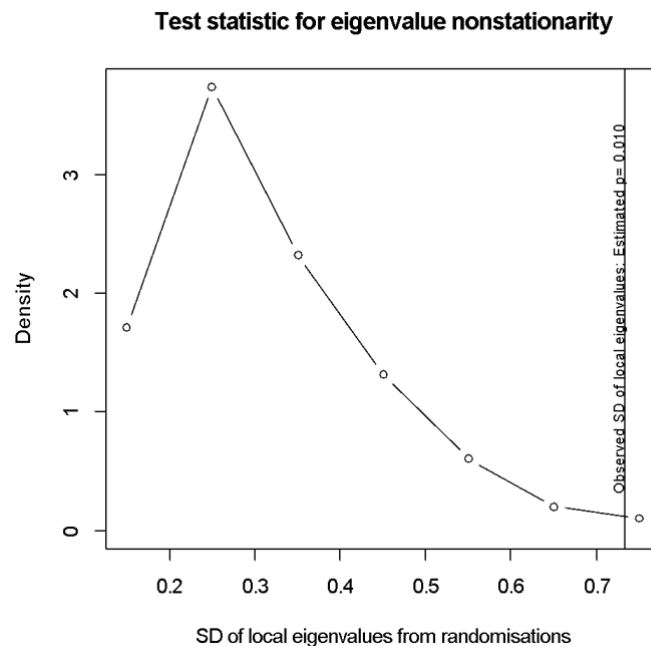


Рис. 4.1.24. Жито озиме. Тест Монте-Карло для GWPCA



Перед пошуком оптимального вікна пропускання необхідно вирішити, яку кількість головних компонент залишити [294, 284]. Результати попереднього глобального аналізу головних компонент вказують на те, що перші три компоненти здатні разом пояснити 35,1% варіації в структурі отриманих даних. Тому, обґрунтованим є рішення залишити три компоненти для подальшої процедури GWPCA. Для виконання GWPCA-процедури було встановлене оптимальне вікно пропускання з 205 найближчими сусідами.

Результати процедури GWPCA можуть бути візуалізовані та інтерпретовані з огляду на те, як розмірність даних просторово варіює та як вихідні змінні впливають на головні компоненти. Процент просторового варіювання загальної дисперсії демонструє чітко виражену мінливість, при цьому формуються просторово однорідні кластери у меридіональному напрямку (рис. 4.1.25).

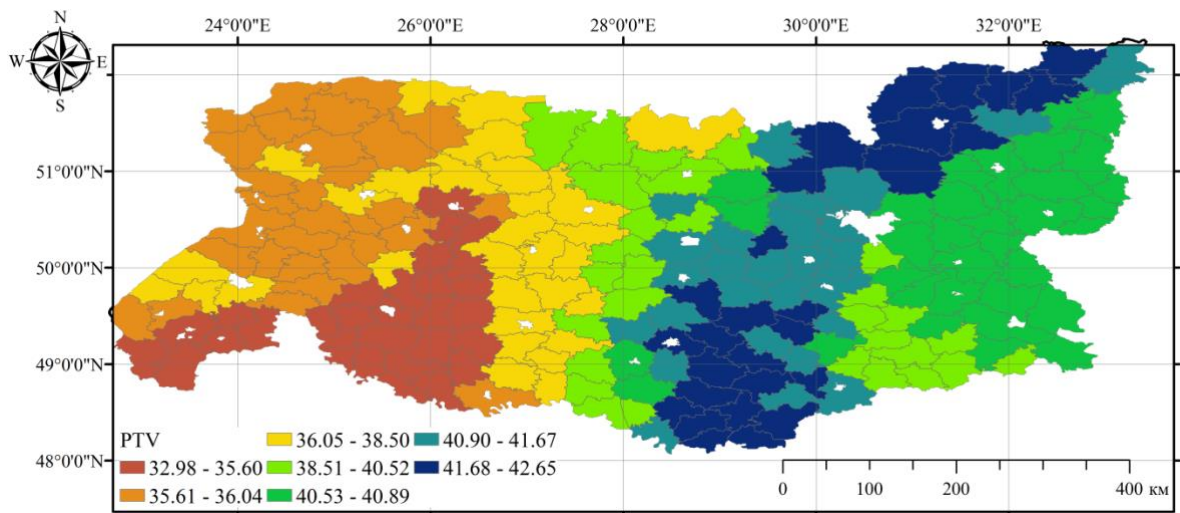


Рис. 4.1.25. Жито озиме. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших трьох головних компонент (*percentage of total variance – PTV*)

З метою демонстрації локального впливу кожної із 27 змінних (роки) проведено картування «виграшних» змінних, тобто таких, які мають найбільші абсолютні навантаження. На рисунку 4.1.26. показано просторовий розподіл змінних з найбільшим абсолютним навантаженням головних компонент GWPC 1–3 відповідно.

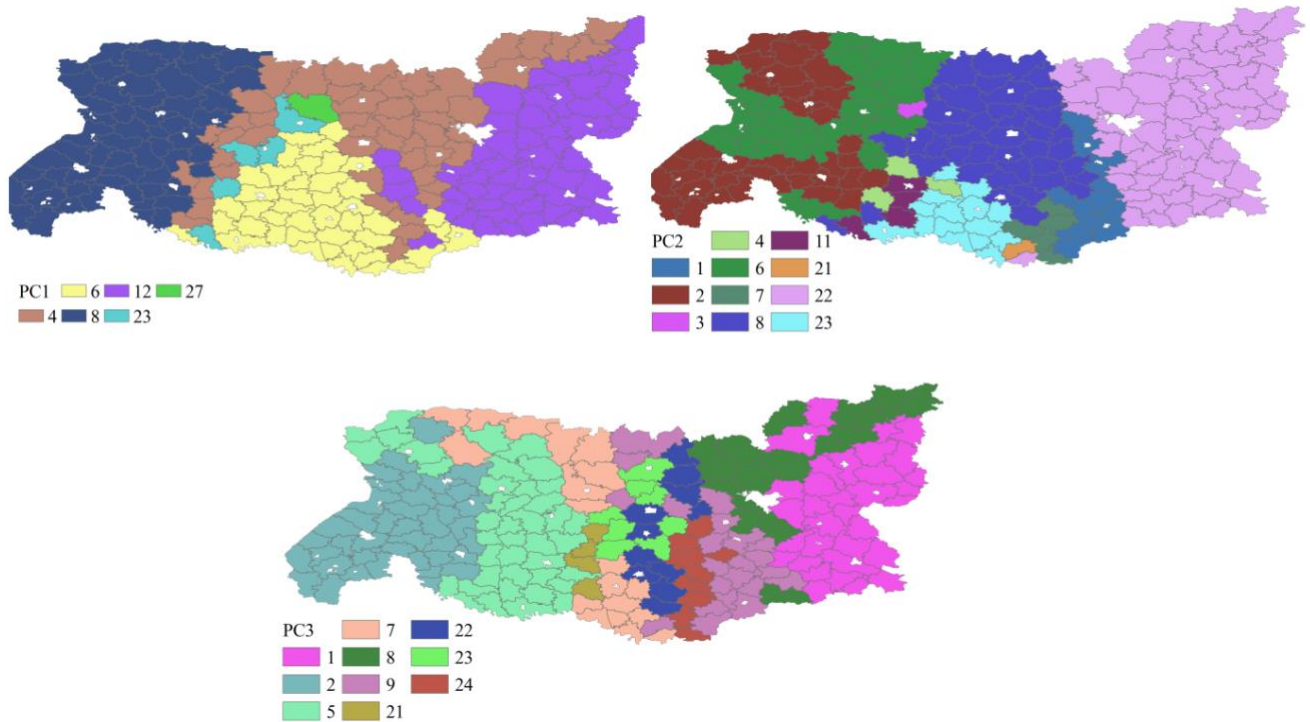


Рис. 4.1.26. Жито озиме. Просторове розміщення «виграшних» змінних для головних компонент 1–3

Найбільше абсолютне навантаження змінної, якою є особливості просторового розподілу урожайності жита у певний рік, можна інтерпретувати як маркер найбільшої чутливості до коливальної динаміки у часі, як це було показано для глобального аналізу головних компонент. Локальні рішення можуть або значною мірою відповідати глобальному результату, або відрізнитися значимістю коливальних процесів на регіональному рівні, що може викликати зміну порядку компонент, або може проявлятися у набутті статистичної значимості процесів, які на глобальному рівні не є статистично вірогідними.

Проте, картування «виграшних» змінних для головних компонент не може повною мірою показати природу просторово-залежного взаємозв'язку між показниками, який оцінений за допомогою аналізу головних компонент. Тому, для кожної із статистично достовірних головних компонент нами проведена процедура кластерного аналізу для класифікації адміністративних районів.

Відповідно до кластерного аналізу адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1 встановили три однорідних кластера (рис. 4.1.27). Для кожного кластера були розраховані середні значення факторних навантажень (рис. 4.1.28).

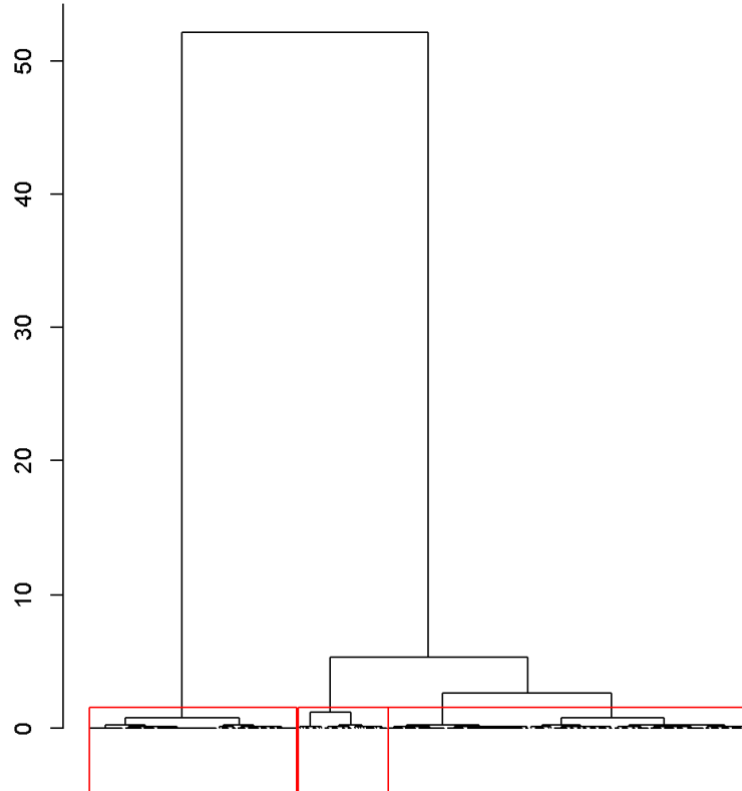


Рис. 4.1.27. Жито озиме. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1

Динамічні розподіли факторних навантажень дають уявлення про перебіг процесів, які характерні для відповідного кластеру. Загальні тренди варіювання досить подібні для усіх кластерів. Особливості полягають у деякому зсуві періодичності та варіюванні амплітуди коливань у період 1995–2005 рр. До цього періоду та після нього коливальні процеси у кластерах співпадають за фазою та досить подібні за амплітудою. Очевидно, що дисбаланс, який відбувся як на рівні агроекономічної, так і на рівні агроекологічної складових у 90-ті роки минулого століття проявив себе у різному перебігу продукційного процесу. Специфіка коливальних процесів мала чітко позначену просторову складову (рис. 4.1.28).

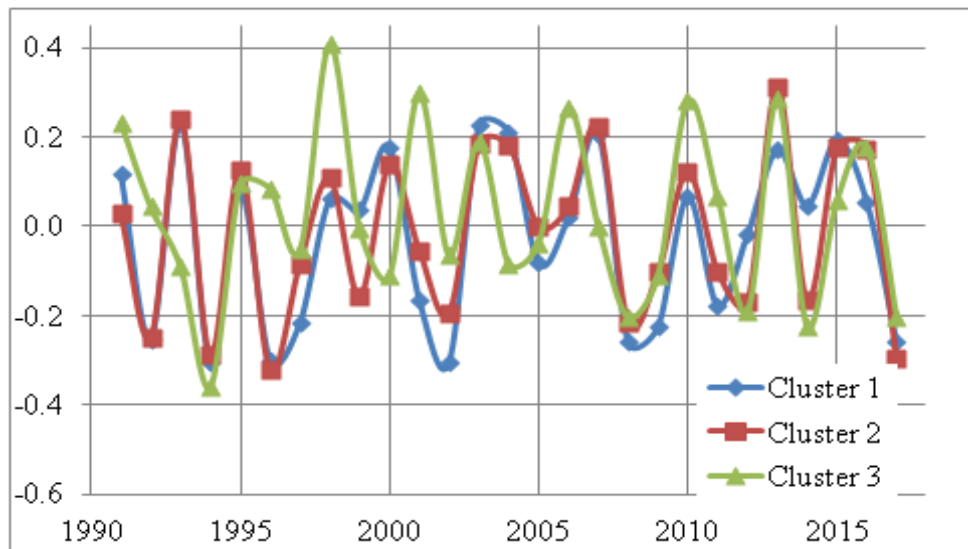


Рис. 4.1.28. Жито озиме. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–3. Вісь абсцис – первинні змінні (залишки регресійних моделей тренду урожайності по роках); вісь ординат – факторні навантаження.

Просторове розміщення адміністративних районів, які включені у відповідні кластери, є просторово регулярним (рис. 4.1.29).

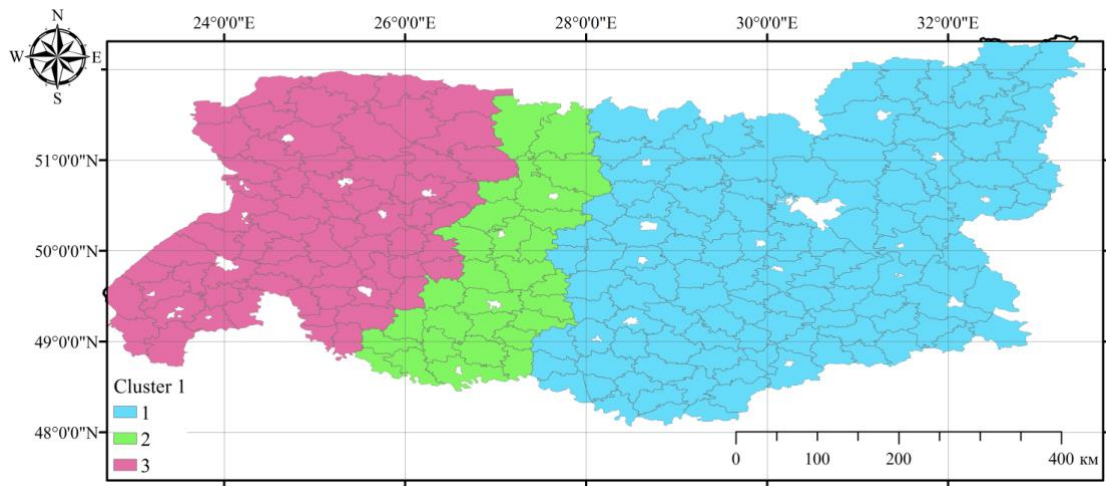


Рис. 4.1.29. Жито озиме. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1

Кластер 1 займає схід та центр досліджуваної території. Кластер 3 знаходиться на заході території, а кластер 2 займає майже центральну позицію.

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2 виявив три гомогенних кластера (рис. 4.1.30).

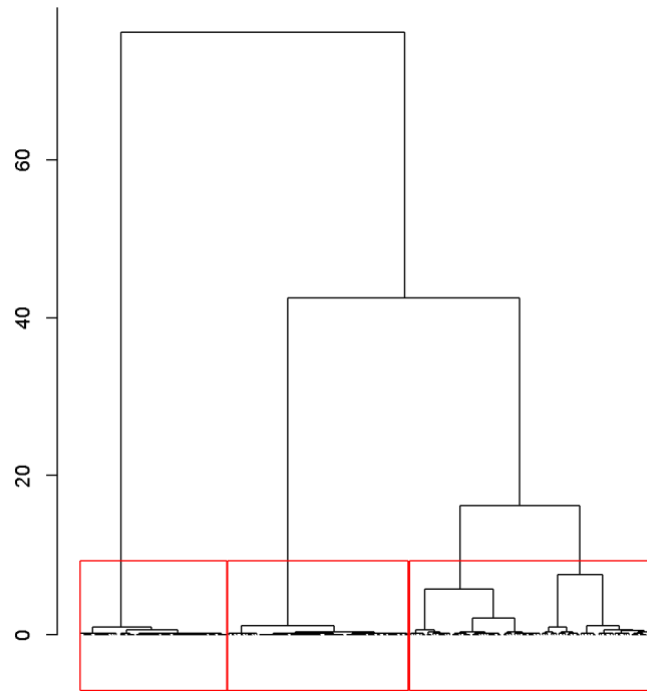


Рис. 4.1.30. Жито озиме. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2

Середні значення факторних навантажень були розраховані для кожного кластера (рис. 4.1.31). Для кластерів 1 та 3 характерне згасання протягом дослідженого періоду, в той час як для кластеру 2 згасання амплітуди коливань спостерігалось у середній частині терміну дослідження.

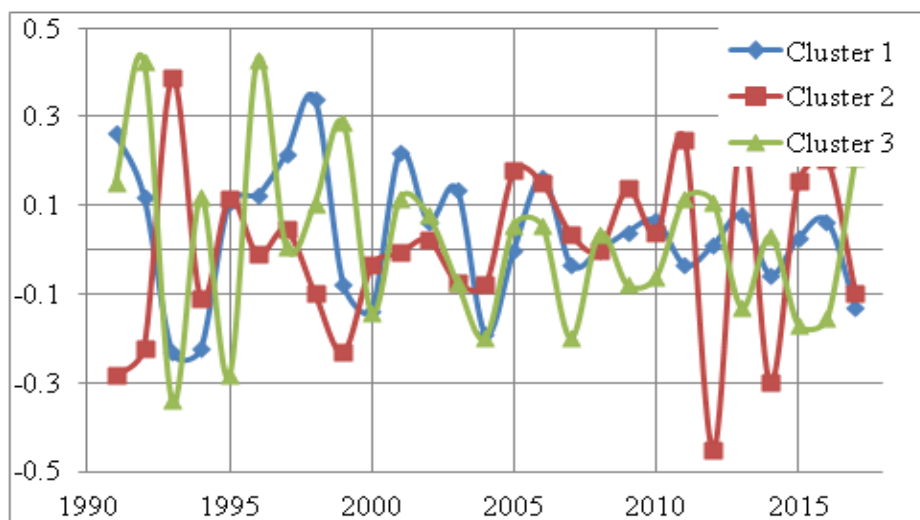


Рис. 4.1.31. Жито озиме. Середні значення факторних навантажень GWPC 2 для кластерів 1–3. Вісь абсцис – первинні змінні (залишки регресійних моделей тренду урожайності по роках), вісь ординат – факторні навантаження

У просторовому аспекті ці кластери розділяють досліджену територію майже на три рівні ділянки: кластер 1 займає центральну частину, кластер 2 – займає східну, а кластер 3 – західну частини території (4.1.32).

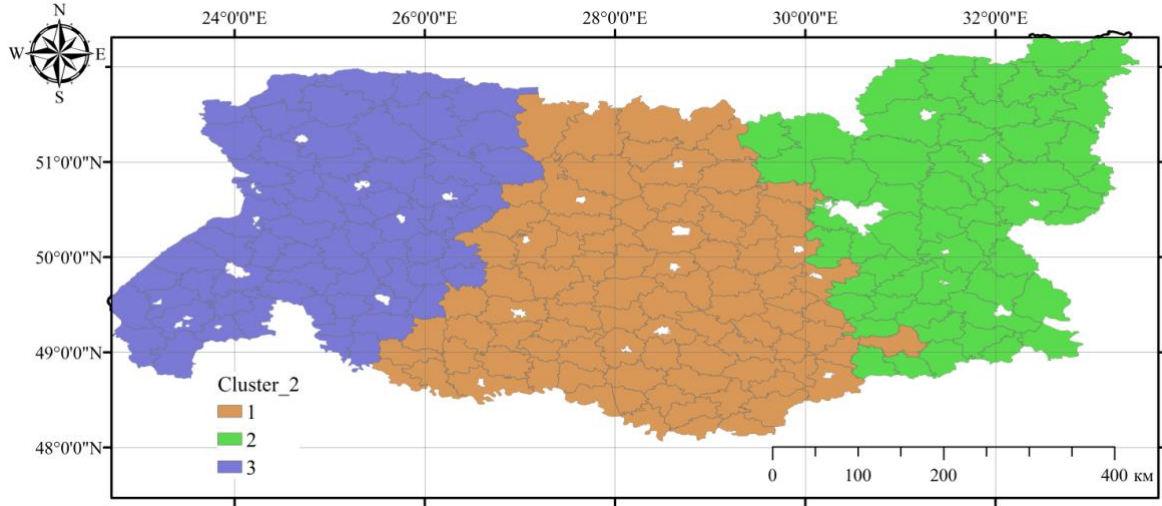


Рис. 4.1.32. Жито озиме. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 2

Згідно із кластерним аналізом адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 3 встановили три гомогенних кластера (рис. 4.1.33).

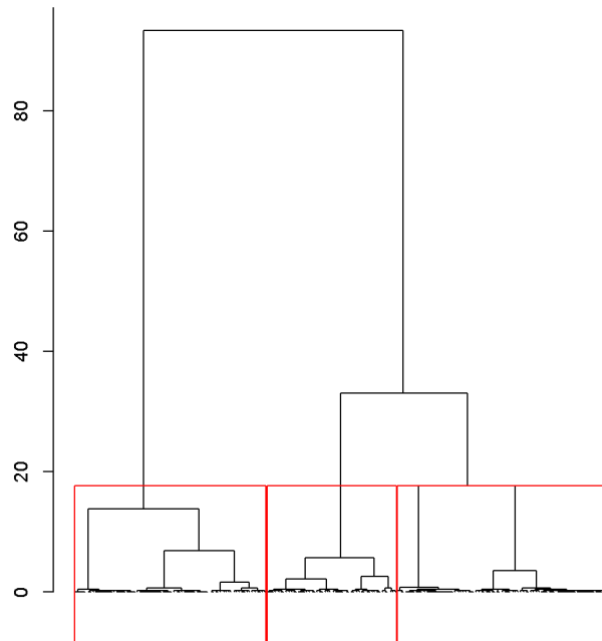


Рис. 4.1.33. Жито озиме. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 3

Для кожного кластера були розраховані просторово-часові аспекти варіювання (рис. 4.1.34–4.1.35.). В аспекті часової динаміки для кластеру 2 характерне значне збільшення амплітуди коливань у кінці дослідженого періоду (2011–2017 рр.), у той час як для кластерів 1 та 3 спостерігається тенденція до згасання амплітуди коливань впродовж усього періоду досліджень. Кластер 2 займає центральну частину дослідженої території, а кластери 1 та 3 – відповідно на сході та заході формують мозаїчні структури.

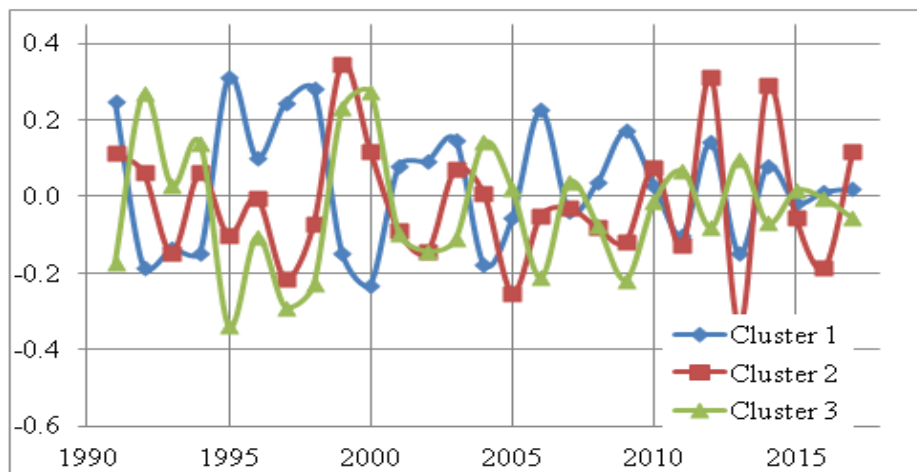


Рис. 4.1.34. Жито озиме. Середні значення факторних навантажень GWPC 3 для кластерів 1–3

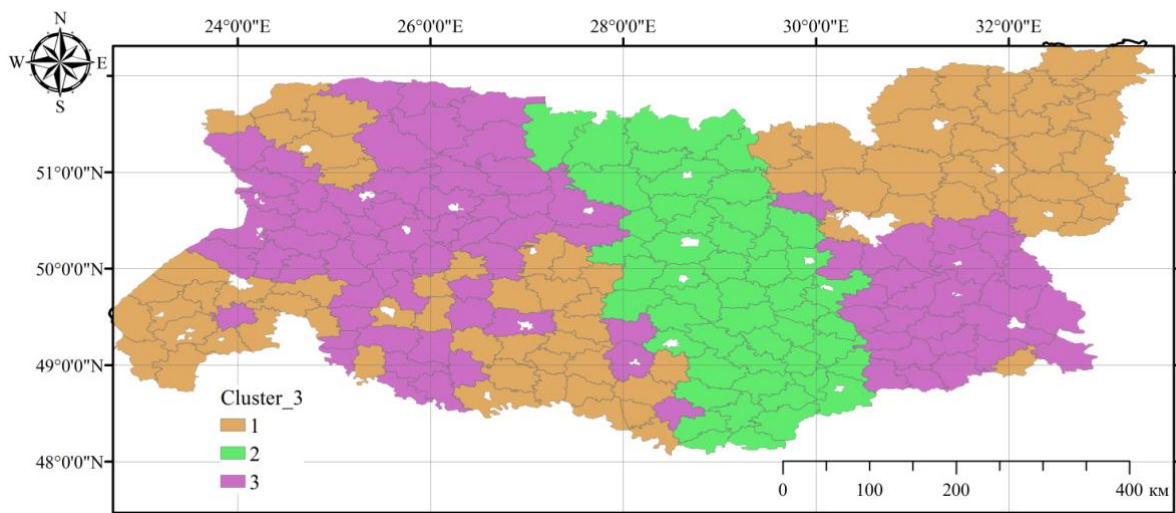


Рис. 4.1.35. Жито озиме. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 3

Аналіз головних компонент залишків моделі часового тренду дозволив встановити три аспекти мінливості врожайності жита у межах дослідженої території, або головні компоненти. Усі ці компоненти є просторово детерміновані. У динамічному аспекті ці головні компоненти характеризуються різними частотними характеристиками варіювання у часі. Крім того, для головної компоненти 2 встановлена тенденція до згасання коливального процесу в часі. Можна припустити, що агроекономічна криза запустила негативні агроекологічні явища, а стабілізація виробничих відношень та відновлення культури виробництва сприяли стабілізації екологічної ситуації у агровиробничій сфері. Просторове варіювання цього фактора можна зв'язати з осередками біологічного різноманіття, які є основою відновлення екологічної стабільності і навколишніх ландшафтів, у тому числі й сільськогосподарських угідь.

#### **4.2. Регіональна диференціація впливу екологічних факторів на урожайність коренебульбоплодів, технічних та овочевих культур**

##### **Картопля**

Встановлено [57], що динаміка врожайності картоплі у дослідженому регіоні найбільш вдало може бути описана за допомогою поліному четвертого порядку. Регресія за допомогою поліному четвертого порядку пояснює значну частину дисперсії урожайності картоплі (від 65 до 88% у залежності від району досліджень). Наявність тренду, математична форма якого є незмінною, вказує на наявність постійно діючих зовнішніх факторів на динаміку процесу. В якості такого фактору ми розглядаємо агроекономічні умови господарювання. Але на кінцевий результат вплив здійснюють і фактори іншої природи, які мають локальний характер. У подальшому аналізі будуть застосовані залишки (викиди) регресійної моделі, які, на нашу думку, мають екологічну природу.

Провівши аналіз головних компонент залишків регресійної моделі встановили, що кількість статистично вірогідних головних компонент



становить 8 (табл. 4.2.1). Разом перші вісім головних компонент пояснюють 81,7% загальної варіабельності простору ознак. За критерієм «осипу», щоби далі провести аналіз головних компонент, ми залишили перші 3 головні компоненти, які разом пояснюють 43,1% загальної варіабельності простору ознак.

Таблиця 4.2.1.

### Картопля. Результати глобального аналізу головних компонент

Головна компонента	Налаштоване* власне значення	Власне значення	Зсув	Пояснена варіація	Стандартне відхилення
1	3,44	4,17	0,73	20,63	2,35
2	1,73	2,35	0,62	12,17	1,81
3	1,44	1,98	0,54	10,26	1,66
4	1,46	1,92	0,46	9,55	1,60
5	1,23	1,63	0,40	8,52	1,51
6	1,13	1,47	0,34	7,24	1,39
7	1,06	1,34	0,28	6,91	1,36
8	1,00	1,23	0,23	6,44	1,32

Позначки: \* – за процедурою Горна

В якості змінних у аналізі головних компонент були застосовані роки, тому навантаження головних компонент на змінні є динамічними змінами (рис. 4.2.2). Така форма подання дозволяє змістовно інтерпретувати встановлені головні компоненти як коливальні процеси різної періодичності.

Так, головна компонента 1 описує 20,63% загальної варіабельності врожайності картоплі. Для неї властива від'ємна часова автокореляція з лагом 7 років та позитивна автокореляція з лагом 4 роки; переважає коливальний процес з періодом 6 (рис. 4.2.1). Варіювання головної компоненти 1 має чітку просторову детермінованість (статистика *I*-Морана 0,16;  $p = 0,001$ ). Зони з підвищеними значеннями головної компоненти 1 формують кластери у деяких районах сходу та півночі досліджуваного регіону (рис. 4.2.2). Зони зі зниженими значеннями цієї головної компоненти формують чіткий кластер у південно-східному напрямку від центру регіону.

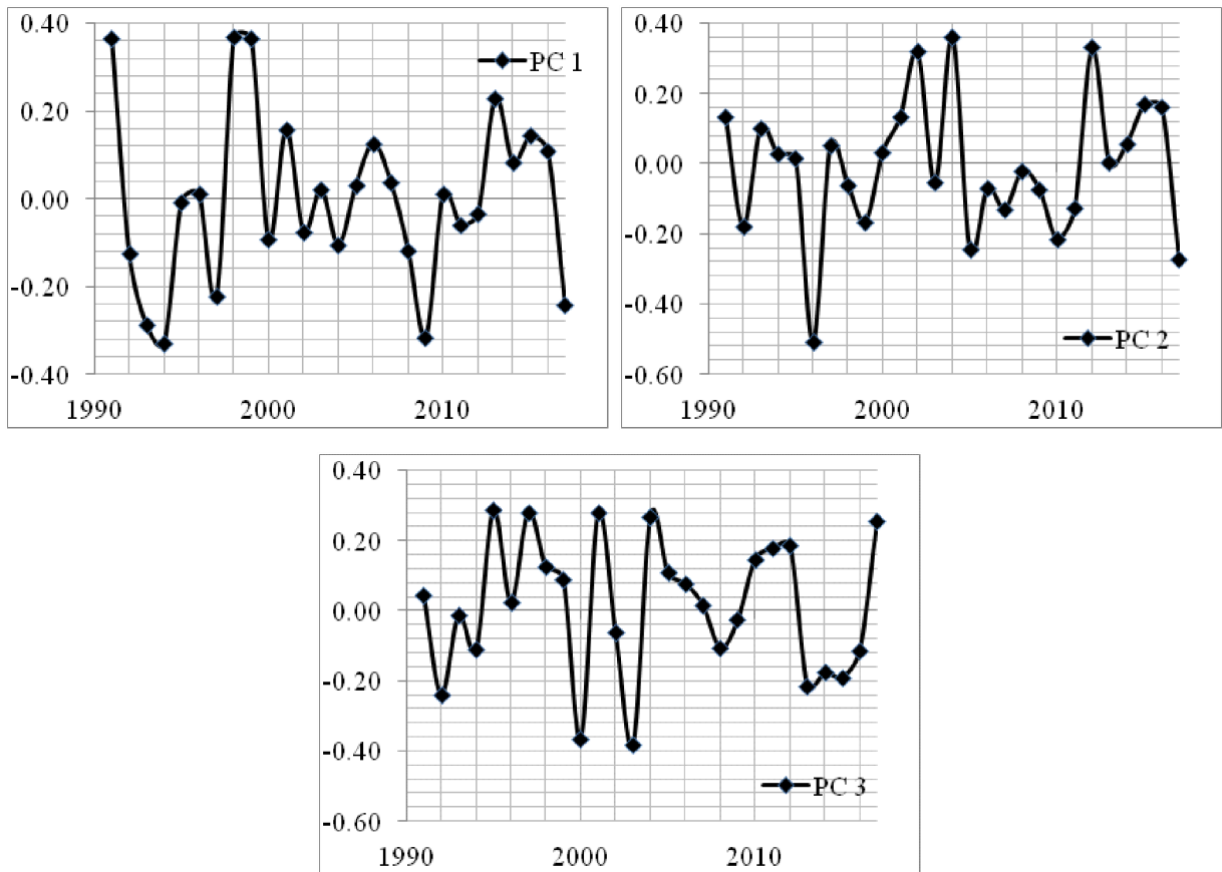


Рис. 4.2.1. Картопля. Значення навантажень головних компонент 1–3 на змінні

Головна компонента 2 пояснює 12,2% варіабельності простору ознак; для її коливання характерна від’ємна автокореляція з лагом 10 років та позитивна – з лагом 6 років. Переважаючий коливальний процес має період 4 роки (рис. 4.2.1). Ця компонента демонструє просторово закономірні патерни варіювання (статистика *I*-Морана -0,07;  $p = 0,05$ ) (рис. 4.2.2).

Головна компонента 3 пояснює 10,3% варіабельності урожайності картоплі; для неї властивий переважний коливальний процес з періодом 5 років. Висока просторова складова цієї головної компоненти підтверджується статистикою *I*-Морана (0,28;  $p = 0,001$ ) (рис. 4.2.2). Для цієї головної компоненти також характерна тенденція до згасання коливального процесу впродовж періоду досліджень. Кластери з підвищеними значеннями головної компоненти 3 характерні для північного заходу та південного сходу, а з

пониженими значеннями – для сходу та південного заходу досліджуваного регіону.

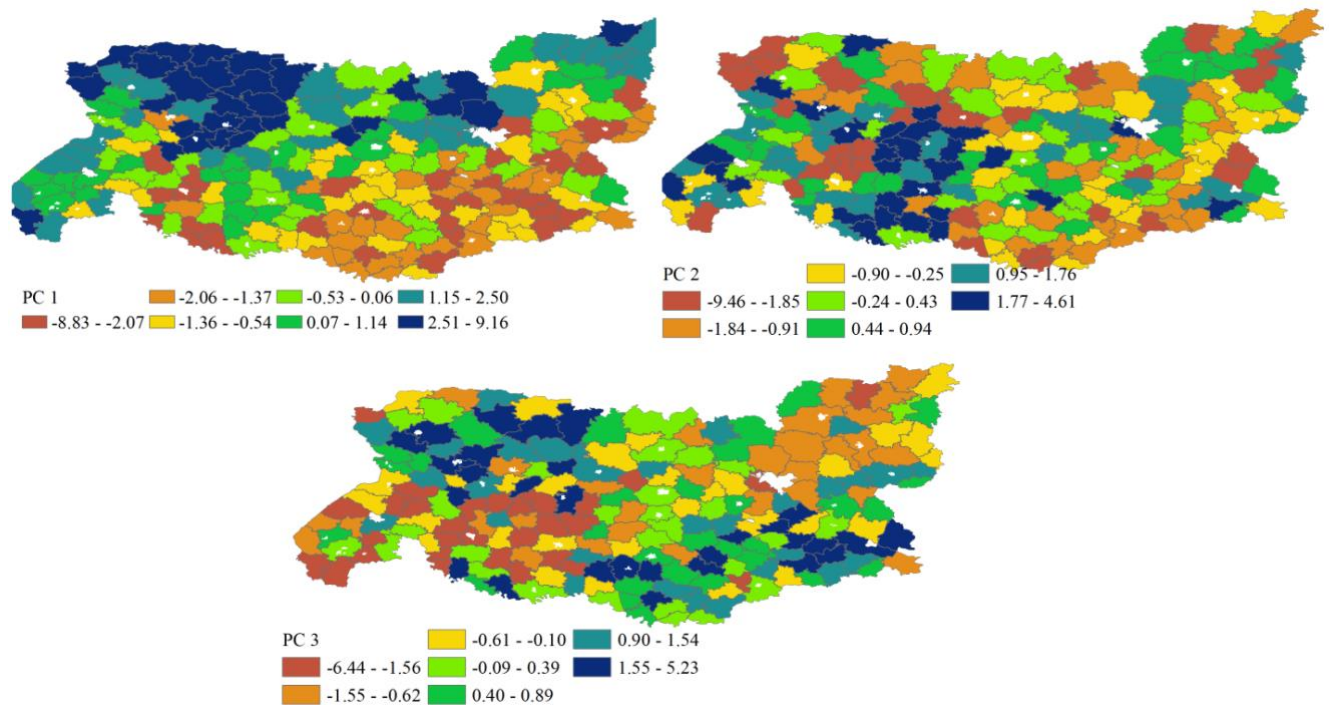


Рис. 4.2.2. Картопля. Просторове варіювання головних компонент 1–3

Глобальний аналіз головних компонент у проведених нами дослідженнях виявив, що регіональне варіювання урожайності картоплі являє собою динамічні процеси з різними частотами. Схожа амплітуда коливань говорить про те, що природа процесів є подібною або взаємообумовленою.

Умови зростання сільськогосподарських культур змінюються з часом внаслідок змін у природному середовищі та у технологіях вирощування [372]. У дослідженні ми простежуємо вплив саме екологічних факторів на зміну врожайності картоплі. Вважається, що серед екологічних чинників найбільший вплив на врожайність культур мають кліматичні фактори, такі як середньорічна кількість опадів, кількість сонячної радіації та температура вегетаційного періоду. Також, глобальне потепління негативно впливає на врожайність культур у глобальному масштабі [219]. Можна припустити, що головна компонента 1 (РСА 1), яка описує найбільшу частку варіації простору ознак (20,63%) і характеризується коливальним процесом протягом

найдовшого періоду (6 років) обумовлена саме кліматичними змінними. Для всіх інших головних компонент процеси коливань мають більш високу частоту (4–5 років). Компоненти з високою частотою коливань можуть мати характер шуму або можуть мати екологічне походження внаслідок таких явищ, як вплив хвороб та шкідників або вплив погодних аномалій, які, в свою чергу, обумовлюються впливом кліматичних факторів.

### Географічно-зважений аналіз головних компонент

Відповідно до тесту Монте-Карло ( $p = 0,0001$ ) (Додаток 5А) дані з урожайності картоплі придатні для проведення географічно-зваженого аналізу головних компонент.

У процесі процедури адаптивної селекції вікна пропускання, було встановлене оптимальне вікно пропускання з 68 найближчими сусідами, яке було обрано для виконання GWPCA процедури. Відповідно до результатів PCA обґрунтованим рішенням є залишити три перші головні компоненти GWPC 1 – 3 для подальшого аналізу.

За результатами процедури GWPCA сформовані просторово однорідні кластери у меридіональному напрямку (рис. 4.2.3).

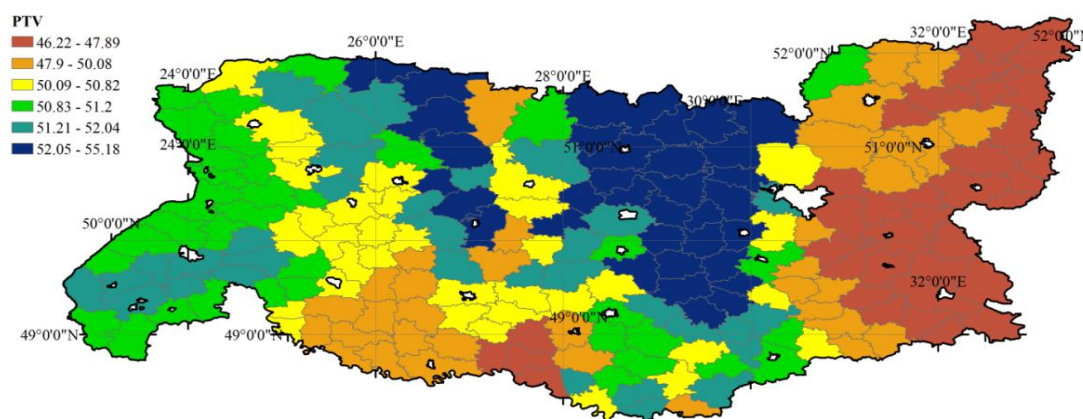


Рис. 4.2.3. Картопля. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших трьох головних компонент (*percentage of total variance – PTV*)

Отже, відсоток варіювання впливу перших трьох головних компонент, що мають екологічне походження, найбільший у центральних та північних

районах дослідженої території, найменший на сході та півночі. У попередніх наших дослідженнях [51], ми припускали, що принципові компоненти, найбільш ймовірно мають кліматичне походження, тому, таким чином, ми можемо визначити райони, які найбільш чутливі до впливу кліматичних і пов'язаних із ними факторів.

За допомогою географічно-зваженого аналізу головних компонент також можуть бути виявлені змінні з найбільшими навантаженнями на головні компоненти (так звані «виграшні» змінні) (рис. 4.2.4).

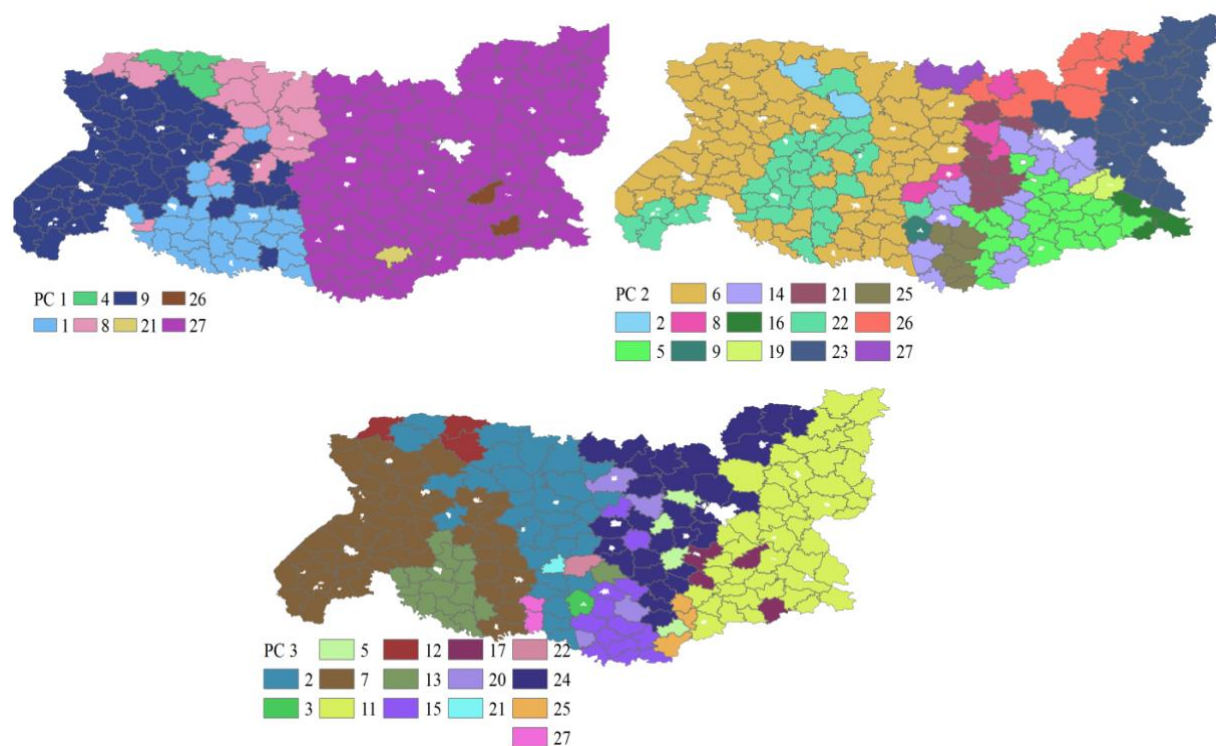


Рис. 4.2.4. Картопля. Просторове розміщення «виграшних» змінних для головних компонент 1–3

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1 дозволив встановити два гомогенних кластери (рис. 4.2.5). Для цих кластерів були розраховані середні значення факторних навантажень, що дало змогу оцінити динаміку їх варіювання (рис. 4.2.6).

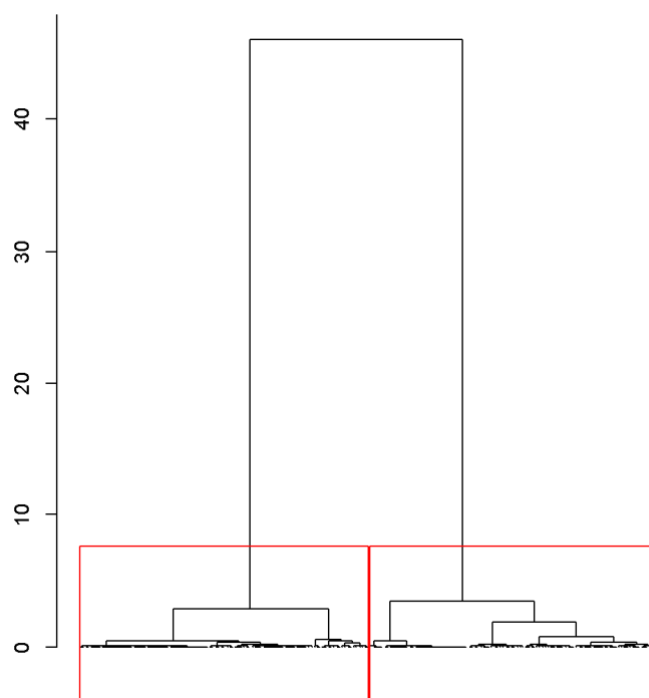


Рис. 4.2.5. Картопля. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1

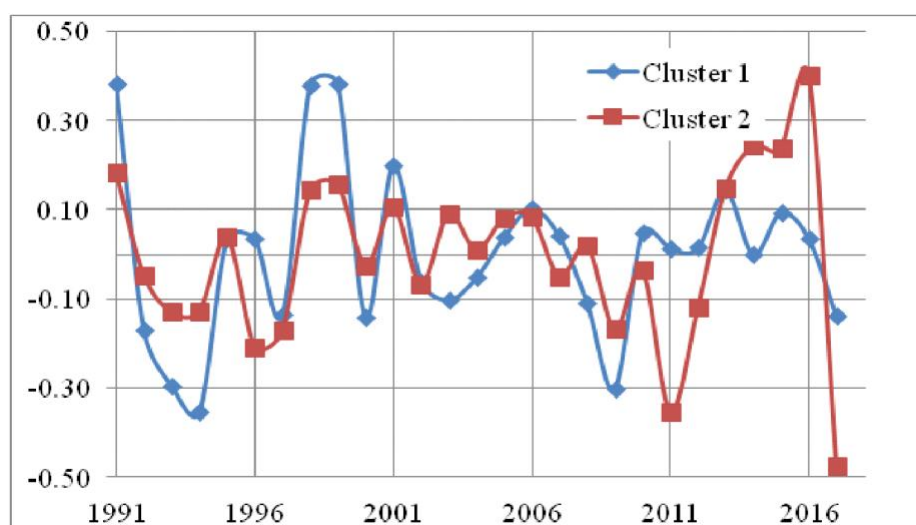


Рис. 4.2.6. Картопля. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–2. Вісь абсцис – первинні змінні (залишки регресійних моделей тренду урожайності по роках), вісь ординат – факторні навантаження

Загальні тренди варіювання досить подібні для обох кластерів. Але особливістю загального тренду кластеру 1 є згасання амплітуди коливань впродовж періоду досліджень. Зсув періодичності та варіювання амплітуди

коливань між двома кластерами відбувся у період 2011–2015 рр. Чинники, що це викликали, на даний момент невідомі. Проте, специфіка коливальних процесів мала чітко визначену просторову складову (рис. 4.2.7).

Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1 поділяє територію досліджуваного регіону на дві майже однакові частини (рис. 4.2.7).

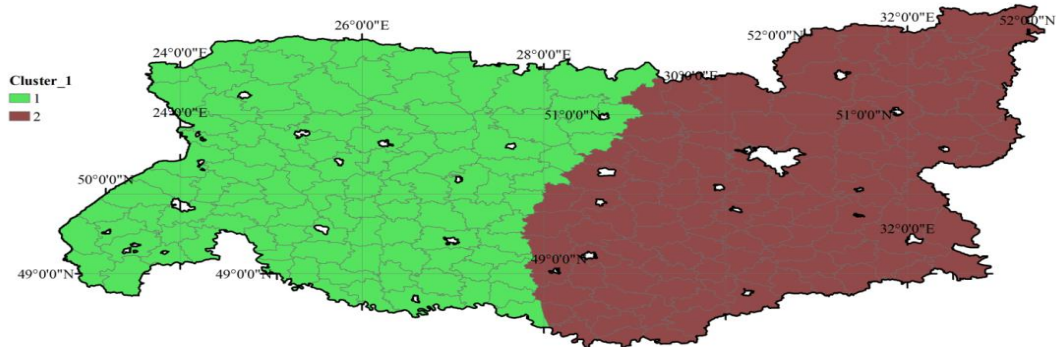


Рис. 4.2.7. Картопля. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2 дозволив встановити чотири гомогенних кластери (рис. 4.2.8).

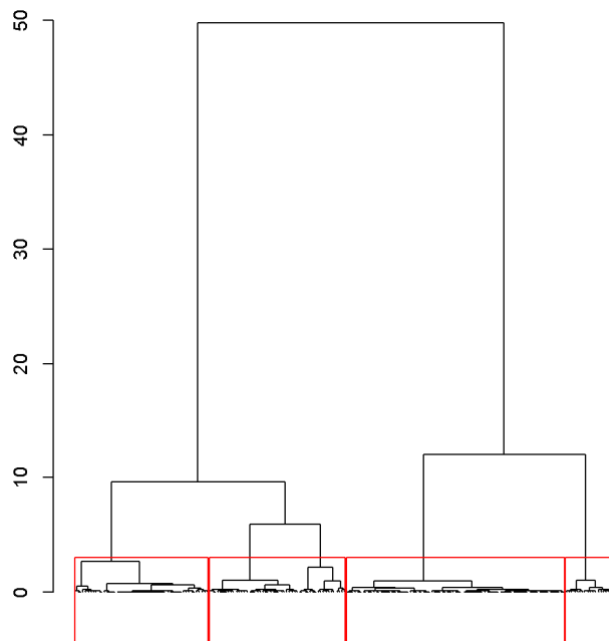


Рис. 4.2.8. Картопля. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2

З рисунка 4.2.9 видно, що кластери 3 та 2 мають дуже подібну коливальну динаміку і відрізняються лише амплітудою коливань. Для кластерів 1 та 3 характерне згасання коливань впродовж дослідженого періоду.

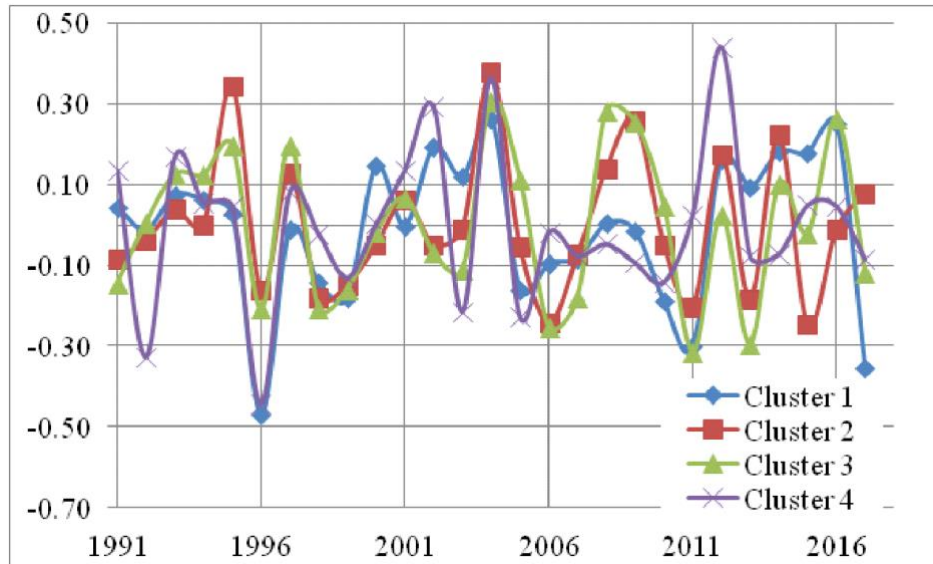


Рис. 4.2.9. Картопля. Середні значення факторних навантажень GWPC 2 для кластерів 1–3. Вісь абсцис – первинні змінні (залишки регресійних моделей тренду урожайності по роках); вісь ординат – факторні навантаження

У просторовому аспекті ці кластери змінюють один одного у напрямку зі сходу на захід (рис. 4.2.10).

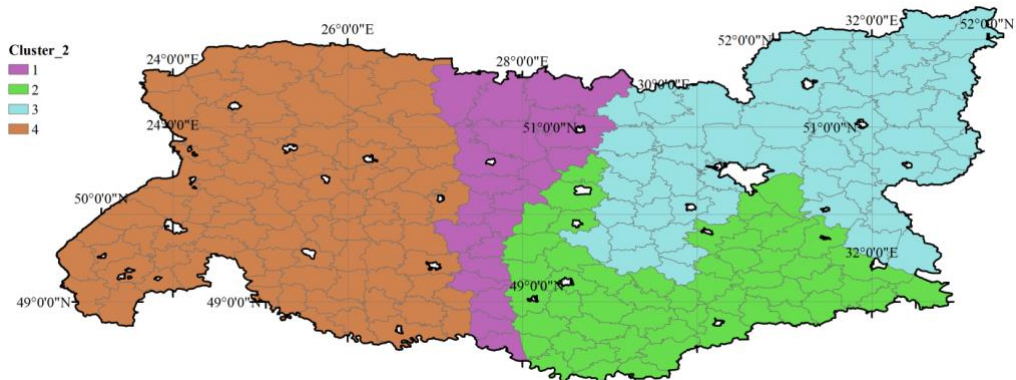


Рис. 4.2.10. Картопля. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 2



Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 3 дозволив встановити три гомогенних кластери (рис. 4.2.11).

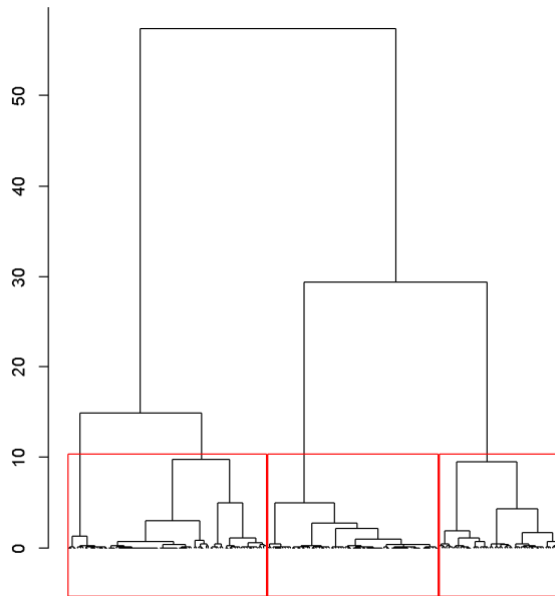


Рис. 4.2.11. Картопля. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 3

В аспекті часової динаміки для кластеру 3 характерне значне збільшення амплітуди коливань у кінці дослідженого періоду (2011–2017 рр.), у той час як для кластерів 1 та 2 спостерігається тенденція до згасання амплітуди коливань впродовж усього періоду досліджень (рис. 4.2.12).

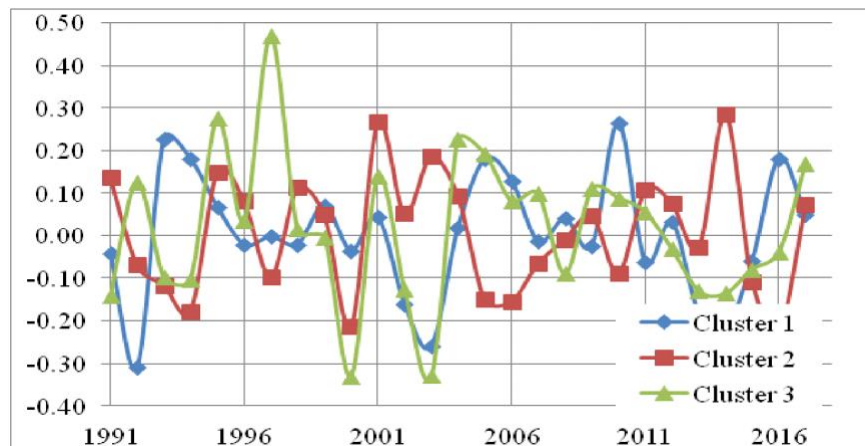


Рис. 4.2.12. Картопля. Середні значення факторних навантажень GWPC 3 для кластерів 1–3. Вісь абсцис – первинні змінні (залишки регресійних моделей тренду урожайності по роках), вісь ординат – факторні навантаження

З карти просторового розміщення кластерів видно, що кластери ділять досліджену територію майже на 3 рівні частини: кластер 1 займає центральну частину дослідженої території, а кластери 2 та 3 – відповідно на сході та заході формують мозаїчні структури (рис. 4.2.13).

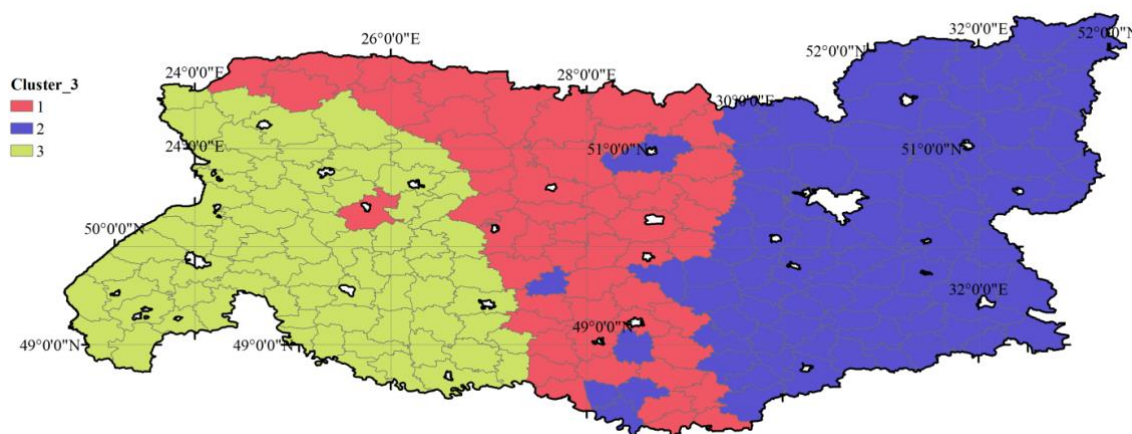


Рис. 4.2.13. Картопля. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 3

Отже, географічно-зважений аналіз головних компонент показав просторову нестационарність екологічних режимів, які визначають коливальну складову варіювання урожайності картоплі у часі. Простори, у межах яких структура екологічних взаємодій залишається незмінною, можна розглядати як основу агроекологічного районування територій.

### Цукровий буряк

Встановлено [518], що внесок агроекологічних факторів у варіювання урожайності цукрових буряків коливається від 4 до 28% у залежності від району досліджень.

Для оцінки регіональної диференціації урожайності цукрових буряків використали непараметричний статистичний метод – аналіз головних компонент (Principle component analysis – PCA), який зменшує розмір набору даних і допомагає виявити деякі спрощені структури, які приховані у великих за обсягом наборах даних [294]. Аналіз головних компонент залишків

регресійної моделі дозволив встановити, що за процедурою Горна кількість статистично вірогідних головних компонент становить 7 (табл. 4.2.2).

Разом перші сім головних компонент пояснюють 63,9% загальної варіабельності простору ознак. Щоб спростити інтерпретацію результатів, ми використали критерій «осипу» (Scree plot), згідно якого для подальших досліджень доцільно залишати лише перші 2 головні компоненти, які разом пояснюють 27,6% загальної варіабельності дисперсії.

Таблиця 4.2.2.

### Цукровий буряк. Результати глобального аналізу головних компонент

Головна компонента	Налаштоване* власне значення	Власне значення	Зсув	Пояснена варіація	Стандартне відхилення
1	4,14	4,88	0,74	18,06	2,20
2	1,96	2,58	0,62	9,55	1,60
3	1,89	2,42	0,54	8,98	1,55
4	1,70	2,16	0,46	8,01	1,47
5	1,50	1,90	0,40	7,03	1,37
6	1,33	1,67	0,34	6,18	1,29
7	1,36	1,65	0,28	6,10	1,28

Позначки: \* – за процедурою Горна

При аналізі головних компонент прослідковано їх часову динаміку (зміни у часі, в роках), яка являє собою коливальні процеси з різними періодами (рис. 4.2.14).

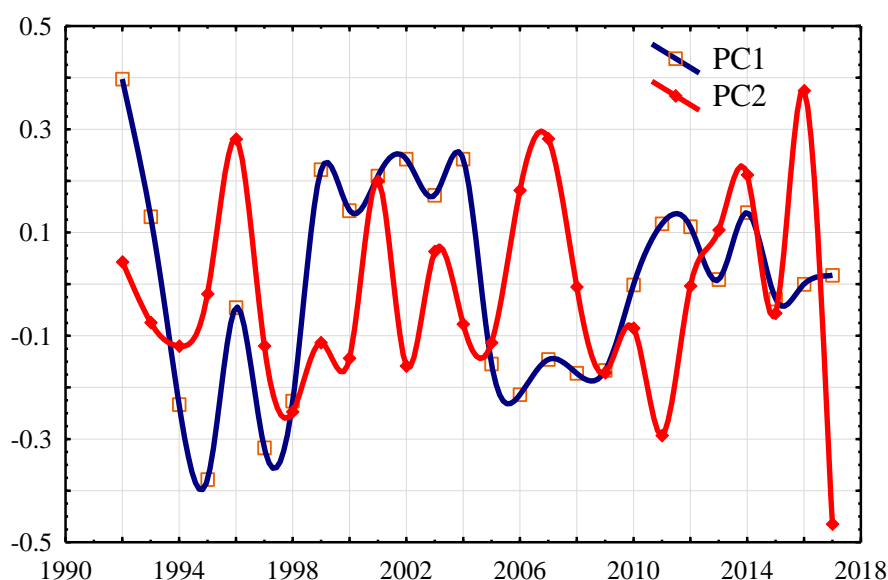


Рис. 4.2.14. Цукровий буряк. Часова динаміка головних компонент 1–2

Головна компонента 1 описує 18,06% загальної варіабельності врожайності цукрового буряку. Для неї властива позитивна автокореляція з лагом 1 рік ( $r = 0,45$ ;  $p < 0,05$ ), від'ємна часова автокореляція з лагом 5 років ( $r = -0,57$ ;  $p < 0,05$ ) та 6 років ( $r = -0,54$ ;  $p < 0,05$ ), а також позитивна автокореляція з лагом 11 років ( $r = 0,39$ ;  $p < 0,05$ ) та 12 років ( $r = 0,34$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 4.2.15). Варіювання головної компоненти 1 є чітко просторово детермінованим (статистика *I*-Морана 0,67;  $p < 0,001$ ) (рис. 4.2.16).

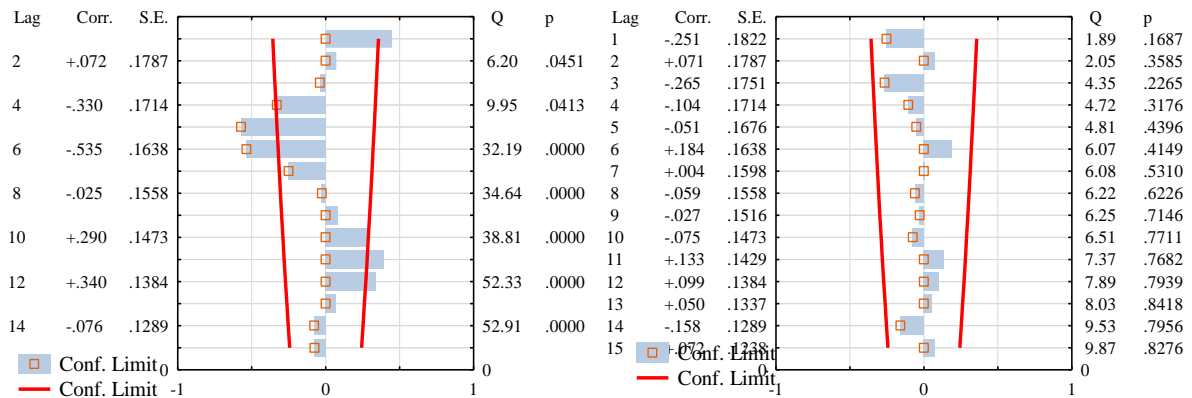


Рис. 4.2.15. Цукровий буряк. Автокореляційна функція для PC1 та PC2

Головна компонента 2 описує 9,55% загальної варіабельності врожайності цукрового буряку. Для неї властива від'ємна часова автокореляція з лагом 3 роки ( $r = -0,27$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 4.2.15). Варіювання головної компоненти 1 є чітко просторово детермінованим (статистика *I*-Морана 0,32;  $p < 0,001$ ).

Зони з підвищеними значеннями головної компоненти 1 формують кластери у деяких районах півночі та сходу досліджуваного регіону (рис. 4.2.16), а райони із низькими значеннями PC1 розташовані на півдні та заході. У той же час, зони із більшими значеннями головної компоненти 2 знаходяться на південному сході регіону, а зони із низькими абсолютними навантаженнями PC2 не мають чітких кластерів і розподілені рівномірно по всій території досліджуваного регіону (рис. 4.2.16).

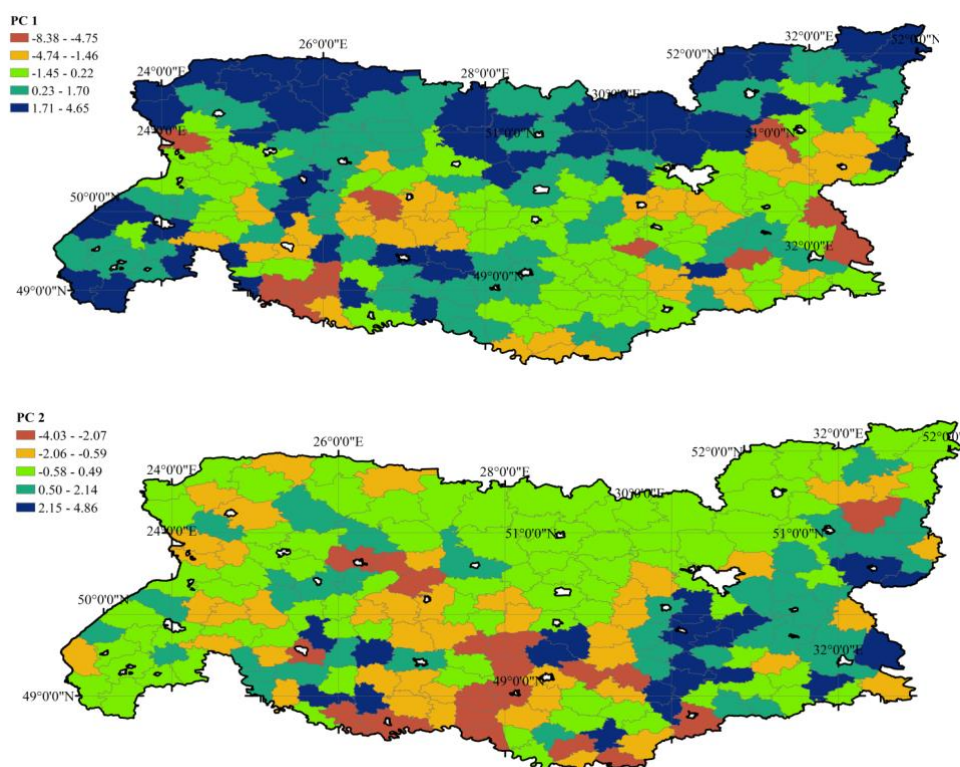


Рис. 4.2.16. Цукровий буряк. Просторове варіювання головних компонент 1–2

Отже, за допомогою аналізу головних компонент, ми можемо визначити переважаючу динаміку врожайності цукрових буряків та виділити території, де динаміка врожайності подібна. Проте ця карта дуже строката за динамічними аспектами та не дуже зручна у користуванні. Тому, з метою виявлення територіальних кластерів з однаковою динамікою врожайності ми провели географічно-зважений аналіз головних компонент (Geographically Weighted Principal Component Analysis – GWPCA).

Для того, щоб встановити чи мають наші дані просторову складову варіювання, було проведено тест Монте-Карло, який показав, що дані є придатними для проведення географічно-зваженого аналізу головних компонент ( $p = 0,01$ ) (Додаток 5, Б).

Результати попереднього глобального аналізу головних компонент вказують на те, що перші дві компоненти здатні разом пояснити 27,6% варіації в структурі даних. Відповідно, обґрунтованим є рішення залишити дві компоненти для подальшої процедури GWPCA. У процесі процедури

адаптивної селекції вікна пропускання для Гаусової ядерної функції (gaussian kernel), було встановлене оптимальне вікно пропускання, яке включає 45 сусідів для даного фокального об'єкту. Для проведення GWPCA застосували тільки дві перші головні компоненти GWPC 1, GWPC 2, які були виділені у результаті попереднього аналізу головних компонент.

Порівняно з глобальним аналізом головних компонент, GWPCA демонструє свою ефективність та результативність в аналізі просторових патернів регіонального розміщення урожайності цукрових буряків за допомогою картування просторової варіабельності головних компонент (рис. 4.2.17). З рисунка видно, що райони із найбільшим процентом варіювання головних компонент знаходяться в центрі дослідженого регіону, а зони з найменшим процентом варіювання розміщені переважно на заході.

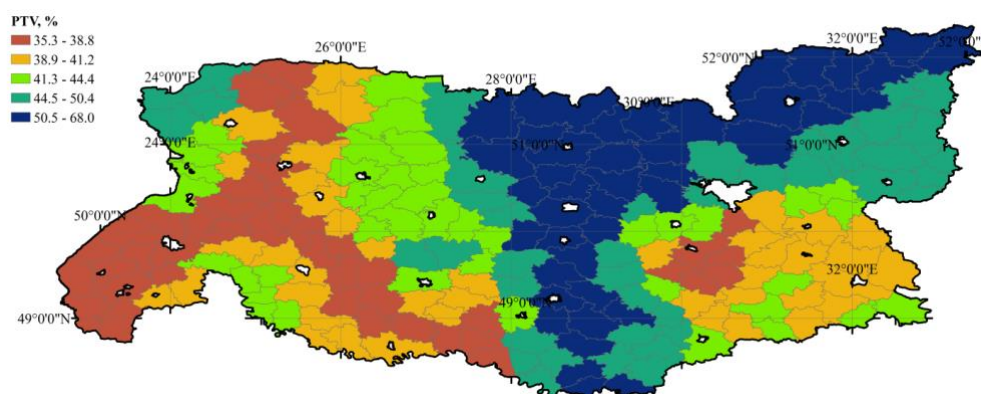


Рис. 4.2.17. Цукровий буряк. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших двох головних компонент (percentage of total variance – PTV)

Замість традиційної для даного типу аналізу процедури «виграшних» змінних, яка в нашому випадку, на жаль, дає нечітку картину результатів (Додаток 6, В), нами був застосований кластерний аналіз. Вказаний підхід дозволяє виділити групи адміністративних районів, які характеризуються подібною часовою динамікою врожайності цукрових буряків у аспекті відповідної головної компоненти. Очевидно, що сукупності адміністративних районів, які характеризуються подібною динамікою врожайності, також географічно наближені та формують однорідні екологічні райони.

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1 дозволив встановити три гомогенних кластера (рис.4.2.18), для яких розраховали середні значення факторних навантажень (рис. 4.2.19).

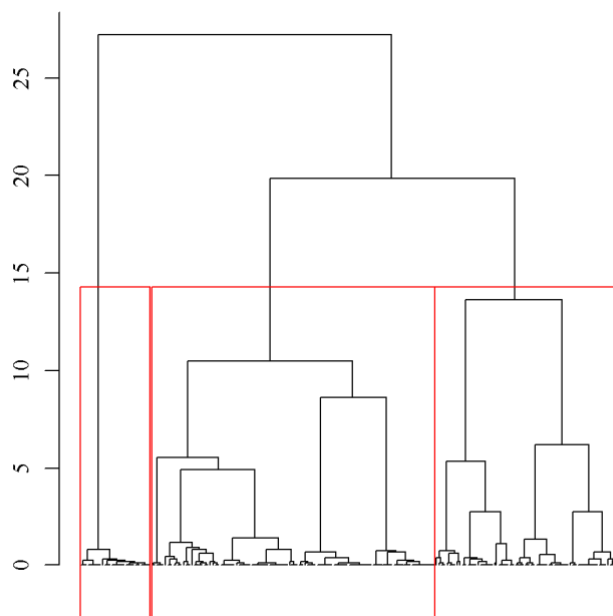


Рис. 4.2.18. Цукровий буряк. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1

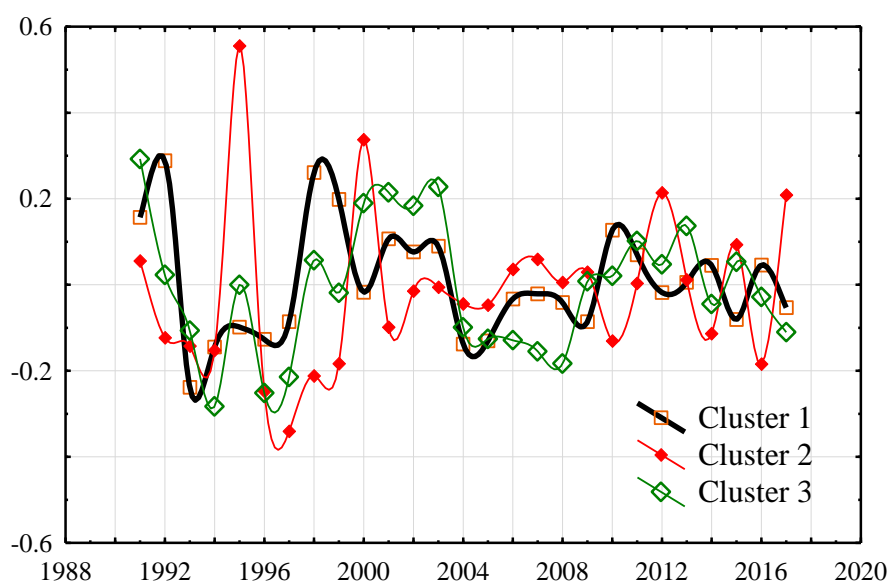


Рис. 4.2.19. Цукровий буряк. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–3. Вісь абсцис – роки, вісь ординат – факторні навантаження

Частотні характеристики GWPC 1 в кластері 1 характеризуються наявністю від'ємної автокореляції з лагом 5 років ( $r = -0,42; p < 0,05$ ). У свою чергу, для кластеру 2 характерна позитивна автокореляція з лагом п'ять років ( $r = 0,36; p < 0,05$ ). Для кластеру 3 характерні частотні властивості, встановлені для головної компоненти 1, виділеної у результаті звичайного аналізу головних компонент: позитивна автокореляція з лагом 1 рік ( $r = 0,41; p < 0,05$ ), від'ємна часова автокореляція з лагом 5 років ( $r = -0,56; p < 0,05$ ) та 6 років ( $r = -0,57; p < 0,05$ ), а також позитивна автокореляція з лагом 10 років ( $r = 0,35; p < 0,05$ ), 11 років ( $r = 0,40; p < 0,05$ ) та 12 років ( $r = 0,36; p < 0,05$ ) (4.2.19).

Просторове розміщення адміністративних районів, які включені у відповідні кластери, є просторово регулярним (рис. 4.2.20). Кластери 1 та 2 займають центр дослідженого регіону, кластер 3 покриває найбільшу територію та знаходиться як на краях дослідженого регіону, так і в його центрі.

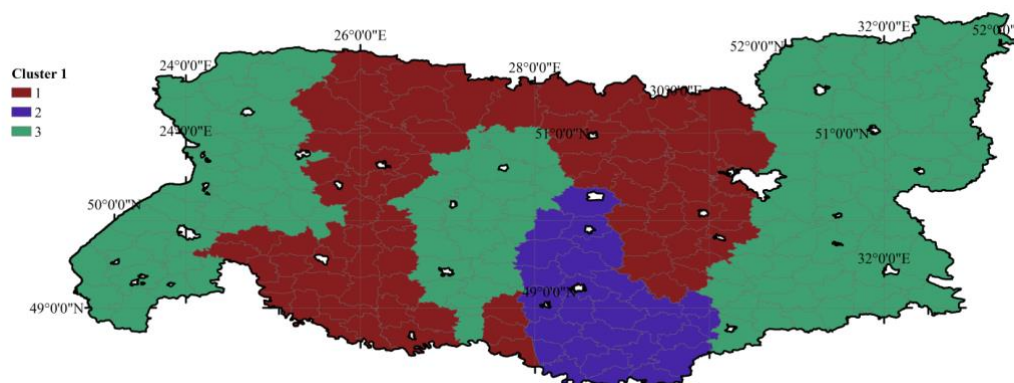


Рис. 4.2.20. Цукровий буряк. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2 дозволив встановити два гомогенних кластера (рис. 4.2.21). Динаміка процесів, які об'єднані кластером 1, характеризується часовою від'ємною автокореляцією з лагом 3 роки ( $r = -0,38; p < 0,001$ ) та 4 роки ( $r = -0,37; p < 0,001$ ).



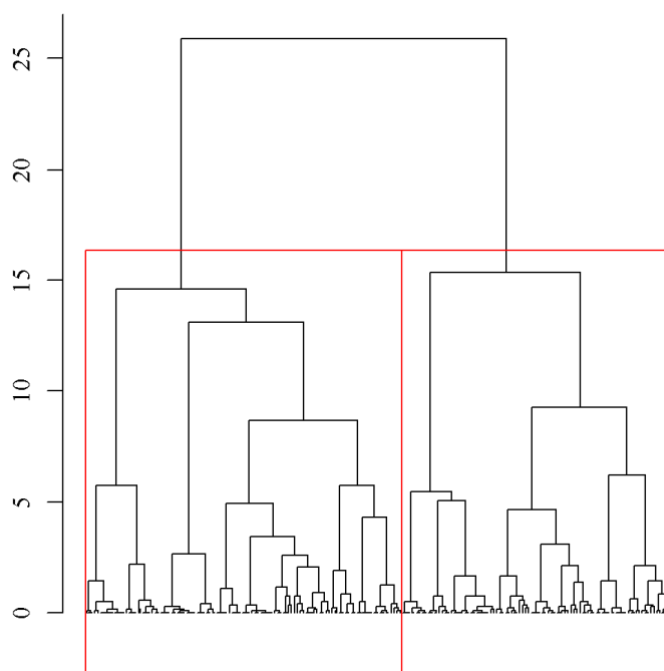


Рис. 4.2.21. Цукровий буряк. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2

Кластер 2 характеризується динамікою, у якій подана від'ємна автокореляція з лагом 1 рік ( $r = -0,39$ ;  $p < 0,001$ ) та позитивна автокореляція з лагом 2 роки ( $r = 0,23$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 4.2.22).

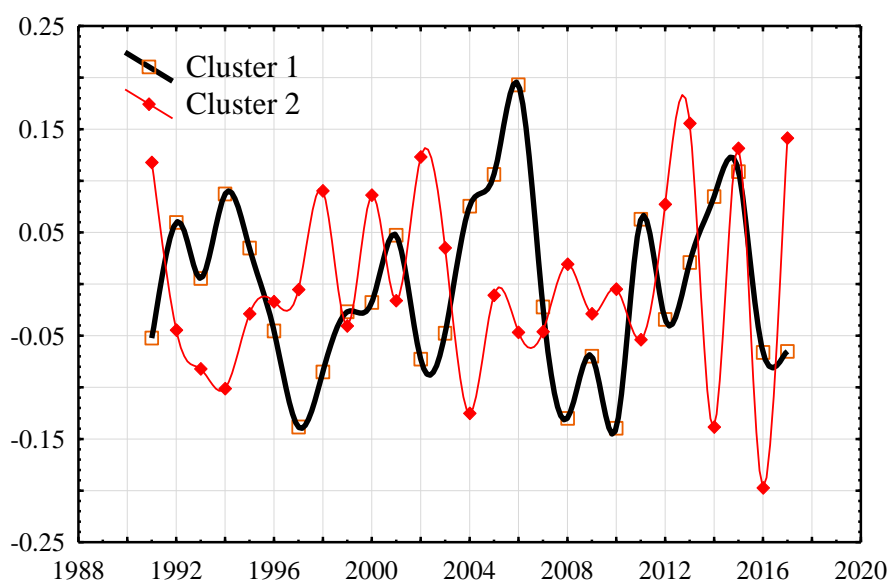


Рис. 4.2.22. Цукровий буряк. Середні значення факторних навантажень GWPC 2 для кластерів 1–2. Вісь абсцис – роки, вісь ординат – факторні навантаження

У просторовому аспекті другий кластер факторних навантажень GWPC 2 займає центральне положення, а кластер 1 присутній як у центрі, так і на заході та сході дослідженого регіону (рис. 4.2.23).

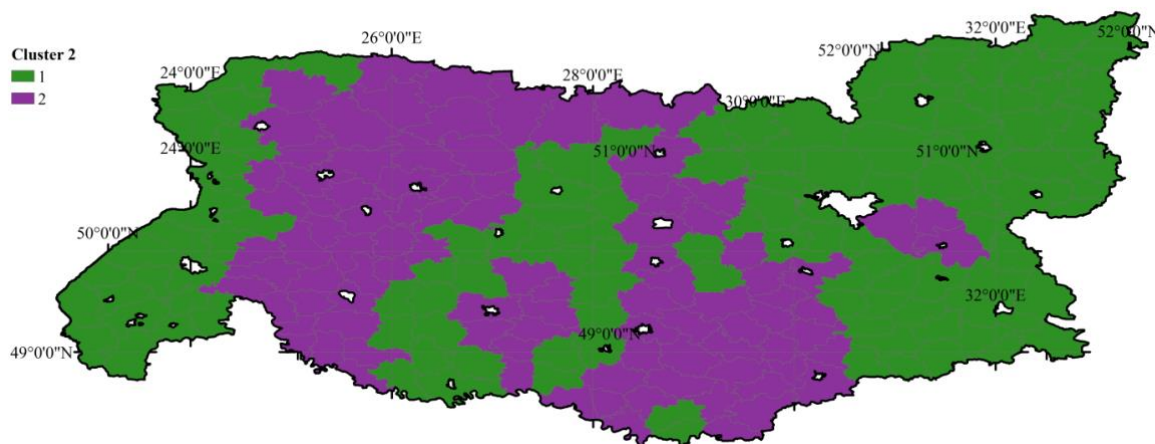


Рис. 4.2.23. Цукровий буряк. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 2

Отже, використання аналізу головних компонент щодо залишків регресійної моделі дозволяє встановити динамічні характеристики варіювання врожайності цукрових буряків. Ця інформація, може бути використана у сільськогосподарському менеджменті, зокрема, при плануванні сівозмін, заходів захисту рослин, підвищення родючості ґрунту тощо. Застосування географічно-зваженого аналізу головних компонент дозволило виділити більш компактні території (кластери) з однаковою частотою варіювання врожайності цукрових буряків. А території з однаковим перебігом екологічних процесів, в загальному вигляді, можуть розглядатися як агродинамічні кластери.

### Овочі

Внесок агроекологічних факторів у варіювання врожайності овочів коливається від 10 до 47% у залежності від району досліджень [49].

Щоб зменшити розмір набору даних та виявити спрощені структури, які приховані у ньому, для кількісної оцінки просторової мінливості урожайності овочів використали непараметричний статистичний метод – аналіз головних

компонент (Principle component analysis – PCA). Застосувавши PCA щодо залишків регресійної моделі встановили, що кількість статистично вірогідних головних компонент становить 8 (табл. 4.2.3).

Таблиця 4.2.3.

### Овочі. Результати глобального аналізу головних компонент

Головна компонента	Налаштоване* власне значення	Власне значення	Зсув	Пояснен а варіація	Стандартне відхилення
1	8,18	8,92	0,73	33,03	2,98
2	3,35	3,97	0,62	14,70	1,99
3	1,99	2,52	0,54	9,35	1,58
4	1,71	2,17	0,46	8,05	1,47
5	1,63	2,03	0,40	7,53	1,42
6	1,40	1,74	0,34	6,43	1,31
7	1,38	1,66	0,28	6,15	1,29
8	1,15	1,38	0,23	5,12	1,17

Позначки: \* – за процедурою Горна

Разом перші вісім головних компонент пояснюють 90,4% загальної варіабельності простору ознак, але застосувавши критерій «осипу», визначили, що для подальших досліджень доцільно залишати лише перші 2 головні компоненти, які разом пояснюють 47,7% загальної варіабельності дисперсії.

На рисунку 4.2.24 зображено динаміку варіювання головних компонент 1 і 2 у часі.

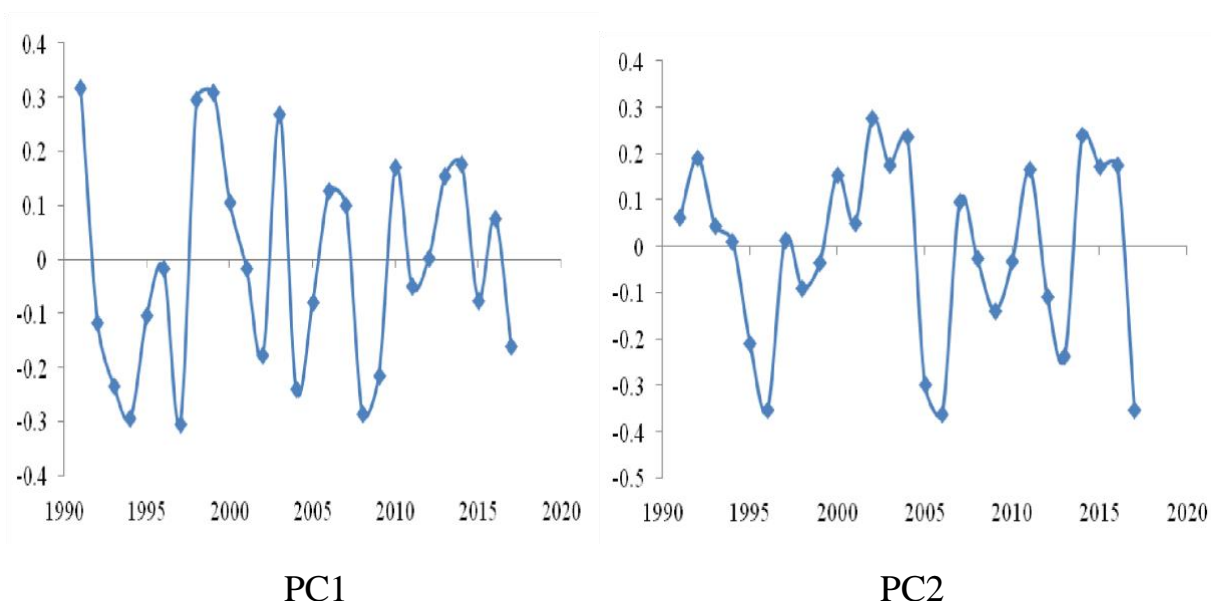


Рис. Овочі. 4.2.24. Значення навантажень головних компонент 1–2 на змінні

Так, головна компонента 1 описує 33,0% загальної варіабельності врожайності овочів. Варіювання головної компоненти 1 чітко просторово детерміновано (статистика *I*-Морана 0,47;  $p < 0,001$ ). Для головної компоненти 1 характерний переважаючий період коливання з лагом 5 років, причому, впродовж періоду досліджень частота коливання зростає. Зони з підвищеними значеннями головної компоненти 1 формують кластери у деяких районах сходу та півночі досліджуваного регіону (рис. 4.2.25). Зони із високими значеннями компоненти формують чіткий кластер на півночі та південно-сході регіону досліджень, а райони із низькими значеннями PC1 розташовані на південному сході.

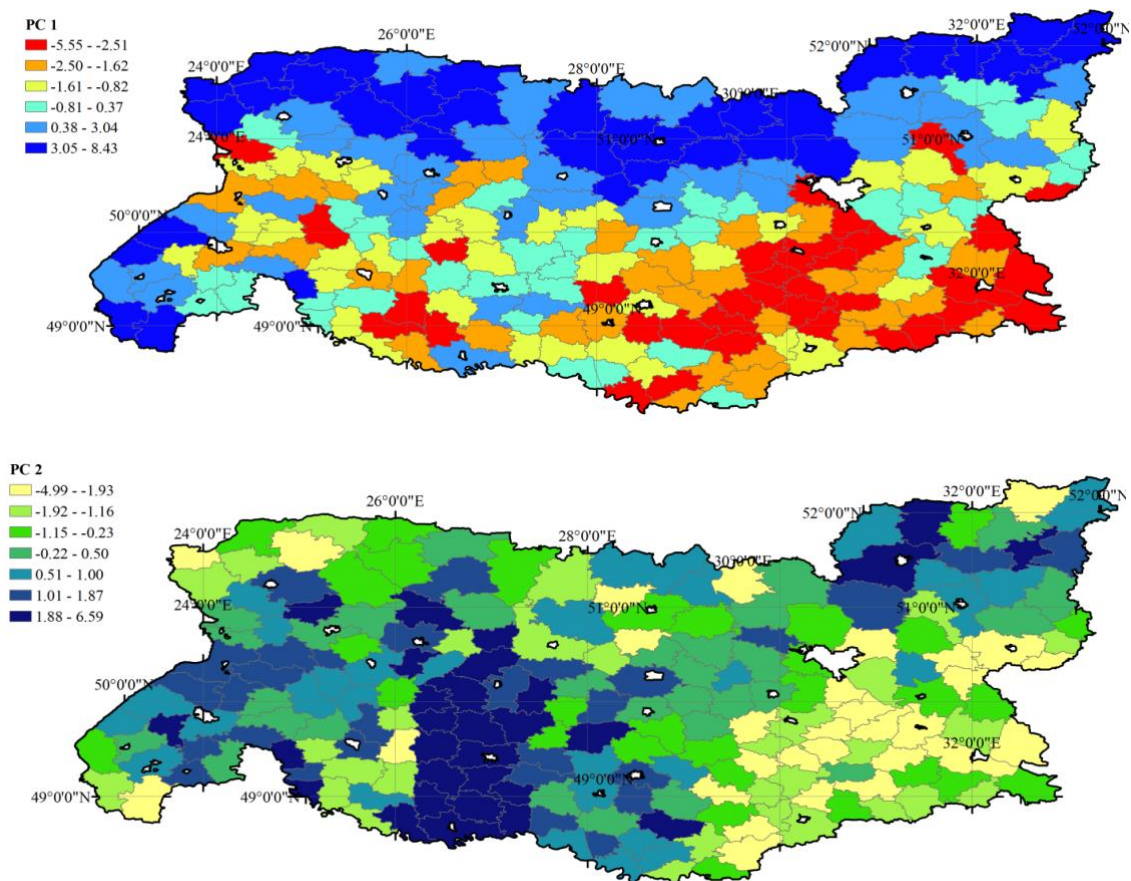


Рис. 4.2.25. Овочі. Просторове варіювання головних компонент 1–2

Головна компонента 2 пояснює 14,7% варіабельності дисперсії урожайності овочів; для її коливання характерна автокореляція з середнім лагом 3 роки. Для PC2 характерне згасання коливального процесу з часом. Ця компонента також має просторово закономірні моделі варіювання (статистика

*I*-Морана 0,32;  $p < 0,001$ ). Райони, які найбільш чутливі до головної компоненти 2 розташовані на південному-заході регіону, а найменш чутливі – на південному-сході (рис. 4.2.25).

Таким чином, глобальний аналіз головних компонент виявив різночастотні динамічні процеси варіювання урожайності овочів.

Наступним етапом досліджень було проведення **географічно-зваженого аналізу головних компонент** (Geographically Weighted Principal Component Analysis – GWPCA), на основі якого можна побудувати карти просторової неоднорідності даних.

Тест Монте-Карло показав, що дані є придатними для проведення географічно-зваженого аналізу головних компонент ( $p = 0,03$ ) (Додаток 5 В).

Оскільки, GWPCA є продовженням аналізу головних компонент, то цілком логічно інтерпретувати тільки дві перші головні компоненти GWPC 1, GWPC 2.

Порівняно з глобальним аналізом головних компонент, GWPCA демонструє свою ефективність та результативність в аналізі просторових патернів регіонального розміщення урожайності овочів за допомогою картування просторової варіабельності головних компонент (рис. 4.2.26). На рисунку прослідковується тенденція зростання з півдня на північ проценту варіювання головних компонент 1 та 2.

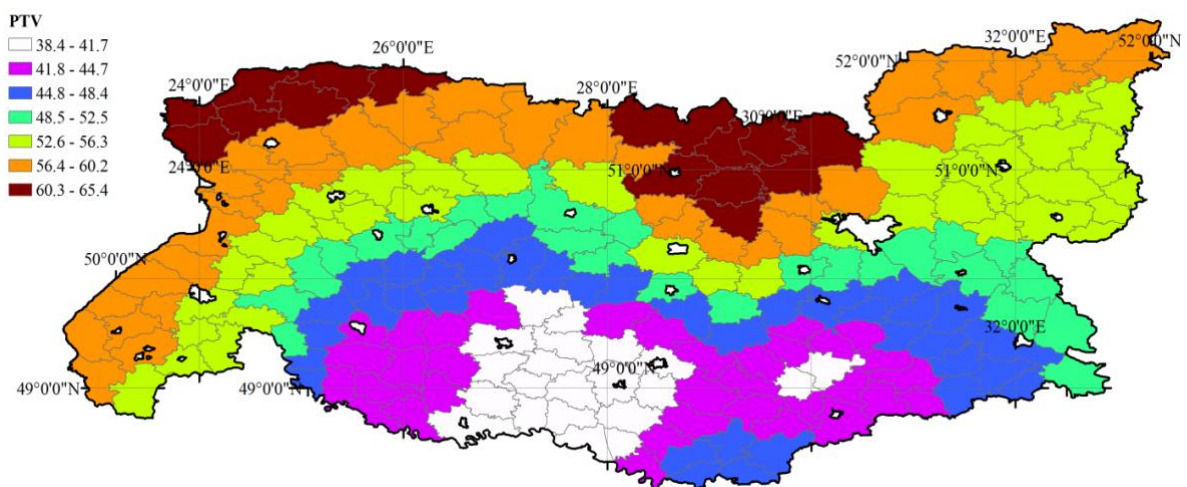


Рис. 4.2.26. Овочі. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших двох головних компонент (*percentage of total variance – PTV*)

Далі, для кожної з головних компонент була проведена процедура класифікації адміністративних районів за допомогою кластерного аналізу. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1 дозволив встановити чотири гомогенних кластера (рис. 4.2.27). Для кожного кластера були розраховані середні значення факторних навантажень, що дало змогу оцінити специфіку відповідних кластерів (рис. 4.2.28).

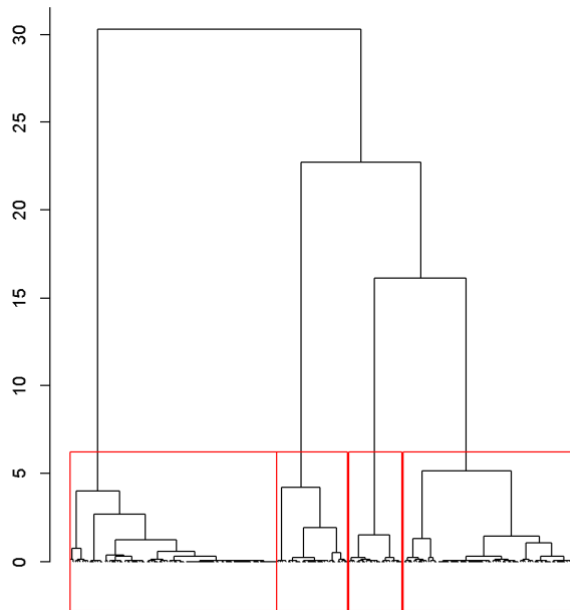


Рис. 4.2.27. Овочі. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1

Встановлені кластери та їх профільні розподіли факторних навантажень дають уявлення про перебіг процесів, які характерні для відповідного кластеру. Для кластера 1 характерний коливальний процес з від'ємною автокореляцією з лагом 5 років ( $r = -0,38$ ;  $p < 0,05$ ) та позитивною автокореляцією з лагом 7 років ( $r = 0,33$ ;  $p < 0,05$ ). Для кластера 2 характерний коливальний процес з від'ємною автокореляцією з лагом 2 роки ( $r = -0,43$ ;  $p < 0,05$ ). Для кластера 3 характерний коливальний процес з від'ємною автокореляцією з лагом 6 років ( $r = -0,39$ ;  $p < 0,05$ ) та позитивною автокореляцією з лагом 7 та 15 років ( $r = 0,37$ ;  $p < 0,05$  та  $r = 0,25$ ;  $p < 0,05$  відповідно). Для кластера 4 характерний коливальний процес з від'ємною

автокореляцією з лагом 6 та 10 років ( $r = -0,45$ ;  $p < 0,05$  та  $r = -0,59$ ;  $p < 0,05$  відповідно).

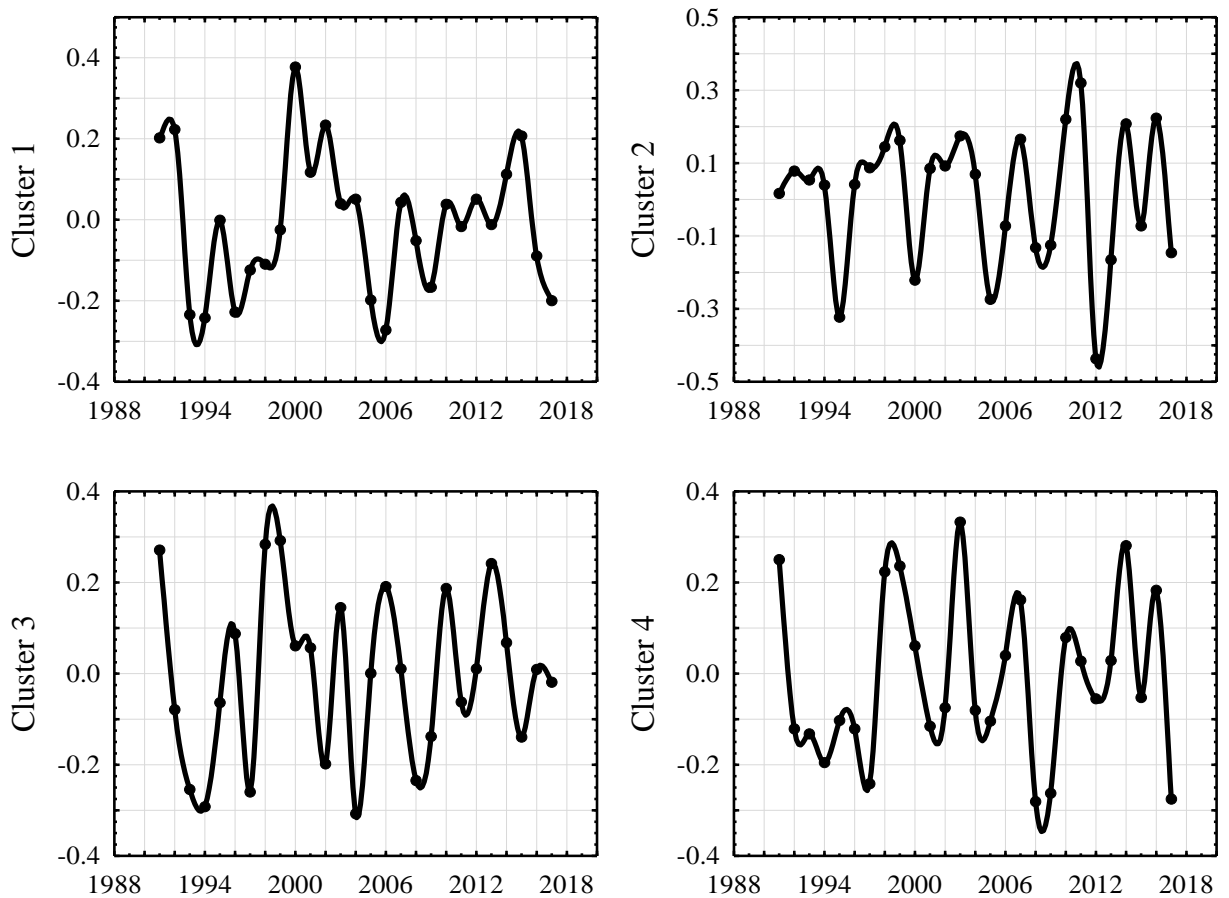


Рис. 4.2.28. Овочі. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–4. Вісь абсцис – роки, вісь ординат – факторні навантаження

Просторове розміщення адміністративних районів, які включені у відповідні кластери, є просторово регулярним (рис. 4.2.29).

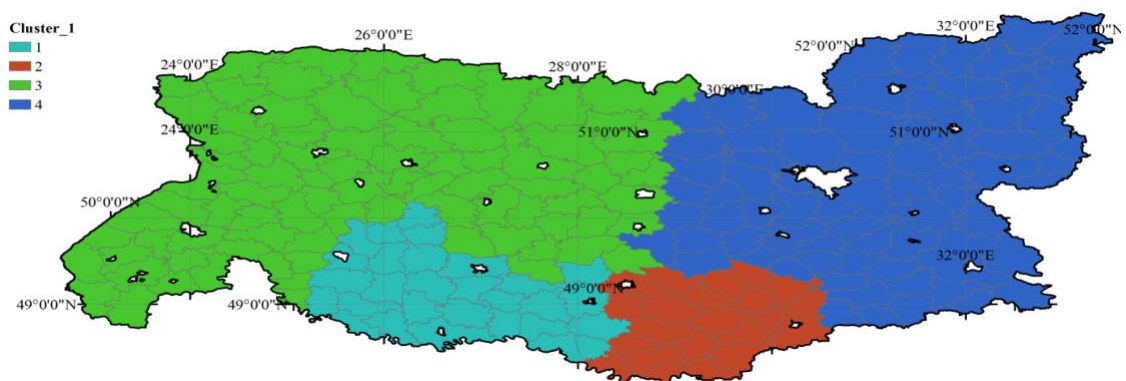


Рис. 4.2.29. Овочі. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1

Кластери 1 та 2 знаходяться на півдні, кластер 3 займає північно-західну частину території, а кластер 4 розташовано на сході дослідженої території.

Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2 дозволив встановити також чотири гомогенних кластера (рис. 4.2.30).

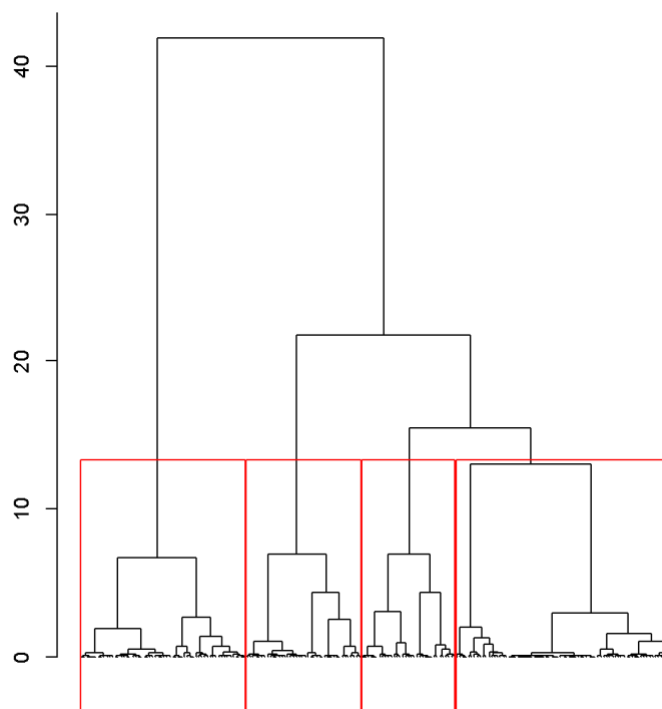


Рис. 4.2.30. Овочі. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2

За середніми значеннями факторних навантажень, можемо оцінити специфічну динаміку кожного кластера (рис. 4.2.31). Для кластера 1 характерний коливальний процес з від'ємною автокореляцією з лагом 2 та 9 років ( $r = -0,34$ ;  $p < 0,05$  та  $r = -0,31$ ;  $p < 0,05$  відповідно). Кластеру 2 характерний коливальний процес з від'ємною автокореляцією з лагом 4–6 років та позитивною кореляцією лагом 10–12 років. Для кластера 3 характерний коливальний процес з від'ємною автокореляцією з лагом 6 років ( $r = -0,44$ ;  $p < 0,05$ ). Кластеру 4 характерний коливальний процес з від'ємною автокореляцією з лагом 4 роки ( $r = -0,27$ ;  $p < 0,05$ ).



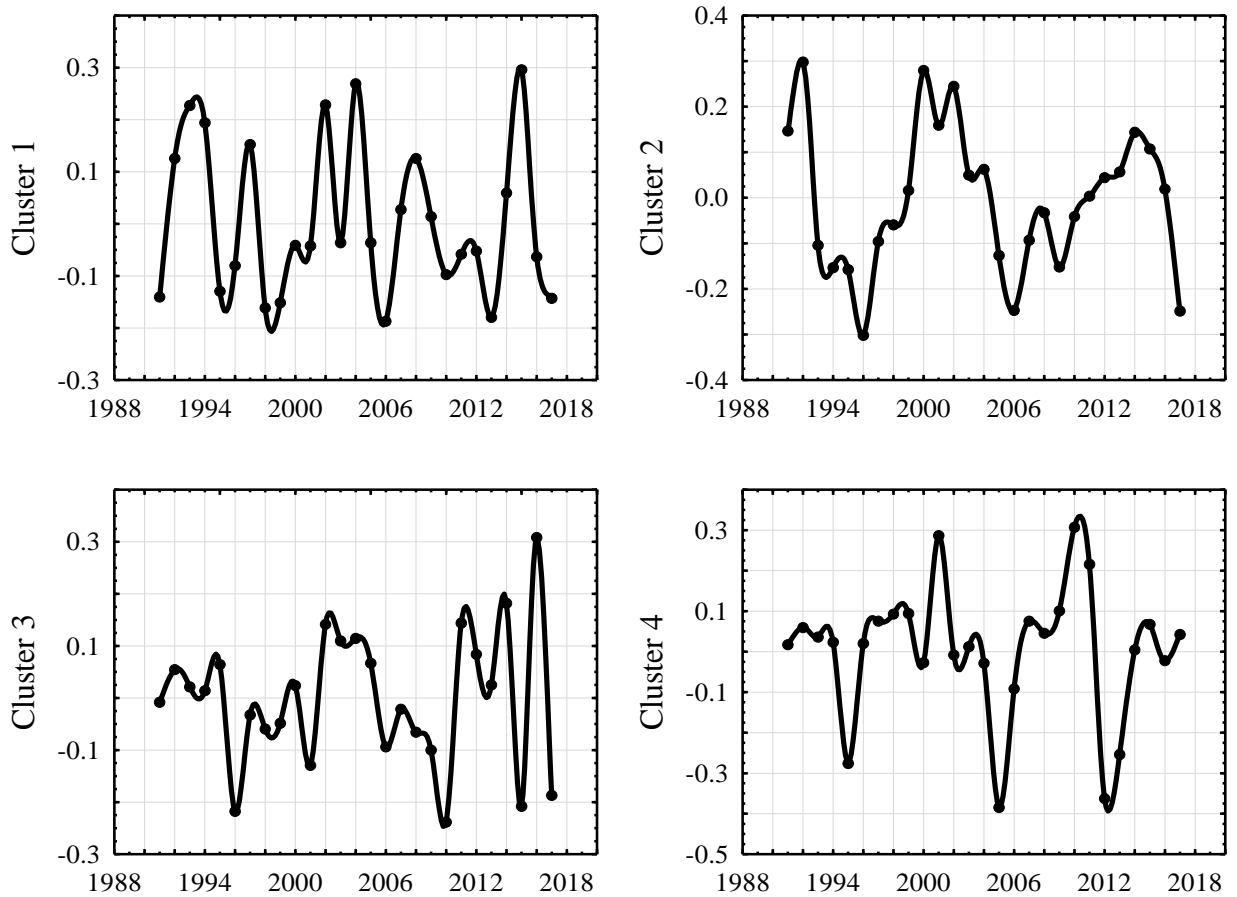


Рис. 4.2.31. Овочі. Середні значення факторних навантажень GWPC 2 для кластерів 1–4. Вісь абсцис – первинні змінні (залишки регресійних моделей тренду урожайності по роках); вісь ординат – факторні навантаження

У просторовому аспекті ці кластери розміщені мозаїчно на дослідженій території (рис. 4.2.32): кластер 1 складається з двох провінцій на півдні, кластер 2 займає більше території на заході, кластер 3 здебільшого покриває північні райони, кластер 4 займає південно-східну частину території. На півдні дослідженого регіону присутні усі чотири кластери.

Отже, запропонована нами процедура статистичної обробки даних дозволяє: по-перше, визначити співвідношення факторів агроекономічної (агротехнологічної) та агроеклогічної природи на динаміку врожайності овочів відкритого ґрунту; по-друге, встановити гомогенні території з однаковою частотою варіювання врожайності овочів (ці дані можуть бути використанні при прогнозуванні врожайності культури у майбутньому); по-

третє, кластерний аналіз дозволив виділити більш компактні території з однаковим перебігом екологічних процесів, які, є агродинамічними зонами з точки зору вирощування овочів відкритого ґрунту.

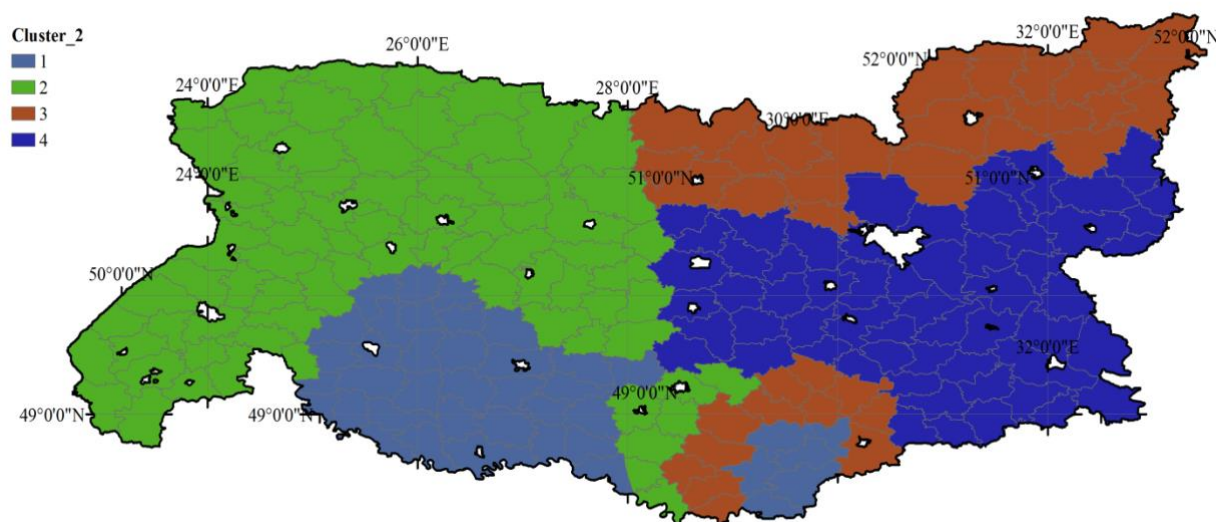


Рис. 4.2.32. Овочі. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 2

### Ріпак озимий

У якості вихідних даних для аналізу головних компонент (PCA) та його локалізованої версії – географічно-зваженого аналізу головних компонент (GWPCA) використані залишки регресійної моделі урожайності ріпаку (рис. 3.7.6), які обумовлені впливом екологічних факторів.

За критерієм Кайзера-Мейєра-Олкіна (КМО), який дорівнював 0,85, дослідженні дані слід визнати бездоганними (*meritorious*) для проведення аналізу головних компонент.

PCA залишків регресійної моделі урожайності ріпаку виявив, що 9 статистично вірогідних головних компонент разом пояснюють 69,26% загальної варіації (табл. 4.2.4). Критерій «осипу» [217] дозволяє залишити перші 2 головні компоненти, які разом пояснюють 28,72% загальної варіабельності простору ознак, що достатньо для усвідомлення загальних

особливостей просторового варіювання урожайності ріпаку під впливом екологічних факторів.

Таблиця 4.2.4.

**Результати глобального аналізу головних компонент залишків  
регресійної моделі варіювання урожайності ріпаку**

Головна компонента	Налаштоване* власне значення	Власне значення	Зсув	Пояснена варіація	Стандартне відхилення
1	4,33	5,07	0,74	18,77	2,25
2	2,07	2,69	0,62	9,95	1,64
3	1,58	2,12	0,53	7,85	1,45
4	1,48	1,95	0,46	7,21	1,39
5	1,34	1,73	0,40	6,42	1,31
6	1,09	1,43	0,34	5,29	1,19
7	1,02	1,30	0,28	4,81	1,14
8	1,00	1,23	0,23	4,56	1,11
9	1,01	1,19	0,18	4,40	1,09

Позначки: \* – за процедурою Горна

Головна компонента 1 описує 18,77% загальної варіабельності врожайності ріпаку. Для неї властива позитивна автокореляція з лагом 1 рік ( $r = 0,50$ ;  $p < 0,05$ ), від'ємна часова автокореляція з лагом 5 років ( $r = -0,43$ ;  $p < 0,05$ ), 6 років ( $r = -0,50$ ;  $p < 0,05$ ) та 7 років ( $r = -0,32$ ;  $p < 0,05$ ), а також позитивна автокореляція з лагом 11 років ( $r = 0,35$ ;  $p < 0,05$ ) та 12 років ( $r = 0,30$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 4.2.33, 4.2.34). Варіювання головної компоненти 1 є чітко просторово детермінованим (статистика *I*-Морана 0,67;  $p < 0,001$ ) (рис. 4.2.35).

Оскільки сутність головних компонент – це динамічні аспекти варіювання урожайності ріпаку за впливу на неї екологічних факторів, то важливо знати переважаючий лаг варіювання, що дасть змогу у майбутньому прогнозувати урожайність культур, планувати сівозміни та заходи захисту рослин у макромасштабі, проводити необхідні адаптаційні заходи, зокрема до змін клімату, тощо. Головна компонента 2 описує 9,95% загальної варіабельності врожайності ріпаку. Для неї властива від'ємна часова автокореляція з лагом 3 роки ( $r = -0,27$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 4.2.33, 4.2.34).

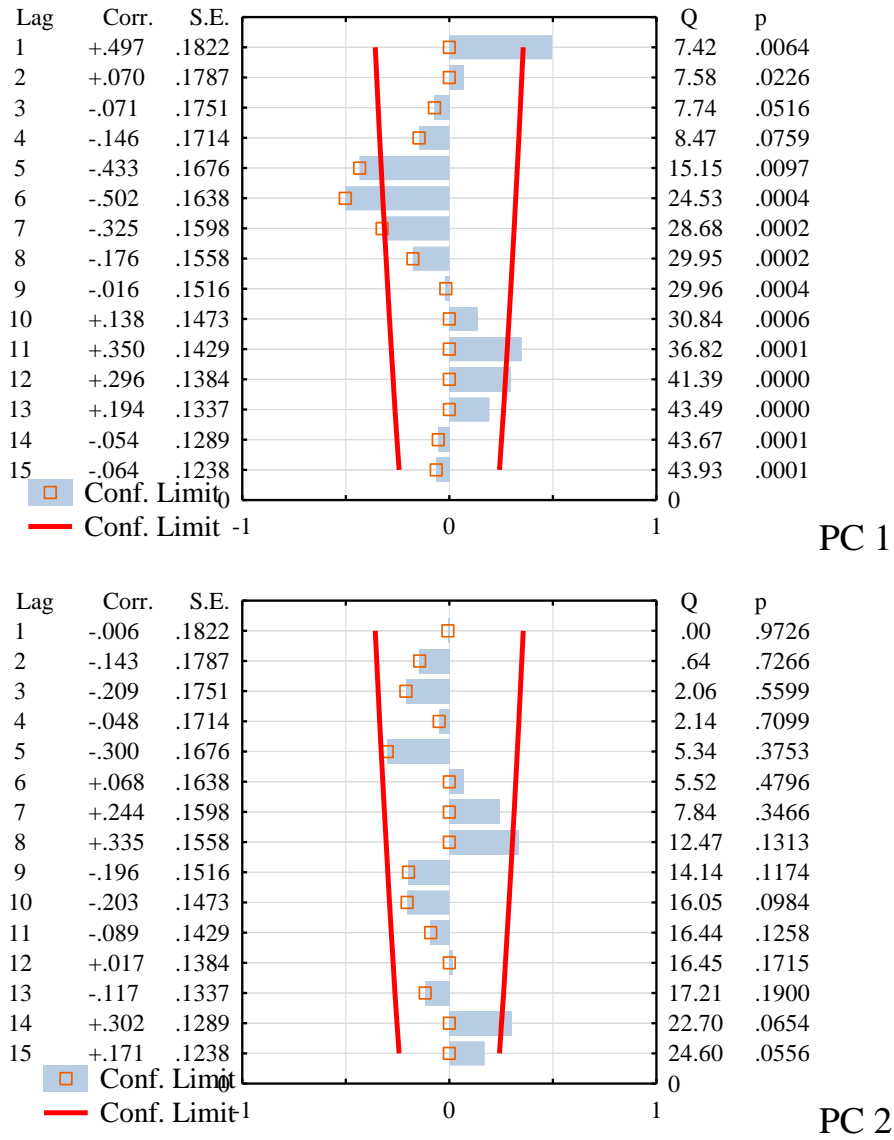


Рис. 4.2.33. Ріпак. Автокореляційна функція для PC1 та PC2

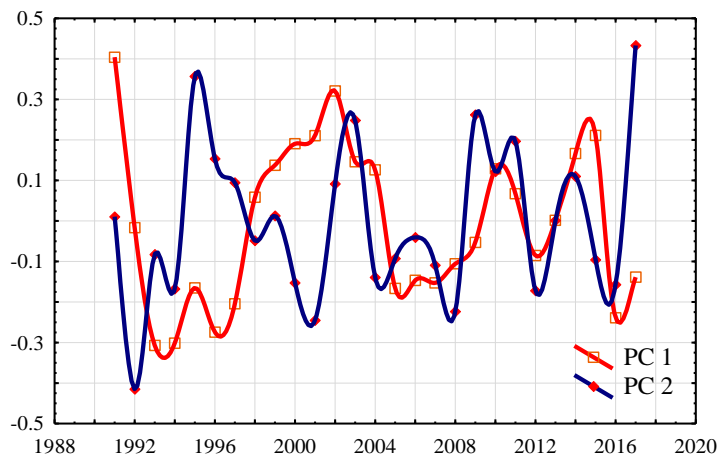


Рис. 4.2.34. Часова динаміка головних компонент 1–2 варіювання урожайності ріпаку

Варіювання головної компоненти 2 також має просторовий аспект (статистика *I*-Морана 0,32;  $p < 0,001$ ) (рис. 4.2.35).

Цікавою особливістю карт просторового варіювання головних компонент 1 та 2 є те, що вони дуже схожі, тобто ті самі області, що мають підвищену чутливість до компоненти 1, як правило, так само характеризуються високими показниками впливу компоненти 2. Це говорить про те, що ці два екологічних процеси пов'язані між собою.

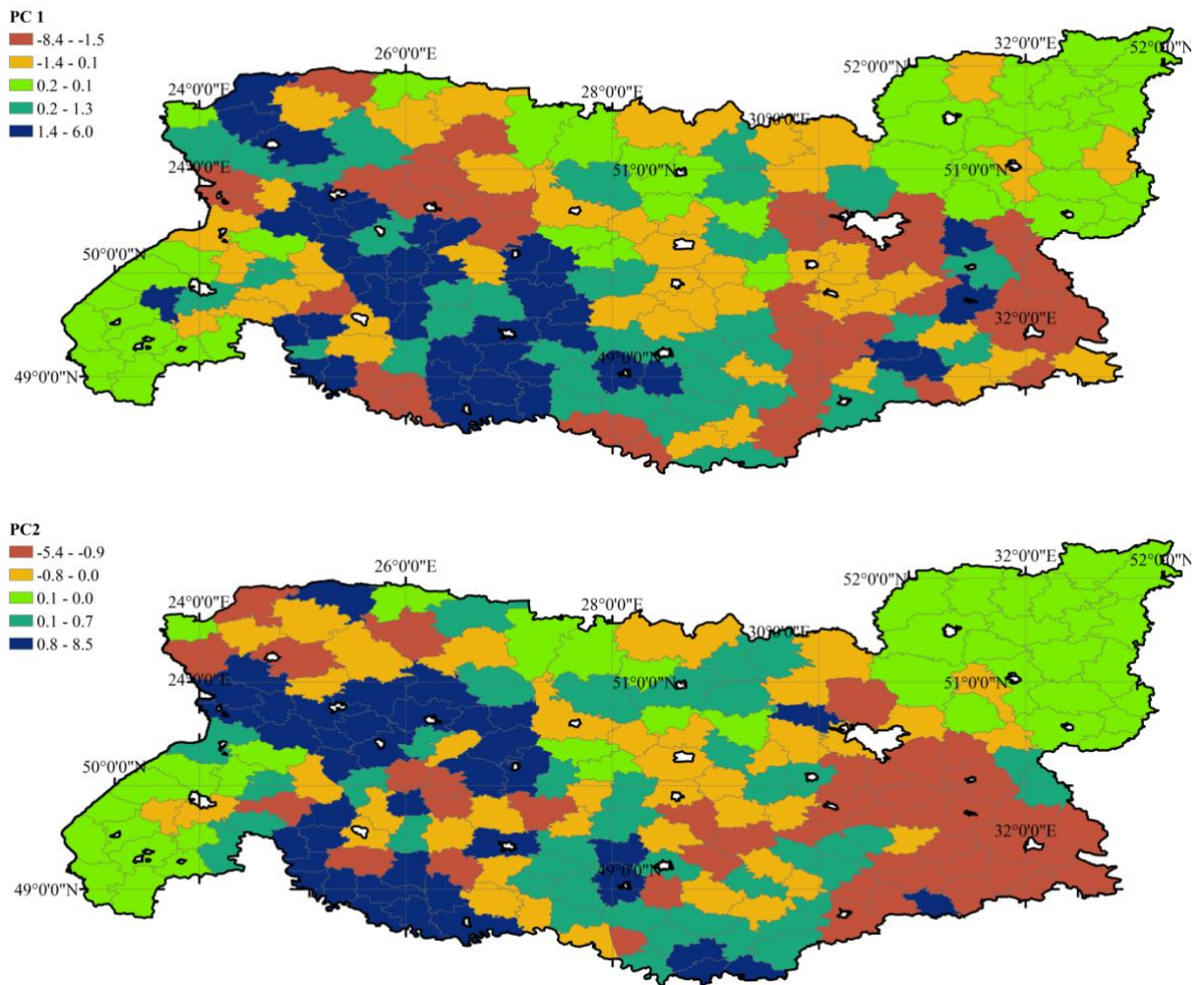


Рис. 4.2.35. Ріпак. Просторове варіювання головних компонент 1–2

Оскільки карта просторового варіювання головних компонент 1 та 2 досить строката та незручна у користуванні, а також існують приховані регіональні аспекти просторового варіювання урожайності ріпаку під впливом

екологічних факторів, то на наступному етапі досліджень ми провидимо географічно-зважений аналіз головних компонент.

Попередньо був проведений тест Монте-Карло, який встановив високий рівень просторової варіативності даних з урожайності ріпаку ( $p = 0,03$ ) (Додаток 5, Г). Для подальшої процедури GWPCA цілком обґрунтованим є рішення залишити дві головні компоненти. Встановлене оптимальне вікно пропускання для Гаусової ядерної функції, яке включає 82 сусіда для кожного фокального об'єкту.

Процент просторового варіювання перших двох головних компонент найбільший у центральній частині і послаблюється ближче до країв дослідженого регіону (рис. 4.2.36).

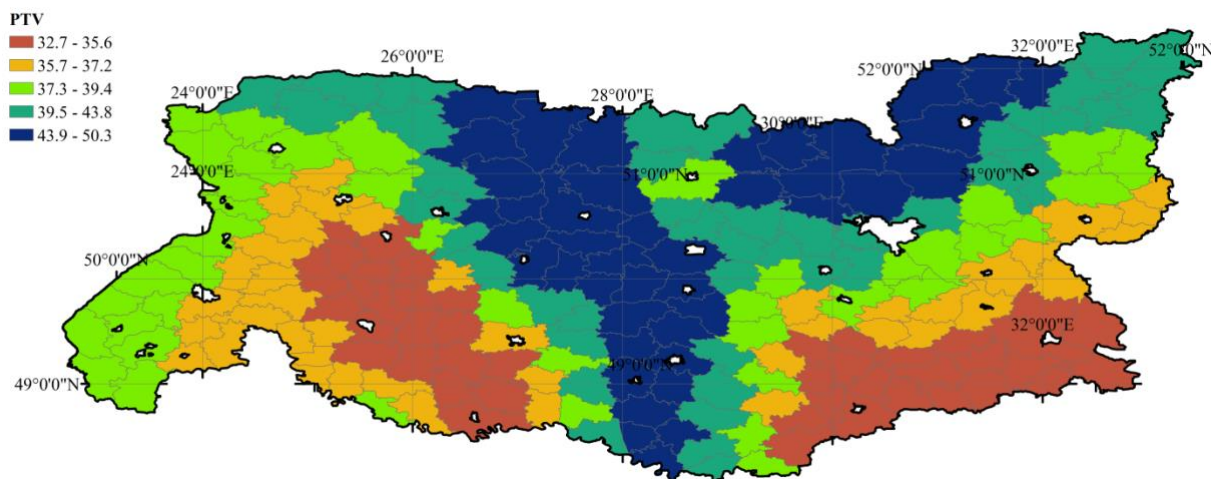


Рис. 4.2.36. Ріпак. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших двох головних компонент (*percentage of total variance – PTV*).

Побудувавши карту просторового розміщення вирашних змінних можемо визначити, в які роки урожайність ріпаку у кожному районі знаходилася в точках екстремумів (рис. 4.2.37). Так, для принципової компоненти 1 найбільше абсолютне навантаження мала змінна 1 (1991 рік) та змінна 17 (2007 рік). Для принципової компоненти 2 найбільше абсолютне

навантаження мала змінна 21 (2011 рік), змінна 10 (2000 рік) та змінна 2 (1992 рік). Оскільки змінні є роками, то їх змістовна інтерпретація ускладнена.

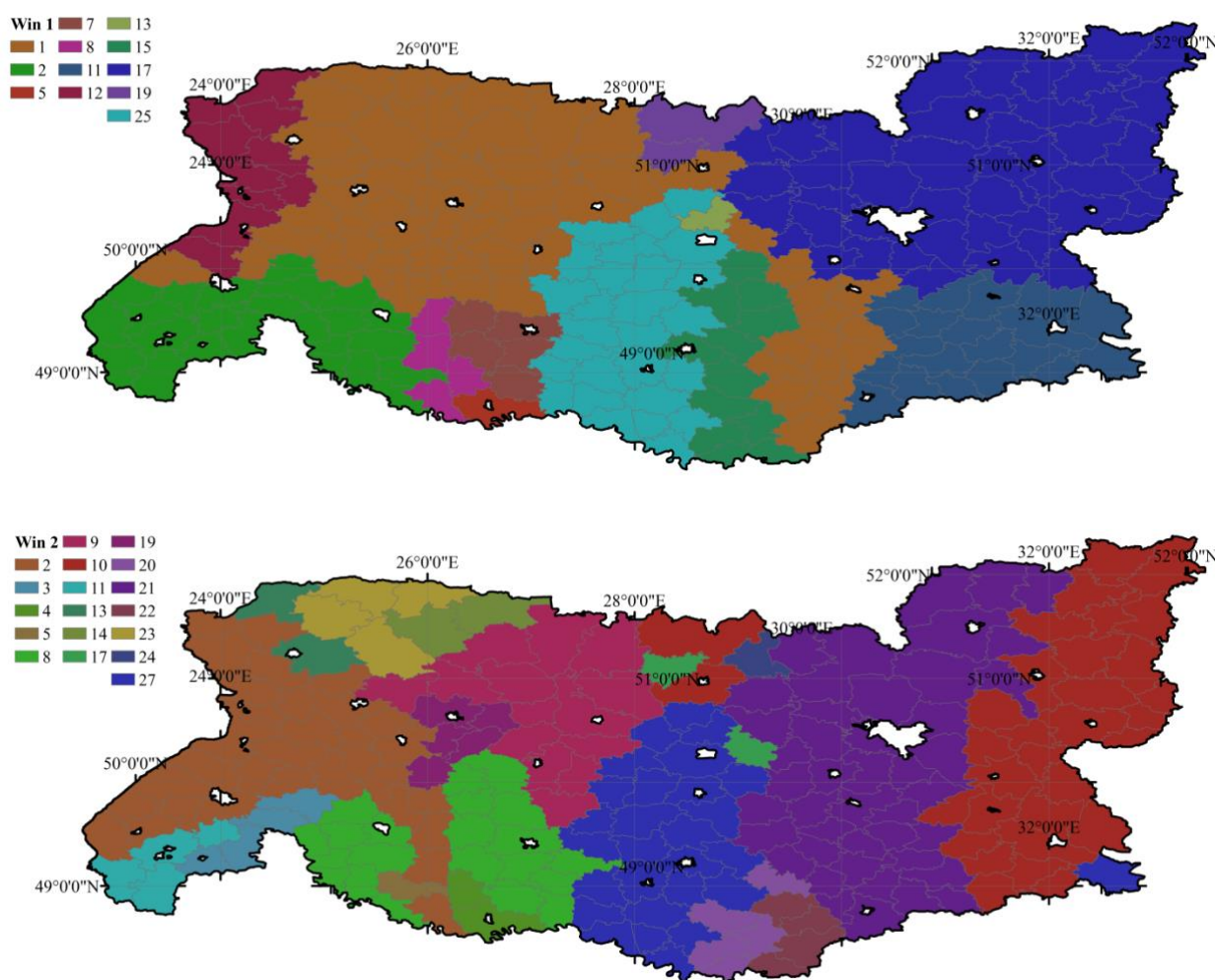


Рис. 4.2.37. Ріпак. Просторове розміщення «виграшних» змінних для головних компонент 1–2

Саме тому, ми застосували кластерний аналіз, щоб виявити території зі спорідненим характером варіювання урожайності ріпаку. Для головної змінної 1 встановлено 4 кластера з однаковим перебігом динамічних процесів (рис. 4.2.38).

Частотні характеристики GWPC 1 в кластері 1 характеризуються наявністю позитивної автокореляції з лагом 1 рік ( $r = 0,42$ ;  $p < 0,05$ ), від'ємної часової автокореляції з лагом 5 років ( $r = -0,42$ ;  $p < 0,05$ ), 6 років ( $r = -0,50$ ;  $p <$

0,05) та 7 років ( $r = -0,34; p < 0,05$ ), а також позитивної автокореляції з лагом 11 років ( $r = 0,32; p < 0,05$ ) та 12 років ( $r = 0,33; p < 0,05$ ) (рис. 5.2.39).

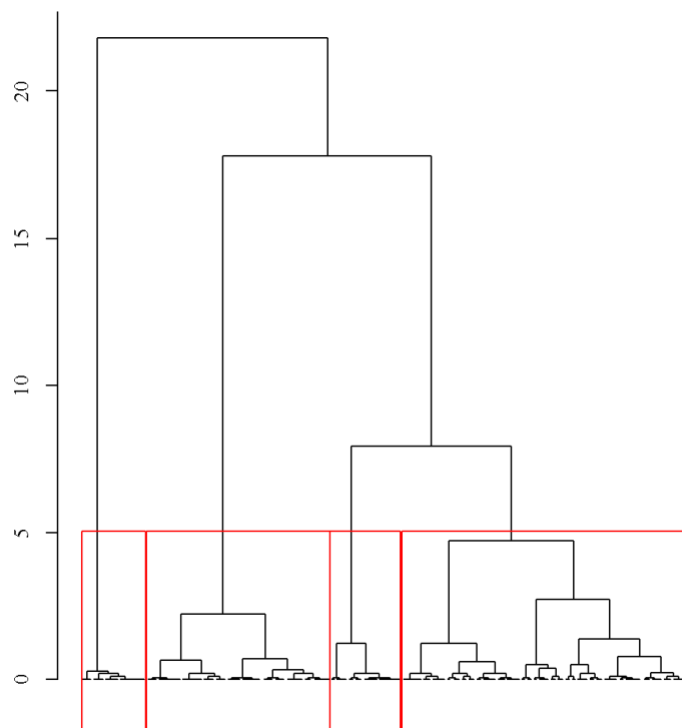


Рис. 4.2.38. Ріпак. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1

У свою чергу, для кластеру 2 характерні аналогічні частотні характеристики, а особливість полягає у зсуві фаз коливального процесу: наявна позитивна автокореляція з лагом 1 рік ( $r = 0,41; p < 0,05$ ), від'ємна часова автокореляція з лагом 4 років ( $r = -0,31; p < 0,05$ ), 5 років ( $r = -0,37; p < 0,05$ ), 6 років ( $r = -0,33; p < 0,05$ ), а також позитивна автокореляція з лагом 12 років ( $r = 0,34; p < 0,05$ ). Для кластеру 3 характерна позитивна автокореляція з лагом 1 рік ( $r = 0,49, p < 0,05$ ) та від'ємна часова автокореляція з лагом 5 років ( $r = -0,40; p < 0,05$ ). Для кластеру 4 характерна від'ємна часова автокореляція з лагом 7 років ( $r = -0,19; p < 0,05$ ) (рис. 4.2.39).

Встановлені кластери та їх профільні розподіли факторних навантажень дають уявлення про перебіг процесів, які характерні для відповідного кластеру.



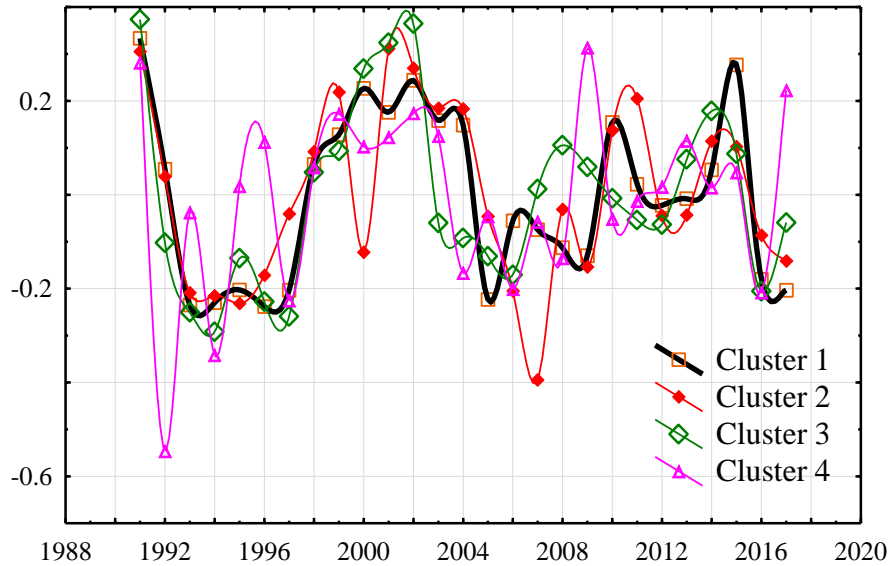


Рис. 4.2.39. Ріпак. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–4. Вісь абсцис – роки, вісь ординат – факторні навантаження

У просторовому аспекті найбільшу територію займає кластер 1, який знаходиться у центрі регіону досліджень. Другий кластер окупує схід. А кластери 3 та 4 ділять захід дослідженої території (рис. 4.2.40).

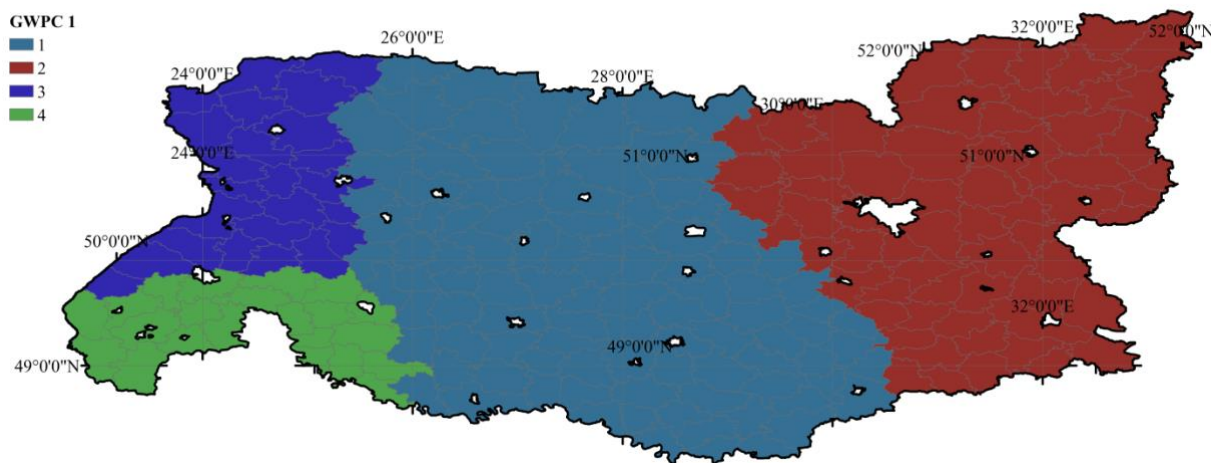


Рис. 4.2.40. Ріпак. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1

Для головної компоненти 2 виділили два кластери, які відрізняються частотними характеристиками варіювання урожайності ріпаку (рис. 4.2.41).

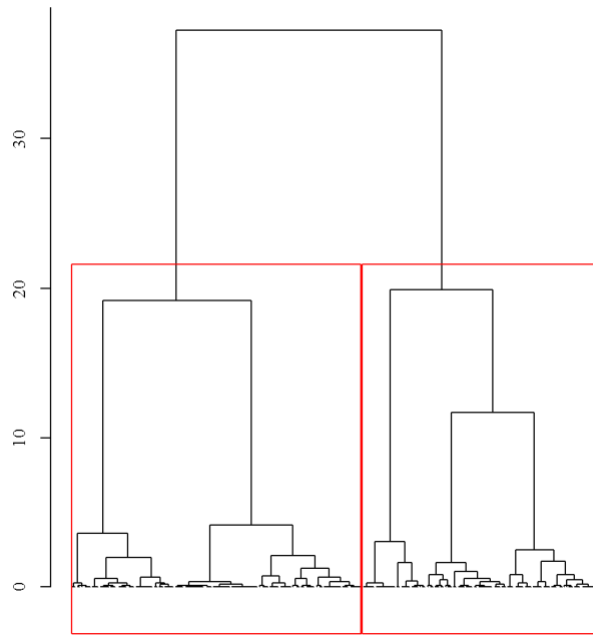


Рис. 4.2.41. Ріпак. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2

Динаміка процесів, які об'єднані кластером 1, характеризується часовою від'ємною автокореляцією з лагом 10 років ( $r = -0,22$ ;  $p < 0,001$ ). Кластер 2 характеризується динамікою, у якій показана від'ємна автокореляція з лагом 5 років ( $r = -0,32$ ;  $p < 0,001$ ) та позитивна автокореляція з лагом 8 років ( $r = 0,28$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 4.2.42).

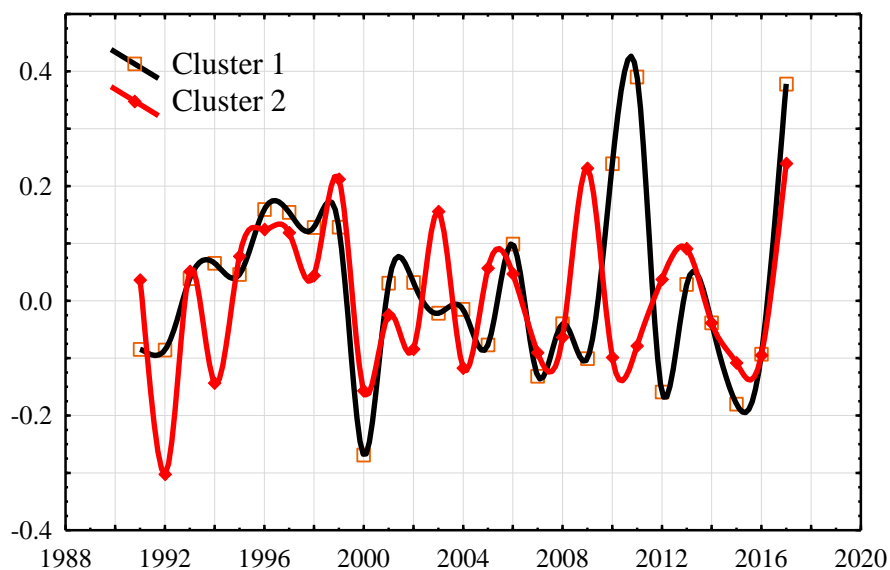


Рис. 4.2.42. Ріпак. Середні значення факторних навантажень GWPC 2 для кластерів 1–2. Вісь абсцис – роки, вісь ординат – факторні навантаження

Встановлені кластери ділять регіон дослідження практично навпіл (4.2.43).

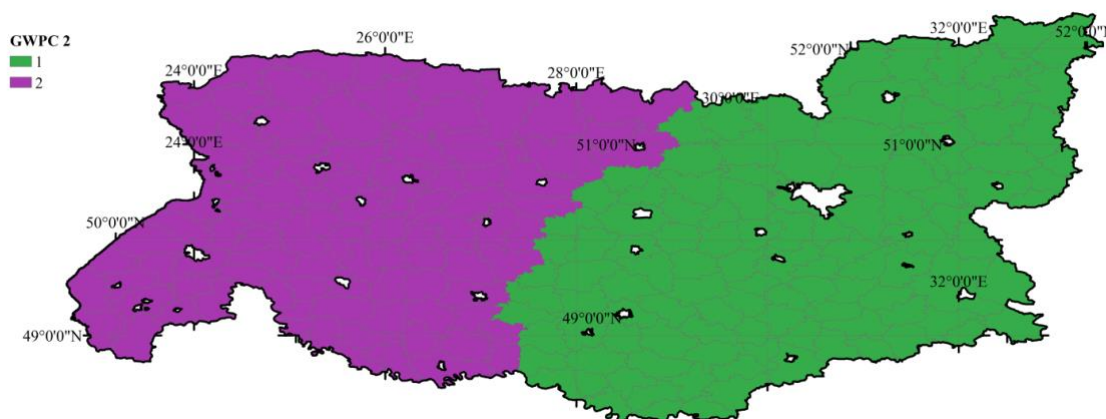


Рис. 4.2.43. Ріпак. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 2

Отже, за допомогою аналізу головних компонент встановили, що на досліджуваній території існують зони з певними закономірностями часової динаміки урожайності ріпаку 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 ріпаку та інших сільськогосподарських культур.

### Соняшник

Досліджено особливості просторового варіювання урожайності соняшника під впливом усієї сукупності екологічних факторів, які діють на нього. Ми не визначали, які саме фактори мають переважаючий вплив на цю культуру, а лише визначали території, де урожайність характеризується однаковим «відгуком» (динамікою варіювання). Для цієї мети обґрунтованим рішенням є застосувати аналіз головних компонент, який ми використовували і за дослідження врожайності інших культур. Більш того, оскільки КМО в нашому випадку дорівнює 0,83, то, відповідно до емпіричного правила Кайзера, залишки регресійної моделі урожайності соняшника є придатними (*meritorious*) для проведення аналізу.

За процедурою Горна [305] виділили 4 статистично вірогідних головних компоненти (табл. 4.2.5). Проте, застосувавши критерій «осипу» встановили, що для подальшого аналізу достатньо залишити перші 2 головні компоненти, які разом пояснюють 37,5% загальної варіабельності простору ознак.

Таблиця 4.2.5.

### Соняшник. Результати глобального аналізу головних компонент

Головна компонента	Налаштоване* власне значення	Власне значення	Зсув	Пояснена варіація	Стандартне відхилення
1	6,84	7,57	0,74	28,04	2,74
2	1,93	2,56	0,62	9,46	1,59
3	1,33	1,86	0,54	6,89	1,36
4	1,11	1,57	0,46	5,83	1,25

Позначки: \* – за процедурою Горна

Головна компонента 1 описує 28,04% загальної варіабельності врожайності соняшника. Для неї властива від’ємна часова автокореляція з лагом 6 років ( $r = -0,38$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 4.2.44).

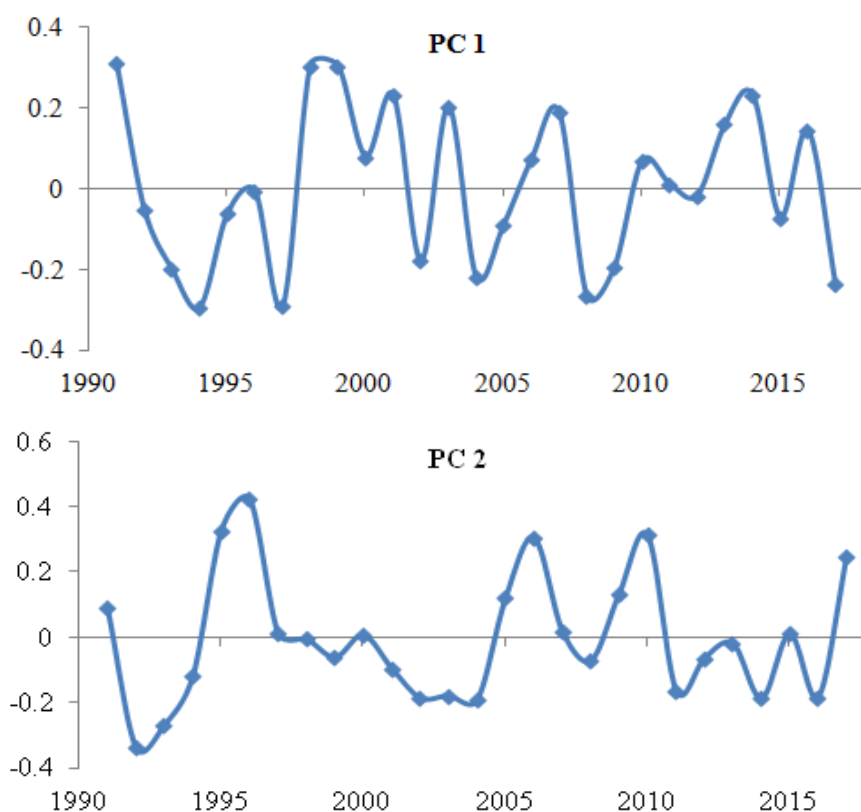


Рис. 4.2.44. Часова динаміка урожайності соняшника під впливом головних компонент 1–2

Варіювання головної компоненти 1 є чітко просторово детерміноване (статистика *I*-Морана 0,67;  $p < 0,001$ ) (рис. 4.2.45). Зони, де урожайність соняшника найбільш чутлива до впливу головної компоненти 1, знаходяться на півночі та заході регіону досліджень.

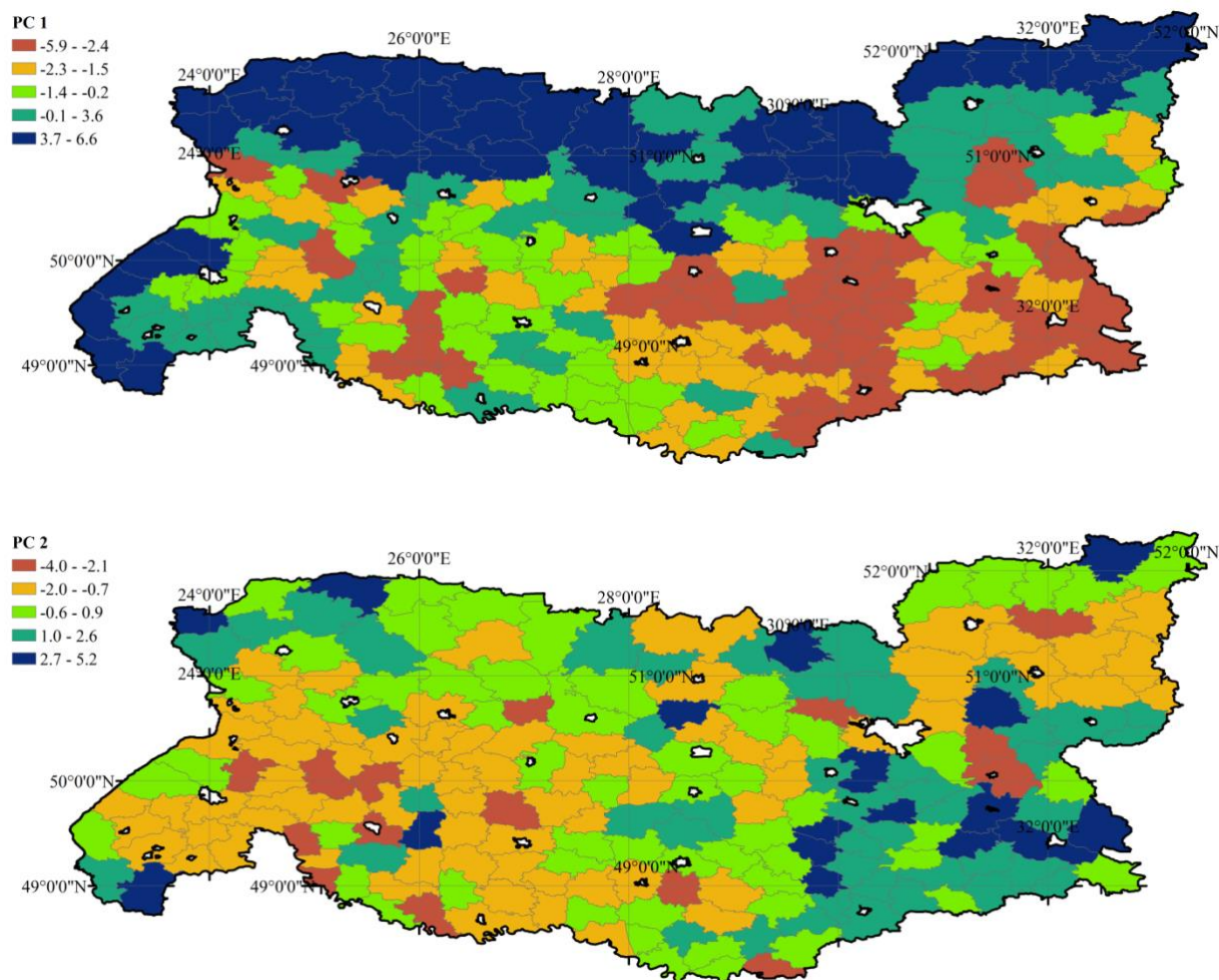


Рис. 4.2.45. Соняшник. Просторове варіювання головних компонент 1–2

Головна компонента 2 описує 9,46% загальної варіабельності врожайності соняшника. Для неї властива позитивна часова автокореляція з лагом 1 рік ( $r = 0,41$ ;  $p < 0,05$ ) та від'ємна часова автокореляція з лагом 4 роки ( $r = -0,38$ ;  $p < 0,05$ ) та 6 років ( $r = -0,35$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 4.2.44). Хоча, варіювання головної компоненти 2 є просторово детермінованим (статистика *I*-Морана 0,32;  $p < 0,001$ ), немає чітких кластерів, де б урожайність соняшника характеризувалася значним просторовим варіюванням за впливу головної

компоненти 2, яка має екологічне походження (рис. 4.2.45). Саме тому, необхідним етапом дослідження було проведення географічно-зваженого аналізу головних компонент.

Можливість проведення географічно-зваженого аналізу головних компонент, щодо викидів регресійної моделі урожайності соняшника, була доведена за допомогою тесту Монте-Карло, який встановив наявність просторової компоненти варіювання даних ( $p = 0,04$ ) (Додаток 5, Д).

Для подальшої процедури GWPCA ми залишили дві компоненти, які були попередньо встановлені у ході аналізу головних компонент. Оптимальне вікно пропускання для Гаусової ядерної функції включає 28 сусідів для даного фокального об'єкту.

Картування просторового розподілу проценту варіації перших двох головних компонент показало, що варіація збільшується у напрямку із південного-сходу на північний-захід (рис. 4.2.46).

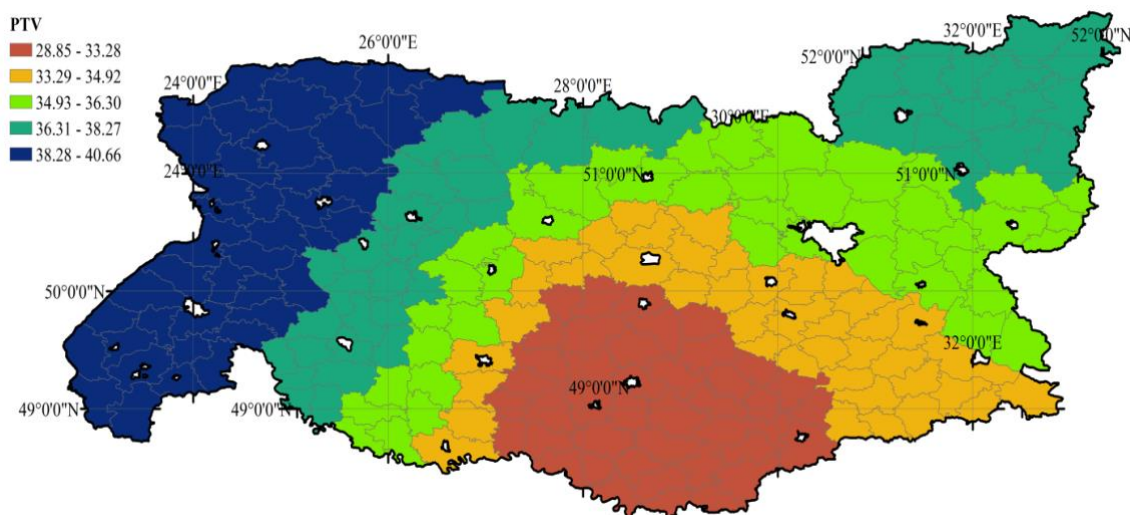


Рис. 4.2.46. Соняшник. Просторовий розподіл проценту загальної варіації перших двох головних компонент (*percentage of total variance – PTV*)

У свою чергу, картування змінних з найбільшим абсолютним навантаженням головних компонент GWPC 1–2 показало, що для головної

компоненти 1 можна виділити лише три змінних з найбільшими навантаженнями, а для GWPC 2 – чотири (рис. 4.2.47). У варіювання GWPC 1 найбільший внесок має змінна 8 (1998 рік), а для GWPC 2 – змінна 2 (1992 рік) та змінна 26 (2016 рік). У ці роки урожайність соняшника знаходилася в локальних максимумах.

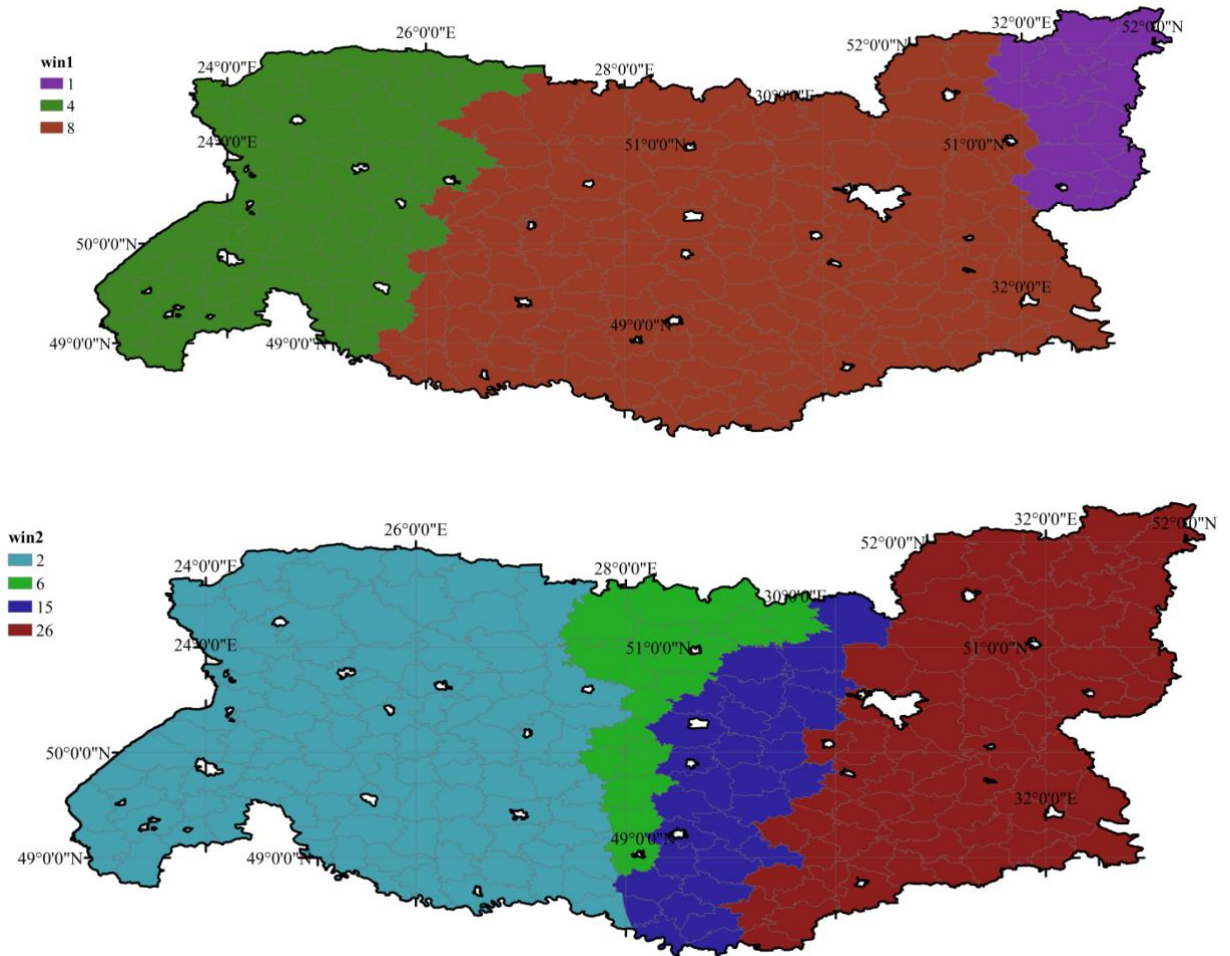


Рис. 4.2.47. Соняшник. Просторове розміщення «виграшних» змінних для головних компонент 1–2

Проте використання дискретних величин (років) у якості змінних ускладнює сприйняття результатів. Тому, з метою спрощення, нами проведений кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень.

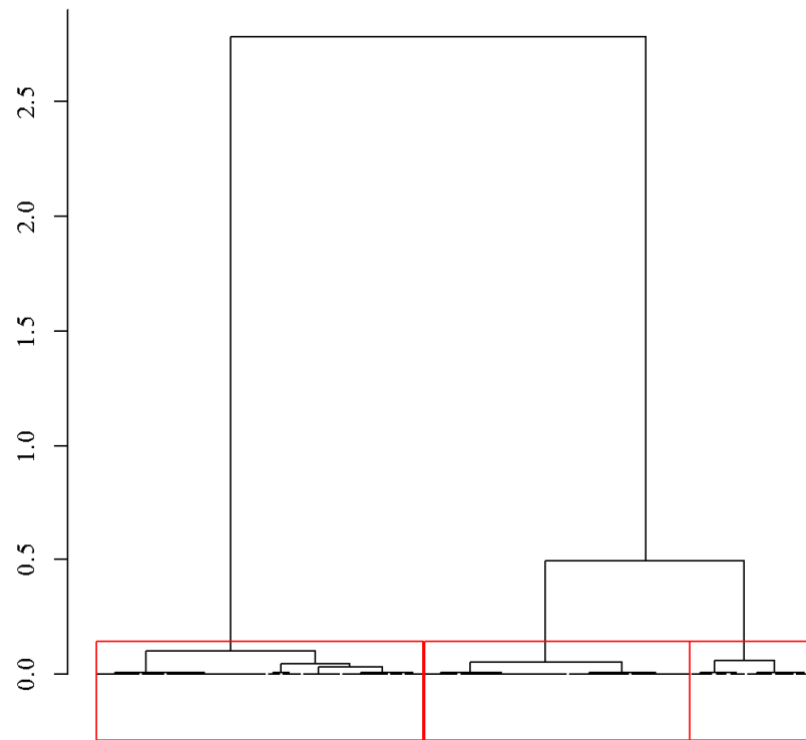


Рис. 4.2.48. Соняшник. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 1

Встановлені 3 кластери для GWPC 1 (рис. 4.2.48). Частотні характеристики GWPC 1 в кластерах 1–3 повторюють частотні характеристики PC 1 (рис. 4.2.44, 4.2.49).

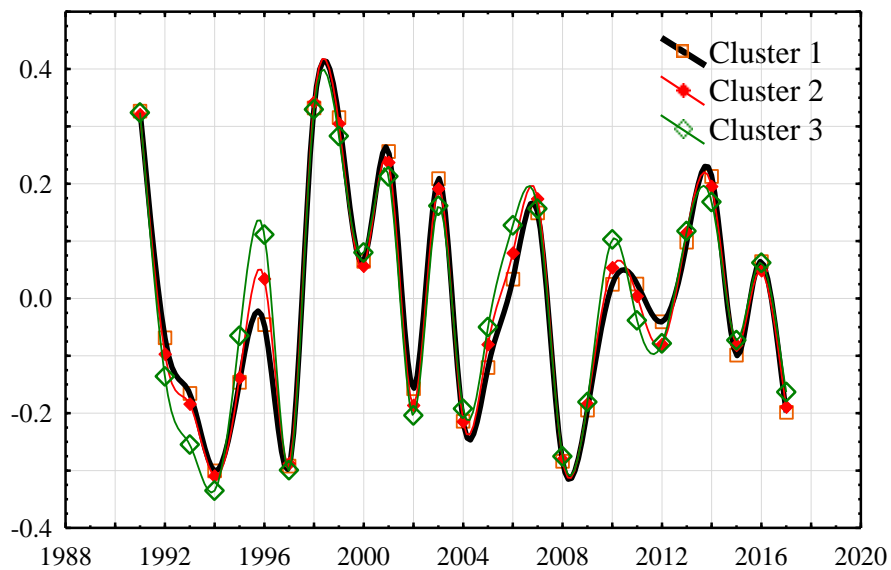


Рис. 4.2.49. Соняшник. Середні значення факторних навантажень GWPC 1 для кластерів 1–3. Вісь абсцис – роки, вісь ординат – факторні навантаження



Специфіка кластерів полягає у різному рівні амплітуд процесів у деякі періоди. Відмінності між кластерами найбільшою мірою проявляють себе у середині 90-х років минулого століття, що співпадає із висновками, які ми отримали від дослідження «виграшних» змінних. Просторовий розподіл кластерів поданий на рис. 4.2.50.

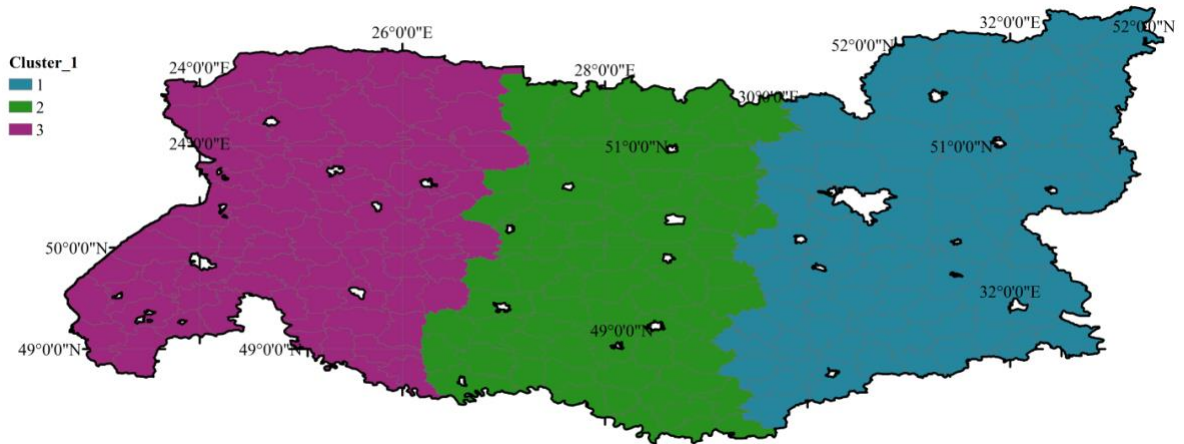


Рис. 4.2.50. Соняшник. Просторове розміщення кластерів, одержаних на основі факторних навантажень GWPC 1

Для GWPC 2 ми виділили 2 кластери (рис. 4.2.51), які різняться за динамікою варіювання урожайності соняшника (рис. 4.2.52) та поділяють досліджений регіон на дві частини, приблизно однакової площі (рис. 4.2.53).

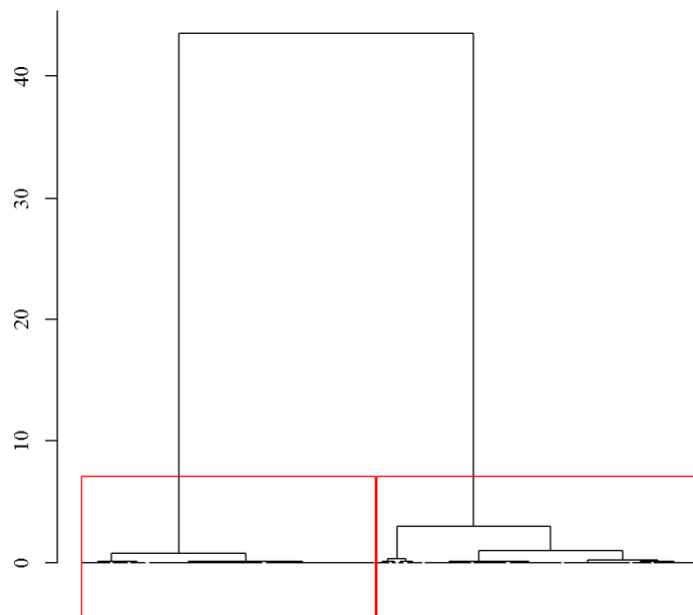


Рис. 4.2.51. Соняшник. Кластерний аналіз адміністративних районів за значеннями факторних навантажень GWPC 2



даної головної компоненти (рис. 4.2.52). Отже, підхід кластерного аналізу не тільки не суперечить методу «виграшних» змінних, а й доповнює його. Метод виграшних змінних дає нам змогу встановити, які роки були найбільш «важливими» у варіюванні урожайності (це як правило критичні роки, коли урожайність досягала локального максимуму або мінімуму), а метод кластерного аналізу адміністративних районів дозволяє об'єднати адміністративні райони у кластери, з однаковою амплітудою коливань урожайності соняшника під впливом саме екологічних факторів.

Застосування аналізу головних компонент динаміки урожайності сільськогосподарських культур базується на припущеннях про однорідність походження відносин у межах всієї досліджуваної області. Аналіз географічно-зважених основних компонент дозволяє дослідити локальні закономірності динаміки врожайності. Локальні моделі мають більшу пояснювальну силу, ніж загальна модель, що цілком природно, оскільки розгляд місцевої специфіки дозволяє більш об'єктивно відобразити 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 картографування 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 можливості 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 [187].

Результати дослідження показують, що GWPCA можна використовувати для агроекологічного районування.

Виділення агродинамічних кластерів нами 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 [72]. 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 скласти карту з подібними часовими коливаннями врожайності, які можна розглядати як агродинамічні зони для вирощування конкретної сільськогосподарської культури.

#### **Висновки до розділу 4**

1. 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.

2. 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.

3. 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.

**РОЗДІЛ 5****АГРОЕКОЛОГІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ ПРОДУКЦІЙНОГО  
ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У  
ПОЛІСЬКІЙ ТА ЛІСОСТЕПОВІЙ ЗОНАХ УКРАЇНИ**

Загальновідомо, що екологічні фактори лімітують продукційний потенціал агроландшафтів, проте, невідомо, які саме і в якій мірі. Дане дослідження проведено з метою виділення найбільш вагомих факторів впливу екологічного походження на продукційний потенціал агроландшафтів через дослідження впливу екологічних факторів на параметри урожайності конкретно взятих сільськогосподарських культур.

Сільськогосподарське виробництво критично залежить від погодних умов. Особливо воно чутливе до довгострокових трендів та змін кліматичних чинників [410]. Зміна клімату стає все більш визнаною загрозою для сільського господарства [358, 488], оскільки викликає зміни температури, зміну структури опадів та частіші екстремальні погодні явища [455]. За прогнозами [435, 371] посухи і повені у найближчому майбутньому будуть виникати частіше і набуватимуть більш інтенсивного характеру. Наслідків впливу глобального потепління на сільське господарство є багато, зокрема, мінімальне підвищення температури може підвищити врожайність у місцях з помірним кліматом, тоді як екстремальне підвищення може призвести до поганих врожаїв [371]. Тому слід терміново зрозуміти потенційний вплив, який можуть мати зміни параметрів погоди на врожайність сільськогосподарських культур з метою адаптації до зміни клімату [488]. 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 [370].

Зв'язок між урожайністю та ґрунтом досить складний і залежить від складних взаємодій фізичних та хімічних властивостей ґрунту та інших

зовнішніх природних факторів [474]. Властивості ґрунтів змінюються в різних ландшафтах через особливості ґрунтоутворення, а також через різні підходи до землекористування в сільськогосподарських практиках. Це обумовлює просторово залежне коливання властивостей ґрунту [444]. Урожайність залежна від просторової мінливості властивостей ґрунту, на яку можуть впливати різноманітні фактори. Розуміння мінливості ландшафтних та ґрунтових властивостей та їх вплив на врожайність є важливою складовою конкретних і стійких систем управління та планування землекористуванням.

Питання про зв'язок між просторовою структурою ландшафту і врожайністю становить практичний інтерес для сільськогосподарської науки [145]. У сільськогосподарській літературі детально висвітлюється вплив рельєфу на врожайність. Як правило, основна увага приділяється або варіюванню врожайності залежно від приналежності поля до форми мезорельєфа і її солярної експозиції [150, 1], або варіюванню врожайності всередині поля, неоднорідного за мікрорельєфом, (зокрема, в дослідженнях пов'язаних з точним землеробством) [270, 62, 145]. Робіт, де б оцінювався вплив індексів ландшафтного різноманіття у великих просторових масштабах на урожайність культур, не знайдено. Тому вивчення взаємозв'язку між урожайністю сільськогосподарських культур та різноманіттям ландшафтів є, наразі, надзвичайно актуальним питанням.

## **5.1. Аналіз екологічних факторів дослідженого регіону**

### **5.1.1. Характеристика біокліматичних змінних**

Обрахунок основних біокліматичних змінних регіону досліджень наведено у таблиці 5.1.1. Середньорічна температура у дослідженому регіоні наближається до нуля, середня температура найтеплішого місяця року в середньому становить  $22,21 \pm 0,06^\circ\text{C}$ , а найхолоднішого –  $-10,33^\circ\text{C}$ . У середньому за рік випадає  $622,8 \pm 4,45$  мм опадів, при чому у найбільш вологий

місяць в середньому випадає  $89,60 \pm 0,68$  мм опадів, а в найсухіший –  $31,27 \pm 0,15$  мм.

Таблиця 5.1.1.

## Описові статистики біокліматичних змінних

Змінна	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Вох-Сох $\lambda$
bio_1	$-0,0043 \pm 0,05$	-2,28	1,94	0,65
bio_2	$8,23 \pm 0,03$	7,49	9,44	-2,50
bio_3	$25,33 \pm 0,11$	22,70	30,97	-4,15
bio_4	$868,3 \pm 3,58$	695,1	969,1	3,45
bio_5	$22,21 \pm 0,06$	17,66	23,91	4,90
bio_6	$-10,33 \pm 0,06$	-12,57	-8,32	0,90
bio_7	$32,54 \pm 0,11$	26,71	35,30	6,60
bio_8	$17,17 \pm 0,08$	13,39	19,35	3,35
bio_9	$-2,60 \pm 0,05$	-4,37	-0,42	-1,10
bio_10	$17,54 \pm 0,06$	13,59	19,35	3,10
bio_11	$-3,70 \pm 0,05$	-5,94	-2,06	1,20
bio_12	$622,8 \pm 4,45$	531,4	1137,2	-3,75
bio_13	$89,60 \pm 0,68$	68,50	152,14	-1,75
bio_14	$31,27 \pm 0,15$	25,28	38,00	-0,35
bio_15	$36,80 \pm 0,31$	25,62	46,14	0,75
bio_16	$240,5 \pm 1,98$	189,4	419,0	-1,90
bio_17	$240,5 \pm 1,98$	189,4	419,0	-1,90
bio_18	$239,5 \pm 1,92$	189,4	418,8	-1,90
bio_19	$114,7 \pm 0,80$	88,3	206,1	-2,05

Аналіз головних компонент дозволив виділити чотири головних компоненти, власні числа яких більші за одиницю і які разом пояснюють 92,5% варіабельності кліматичних змінних (табл. 5.1.2).

Головна компонента 1 описує 54,45% варіабельності простору ознак. З нею корелює переважна більшість змінних, але найбільшою кореляцією характеризуються змінні bio 8 (середня температура найбільш вологого кварталу року), bio 4 (температурна сезонність), bio 5 (максимальна температура найтеплішого місяця), bio 10 (середня температура найтеплішого кварталу), bio 17 (опади найсухішого кварталу) та bio 18 (опади найтеплішого кварталу). Комплекс вказаних показників дозволяє змістовно інтерпретувати головну компоненту 1 як характеристику континентальності клімату. Характер варіювання цієї ознаки у просторі (рис. 5.1.1) зі зміною значень



головної компоненти у широтному напрямку підтверджує нашу інтерпретацію.

Таблиця 5.1.2.

**Аналіз головних компонент біокліматичних змінних**

Змінна	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
bio_1	0,34	0,70	0,20	–
bio_2	–	0,29	0,80	0,62
bio_3	–0,70	0,64	0,48	–
bio_4	0,90	–0,59	–	0,22
bio_5	0,91	–0,17	0,16	0,26
bio_6	–0,55	0,85	–0,14	–0,49
bio_7	0,84	–0,59	0,17	0,43
bio_8	0,92	–0,31	–	–
bio_9	–0,42	0,86	0,15	–0,27
bio_10	0,91	–	–	–
bio_11	–0,53	0,94	–	–0,24
bio_12	–0,79	–	0,24	–
bio_13	–0,87	–	0,20	–
bio_14	–0,28	–0,62	0,42	–
bio_15	–0,70	0,50	–	0,44
bio_16	–0,90	–	0,20	–
bio_17	–0,90	–	0,20	–
bio_18	–0,89	–	0,19	–
bio_19	–	–0,54	0,35	–0,26
Власні значення	10,35	4,52	1,55	1,15
% загального варіювання	54,45	23,78	8,18	6,03

Головна компонента 2 описує 23,78% варіювання простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює з біокліматичними змінними 9 (середня температура найсухішого кварталу) та 11 (середня температура найхолоднішого кварталу), що дозволяє її інтерпретувати як мінливість температурного режиму в екстремальні періоди року. За критерієм екстремальності температур чітко виділяється північно-східна та північна зони дослідженої території (рис. 5.1.1).

Головна компонента 3 описує 8,18% загальної мінливості простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює з біокліматичними змінними 2 (середній місячний діапазон добових температур) та 3

(ізотермальність), таким чином, вона вказує на рівень мінливості температурного режиму.

Головна компонента 4 описує 6,03% мінливості простору ознак. Вона найбільшою мірою корелює з біокліматичними змінними 2 (середній місячний діапазон добових температур), 6 (мінімальна температура найхолоднішого місяця) та 7 (діапазон річних температур). Ця компонента вказує на контрастність температурних умов.

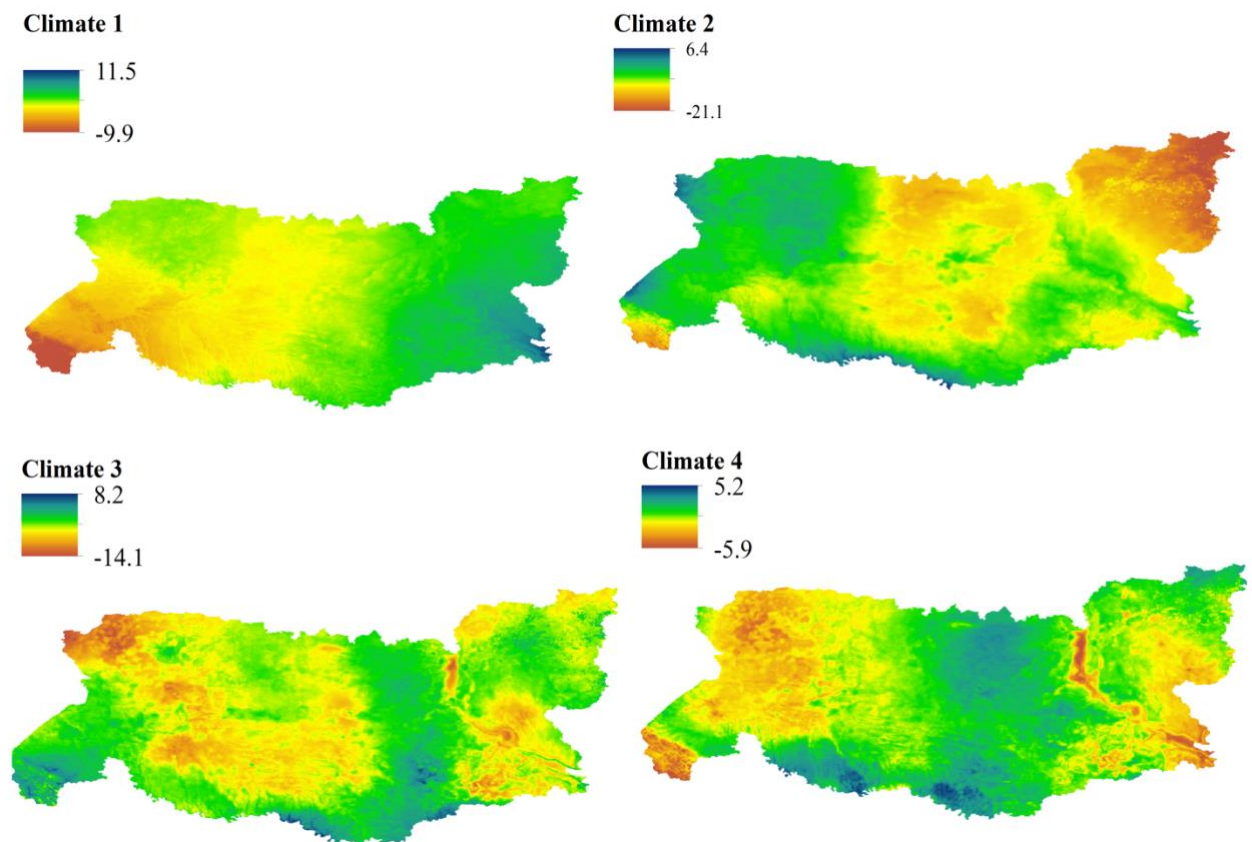


Рис. 5.1.1. Просторове варіювання біокліматичних головних компонент

### 5.1.2. Характеристика ґрунтових змінних

Властивості ґрунту, такі як запас гумусу, щільність та рН ґрунтового розчину є важливими показниками якості родючості ґрунту, яка, в свою чергу, обумовлює врожайність сільськогосподарських культур. Середні значення

грунтових показників для дослідженого регіону та їх розподіл за ґрунтовими шарами наведено в таблиці 5.1.3.

Запаси гумусу варіюють від 20,35 т/га (на глибині 0–0,05 м) до 195,69 т/га (на глибині 2–3 м). У той же час, мінімальне значення рН – 4,82 характерне для шару ґрунту – 0,3–0,6 м, а максимальне – 7,62 для шару 2–3 м. Щільність ґрунту зростає з глибиною, найменша вона біля поверхні і становить у середньому –  $1,15 \pm 0,005$  г/см<sup>3</sup>, а найбільша, закономірно, на глибині 2–3 м –  $1,54 \pm 0,002$  г/см<sup>3</sup>.

Таблиця 5.1.3.

### Описові статистики запасів гумусу, рН КСІ-витяжки ґрунту та щільності ґрунту

Показник	Значення	Мінімум	Максимум	Вох-Сох λ
Запаси гумусу, т/га, у шарі ґрунту глибиною, м				
0–0,05	28,92±0,25	20,35	41,09	1,30
0,05–0,15	34,42±0,30	26,95	56,04	-1,45
0,15–0,3	37,39±0,38	28,18	56,58	0,70
0,3–0,6	50,59±0,72	33,92	84,79	0,60
0,6–1	52,23±1,00	30,96	98,72	0,40
1–2	102,08±1,92	58,34	195,69	0,35
рН КСІ-витяжки ґрунту, в шарі ґрунту глибиною, м				
0–0,05	6,25±0,02	5,20	6,79	4,95
0,05–0,15	6,11±0,03	5,03	6,71	4,55
0,15–0,3	6,15±0,03	5,09	6,75	4,35
0,3–0,6	5,78±0,02	4,82	6,38	0,95
0,6–1	6,28±0,02	5,24	6,86	3,45
1–2	6,76±0,03	5,49	7,46	2,40
2–3	6,92±0,03	5,62	7,62	2,55
Щільність ґрунту в г/см <sup>3</sup> , в шарі ґрунту глибиною, м				
0–0,05	1,15±0,005	0,88	1,29	3,10
0,05–0,15	1,19±0,003	0,92	1,24	10,00
0,15–0,3	1,32±0,002	1,11	1,37	12,80
0,3–0,6	1,41±0,002	1,25	1,46	14,70
0,6–1	1,48±0,001	1,40	1,52	12,20
1–2	1,52±0,002	1,43	1,58	7,60
2–3	1,54±0,002	1,44	1,60	8,30

Не менш важливою властивістю ґрунту є його гранулометричний склад, оскільки він визначає водопроникність, вологоутримуючу та водопідйомну

здатність ґрунтів та значною мірою обумовлює гумусовий стан ґрунтів [19]. З таблиці 5.1.4 можна зробити висновок, що ґрунти дослідженого регіону характеризуються найбільшою часткою мулу в гранулометричному складі, що свідчить про можливий вплив цього показника на родючість. Вміст піску коливається від 22,90% до 71,33%, вміст глини – 6,77–28,73%, а мулу – 17,40–52,45% (табл. 5.1.4). Вміст піску з глибиною зростає, мулу знижується, а вміст глини найвищий у середніх шарах.

Таблиця 5.1.4.

### Описові статистики гранулометричного складу ґрунту

Показник	Значення	Мінімум	Максимум	Вох-Сох λ
Пісок, %, у шарі ґрунту на глибині, м				
0–0,05	40,05±0,84	24,02	69,56	0,85
0,05–0,15	40,52±0,84	24,56	70,06	0,85
0,15–0,3	39,38±0,85	23,00	69,20	0,85
0,3–0,6	39,11±0,86	22,90	69,13	0,80
0,6–1	39,46±0,85	23,48	69,45	0,85
1–2	40,72±0,84	24,81	70,68	0,85
2–3	42,58±0,81	26,67	71,33	0,95
Глина, %, у шарі ґрунту на глибині, м				
0–0,05	15,93±0,31	7,02	25,75	0,95
0,05–0,15	15,76±0,31	6,77	25,59	0,95
0,15–0,3	17,31±0,32	7,89	27,47	1,00
0,3–0,6	17,87±0,32	8,19	28,13	1,05
0,6–1	18,78±0,31	8,84	28,73	1,10
1–2	18,39±0,31	8,55	27,83	1,10
2–3	17,97±0,29	8,37	26,99	1,10
Мул, %, у шарі ґрунту на глибині, м				
0–0,05	42,89±0,58	20,24	52,45	2,05
0,05–0,15	42,60±0,58	20,01	52,16	2,00
0,15–0,3	42,19±0,59	19,65	51,99	1,95
0,3–0,6	41,89±0,58	19,51	51,50	1,90
0,6–1	40,63±0,59	18,55	50,15	1,85
1–2	39,76±0,58	18,09	49,10	1,75
2–3	38,34±0,56	17,40	47,51	1,70

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% загальної дисперсії ґрунтових показників (Додаток 7).

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. Характер варіювання цієї ознаки у просторі зі зміною значень головної компоненти у широтному напрямку подано на рисунку 5.1.2. Райони, в яких у складі ґрунтів переважає піщана фракція знаходяться на півночі досліджуваного регіону (Полісся).

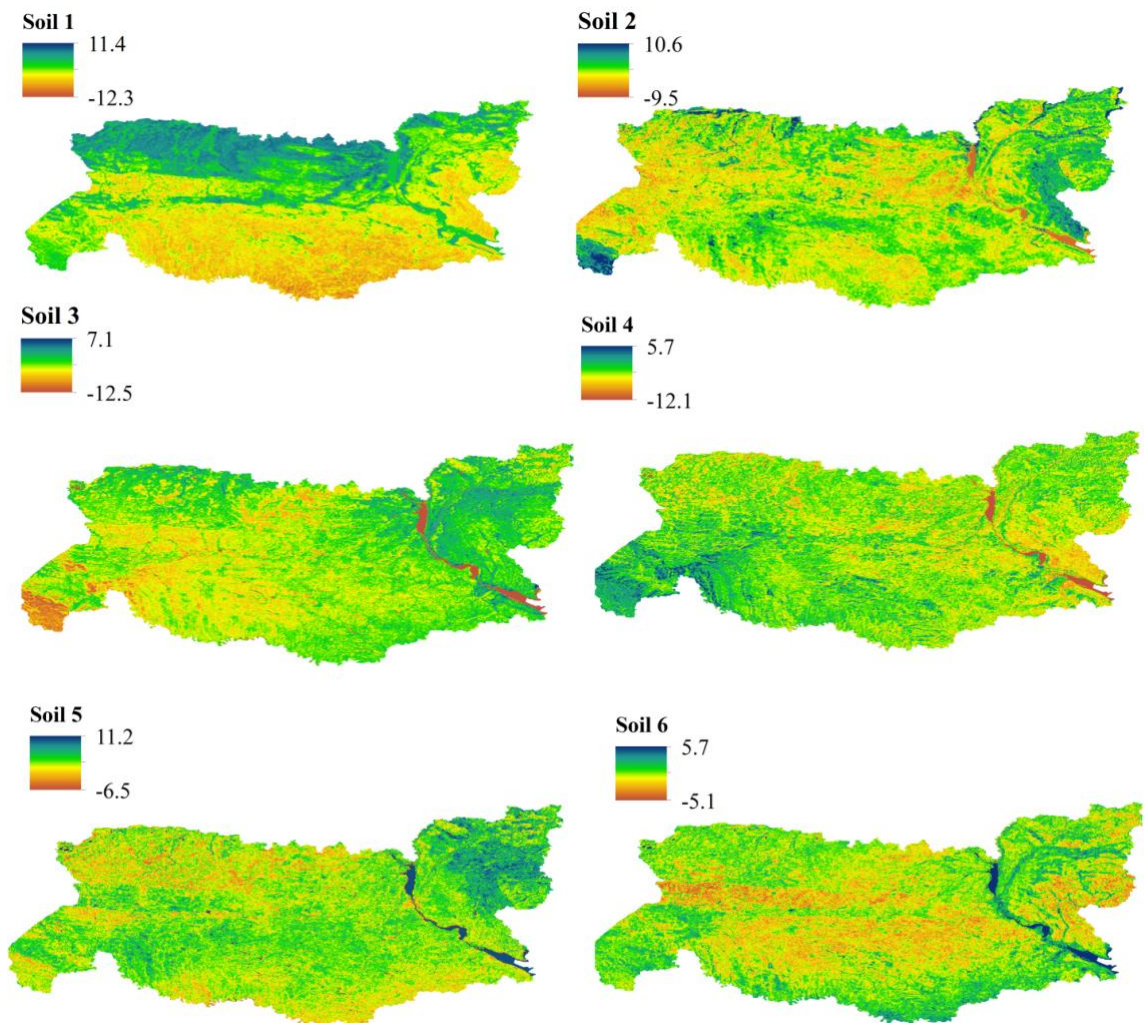


Рис. 5.1.2. Просторова варіабельність ґрунтових головних компонент 1–6

Головна компонента 2 описує 14,5% варіювання простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює з щільністю ґрунту. За критерієм найбільшої чутливості до щільності ґрунту виділяються південно-західні та південно-східні райони дослідженої території (рис. 5.1.2).

Головна компонента 3 описує 6,4% загальної мінливості ґрунтових показників. Ця компонента корелює з усіма ґрунтовими показниками, але найбільшою мірою – із запасами гумусу. Території, для яких вміст гумусу у ґрунті є найбільш характеристичним показником, знаходяться на сході дослідженого регіону.

Головна компонента 4 описує 5,69% мінливості простору ознак. Вона найбільшою мірою корелює з вмістом мулу у ґрунті. Найбільш важкі ґрунти знаходяться на півдні та південному-заході регіону досліджень (рис. 5.1.2).

Головна компонента 5 описує 3,88% загальної варіабельності ґрунтових змінних і проявляє найбільшу кореляцію до показника кислотності ґрунтів (рН) та просторово має підвищені значення на північному сході регіону досліджень (рис. 5.1.2).

Головна компонента 6 описує 2,41% простору ознак і відзначається найбільшою чутливістю до вмісту мулу та глини. Території, з підвищеними показниками РС6 знаходяться на півдні регіону.

### **5.1.3. Оцінка ландшафтного різноманіття дослідженої території**

Загальна карта ландшафтного покриття подана на рис. 5.1.3. Найбільш поширеним типом ландшафту є орні землі. Відомо, що на території Лісостепу сільськогосподарські угіддя займають 70% території, з них 66% – це рілля [6].

Аналізуючи карту розміщення природоохоронних об'єктів різного рівня (рис. 5.1.4) та середню відстань до них, дійшли висновку, що найбільшою щільністю об'єктів природо-заповідного фонду (ПЗФ) характеризуються північні області України. Структура типів ландшафтного покриття подана в Додатку 8.

Найбільшими середніми відстанями від адміністративних районів до об'єктів ПЗФ характеризуються східні області (Чернігівська, Черкаська) та центральні області регіону досліджень (Хмельницька) (рис. 5.1.4.).

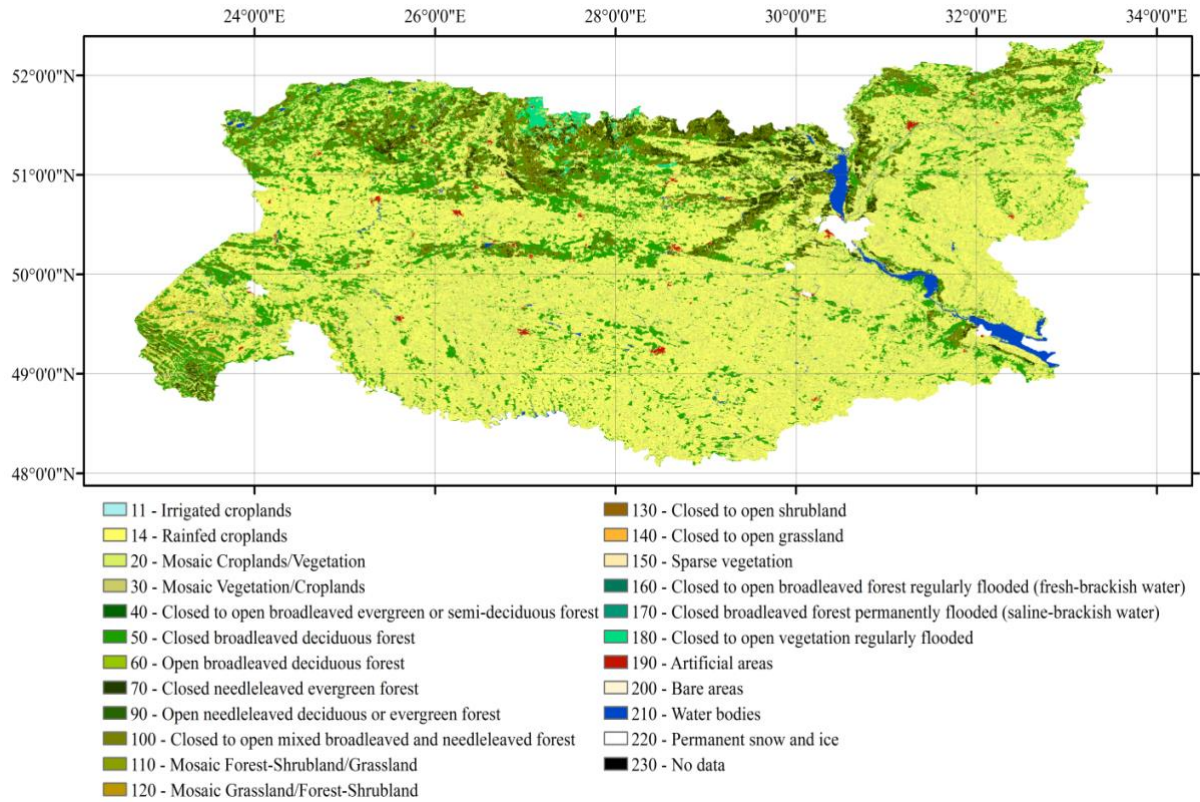


Рис. 5.1.3. Просторове розміщення типів ландшафтного покриття GlobCover

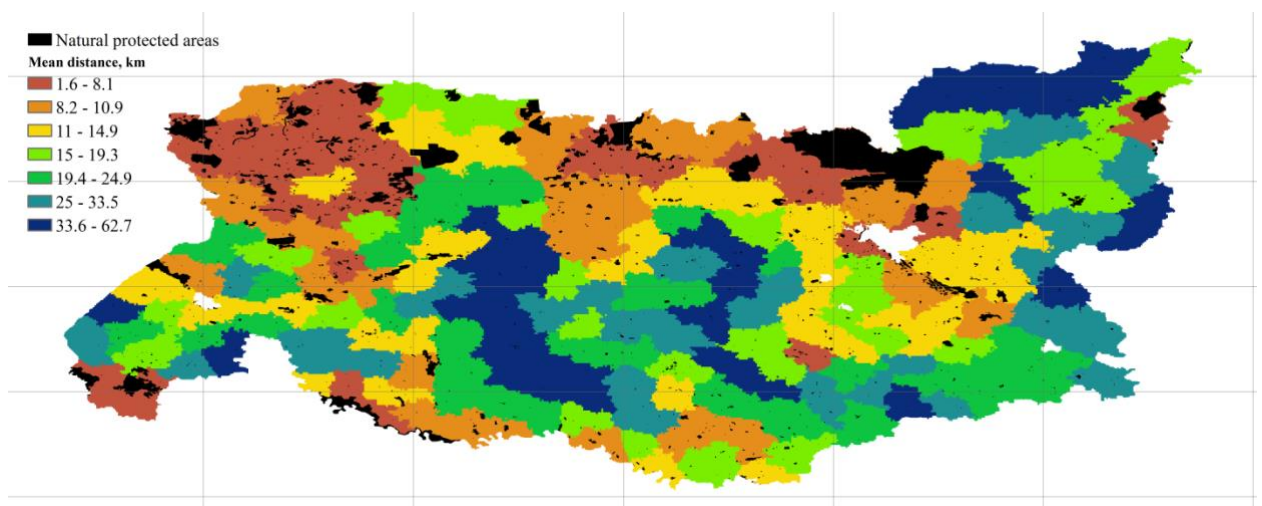


Рис. 5.1.4. Розміщення природоохоронних територій різного рівня та середня, у межах адміністративного району, відстань до них, км

Території з найвищими індексами різноманіття ландшафтного покриття за Шенноном знаходяться на півночі та сході дослідженого регіону (рис. 5.1.5).

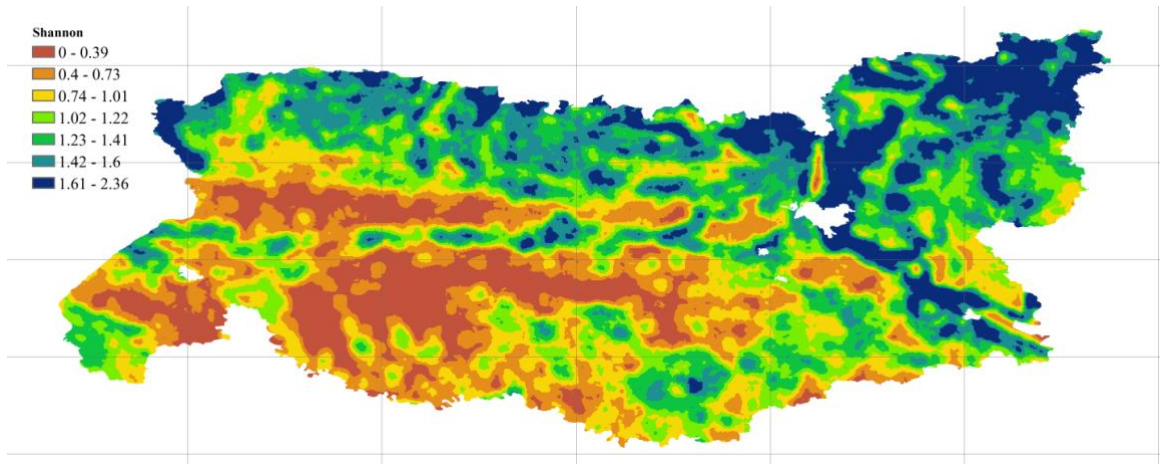


Рис. 5.1.5. Просторове варіювання індексу різноманіття типів ландшафтного покриття за Шенноном (вікно пропускання – 10 пікселів, біт/піксель)

Варто звернути увагу на те, що природно-заповідні території характеризуються вищим індексом різноманіття ландшафтного покриття, що є цілком закономірним явищем. Також, у середньому, індекс Шеннона вищий у Поліссі, ніж у Лісостепу.

## 5.2. Вплив екологічних факторів на варіювання урожайності кукурудзи

### 5.2.1. Дослідження параметрів урожайності кукурудзи

Якщо не брати до уваги початковий період досліджень, то урожайність кукурудзи можна описати за допомогою сигмоїдної кривої, а саме лог-логістичною моделлю (рис. 5.3.1). 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. 5.2.1).

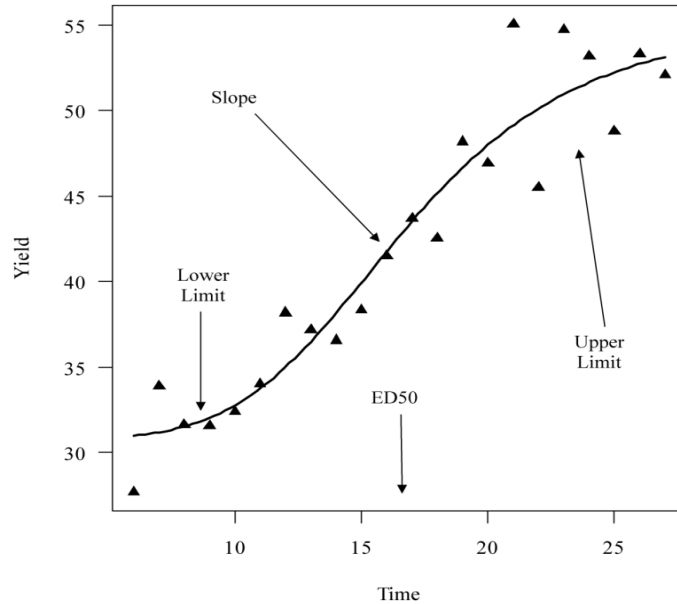


Рис. 5.2.1. Типова модель динаміки урожайності кукурудзи за період 1991–2017 рр. Вісь абсцис – порядок років (1 – 1991, 2 – 1992, ...), вісь ординат – урожайність кукурудзи, ц/га

Найменший рівень врожайності культури за період досліджень спостерігався на початку та у середині 90-х років минулого століття. Цей параметр моделі урожайності кукурудзи є просторово детермінованим. Території з підвищеними значеннями цього показника знаходяться на південному сході, а з найнижчими – на північному заході регіону досліджень (рис. 5.2.2).

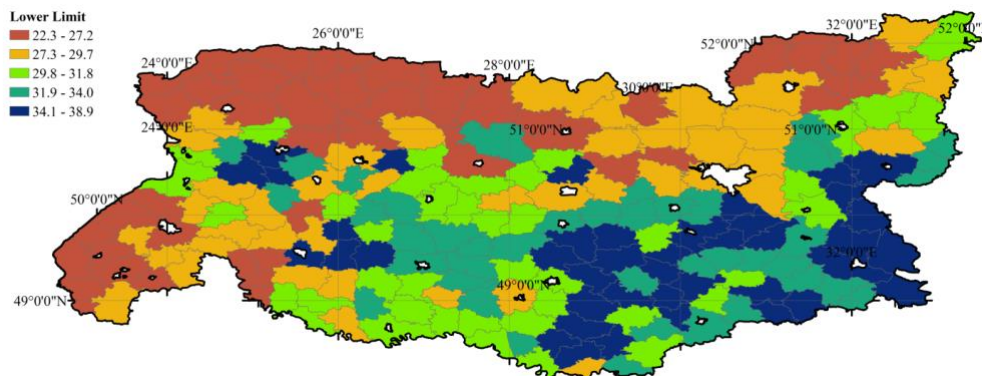


Рис. 5.2.2. Просторове варіювання нижньої межі урожайності кукурудзи (ц/га, період 1991–2017 рр.)

Ухил кривої тренду (Slope) показує швидкість змін урожайності в часі, тобто, наскільки швидко відбувається зростання врожайності за настання сприятливих умов. Території з найвищою швидкістю зростання урожайності знаходяться на сході дослідженого регіону, а з більш низькою швидкістю зростання – на заході регіону (рис. 5.2.3).

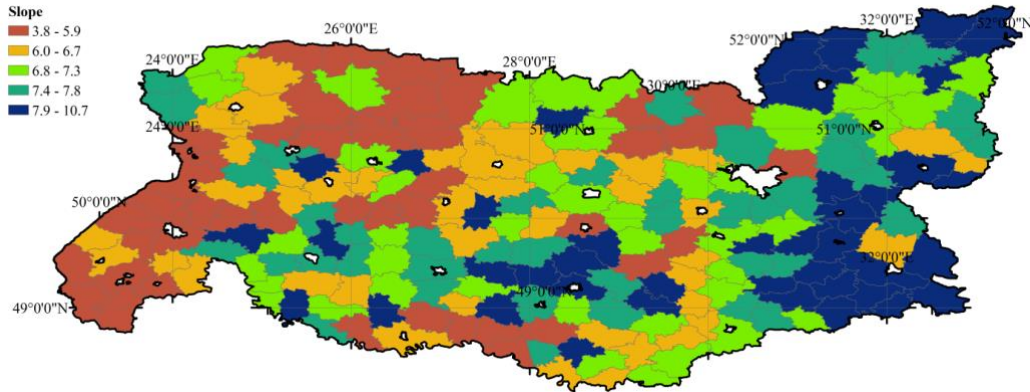


Рис. 5.2.3. Просторове варіювання кута ухилу кривої тренду урожайності кукурудзи (період 1991–2017 рр.)

Можна відмітити, що для територій з більшими показниками мінімальної урожайності характерне і більш стрімке нарощення урожайності з часом.

Параметр моделі урожайності кукурудзи *ED50* також просторово детермінований і є повною протилежністю швидкості нарощення продукційного потенціалу. Просторова карта варіювання показника *ED50* (рис. 5.2.4) є відзеркаленням карти показника швидкості зростання урожайності (рис. 5.2.3).

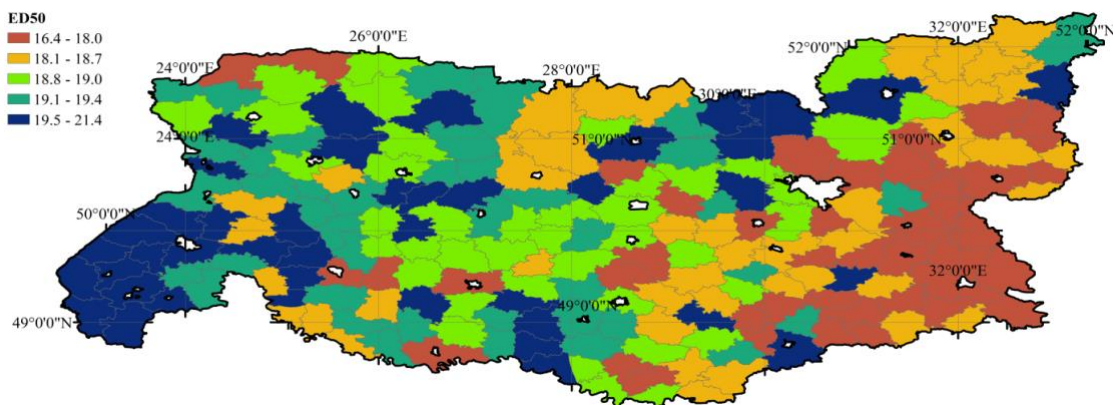


Рис. 5.3.4. Просторове варіювання показника *ED50* кривої тренду урожайності кукурудзи (період 1991–2017 рр.)

Найвищий рівень врожайності (Upper Limit), за якого при даному рівні агротехнологій врожайність визначається саме біотичним потенціалом території, припадає на поточний часовий період. Оскільки дані розглядаються в ретроспективі, нам не відомо як надалі поведе себе тренд: чи відбудеться зростання врожайності чи вийде вона на плато. Території, які, наразі, характеризуються найбільшою урожайністю кукурудзи знаходяться здебільшого на півдні регіону досліджень, територіально співпадаючи із районами Вінницької та Хмельницької областей (рис. 5.2.5).

Показово, що райони, які в 90-х роках минулого століття характеризувалися найбільшою врожайністю, також, як правило, у теперішній період часу відзначаються високою урожайністю. Тобто, вплив екологічних факторів є визначальним, при однакових агротехнологічних умовах.

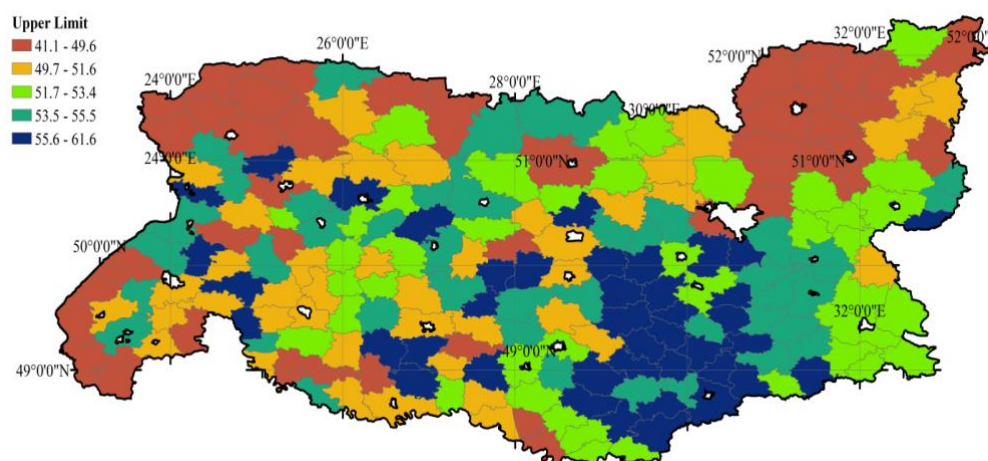


Рис. 5.2.5. Просторове варіювання верхньої межі урожайності кукурудзи (ц/га, період 1991–2017 рр.)

### 5.2.2. Оцінка впливу екологічних факторів на урожайність кукурудзи

Виявлено статистично значиму залежність ( $p < 0,05$ ) між параметрами урожайності кукурудзи та виявленими кліматичними головними компонентами (PC1 – PC4), ґрунтовими головними компонентами та змінними ландшафтного різноманіття (табл. 5.2.1).

**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 <sup>2</sup>	–	–	–0,72±0,31	–
Distance (D)	–	–	0,44±0,20	–
D <sup>2</sup>	–	–	–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  $p < 0,05$ .

Варіювання показників найменшого стаціонарного рівня урожайності кукурудзи найбільше визначається кліматичною змінною 1 (головна компонента 1). Отже, можна стверджувати, що нижній ліміт врожайності великою мірою обумовлений континентальністю клімату. Швидкість відновлення потенціалу родючості (ухил кривої динаміки урожайності у часі) залежить від усіх чотирьох кліматичних змінних, але найбільшу чутливість має до головної компоненти 1. Кліматична змінна 3 є детермінантом верхньої межі врожайності кукурудзи, що свідчить про те, що максимум врожайності кукурудзи обмежується температурним режимом території. Час настання різкого зростання врожайності також залежить від мінливості температурного режиму (PC3).

Встановлено, що ухил логарифмічної моделі динаміки урожайності кукурудзи найбільше залежить від запасу гумусу у ґрунті ( $r = 0,34$ ;  $p < 0,05$ ). Нижня і верхня границі урожайності досліджуваної культури негативно корелюють із вмістом піску у ґрунті ( $r = -0,58$  та  $r = -0,37$  відповідно;  $p < 0,05$ ).

А час настання різкого зростання врожайності також найбільшою мірою залежить від гранулометричного складу ґрунту ( $r = 0,31$ ;  $p < 0,05$ ).

Виявлено статистично значиму залежність між верхньою границею урожайності кукурудзи (максимальною урожайністю) та індексом Шеннона, а також відстанню до природоохоронних об'єктів. Ці залежності не є лінійними, так як статистично вірогідними є предиктори другого порядку ( $H^2$ ,  $D^2$ ) (табл. 5.2.1). Тобто, існує оптимальне значення ландшафтно-екологічного різноманіття, за умов якого продукційний потенціал кукурудзи сягає найбільшого рівня.

Отже, варіювання показників найменшого стаціонарного рівня врожайності на 69% визначаються кліматичними та ґрунтовими змінними (табл. 5.2.1). 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.

### **5.3. Агроекологічні чинники варіювання урожайності сої**

У якості моделі урожайності сої ми використали лог-логістичну модель (рис. 5.3.1), а параметри цієї моделі можуть бути використані для аналізу просторової динаміки урожайності. За результатами регресійного аналізу виявлено статистично значиму залежність ( $p < 0,05$ ) між параметрами урожайності сої та виявленими кліматичними та ґрунтовими головними компонентами (табл. 5.3.1).

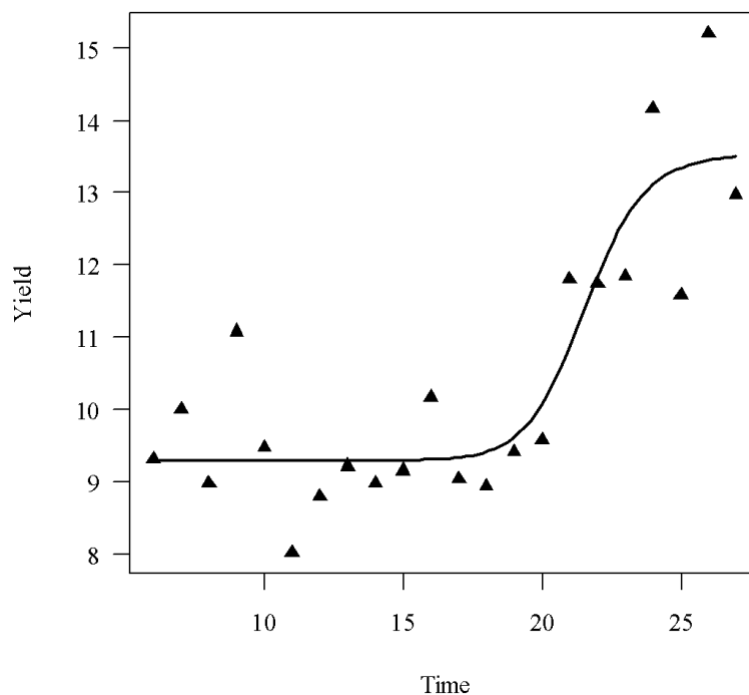


Рис. 5.3.1. Типова модель динаміки урожайності сої за період 1991–2017 рр.

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

Таблиця 5.3.1.

**Регресійна залежність параметрів урожайності сої від кліматичних та ґрунтових змінних, а також від показників різноманітності ландшафтного покриття\***

Предиктори	Ухил Slope, $R_{adj}^2 = 0,09$	Нижня границя Lower Limit, $R_{adj}^2 = 0,51$	Верхня границя Upper Limit, $R_{adj}^2 = 0,69$	ED50, $R_{adj}^2 = 0,50$
Shannon (H)	–	–	–	$-1,20 \pm 0,29$
H <sup>2</sup>	–	–	–	$1,16 \pm 0,31$
Distance (D)	–	–	–	–
D <sup>2</sup>	–	–	–	–
Climate_1	$0,48 \pm 0,20$	–	$-0,37 \pm 0,11$	–
Climate_2	–	$0,44 \pm 0,08$	$0,14 \pm 0,07$	–
Climate_3	$-0,20 \pm 0,09$	$0,16 \pm 0,06$	–	–
Climate_4	–	$-0,15 \pm 0,06$	$-0,22 \pm 0,05$	–
soil_1	$0,33 \pm 0,14$	$-0,84 \pm 0,11$	$-0,88 \pm 0,08$	$0,60 \pm 0,11$
soil_2	–	–	$-0,24 \pm 0,05$	–
soil_3	–	–	–	–
soil_4	$0,40 \pm 0,13$	$-0,28 \pm 0,10$	$-0,35 \pm 0,08$	–
soil_5	–	–	$0,17 \pm 0,06$	–
soil_6	–	$-0,40 \pm 0,07$	$-0,18 \pm 0,06$	–

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

Найбільшою швидкістю зростання урожайності сої характеризуються північно-західні райони території досліджень (рис. 5.3.2).

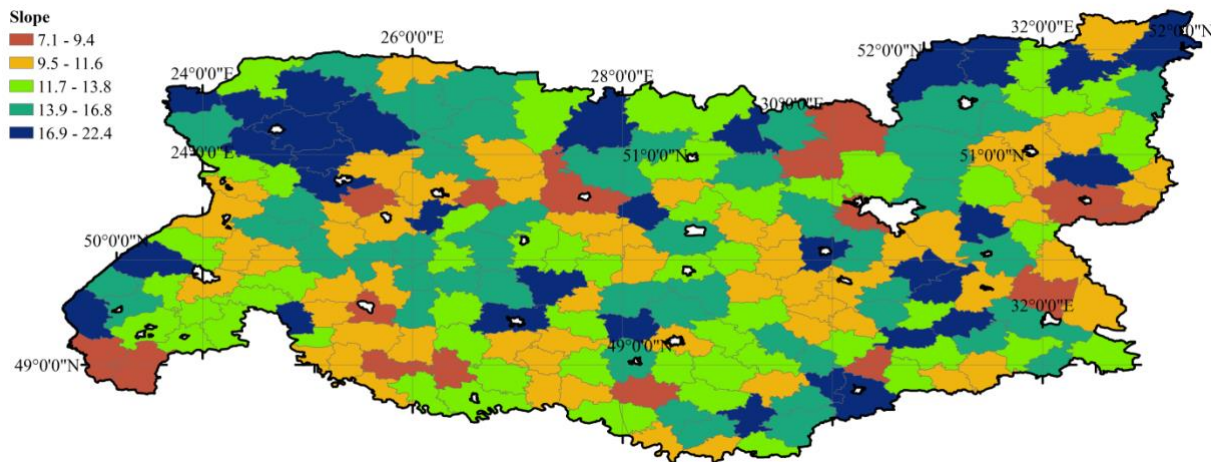


Рис. 5.3.2. Просторове варіювання параметру нахилу (*Slope*) лог-логістичної моделі динаміки урожайності сої

На цей параметр урожайності, серед кліматичних змінних, найбільш значний вплив має головна компонента 1 (рис. 5.4.1). Тобто, існує прямий кореляційний зв'язок між швидкістю нарощення урожайності та континентальністю клімату ( $R = 0,48 \pm 0,20; p < 0,05$ ). Також виявлений значний вплив ґрунтової головної компоненти 4 ( $R = 0,40 \pm 0,13; p < 0,05$ ), яка характеризується найбільшою чутливістю до вмісту мулу у ґрунті.

За показником нижньої границі урожайності сої досліджений регіон ділиться майже навпіл – південні райони мають більш високі показники мінімальної урожайності порівняно з північними (рис. 5.3.3). Виявлено сильний статистично значимий кореляційний зв'язок між цим параметром урожайності та ґрунтовою головною компонентою 1, що відповідає за вміст піску у гранулометричному складі ґрунту ( $R = -0,84 \pm 0,11; p < 0,05$ ) (табл. 5.3.1). Тобто, урожайність сої менша на піщаних ґрунтах. Також на показник мінімальної урожайності сої чинить вплив кліматична головна компонента 2 ( $R = 0,44 \pm 0,08; p < 0,05$ ), що визначається мінливістю температурного режиму в екстремальні періоди року.

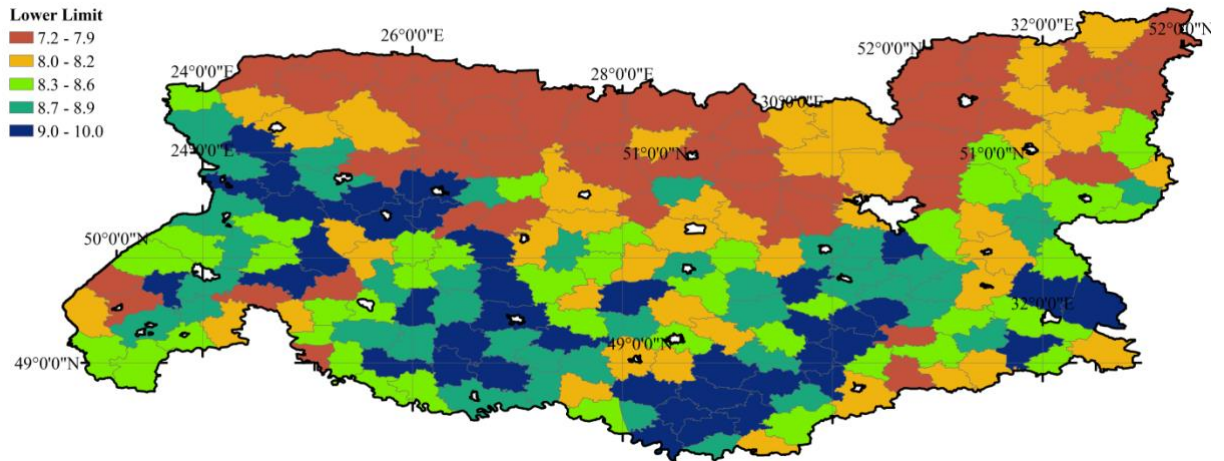


Рис. 5.3.3. Просторове варіювання параметру найменшого рівня (*Lower limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності сої

Для просторового розподілу параметру найбільшого рівня урожайності сої спостерігається аналогічна картина, як і для нижньої межі урожайності, що свідчить про те що ці показники пов'язані (рис. 5.3.4).

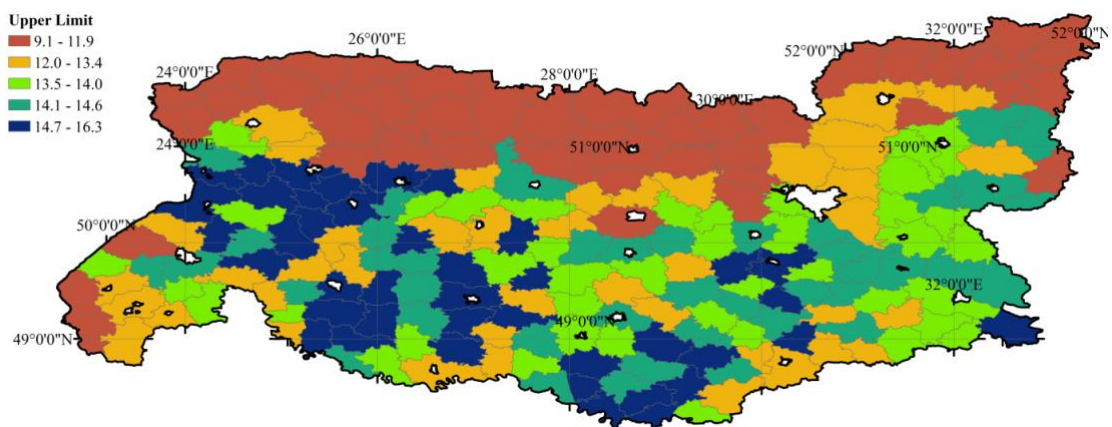


Рис. 5.4.4. Просторове варіювання параметру найбільшого рівня (*Upper limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності сої

Показник максимальної урожайності також визначається континентальністю клімату ( $R = -0,37 \pm 0,11$ ;  $p < 0,05$ ) та вмістом піщаної ґрунтової фракції  $R = -0,88 \pm 0,08$ ;  $p < 0,05$ ), що підтверджує ще раз попередньо отримані нами висновки про те, що більш сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами для вирощування сої характеризується зона Лісостепу.



Час до настання половини від максимальної урожайності сої є показником протилежним максимальній урожайності, оскільки, за своєю сутністю, фактично характеризує «інертність» продукційного потенціалу. В просторовому аспекті цей показник має вищі значення в тих районах, де показник максимальної урожайності сої низький (рис. 5.3.5).

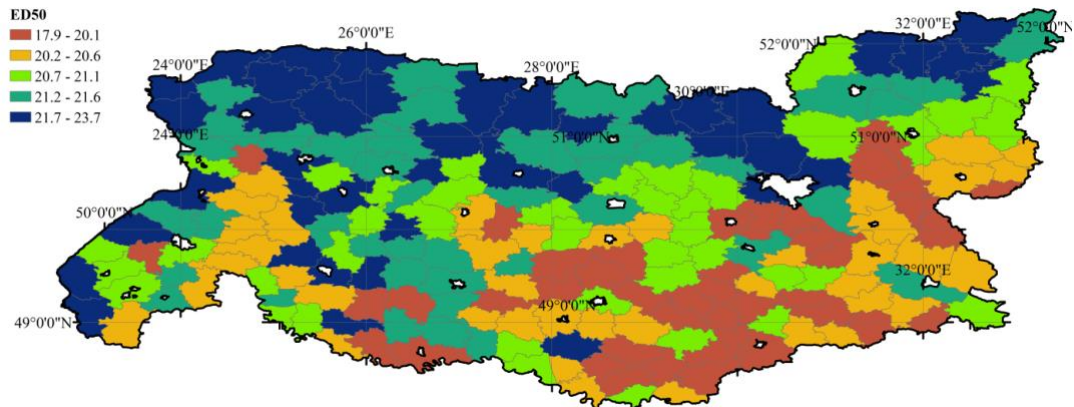


Рис. 5.3.5. Просторове варіювання параметру часу настання перегину ( $ED_{50}$ ) лог-логістичної моделі динаміки врожайності сої

На цей параметр також впливає ґрунтова змінна, що визначає вміст піску у гранулометричному складі ( $R = 0,60 \pm 0,11$ ,  $p < 0,05$ ).

Варто зауважити, що  $ED_{50}$  єдиний параметр урожайності сої, який проявляє залежність від рівня ландшафтного різноманіття (індекса Шеннона) ( $R = 1,16 \pm 0,30$ ;  $p < 0,05$ ); причому ця залежність описується квадратичною функцією (рис. 5.3.6).

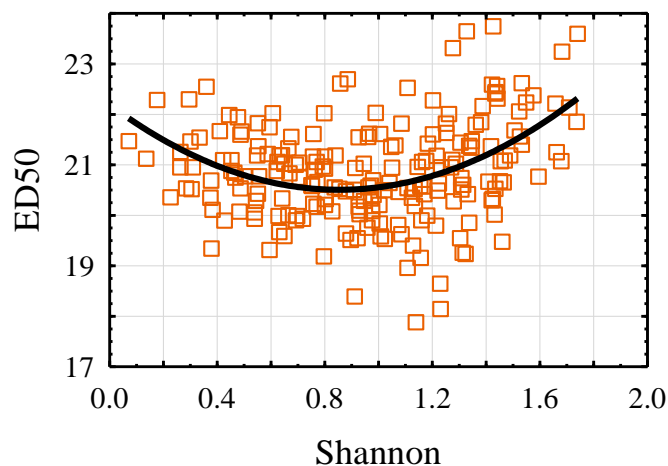


Рис. 5.3.6. Залежність  $ED_{50}$  від ландшафтно-екологічного різноманіття та відстані до об'єктів природно-заповідного фонду ( $C$ )

Отже, варіювання показника швидкості зростання урожайності сої на 9% залежить від кліматичних і ґрунтових змінних. Також, ґрунтові та кліматичні фактори визначають 51% варіювання мінімальної та 69% варіювання максимальної урожайності цієї культури. Час настання різкого зростання найбільше залежить від різноманітності ландшафтного покриву. Усі досліджені параметри урожайності сої проявляють найбільшу кореляцію із показником, який визначає вміст піщаної фракції у гранулометричному складі ґрунту.

#### 5.4. Агроекологічні детермінанти урожайності жита озимого

Модель урожайності жита, яка описується сигмоїдною кривою подано на рис. 5.4.1.

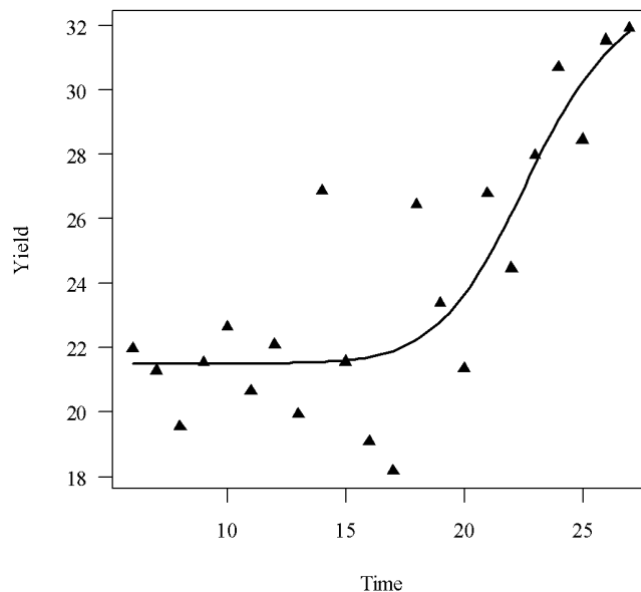


Рис. 5.4.1. Типова модель динаміки урожайності жита за період 1991–2017рр. Вісь абсцис – порядок років (1 – 1991, 2 – 1992, ...), вісь ординат – урожайність жита, ц/га.

Агроекологічні фактори визначають від 25 до 70% варіювання урожайності жита (табл. 5.4.1).

**Регресійна залежність параметрів урожайності жита від кліматичних та ґрунтових змінних, а також показників різноманітності ландшафтного покриття\***

Предиктори	Ухил Slope, $R_{adj}^2 = 0,25$	Нижня границя Lower Limit, $R_{adj}^2 = 0,67$	Верхня границя Upper Limit, $R_{adj}^2 = 0,70$	ED50, $R_{adj}^2 = 0,63$
Shannon (H)	–	–	–	0,72±0,26
H <sup>2</sup>	–	–	–	–
Distance (D)	–	–	0,47±0,15	–
D <sup>2</sup>	0,50±0,23	-0,36±0,15	-0,50±0,15	–
Climate_1	–	–	0,29±0,11	–
Climate_2	-0,49±0,10	0,15±0,07	0,18±0,07	0,51±0,07
Climate_3	–	–	0,12±0,05	0,51±0,05
Climate_4	0,15±0,08	-0,15±0,05	-0,16±0,05	-0,29±0,05
soil_1	–	-0,72±0,09	-0,64±0,08	0,38±0,09
soil_2	–	–	–	–
soil_3	–	–	–	–
soil_4	0,24±0,12	–	–	-0,32±0,08
soil_5	–	–	–	–
soil_6	–	-0,15±0,06	-0,17±0,06	-0,26±0,06

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

Найменший вплив екологічних факторів відмічається на швидкість росту урожайності.

Характерною особливістю параметрів урожайності жита, є те, що всі вони залежать від показників різноманіття ландшафтного покриття (табл. 5.4.1). Так, між швидкістю нарощування урожайності, мінімальною та максимальною урожайністю жита, з одного боку, та відстанню до об'єктів ПЗФ, з іншого, існують залежності, які описуються квадратичною функцією (рис. 5.4.2). Також, нами встановлений сильний статистично значимий лінійний взаємозв'язок між часом настання половини від максимальної урожайності жита та індексом Шеннона ( $R = 0,72 \pm 0,30$ ;  $p < 0,05$ ) (табл. 5.4.1).

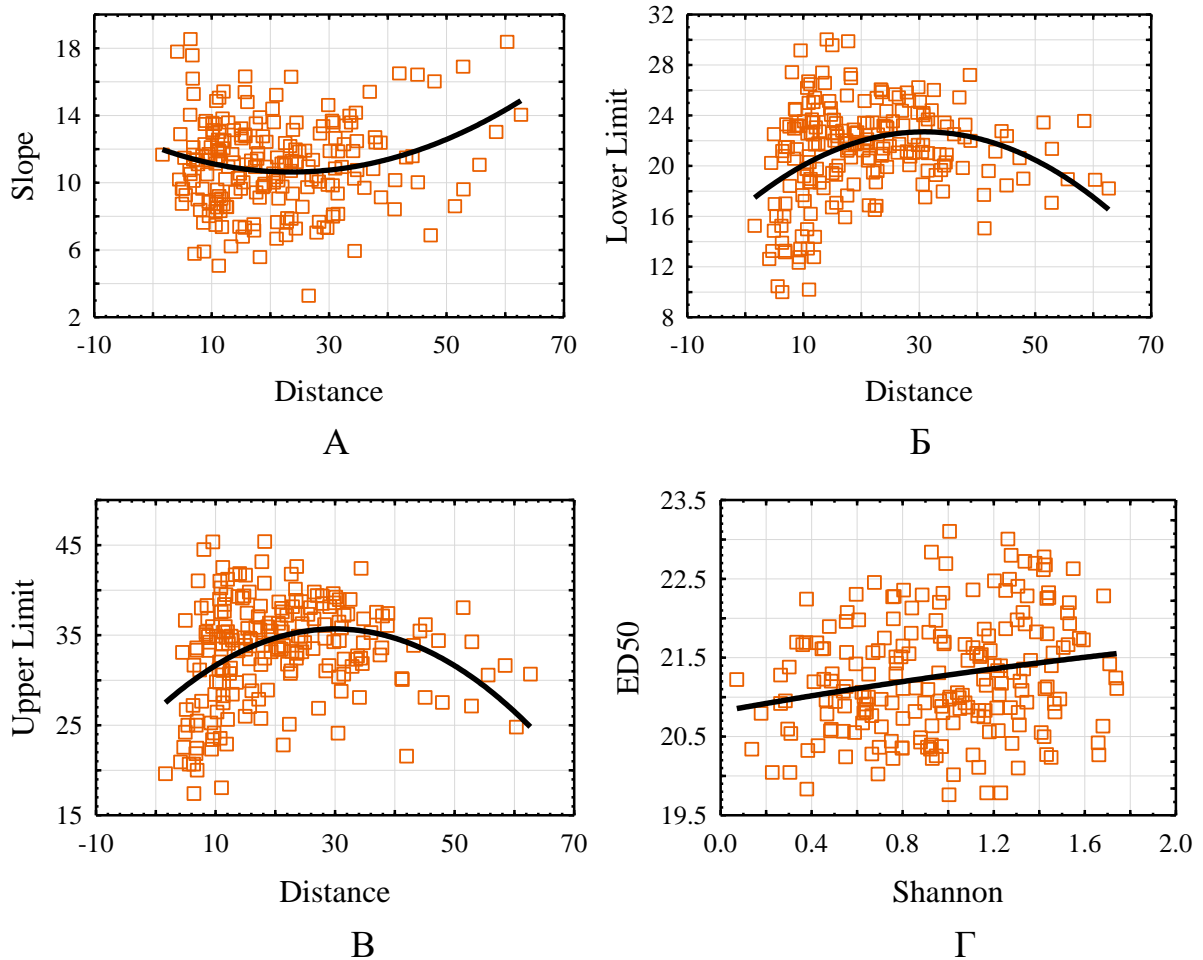


Рис. 5.4.2. Залежність ухилу модельної кривої (А), мінімального рівня урожайності (Б), максимального рівня урожайності жита (В) від середньої відстані до об'єктів природно-заповідного фонду та залежність часу перегину модельної кривої від ландшафтно-екологічного різноманіття (Г)

Окрім факторів природного різноманіття, на рівень варіювання швидкості нарощування урожайності жита впливає кліматична головна компонента 2 ( $R = -0,49 \pm 0,30$ ;  $p < 0,05$ ), що свідчить про залежність цього параметру урожайності від температури в найбільш критичні моменти року (найбільш сухі, найбільш холодні місяці). Райони, в яких швидкість збільшення урожайності жита вища, знаходяться, здебільшого, на північному сході та південному заході (рис. 5.4.3).

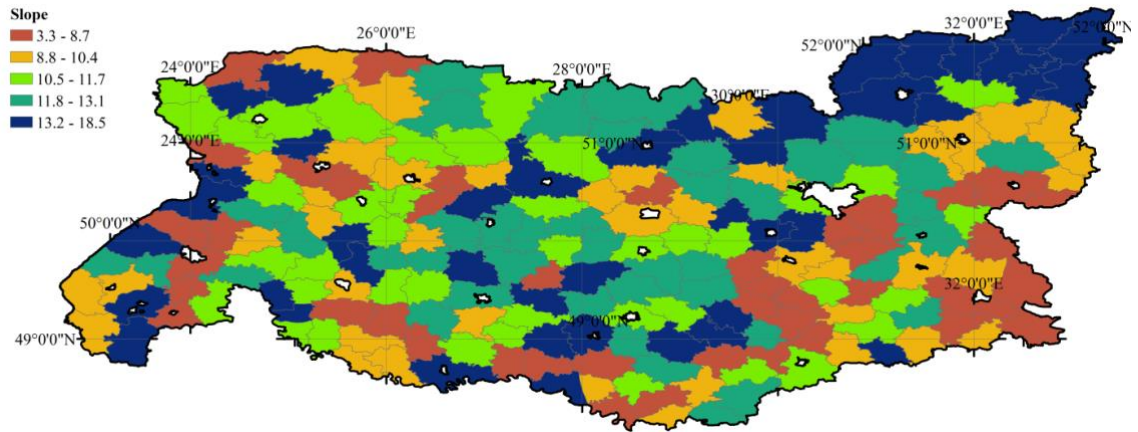
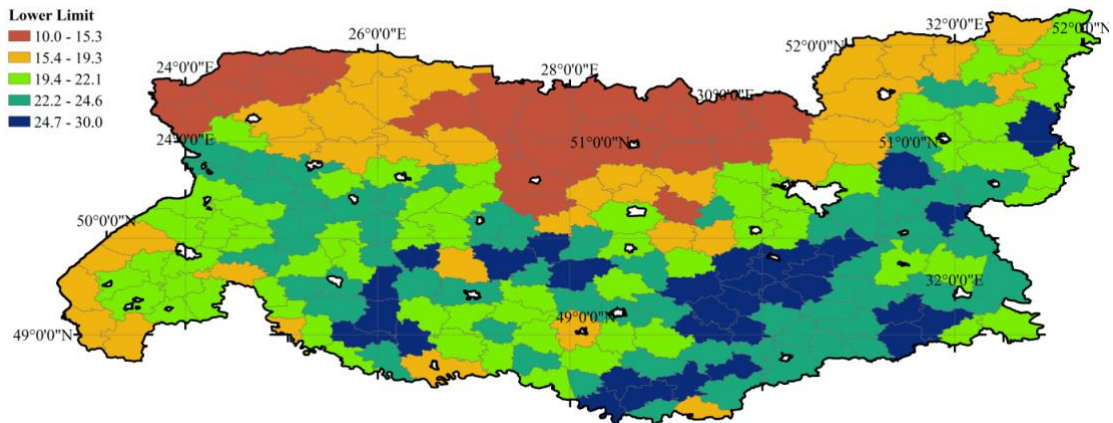


Рис. 5.4.3. Просторове варіювання параметру нахилу (*Slope*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності жита

Райони, де параметр мінімальної урожайності жита вищий, географічно знаходяться на території Лісостепової природно-кліматичної зони (рис. 5.4.4).



5.4.4. Просторове варіювання параметру найменшого рівня (*Lower limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності жита

І така картина пояснюється тим, що цей параметр урожайності має зворотну кореляцію ( $R = -0,72 \pm 0,09$ ;  $p < 0,05$ ) з вмістом піщаної гранулометричної фракції у ґрунті.

Показник максимальної урожайності, за територіальним розміщенням, значною мірою повторює просторові аспекти параметру мінімальної урожайності жита (рис. 5.4.5) і є досить чутливим до вмісту піску у ґрунті ( $R =$

$-0,64 \pm 0,08$ ;  $p < 0,05$ ). Крім того, на максимальну урожайність жита впливають усі досліджені кліматичні головні компоненти, що свідчить про чутливість цього параметру урожайності до кліматичних умов.

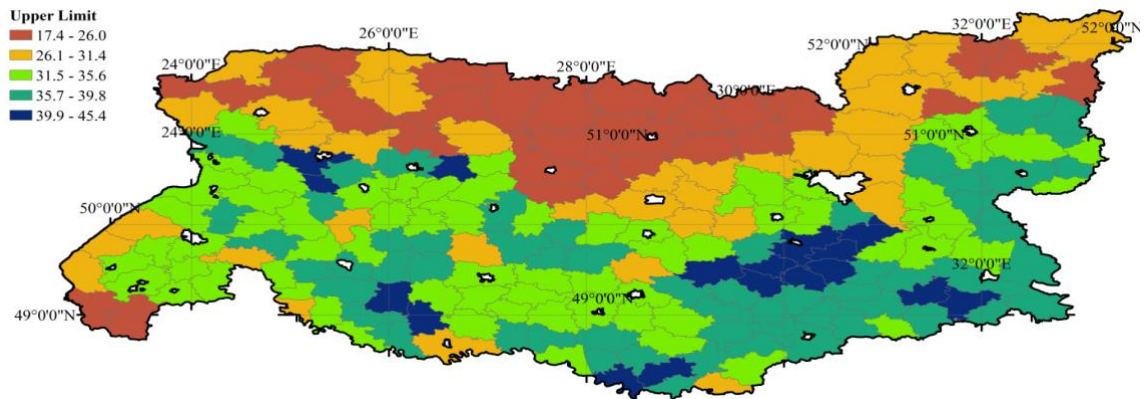


Рис. 5.4.5. Просторове варіювання параметру найбільшого рівня (*Upper limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності жита

Час настання половинного рівня від максимальної урожайності, окрім залежності від рівня ландшафтно-екологічного різноманіття, характеризується залежністю від кліматичних головних компонент 2 і 3. Таким чином, цей параметр урожайності чутливий до мінливості температурного режиму. Тобто, чим більш різкі перепади температури, тим більше часу потрібно агроєкосистемі, щоб наростити урожайність жита. Території, де для нарощення половинної, від максимального рівня, урожайності жита потрібно більше часу, знаходяться на заході регіону досліджень (рис. 5.4.6).

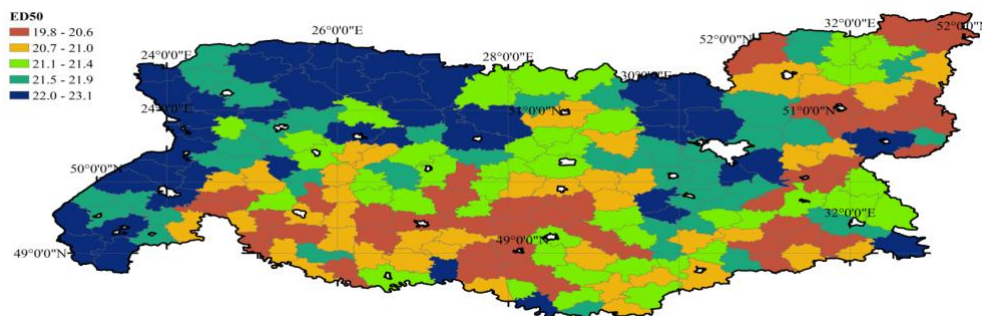


Рис. 5.4.6. Просторове варіювання параметру часу настання перегину (*ED50*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності жита

Отже, серед параметрів урожайності жита найбільшою чутливістю до екологічних факторів відзначається верхній ліміт урожайності (70%), а найнижчою – швидкість нарощування урожайності (25%). Всі параметри урожайності жита залежать від показників різноманіття ландшафтного покриву. Найбільш сильна кореляція встановлена між часом настання половини від максимальної урожайності жита та індексом Шеннона.

### 5.5. Агроекологічні детермінанти параметрів урожайності картоплі

Для оцінки впливу екологічних факторів на урожайність ми використали лог-логістичну модель урожайності картоплі (рис. 5.5.1).

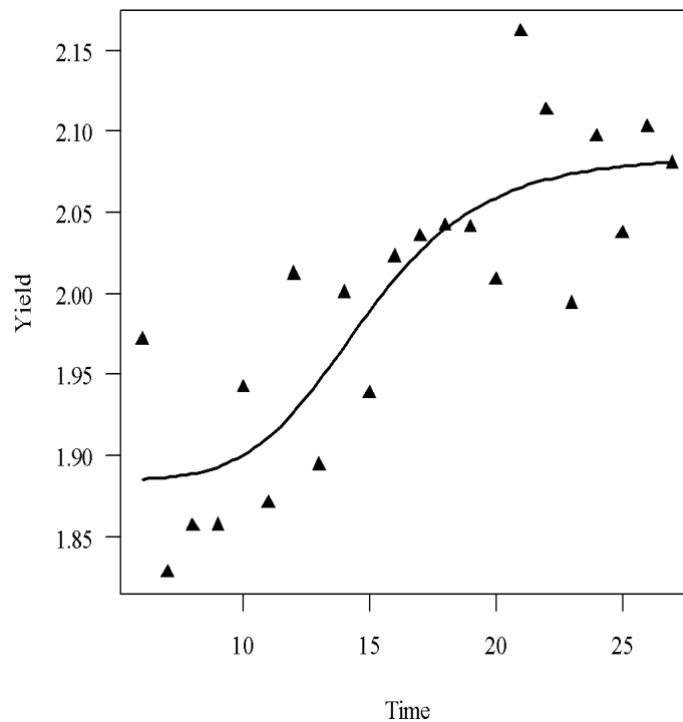


Рис. 5.5.1. Типова динаміка врожайності картоплі та лог-логістична модель динаміки

Встановлені статистично значимі регресійні залежності між агроекологічними предикторами та параметрами урожайності картоплі у дослідженому нами регіоні України ( $p < 0,05$ ) (табл. 5.5.1).

**Регресійна залежність параметрів урожайності картоплі від кліматичних та ґрунтових змінних, а також показників різноманітності ландшафтного покриття\***

Предиктори	Ухил Slope, $R_{adj}^2=0,26$	Нижня границя Lower Limit, $R_{adj}^2=0,57$	Верхня границя Upper Limit, $R_{adj}^2=0,54$	ED50, $R_{adj}^2=0,32$
Shannon (H)	–	–0,79±0,27	–1,20±0,28	1,18±0,34
H <sup>2</sup>	–	0,94±0,28	1,28±0,30	–0,98±0,36
Distance (D)	–0,74±0,24	–	–	1,10±0,23
D <sup>2</sup>	0,63±0,23	–	–	–1,14±0,22
Climate_1	–	–0,85±0,13	–0,78±0,14	–
Climate_2	0,26±0,10	0,20±0,08	–	–
Climate_3	–	–	–	–
Climate_4	–0,26±0,08	–	–0,13±0,06	–
soil_1	–	0,23±0,10	–	–
soil_2	–	–0,12±0,06	–0,19±0,06	–
soil_3	0,28±0,09	–	–	–
soil_4	–0,33±0,12	–0,65±0,09	–0,60±0,10	–
soil_5	0,28±0,09	0,35±0,07	0,33±0,07	–
soil_6	–	–	–	–

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

Слід зазначити, що рівень ландшафтного різноманіття відіграє важливу роль у варіюванні урожайності картоплі (табл. 5.5.1). Так, швидкість зростання урожайності картоплі характеризується нелінійною залежністю від відстані до об'єктів ПЗФ (рис. 5.5.2, А). На максимальну та мінімальну урожайність досить суттєво впливає різноманіття ландшафтного покриття (табл. 5.5.1, рис. 5.5.2, Б). Як зі зміною ландшафтно-екологічного різноманіття, позначеного індексом Шеннона, так і зі зміною відстані до найближчого об'єкту ПЗФ, закономірно змінюються як найменший та найвищий рівні врожайності, так і ухил моделі тренду. Закономірність має нелінійний характер, що виражається наявністю оптимального співвідношення різноманіття, за якого спостерігається найменше зниження урожайності культури («найбільший» найменший рівень врожайності) та найвищий рівень максимальної урожайності. Аналогічно, існує оптимальне значення різноманіття та насиченості території об'єктами ПЗФ для найвищих показників ухилу моделі.



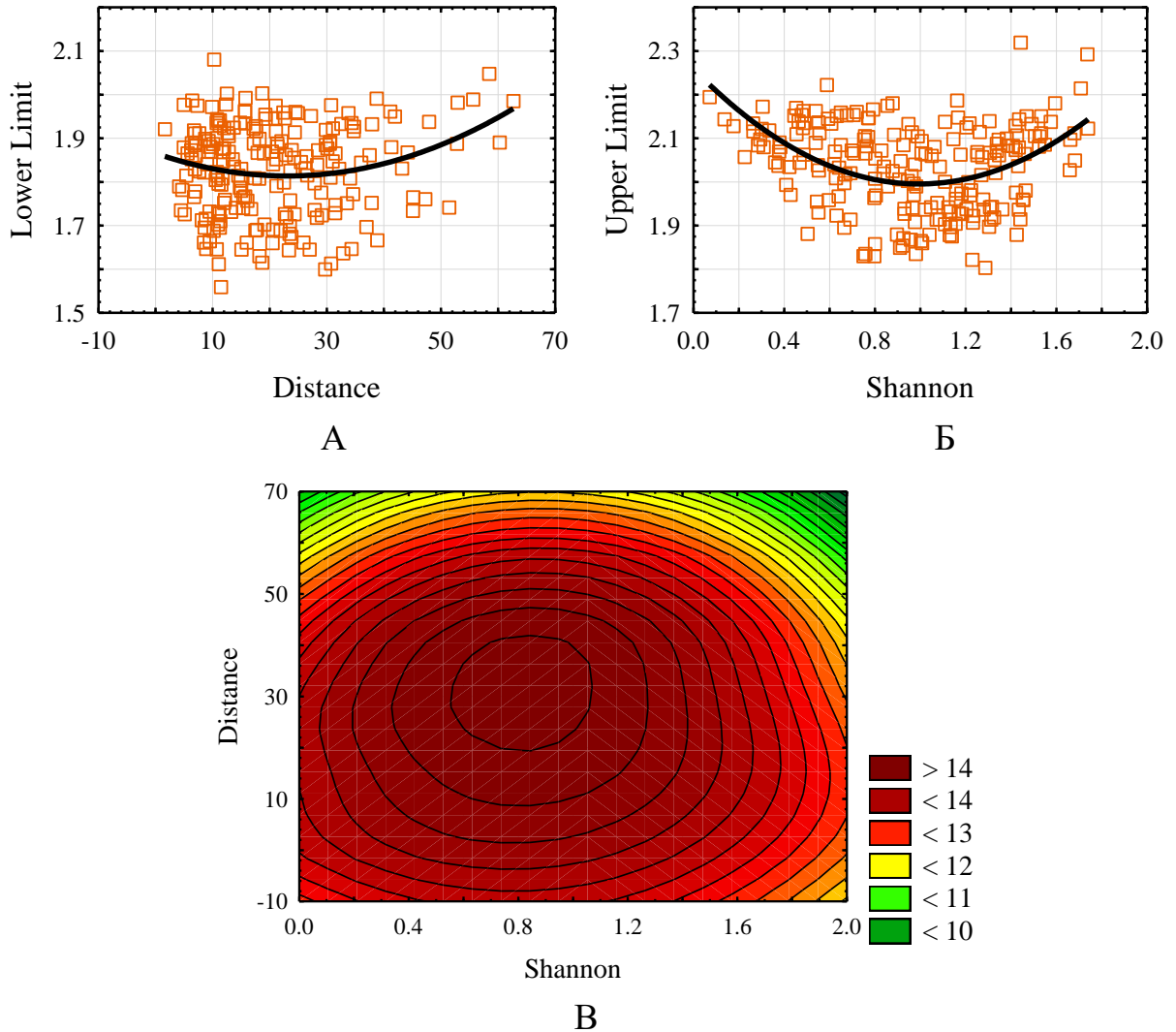


Рис. 5.5.2. Залежність мінімального рівня врожайності картоплі від середньої відстані до об'єктів природно-заповідного фонду (А), максимального рівня урожайності від ландшафтно-екологічного різноманіття (Б) та залежність ED50 від ландшафтно-екологічного різноманіття та відстані до об'єктів природно-заповідного фонду (В)

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 покриву 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 (табл. 5.5.1). Вплив ландшафтно-екологічного різноманіття та відстані до об'єктів природно-заповідного фонду на ED50 показано на рисунку 5.5.2, В. Симетрична конфігурація рисунку свідчить про певну незалежність впливу різноманіття та щільності об'єктів ПЗФ на час досягнення половинного рівня урожайності картоплі. Найбільшими показниками ED50 характеризуються західні райони дослідженої території (рис. 5.5.3).

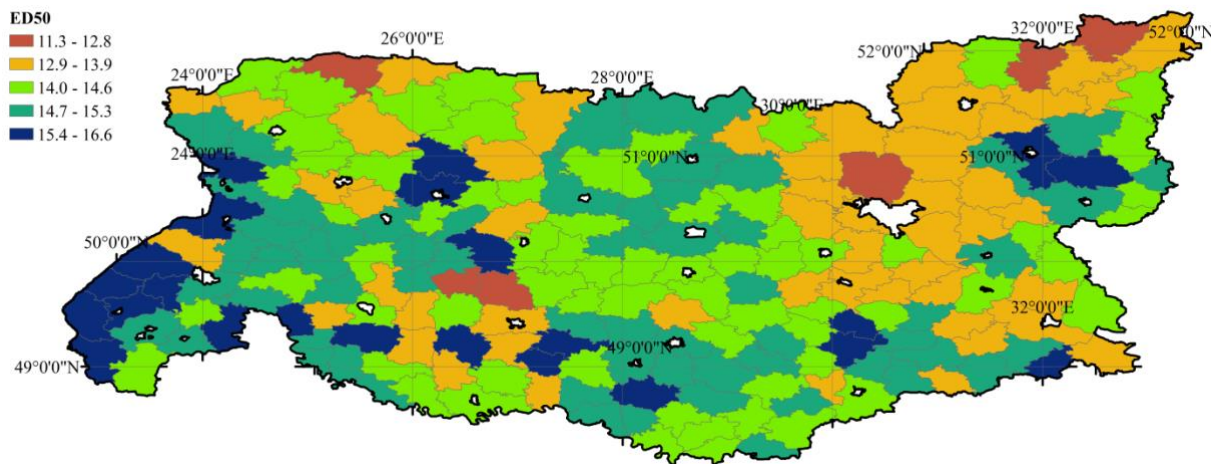


Рис. 5.5.3. Просторове варіювання параметру часу настання перегіну (*ED50*) лог-логістичної моделі динаміки урожайності картоплі

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. Картопля, як відомо, добре росте і розвивається не неоглеєних сірих і дерново-підзолистих ґрунтах різного механічного складу.

Несприятливі для картоплі оглеєні ґрунти. На таких ґрунтах, особливо у перезволожені роки, існує ризик втрати значної частки врожаю внаслідок бурхливого розвитку хвороб [95]. Територіальні одиниці, де швидкість нарощення більша, знаходяться у відповідності до переважання легких ґрунтів (рис. 5.5.4, Додаток 2).

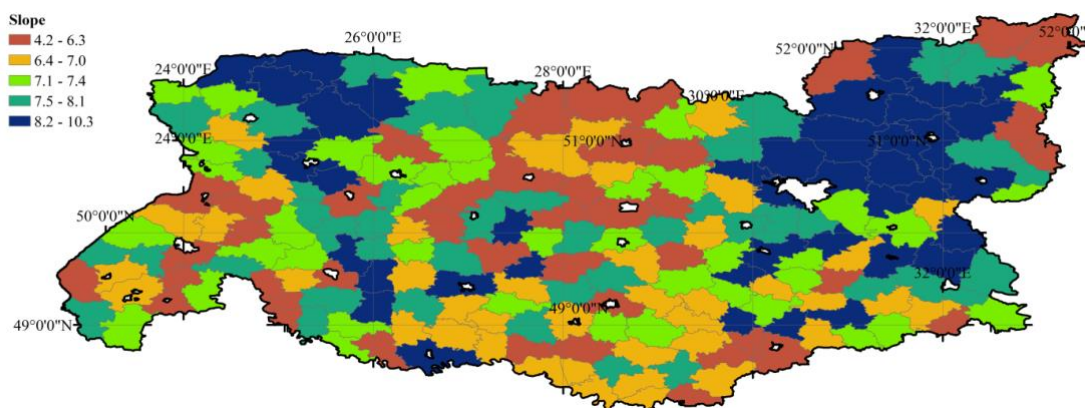


Рис. 5.5.4. Просторове варіювання параметру нахилу (*Slope*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності картоплі

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). Та обставина, що ці два параметри залежать від одних і тих самих екологічних предикторів, визначає і їх схожий просторовий розподіл (рис. 5.5.5, 5.5.6).

Таким чином, визначили, що урожайність картоплі найбільше визначається різноманіттям ландшафтного покриву. Залежність між параметрами урожайності та ландшафтно-екологічним різноманіттям має нелінійний характер, що обумовлює наявність оптимального різноманіття та насиченості території об'єктами ПЗФ для найвищих показників урожайності картоплі. Серед кліматичних чинників найбільше значення для урожайності картоплі має континентальність клімату, а серед ґрунтових – вміст мулу у ґрунті, що, вочевидь, пояснює більш високі врожаї картоплі на легких ґрунтах.

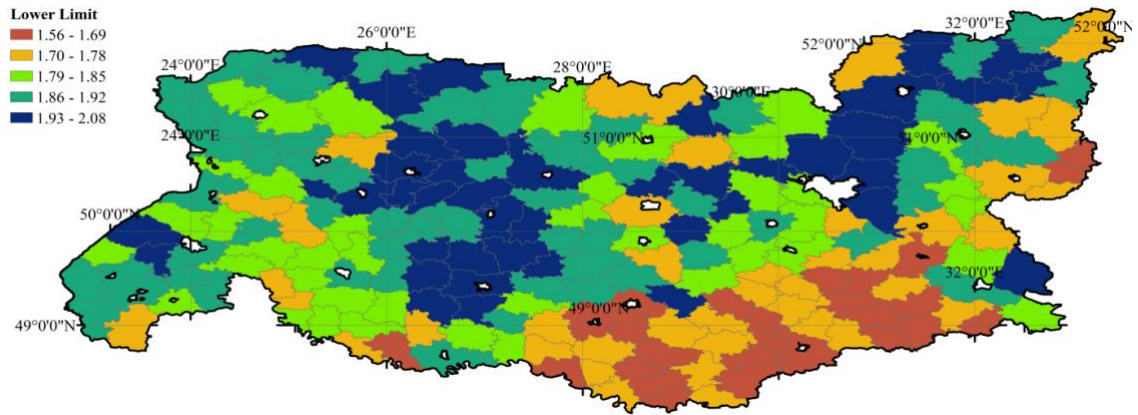


Рис. 5.5.5. Просторове варіювання параметру найменшого рівня (*Lower limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності картоплі

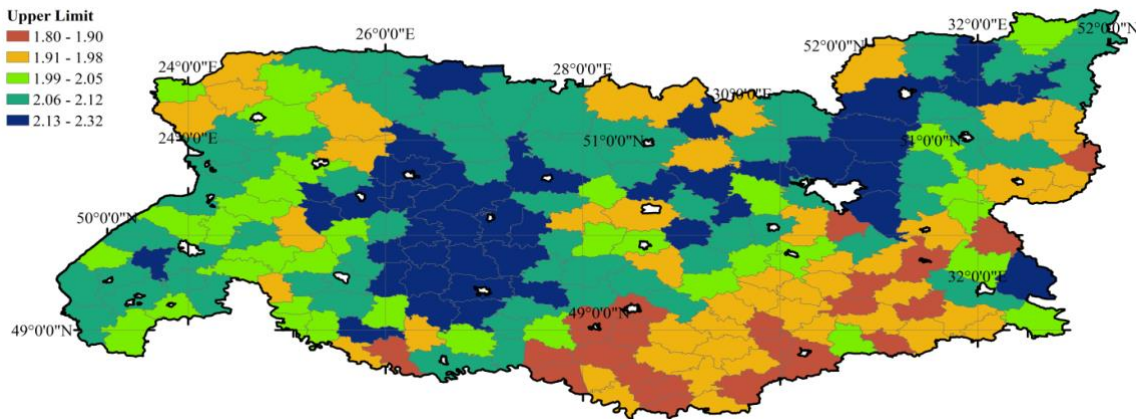


Рис. 5.5.6. Просторове варіювання параметру найбільшого рівня (*Upper limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності картоплі

## 5.6. Закономірності просторового варіювання параметрів урожайності цукрового буряка під впливом екологічних факторів

Динаміку урожайності цукрового буряка можна апроксимувати сигмоїдною кривою (рис. 5.6.1).

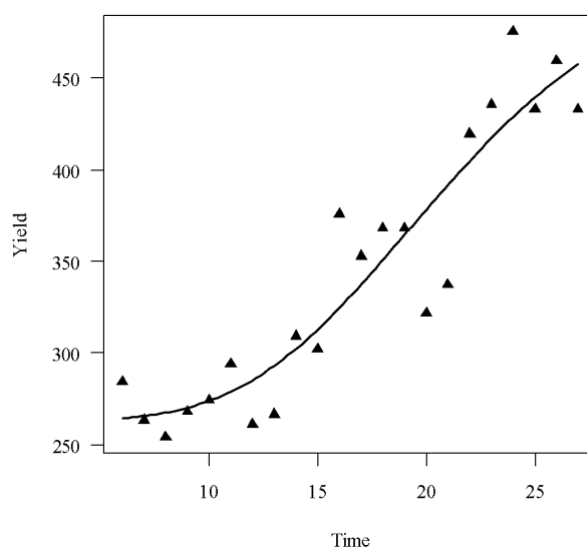


Рис. 5.6.1. Типова динаміка врожайності цукрового буряка та лог-логістична модель цієї динаміки

Встановили наявність регресійного зв'язку між встановленими головними компонентами екологічного походження та параметрами урожайності цукрового буряка (табл. 5.6.1).

Таблиця 5.6.1.

**Регресійна залежність параметрів урожайності цукрового буряка від кліматичних та ґрунтових змінних, а також показників різноманітності ландшафтного покриття\***

Предиктори	Ухил Slope, $R_{adj}^2 = 0,12$	Нижня границя Lower Limit, $R_{adj}^2 = 0,52$	Верхня границя Upper Limit, $R_{adj}^2 = 0,35$	ED50, $R_{adj}^2 = 0,26$
Shannon (H)	1,03±0,39	—	—	-1,11±0,36
H <sup>2</sup>	-0,89±0,41	—	—	1,22±0,38
Distance (D)	—	—	0,63±0,23	—
D <sup>2</sup>	—	—	-0,74±0,22	—
Climate_1	—	—	—	—
Climate_2	—	0,18±0,08	0,22±0,10	—
Climate_3	—	0,17±0,06	0,19±0,07	—
Climate_4	—	—	—	0,25±0,08
soil_1	-0,41±0,14	-0,59±0,10	-0,43±0,12	0,50±0,13
soil_2	—	—	—	—
soil_3	—	—	—	-0,20±0,09
soil_4	—	—	—	—
soil_5	—	0,16±0,07	—	—
soil_6	—	-0,35±0,07	-0,39±0,09	—

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

Зокрема, спостерігаємо нелінійну статистично значиму залежність між ухилом регресійної моделі (швидкістю нарощення урожайності), а також параметром ED50 та індексом Шеннона, який відображає різноманіття ландшафту (рис. 5.6.2, А, Б).

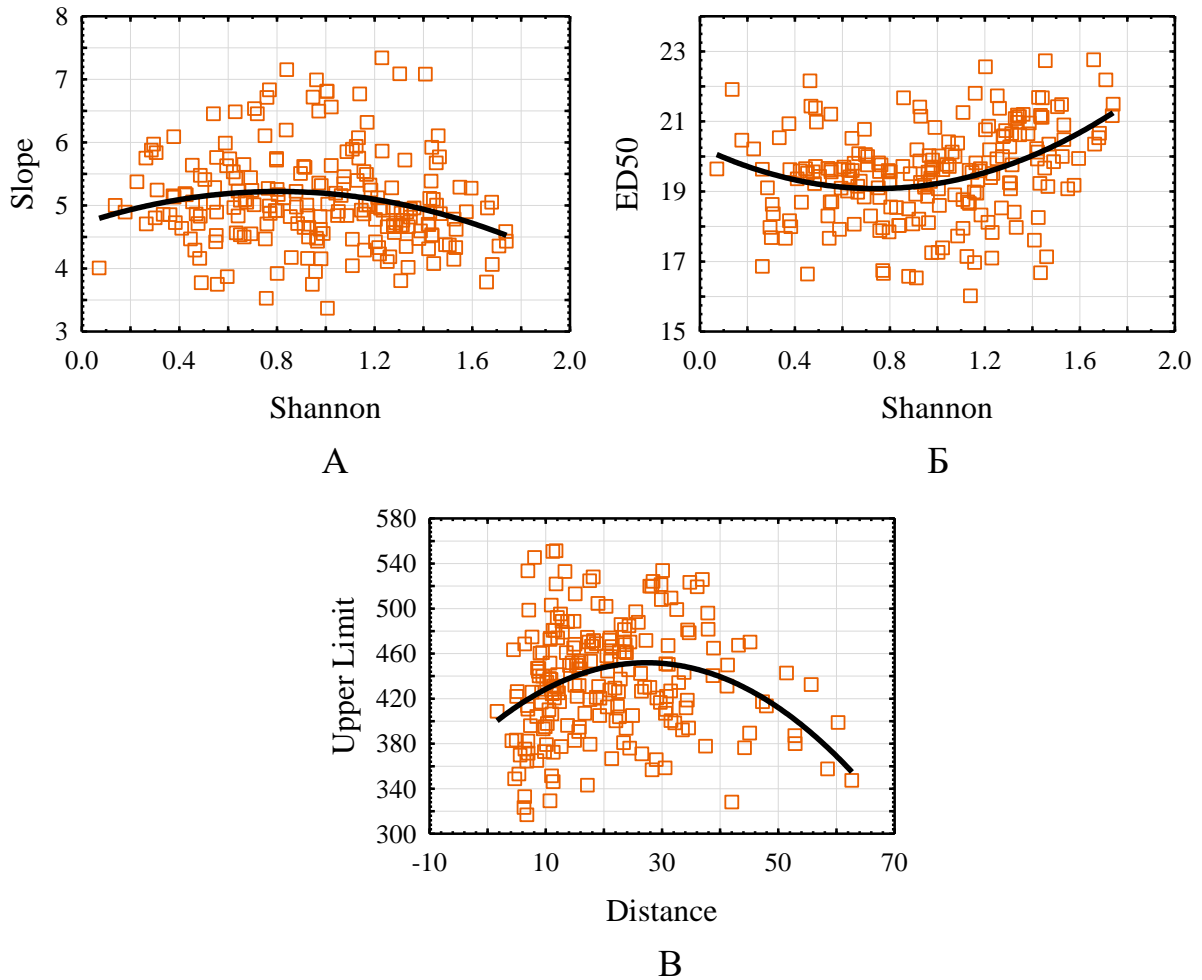


Рис. 5.7.2. Залежність ухилу модельної кривої (А), параметру ED50 (Б) від ландшафтно-екологічного різноманіття та максимального рівня урожайності цукрового буряка від середньої відстані до об'єктів природно-заповідного фонду (В)

Регресійна залежність між верхньою границею урожайності цукрового буряка (максимальною врожайністю) та відстанню до природоохоронних об'єктів описується квадратичною функцією ( $R = 1,22 \pm 0,38$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 5.6.2, В). Причому, характер цього зв'язку свідчить про те, що верхній рівень

урожайності цукрового буряка зростає відповідно із збільшенням відстані до природоохоронних об'єктів, але лише до певної межі (оптимального значення віддалі до об'єктів ПЗФ). Подальше зростання віддалі призводить до зниження верхньої межі урожайності.

Швидкість зростання урожайності цукрового буряка на 12% визначається екологічними факторами, а саме рівнем різноманітності природних ландшафтів ( $R = -0,89 \pm 0,41$ ;  $p < 0,05$ ) та ґрунтовим показником, що відповідає за вміст піску у ґрунті ( $R = -0,41 \pm 0,14$ ;  $p < 0,05$ ). Просторове варіювання ухилу регресійної кривої подано на рис. 5.7.3.

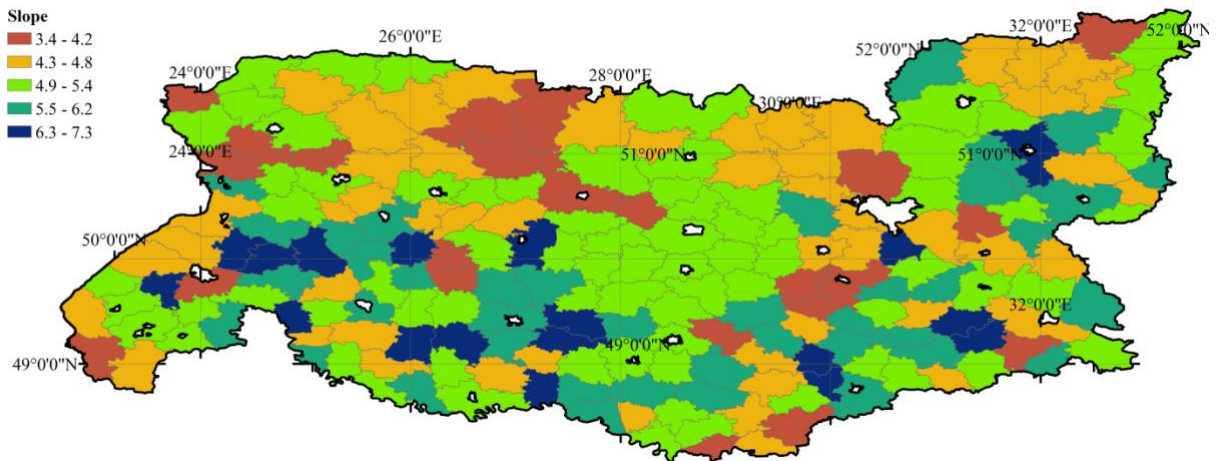


Рис. 5.7.3. Просторове варіювання параметру нахилу (*Slope*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності цукрового буряка

Найменший рівень урожайності характеризується сильною кореляцією з ґрунтовими компонентами 1 та 6, що визначають гранулометричний склад ґрунту. Тобто, можна зробити висновок, що просторовий розподіл показника «мінімальна урожайність цукрового буряка», визначається наявністю ґрунтів із невисоким вмістом як піску, так і мулу. Відповідні типи ґрунтів поширені в центрі регіону досліджень, чим і пояснюється наявність територіальних кластерів, з підвищеними значеннями мінімальної урожайності цукрового буряка (рис. 5.6.4).

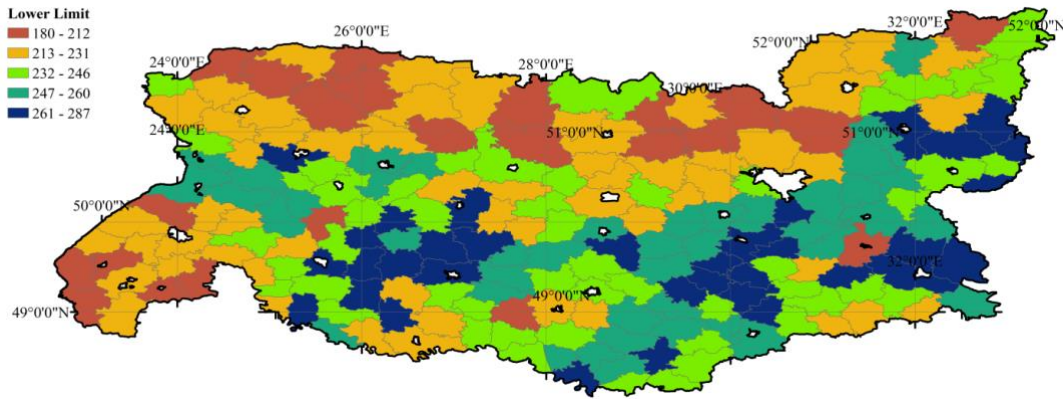


Рис. 5.6.4. Просторове варіювання параметру найменшого рівня (*Lower limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності цукрового буряка

Верхня границя урожайності на 35% визначається різноманітними екологічними факторами. Окрім відстані до об'єктів ПЗФ, на цей параметр урожайності буряка мають вплив як кліматичні компоненти 2, 3, які визначають мінливість температурних умов, так і ґрунтові компоненти 1, 6. Райони з більш високими значеннями верхньої границі урожайності цукрового буряка знаходяться, переважно, на південному сході дослідженого регіону (рис. 5.6.5).

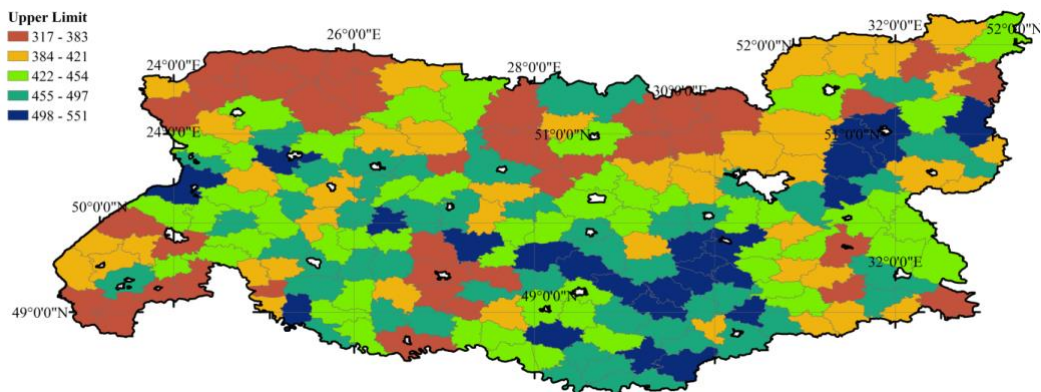


Рис. 5.6.5. Просторове варіювання параметру найбільшого рівня (*Upper limit*) лог-логістичної моделі динаміки урожайності цукрового буряка

Параметр урожайності ED50 характеризується чутливістю до кліматичної головної компоненти 4 ( $R = 0,25 \pm 0,08$ ;  $p < 0,05$ ), яка є індикатором контрастності температурних умов та ґрунтової компоненти 1 ( $R = 0,50 \pm 0,13$ ;  $p < 0,05$ ). Тобто, чим ширшим є діапазон варіювання річних та місячних



температур, тим повільніше відбувається нарощування урожайності цукрового буряка. Характерно, що більш «інертні» з точки зору збільшення урожайності цукрового буряка райони, знаходяться на півночі регіону досліджень (рис. 5.6.6).

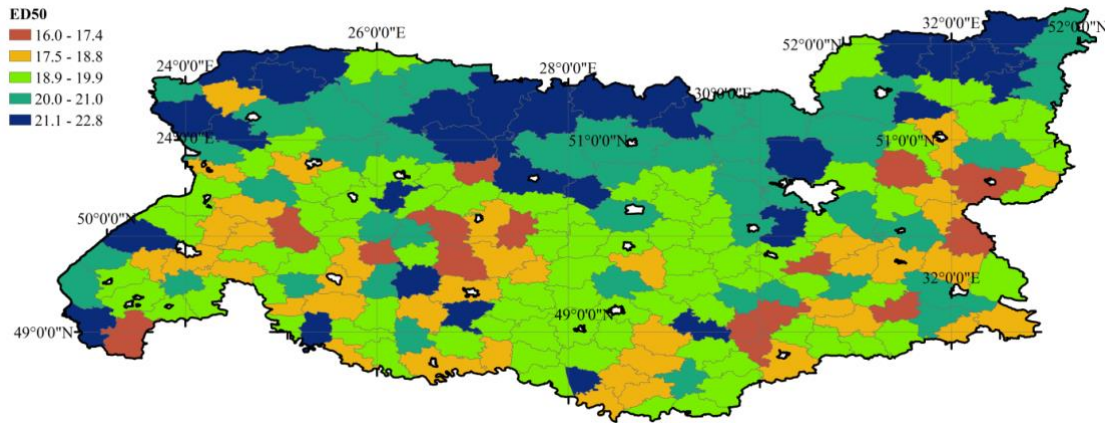


Рис. 5.6.6. Просторове варіювання параметру часу настання перегіну ( $ED_{50}$ ) лог-логістичної моделі динаміки врожайності цукрового буряка

Отже, внесок екологічних факторів у варіювання параметрів урожайності цукрового буряка коливається у межах 12–52%. На всі параметри урожайності цієї культури, окрім нижньої межі урожайності, впливають фактори ландшафтного різноманіття. Залежності між показниками ландшафтного різноманіття та параметрами урожайності цукрового буряка носять нелінійний характер, що свідчить про те, що існують оптимальні значення ландшафтного різноманіття, за яких урожайність досягає найвищих показників. Серед кліматичних факторів найбільший внесок у варіювання параметрів урожайності цукрового буряка вносять показники мінливості температурних умов, а серед ґрунтових факторів – показники гранулометричного складу.

### **5.7. Варіювання параметрів урожайності овочів відкритого ґрунту під впливом екологічних факторів**

Часове варіювання урожайності овочів відкритого ґрунту описується лог-логістичною моделлю (рис. 5.7.1).

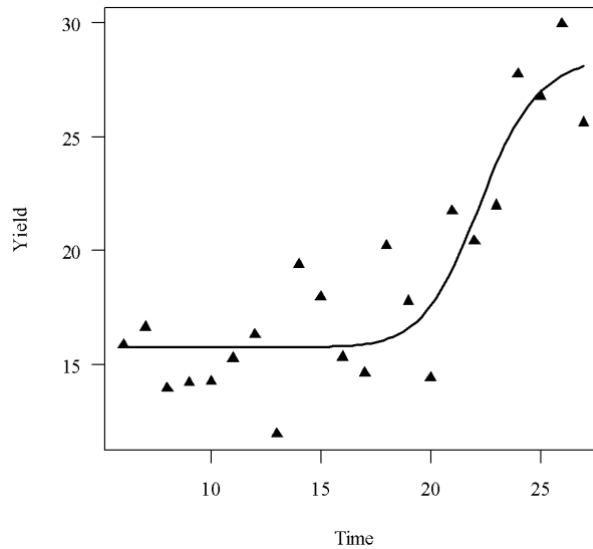


Рис. 5.7.1. Типова динаміка врожайності овочів та апроксимація цієї динаміки лог-логістичною моделлю

Визначено статистично значимі регресійні залежності між показником відстані до природно-заповідних територій та усіма параметрами урожайності овочів, за виключенням параметра ED50 (табл. 5.7.1).

Таблиця 5.7.1.

**Регресійна залежність параметрів урожайності овочів відкритого ґрунту від кліматичних та ґрунтових змінних, а також показників різноманітності ландшафтного покриття\***

Предиктори	Ухил Slope, $R_{adj}^2 = 0,45$	Нижня границя Lower Limit, $R_{adj}^2 = 0,68$	Верхня границя Upper Limit, $R_{adj}^2 = 0,76$	ED50, $R_{adj}^2 = 0,13$
Shannon (H)	–	–	–	–
H <sup>2</sup>	–	–	-0,45±0,21	–
Distance (D)	-0,68±0,21	0,34±0,16	0,59±0,14	–
D <sup>2</sup>	0,64±0,20	-0,31±0,15	-0,59±0,13	–
Climate_1	–	–	–	–
Climate_2	–	–	–	–
Climate_3	-0,23±0,07	–	–	0,35±0,08
Climate_4	–	-0,10±0,05	-0,12±0,04	-0,22±0,08
soil_1	0,28±0,11	-0,75±0,09	-0,64±0,07	0,37±0,14
soil_2	–	–	-0,17±0,04	–
soil_3	–	–	–	–
soil_4	0,22±0,11	–	-0,23±0,07	–
soil_5	–	–	0,13±0,05	–
soil_6	–	-0,16±0,06	-0,12±0,05	–

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

Встановлені регресійні залежності мають нелінійний характер (рис. 5.7.2, А, Б.). Для параметра верхньої границі урожайності овочів виявлено статистично значимий нелінійний зв'язок як із відстанню до об'єктів ПЗФ, так і з індексом Шеннона (рис. 5.7.2, В). Асиметрична і більш складна конфігурація врожайності за дій комплексу показників ландшафтного різноманіття свідчить про взаємодію цих факторів. У такій ситуації низьке ландшафтне різноманіття може бути компенсоване наявністю об'єктів ПЗФ.

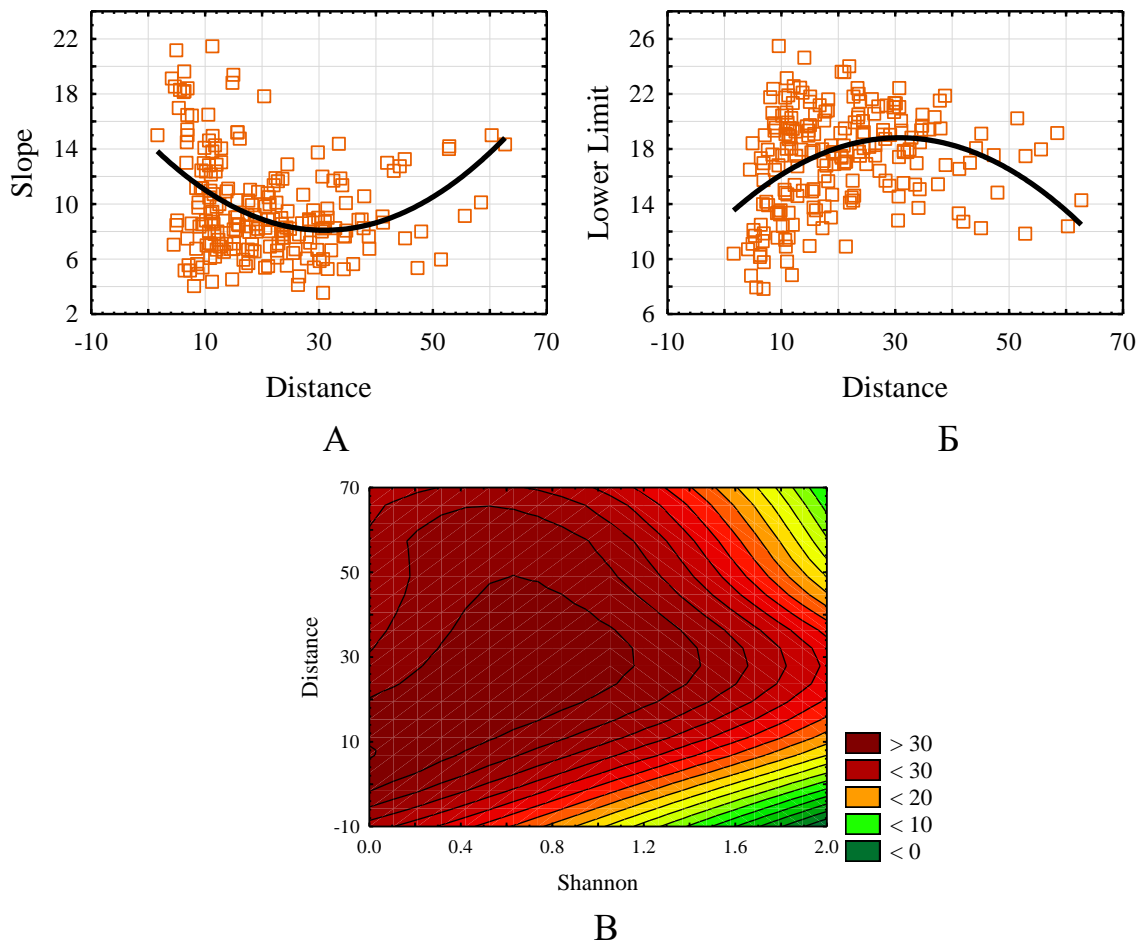


Рис. 5.8.2. Залежність ухилу моделі (А) та найменшого рівня урожайності (Б) від середньої відстані до об'єктів природно-заповідного фонду та залежність найбільшої врожайності від ландшафтно-екологічного різноманіття та відстані до об'єктів природно-заповідного фонду (В)

Ухил кривої урожайності корелює із відстанню до об'єктів ПЗФ ( $R = 0,64 \pm 0,20$ ;  $p < 0,05$ ), кліматичною головною компонентою 3 ( $R = 0,23 \pm 0,07$ ;  $p < 0,05$ ), яка є індикатором ізотермальності та ґрунтовими

головними компонентами 1 та 4, що характеризують гранулометричний склад ґрунту. Більшою швидкістю нарощення урожайності овочів характеризуються північні та західні райони регіону досліджень (рис. 5.7.3). Серед кліматичних змінних більшим впливом характеризується показник рівня мінливості температурних умов.

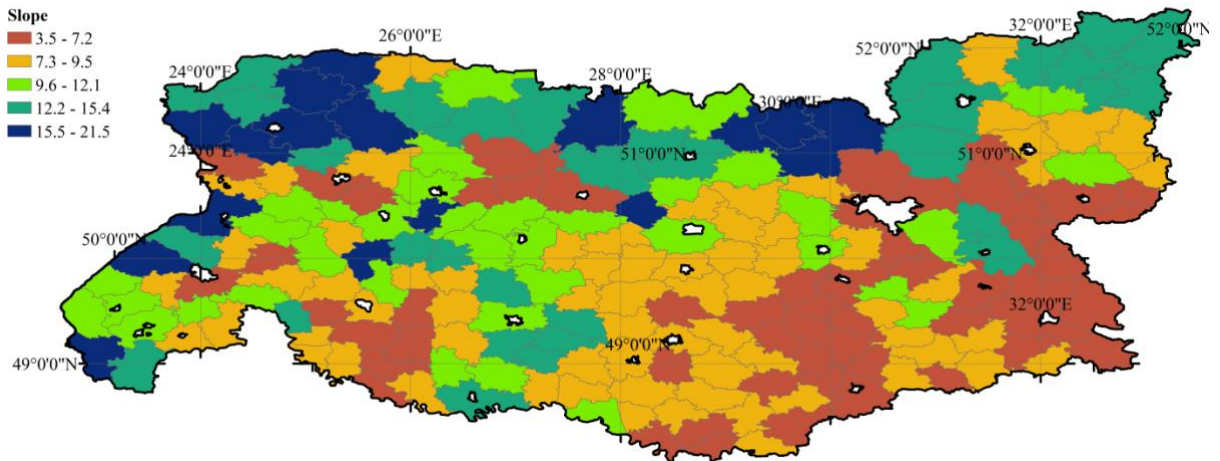


Рис. 5.8.3. Просторове варіювання параметру нахилу (*Slope*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності овочів відкритого ґрунту

Варіювання нижнього рівня урожайності овочів є просторово залежним (рис. 5.7.4). Цей показник проявляє сильну негативну кореляцію з ґрунтовою головною компонентою 1 ( $R = -0,75 \pm 0,09$ ;  $p < 0,05$ ).

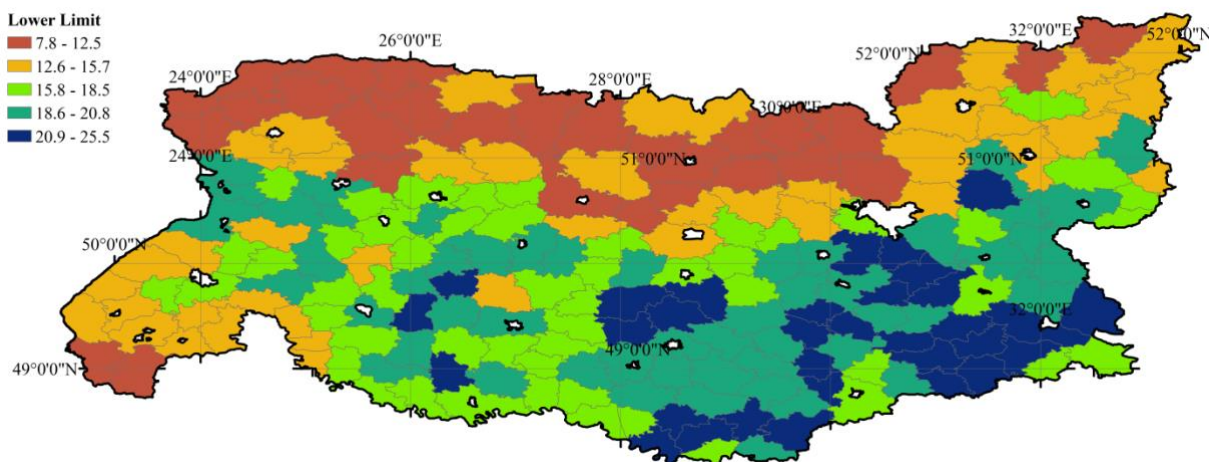
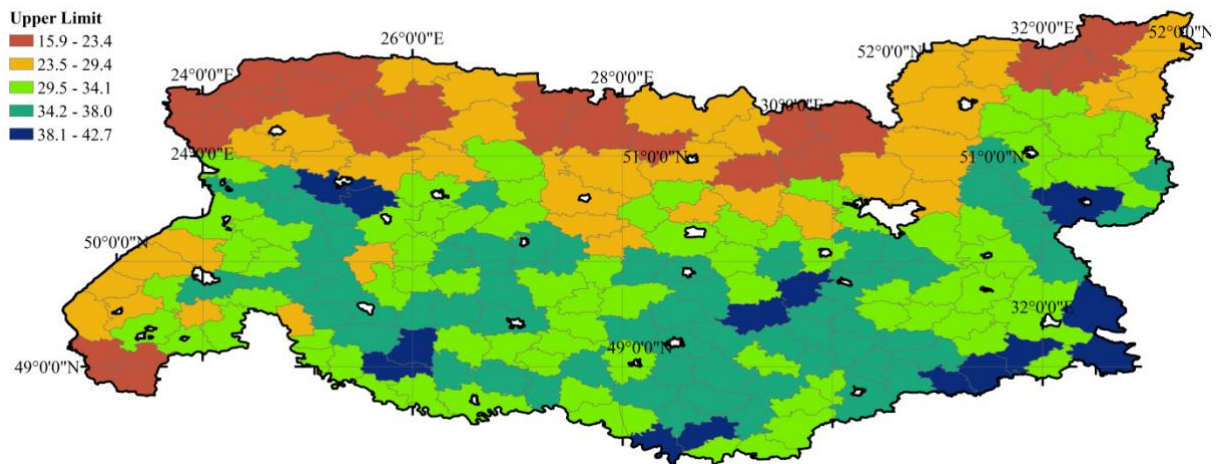


Рис. 5.7.4. Просторове варіювання параметру найменшого рівня (*Lower limit*) лог-логістичної моделі динаміки урожайності овочів

Верхня границя урожайності овочів корелює майже з усіма ґрунтовими показниками, окрім ґрунтової компоненти 3 (табл. 6.7.5), що свідчить про те, що на цей параметр урожайності впливають як гранулометричний склад, так і щільність і кислотність ґрунту. Загалом, досліджений регіон характеризується переважанням адміністративних районів з середніми та високими значеннями максимальної урожайності овочів відкритого ґрунту (29,5–42,7 ц/га) (рис. 5.7.5).



#### 5.7.5. Просторове варіювання параметру найбільшого рівня (*Upper limit*) логістичної моделі динаміки врожайності овочів відкритого ґрунту

Час з початку досліджень, який потрібний для досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності овочів, знаходиться у прямій залежності від кліматичної компоненти 3 ( $R = 0,25 \pm 0,08$ ;  $p < 0,05$ ) та ґрунтової головної компоненти 1 ( $R = 0,37 \pm 0,14$ ;  $p < 0,05$ ). Ґрунтові та кліматичні фактори визначають 13% варіювання цього показника (табл. 5.8.1). Високі показники параметра ED50 свідчать про те, що овочівництво в Україні довго не розвивалося, оскільки, на досягнення половинного від максимального рівня урожайності пішло від 19,5 до 26,2 років (із 27-річного періоду досліджень) (рис. 5.7.6). Проте останні роки досліджень характеризувалися стрибкоподібним нарощуванням урожайності овочів відкритого ґрунту (рис. 5.7.1).

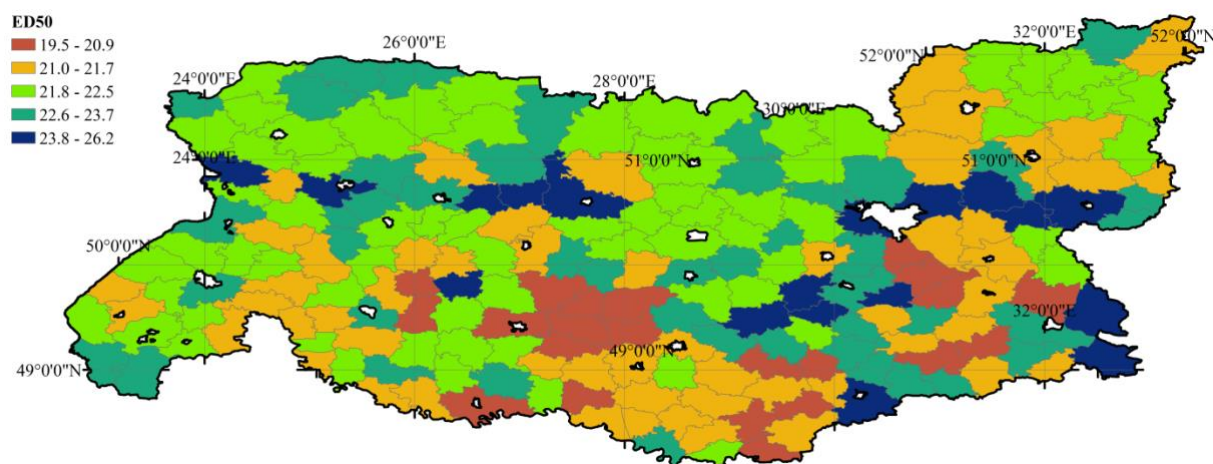


Рис. 5.7.6. Просторове варіювання параметру часу настання перегіну ( $ED_{50}$ ) лог-логістичної моделі динаміки врожайності овочів відкритого ґрунту

З результатів дослідження видно, що варіювання урожайності овочів відкритого ґрунту визначається агроекологічними детермінантами на 13–76%. Найбільш чутливим до екологічних факторів параметром урожайності овочів є верхня межа урожайності, найменш чутливим –  $ED_{50}$ . Показник відстані до природно-заповідних об'єктів впливає на всі параметри урожайності овочів, за винятком  $ED_{50}$ . Серед кліматичних змінних найбільший вплив на урожайність овочів має рівень мінливості температурного режиму впродовж періоду вегетації, а серед ґрунтових – показники гранулометричного складу ґрунту.

### 5.8. Екологічні детермінанти варіювання урожайності ріпаку

Ріпаківництво в Україні має не дуже давню історію [25], але з середини 2000-х років почалося майже лінійне нарощування урожайності ріпаку озимого (рис. 5.8.1), що пов'язане з низкою економічних та екологічних факторів.

Виявлені статистично значимі регресійні залежності між параметрами урожайності ріпаку та агроекологічними факторами ( $p < 0,05$ ) (табл. 5.8.1).

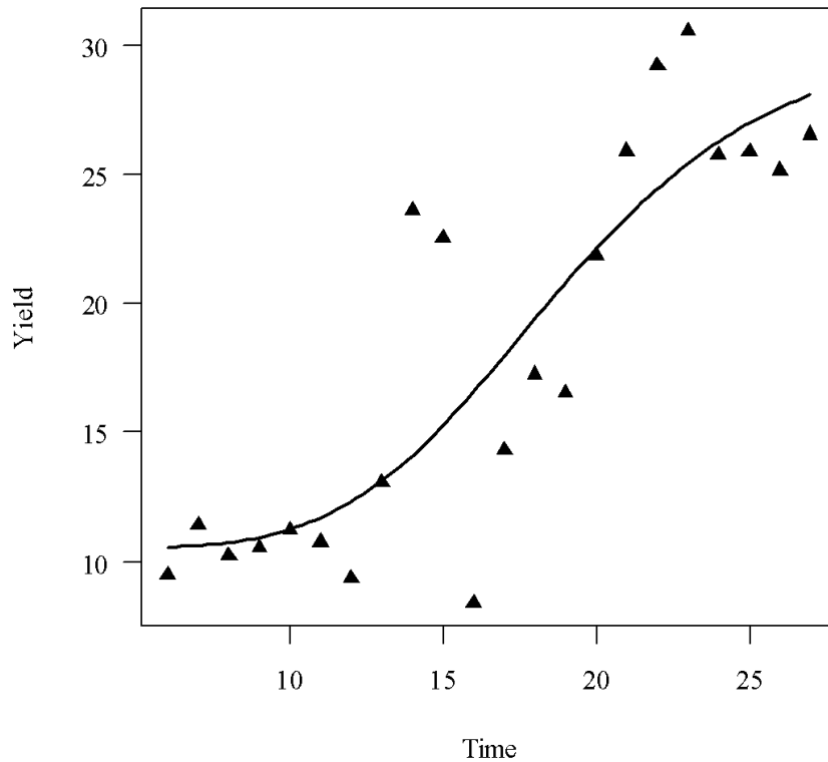


Рис. 5.8.1. Типова динаміка врожайності ріпаку та лог-логістична модель динаміки

Таблиця 5.8.1.

**Регресійна залежність параметрів урожайності ріпаку від кліматичних та ґрунтових змінних, а також показників різноманітності ландшафтного покриття\***

Предиктори	Ухил Slope, $R_{adj}^2 = 0,57$	Нижня границя Lower Limit, $R_{adj}^2 = 0,43$	Верхня границя Upper Limit, $R_{adj}^2 = 0,68$	ED50, $R_{adj}^2 = 0,59$
Shannon (H)	$-0,55 \pm 0,27$	–	–	$0,77 \pm 0,26$
H <sup>2</sup>	–	–	–	–
Distance (D)	–	–	$-0,41 \pm 0,16$	$1,47 \pm 0,18$
D <sup>2</sup>	–	–	–	$-1,73 \pm 0,17$
Climate_1	$0,34 \pm 0,13$	$0,34 \pm 0,16$	$0,40 \pm 0,11$	$-0,91 \pm 0,13$
Climate_2	$-0,16 \pm 0,08$	–	$-0,19 \pm 0,07$	–
Climate_3	$-0,17 \pm 0,06$	–	$0,42 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,06$
Climate_4	$-0,20 \pm 0,06$	$-0,16 \pm 0,07$	–	–
soil_1	$-0,56 \pm 0,10$	$-0,47 \pm 0,11$	$-0,19 \pm 0,08$	$-0,19 \pm 0,10$
soil_2	$-0,15 \pm 0,06$	$-0,15 \pm 0,07$	$-0,16 \pm 0,05$	–
soil_3	$0,21 \pm 0,07$	$0,19 \pm 0,08$	$0,23 \pm 0,06$	$-0,33 \pm 0,07$
soil_4	–	–	$-0,28 \pm 0,08$	$-0,24 \pm 0,09$
soil_5	–	–	$0,20 \pm 0,06$	$0,18 \pm 0,07$
soil_6	$0,16 \pm 0,07$	–	$0,47 \pm 0,06$	$-0,31 \pm 0,07$

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

Так, ухил логарифмічної кривої, що відповідає швидкості збільшення урожайності, характеризується оберненою кореляцією до індексу різноманіття ландшафтного покриву. Тобто, чим більш різноманітний ландшафтний покрив, тим повільніше зростає урожайність ріпаку. Це можна, очевидно, пов'язати з тим, що на урожайність ріпаку сильно впливають шкідники, яких на даний момент вже визначено більше 50 видів [12]. Можливо також, що присутність ландшафтних одиниць, з більш різноманітним рослинним покривом, впливає на кількість шкідників, а це, в свою чергу, впливає на показники урожайності ріпаку. Швидкість нарощування урожайності ріпаку проявляє кореляцію з усіма кліматичними головними компонентами, що свідчить про виняткову роль кліматичних змінних у варіюванні цього параметра урожайності. Серед ґрунтових чинників на урожайність ріпаку найбільше впливає головна компонента 1 ( $R = -0,56 \pm 0,10$ ;  $p < 0,05$ ), що визначає вміст піску та головна компонента 3 ( $R = 0,21 \pm 0,07$ ;  $p < 0,05$ ), що визначає вміст гумусу у ґрунті. Швидкість зростання урожайності ріпаку закономірно зростає із збільшенням вмісту гумусу у ґрунті. Найповільніше урожайність ріпаку зростає у північних регіонах території досліджень (зона Полісся) (рис. 5.8.2).

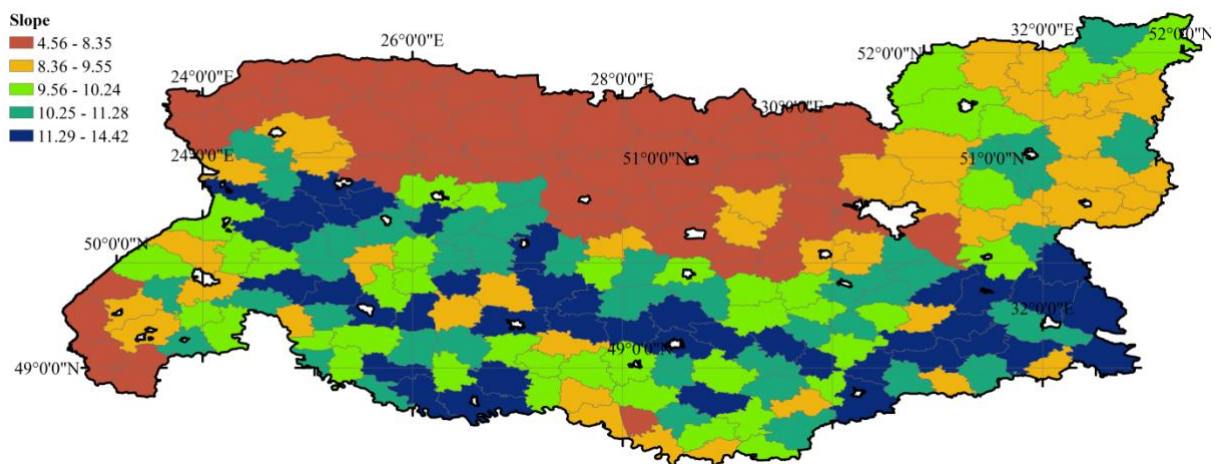


Рис. 5.8.2. Просторове варіювання параметру нахилу (*Slope*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності ріпаку



Нижня межа урожайності визначається екологічними факторами лише на 43% (табл. 5.8.1). На цей параметр урожайності серед кліматичних факторів найбільше впливає континентальність клімату ( $R = 0,34 \pm 0,16$ ;  $p < 0,05$ ), а серед ґрунтових – вміст піску ( $R = -0,47 \pm 0,11$ ;  $p < 0,05$ ) та запас гумусу ( $R = 0,19 \pm 0,08$ ;  $p < 0,05$ ). Це підтверджує, твердження, що ріпак (*Brassica napus*) дуже вимогливий до кліматичних умов і родючості ґрунту. В зоні Полісся найбільш придатні під ріпак сірі легкосуглинкові ґрунти, зовсім непридатні – піщані і глинисто-піщані [95]. Як правило, райони, що мають невисоку початкову урожайність ріпаку, характеризуються і більш повільною швидкістю зростання урожайності (рис. 5.8.2, 5.8.3).

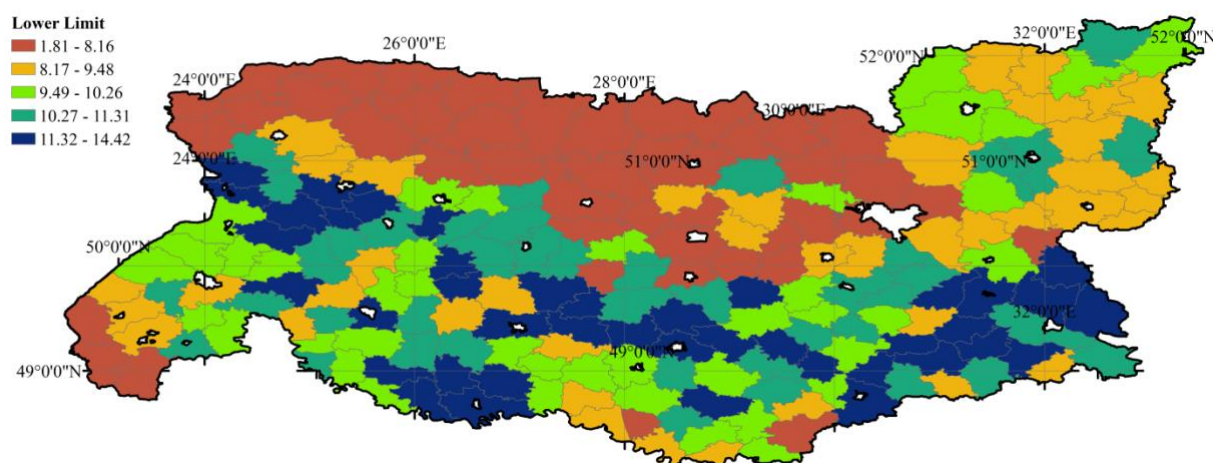


Рис. 5.9.3. Просторове варіювання параметру найменшого рівня (*Lower limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності ріпаку

Верхня границя урожайності негативно корелює із відстанню до об'єктів ПЗФ ( $R = -0,41 \pm 0,16$ ;  $p < 0,05$ ). Тобто, близькість природоохоронних територій сприятливо впливає на верхній ліміт урожайності ріпаку (табл. 5.8.1). Цей параметр урожайності також залежить від кліматичних факторів, найбільшою мірою від мінливості температурних умов у період вегетації ( $R = 0,42 \pm 0,05$ ;  $p < 0,05$ ) та ґрунтових показників, зокрема, від вмісту мулу та глини ( $R = 0,47 \pm 0,06$ ;  $p < 0,05$ ). При чому, коливання температурних умов сприятливо впливають на урожайність ріпаку. Територіально, вищі показники

максимальної врожайності мають адміністративні райони на східній половині території досліджень (рис. 5.8.4).

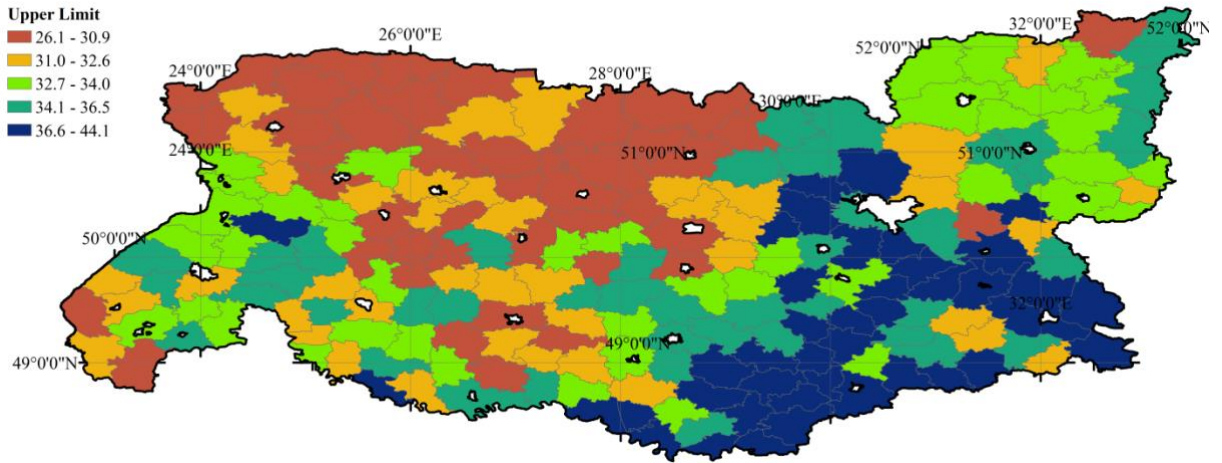


Рис. 5.8.4. Просторове варіювання параметру найбільшого рівня (*Upper limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності ріпаку

Між параметром ED50 та відстанню до природно-заповідних об'єктів існує статистично значимий нелінійний зв'язок (рис. 5.8.5). Залежність можна описати дзвіноподібною кривою.

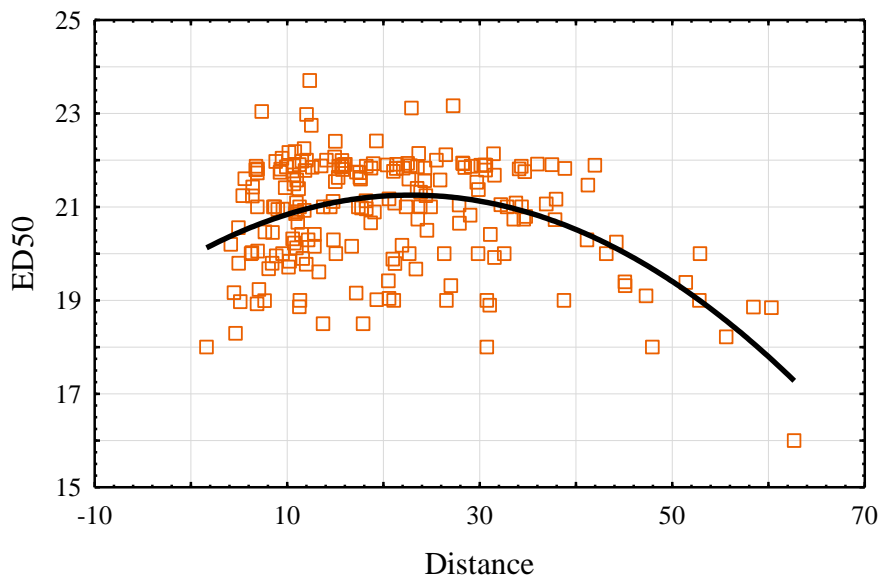


Рис. 5.8.5. Залежність ED50 від відстані до об'єктів природно-заповідного фонду

Також, час досягнення половинної, від максимального рівня, урожайності ріпаку показує досить сильний обернений кореляційний зв'язок з континентальністю клімату ( $R = -0,91 \pm 0,13$ ;  $p < 0,05$ ). Це явище проявляється у наступній закономірності: південні райони, характеризуються меншим часом, який необхідний для досягнення половини від максимальної урожайності ріпаку (рис. 6.8.6). Поміж ґрунтових чинників ED50 найбільше корелює із запасами гумусу ( $R = -0,33 \pm 0,77$ ;  $p < 0,05$ ).

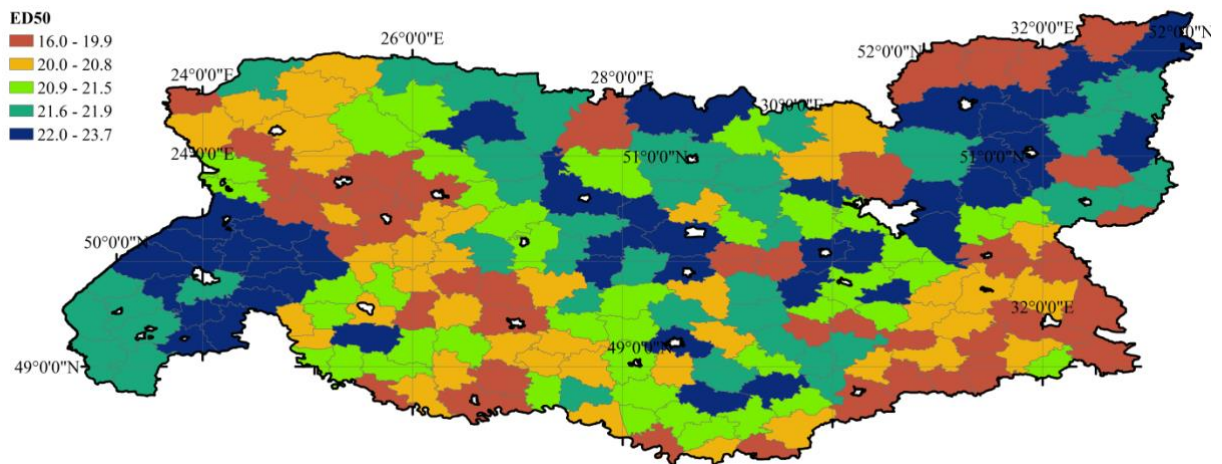


Рис. 5.8.6. Просторове варіювання параметру часу настання перегіну ( $ED50$ ) лог-логістичної моделі динаміки врожайності ріпаку

Таким чином, параметри урожайності ріпаку на 43–68% обумовлені дією агроєкологічних факторів, що визначає цю сільськогосподарську культуру як чутливу до змін навколишнього середовища. Встановлено кореляцію між індексом Шеннона та ухилом регресійної моделі урожайності ріпаку, а також між відстанню до об'єктів ПЗФ та верхньою границею урожайності. Параметр ED50 та показник ландшафтного різноманіття пов'язані квадратичною залежністю. Також, на урожайність ріпаку впливає континентальність клімату та вміст гумусу у ґрунті, що і обумовлює просторове варіювання параметрів урожайності цієї культури.

## 5.9. Оцінка внеску екологічних факторів у варіювання параметрів урожайності соняшника

Урожайність соняшника в дослідженому регіоні варіювала у досить вузьких межах до 2010 року, доки не почався різкий ріст урожайності цієї культури аж до досягнення максимуму в 2016 році (рис. 5.9.1). Паралельно з нарощуванням урожайності відбувалося інтенсивне розширення посівних площ, оскільки соняшник став стратегічно важливою культурою для України [394, 85, 39]. Виходячи із вищесказаного, наразі, дуже важливим є з'ясування агроекологічних детермінантів урожайності соняшника та їх внеску у загальне варіювання параметрів урожайності.

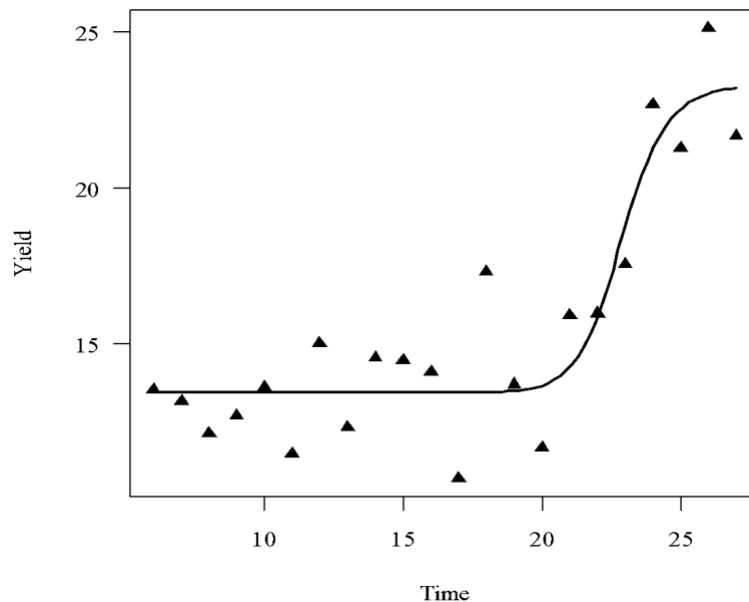


Рис. 5.9.1. Типова динаміка врожайності соняшника та її апроксимація лог-логістичною моделлю

Встановлено значний вплив показників ландшафтного різноманіття на параметри урожайності соняшника. Так, існує нелінійна регресійна залежність між індексом Шеннона та ухилом регресійної кривої урожайності соняшника ( $R = 0,54 \pm 0,17$ ;  $p < 0,05$ ) (табл. 5.9.1, рис. 5.9.2, А), а також індексом Шеннона та параметром ED50 ( $R = -0,44 \pm 0,21$ ;  $p < 0,05$ ) (табл. 5.9.1, рис. 5.9.2, А).

Таблиця 5.9.1.

**Регресійна залежність параметрів урожайності соняшника від кліматичних та ґрунтових змінних, а також показників різноманітності ландшафтного покриву\***

Предиктори	Slope, $R_{adj}^2=0,61$	Lower Limit, $R_{adj}^2=0,57$	Upper Limit, $R_{adj}^2=0,61$	ED50, $R_{adj}^2=0,76$
Shannon (H)	-0,52±0,17	–	–	–
H <sup>2</sup>	0,54±0,17	–	–	-0,44±0,21
Distance (D)	–	–	0,46±0,17	–
D <sup>2</sup>	–	–	-0,39±0,17	–
Climate_1	–	0,41±0,13	0,43±0,13	0,53±0,10
Climate_2	–	–	–	–
Climate_3	–	–	–	0,16±0,04
Climate_4	–	–	-0,11±0,05	–
soil_1	0,67±0,09	-0,59±0,10	-0,51±0,09	-0,36±0,07
soil_2	0,12±0,05	–	–	0,26±0,04
soil_3	–	–	–	–
soil_4	–	–	–	–
soil_5	–	–	–	-0,39±0,05
soil_6	–	-0,26±0,07	-0,15±0,07	–

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

Верхній ліміт урожайності соняшника, в свою чергу, пов'язаний регресійною квадратичною залежністю з показником віддалі від об'єктів ПЗФ (рис. 5.9.2). Встановлені регресійні залежності підтверджують, по-перше, наявність зв'язку між урожайністю соняшника та рівнем ландшафтного різноманіття, а по-друге, виявляють складний характер даної взаємодії, оскільки, очевидна наявність такого рівня різноманіття нижче та вище якого урожайність не досягає свого оптимального значення.

Швидкість зростання урожайності соняшника на 61% визначається ґрунтовими показниками та рівнем біорізноманіття (табл. 5.9.1).

Найбільш впливовими ґрунтовими факторами є гранулометричний склад та щільність ґрунту. Цікавим є той факт, що незважаючи на більшу середню урожайність соняшника на території зони Лісостепу, більшу швидкість нарощування урожайності соняшника мають райони, які знаходяться у Поліській природно-кліматичній зоні (рис. 5.9.3).

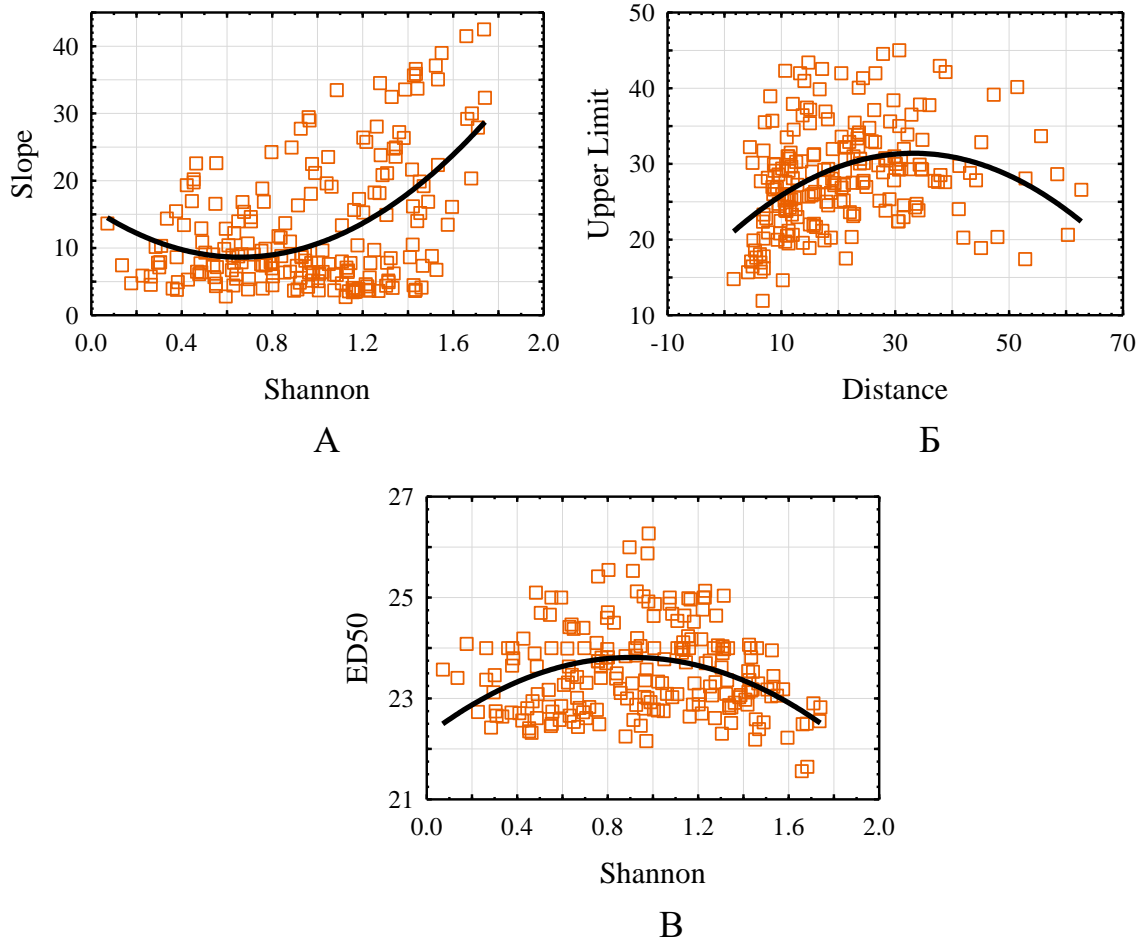


Рис. 5.9.2. Залежність ухилу модельної кривої (А) та мінімального рівня врожайності соняшника (Б) від середньої відстані до об'єктів природно-заповідного фонду та залежність ED50 від ландшафтно-екологічного різноманіття (В)

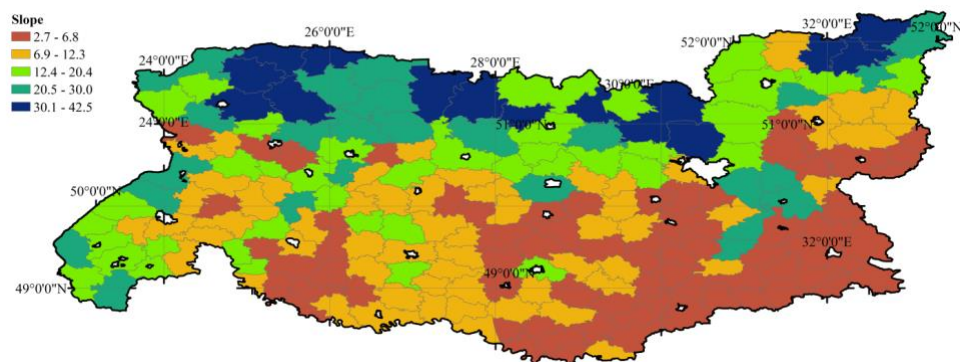


Рис. 5.9.3. Просторове варіювання параметру нахилу (*Slope*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності соняшника

Нижній рівень урожайності соняшника визначається виключно ґрунтовими та кліматичними факторами (на 57%). Єдиним важливим

кліматичним фактором є континентальність клімату, що цілком логічно, оскільки, відомо, що соняшник теплолюбива рослина.

Найважливішим ґрунтовим фактором є відповідність гранулометричного складу потребам сільськогосподарської культури. Відповідно до встановлених нами залежностей, як мінімальний, так максимальний рівень урожайності соняшника має вищі показники у південній частині регіону досліджень (Лісостеп) (рис. 5.9.4, 5.9.5).

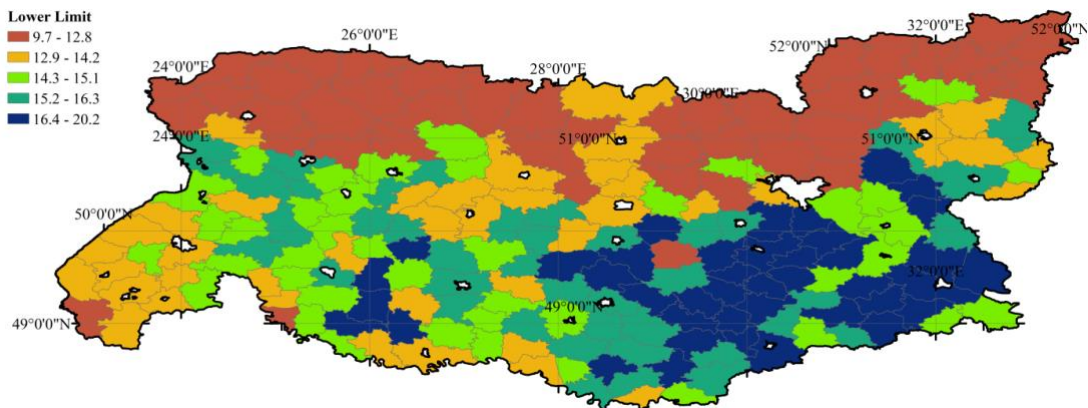


Рис. 5.9.4. Просторове варіювання параметру найменшого рівня (*Lower limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності соняшника

На параметр максимальної урожайності соняшника також найбільше впливає кліматична компонента 1 ( $R = 0,43 \pm 0,13$ ;  $p < 0,05$ ) (континентальність клімату) та ґрунтова компонента 1 ( $R = -0,51 \pm 0,09$ ,  $p < 0,05$ ) (гранулометричний склад) (табл. 5.9.1).

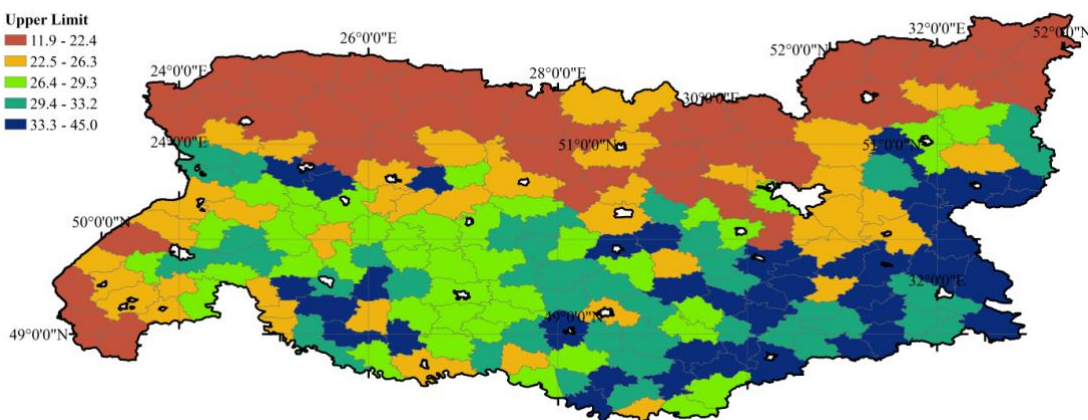


Рис. 5.9.5. Просторове варіювання параметру найбільшого рівня (*Upper limit*) лог-логістичної моделі динаміки врожайності соняшника

Найбільший час для досягнення половинної від максимального рівня урожайності необхідний у районах, де максимальна урожайність соняшника є високою (рис. 5.9.6). Найважливіший кліматичний фактор для варіювання даного параметру, як це відмічено і для інших показників урожайності соняшника, – континентальність клімату ( $R = 0,53 \pm 0,10$ ;  $p < 0,05$ ). Цікавим є той факт, що поміж ґрунтових факторів, на параметр ED50 найбільше впливає показник кислотності ґрунту ( $R = -0,39 \pm 0,05$ ;  $p < 0,05$ ).

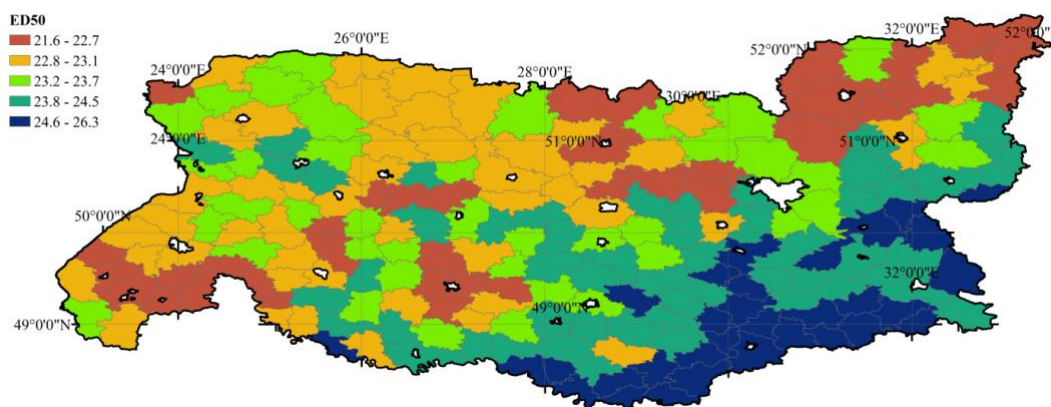


Рис. 5.9.6. Просторове варіювання параметру часу настання перегину ( $ED_{50}$ ) лог-логістичної моделі динаміки врожайності соняшника

У цілому, слід зазначити, що урожайність соняшника є досить чутливою до екологічних факторів впливу, які вносять від 57 до 76% у варіювання параметрів урожайності. Залежність між параметрами урожайності цієї культури та показниками ландшафтного різноманіття має нелінійний характер. Континентальність клімату – це основний кліматичний фактор, який обумовлює урожайність соняшника, що цілком закономірно з огляду на підвищенні вимоги цієї культури до температурних умов вегетаційного сезону. Серед ґрунтових факторів, найбільш важливим показником є співвідношення різних фракцій у гранулометричному складі.

### Висновки до 5 розділу

1. 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.

2. Найбільш впливовим кліматичним фактором є континентальність клімату, а ґрунтовим – гранулометричний склад ґрунту.

3. 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.

4. Майже в усіх 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.

## РОЗДІЛ 6

### КОНЦЕПЦІЯ ПРОДУКЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АГРОЛАНДШАФТІВ

Продукційний потенціал ландшафтів (англ. *land productivity capacity*) – важливе поняття з точки зору використання земель, яке визначається як міра здатності ландшафту виконувати конкретні функції та/або продукувати конкретні корисності [238]. Поняття «продукційного потенціалу» територій є основою методики агроекологічного зонування, розробленої ФАО, а також є елементом процедури оцінки земель та планування землекористування, яка пропонується ФАО для використання в країнах, що розвиваються [258].

Основна мета планування використання земель полягає у тому, щоб керувати рішеннями щодо землекористування таким чином, аби ресурси навколишнього середовища використовувались найвигіднішим для людини способом і при цьому зберігались на майбутнє. Це планування повинно ґрунтуватися на розумінні природного середовища та передбачених видів землекористування. Оцінка земель полягає в аналізі ефективності використання земельних ділянок при визначених цілях і передбачає виконання та інтерпретацію основних характеристик клімату, ґрунтів, рослинності та інших аспектів ландшафтів з точки зору вимог альтернативних форм землекористування. При плануванні землекористування та розгляді альтернатив мають прийматися до уваги екологічні, соціальні та економічні аспекти використання території [257]. Продукційний потенціал ландшафтів тісно пов'язаний з основними глобальними проблемами ХХІ століття, такими як продовольча безпека, потреба енергії та води, баланс вуглецю та зміни клімату. Тому, міжнародна спільнота землекористувачів та стейкхолдерів потребує стандартизованої методології оцінки продукційного потенціалу ландшафтів на різних просторових масштабах для досягнення високої їх продуктивності в умовах сталого багатофункціонального використання земель.

Отже, якщо говорити про сільськогосподарські ландшафти, то продукційний потенціал можна розглядати як максимальну можливість ландшафту до забезпечення продовольством населення, шляхом збільшення врожайності культур. Мірою або маркером продуктивності сільськогосподарського ландшафту може виступати або вироблена біомаса або урожайність.

Оцінка продукційного потенціалу ландшафту ґрунтується на врахуванні ґрунтових умов, клімату, рельєфу та особливостей використання природного різноманіття [235]. Наразі, питання продукційного потенціалу агроландшафтів є маловивченим в Україні. Дане дисертаційне дослідження дозволяє комплексно поглянути на проблему оцінки продукційного потенціалу на основі урожайності сільськогосподарських культур. Нами розроблений авторський підхід до візуалізації концепції продукційного потенціалу, схема якого наведена на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Концептуальна схема продукційного потенціалу агроландшафтів

На нашу думку, 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.

Наші дослідження довели, що впродовж 1991–2017 рр. основним обмежуючим фактором продукційного потенціалу були агроекономічні умови, що цілком закономірно, оскільки країна переживала глибоку соціо-економічну кризу, яка не могла не відобразитися на розвитку аграрної галузі. Підтвердженням цього припущення є форма тренду урожайності – поліном четвертого порядку, який являє собою економічний цикл з притаманними йому фазами: підйом, пік, спад, дно, а також те, що єдиними зовнішніми факторами, які носили універсальний характер на всій території України протягом періоду досліджень, могли бути лише економічні умови. У 1991–2017 рр. в Україні відбувалися значні соціально-економічні перетворення, які були ініційовані розвалом СРСР та набуттям країною Незалежності. Трансформація виробничих відношень стала генератором чітко позначеного 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. За допомогою математичного моделювання ми змогли відокремити вплив агроекономічних (агротехнологічних) факторів від екологічних факторів, а також провести картування територій, де доцільно посилювати агротехнічний вплив з метою отримання більших врожаїв. За допомогою параметрів моделі, що відображають швидкість нарощення та зменшення урожайності, можна оцінити, так звану «інертність» продукційного потенціалу ландшафту. Тобто встановити території, в яких урожайність швидко зростає при настанні сприятливих економічних та технологічних умов або швидко падає, коли

умови стають несприятливими. Ця інформація може знадобитися при плануванні системи управління агроландшафтами.

Ми вважаємо, що на сучасному етапі (після 2010 року), коли економічна ситуація стабілізувалася, вплив екологічних факторів буде загострюватися, зокрема, вплив зміни клімату. Багато вчених вважають, що наразі урожайність більшості сільськогосподарських культур обумовлена генетичним потенціалом гібридів, більшою мірою, ніж продукційним потенціалом сільськогосподарських ландшафтів [228, 485]. Незважаючи, на цей факт, важливим є знання та збалансоване використання наявного потенціалу території, у тому числі і для вдалого підбору гібридів.

Поняття продукційного потенціалу тісно пов'язано із питанням агроекологічного зонування території, оскільки часто виступає основою для поділу території на однорідні зони. У даній роботі ми запропонували новий підхід зонування, який назвали агродинамічне районування території. Якщо загальний тренд урожайності сільськогосподарських культур обумовлений впливом агроекономічних та агротехнологічних факторів, то дія екологічних факторів проявляється у наявності викидів регресійної моделі урожайності, які були застосовані нами в якості матеріалу для проведення агродинамічного зонування території. Даний методичний підхід дозволяє виділити території, що характеризуються однаковою динамікою урожайності за впливу різних факторів екологічної природи. У динаміці врожайності сільськогосподарських культур географічно-зважений аналіз головних компонент дозволяє дослідити локальні патерни, для яких характерною є більша пояснювальна здатність, аніж у тотальної моделі, що є цілком закономірним, оскільки урахування локальної специфіки дозволяє більш точно відобразити реальність. Переваги розробленого нами методу, порівняно з класичним агроекологічним районуванням полягають у тому, що: по-перше, встановлені агродинамічні кластери компактні та географічно наближені; по-друге, метод менш чутливий до впливу випадкових факторів; по-третє, він може застосовуватися в умовах глобальних змін клімату.

Нам видається вдалим визначення, запропоноване для природної основи продукційного потенціалу, яке зустрічається в україномовних джерелах – екопотенціал. Цей термін визначається як: «сукупність речовинно-енергетичних ресурсів та властивостей корінних для певної місцевості екосистем, які забезпечують її максимально можливі і самодостатні структурно-функціональні параметри (енергетичні, організаційні, біогеохімічні, водотрансформаційні, середовищні)» [29]. Тобто, екопотенціал відповідає максимальному обсягу корисних для людини функцій (захисних, продукційних, рекреаційних, естетичних тощо), які може надати конкретний ландшафт. Екопотенціал агроекосистеми являє собою сукупність речовинно-енергетичних ресурсів і властивостей агроекосистеми, які сформовані за впливу господарського втручання людини, під час якого відбувається формування поточних структурно-функціональних параметрів і корисних функцій агроекосистеми. Потенціал агроекосистем характеризується, головним чином, біопродуктивністю основної вирощуваної культури, що являє собою автотрофну продукцію культурних рослин, наприклад, біотичний урожай картоплі (уся надземна й підземна фітомаса, зокрема, і корисна для людини її частина – бульби), отримана в максимально можливій кількості в певних умовах [76]. Саме тому, цілком обґрунтованим кроком було обрання врожайності культур як маркера продукційного потенціалу агроландшафтів. Звичайно, для більш точного визначення продукційного потенціалу необхідні і інші показники, зокрема, фітомаса, але оскільки аналіз проводився для даних, які знаходяться в ретроспективі і точний облік інших характеристик вирощуваних культур не проводився, то для цілей нашого дослідження, котрі носять оціночний характер, показника врожайності цілком достатньо. Також, варто зауважити, що при зміні масштабу розгляду буде змінюватися і співвідношення факторів, які визначають варіювання продукційного потенціалу. Зокрема, фактори, які відіграють значну роль на рівні конкретного поля (наприклад, вибір гібриду, глибина оранки, ширина міжрядь, густина посадки тощо); не грають ніякої ролі при розгляді процесу на макрорівні,

наприклад, на рівні цілого регіону і особливо протягом значного періоду часу. Даний висновок був підтверджений нами на прикладі розгляду просторового варіювання різноманіття, де було доведено, що саме масштаб розгляду процесу є визначальним при інтерпретації результатів. Також, особливістю нашого підходу є те, що вивчається вплив агроекологічних факторів (кліматичних, ґрунтових змінних та показників ландшафтного різноманіття) не на середню урожайність культур, а на параметри моделі урожайності, зокрема, швидкість нарощування урожайності, нижній та верхній ліміти та час, який необхідний для досягнення половинного від максимального рівня урожайності, що дає нам більше інформації для аналізу продукційного потенціалу.

Отже, екопотенціал ландшафту визначають ґрунтові властивості, кліматичні умови та рівень ландшафтного різноманіття. Основою екопотенціалу агроecosystem є потенціал едафотопів. Саме таких висновків ми дійшли за допомогою математичного моделювання. Картування вільного члену поліноміального рівняння четвертого ступеня дало нам змогу виділити едафічний потенціал сільськогосподарських ландшафтів з точки зору вирощування конкретних культур. Нами також був більш конкретно розглянутий вплив ґрунтових умов на варіювання параметрів урожайності культур. Серед великої кількості ґрунтових показників було виділено 6 головних компонент, які разом пояснюють 98,5% загальної дисперсії цих показників. Було встановлено, що найбільш впливовими ґрунтовими параметрами з точки зору варіювання урожайності більшості культур, і як наслідок продукційного потенціалу, є гранулометричний склад та вміст гумусу в ґрунті, що цілком закономірно, оскільки саме ці параметри детермінують родючість ґрунту. Зокрема, більшість досліджених параметрів урожайності сої, жита, картоплі, овочів проявляють найбільшу кореляцію із показниками гранулометричного складу ґрунту, а ріпаку і соняшника – з вмістом гумусу у ґрунті.

Наразі, кліматичні фактори викликають найбільші флуктуації у врожайності сільськогосподарських культур у країнах світу. Вважається, що клімат в Україні змінюється швидше, ніж у середньому в Світі. Ми визначили, що кліматичні фактори разом з ґрунтовими умовами мають відноситися до найбільш впливових детермінантів врожайності сільськогосподарських культур, і як результат до продукційного потенціалу агроландшафтів. Найбільш впливовими кліматичними детермінантами продукційного потенціалу агроландшафтів Поліської та Лісостепової зон України є континентальність клімату та контрастність температурних умов. Якщо отримані нами статистичні закономірності використати в кліматичних моделях – можна створити прогнози врожайності сільськогосподарських культур.

У зв'язку зі зростаючим тиском аграрного виробництва на екологічну стійкість екосистем, оцінка продуктивності ландшафтів має вийти за межі вузького скерування лише на продуктивність сільського господарства та залучити більш широкий спектр факторів, зокрема, ландшафтну структуру, яка є ключовим фактором, що визначає екосистемні послуги, котрі лежать в основі стійкої первинної продуктивності.

Як відомо, агроекосистеми є простішими за структурою та функціями і, відповідно, є менш стабільними, ніж природні екосистеми. Основою стабільності природних екосистем слугує біорізноманіття, проте в агроекосистемах воно контролюване людиною і максимально обмежене [29]. Тому, стабільності, яка так необхідна для господарської стійкості агроекосистем, досягають внесенням додаткової антропогенної енергії і ресурсів. Чим простіша біогеоценозна агроекосистема, тим більше вона потребує енергії у вигляді ручної або механізованої праці тощо, внесення добрив, пестицидів [130]. Тому, велика увага закордонних вчених присвячена вивченню взаємозв'язку біологічного різноманіття агроландшафтів та врожайності культур. Позитивний вплив ландшафтного різноманіття на урожайність пов'язане із, так званими, «екологічними послугами», котрі



надають природні ландшафти. Узагальнююча схема взаємовпливу ландшафтного різноманіття та продукційного потенціалу подана на рисунку 6.2.



Рис. 6.2. Взаємозв'язок між ландшафтним різноманіттям та продукційним потенціалом агроландшафтів

Хоча «дикі» біорізноманіття та екосистемні послуги тісно пов'язані, вони не є синонімами. Ландшафт з відносно неушкодженим «диким» біорізноманіттям, ймовірно, забезпечує повний набір екосистемних послуг. Однак, багато екосистемних послуг також можуть надаватися місцевими видами, або комбінаціями місцевих та немісцевих видів у керованих умовах, таких як агроландшафти. Примітно, що навіть там, де «дикі» біорізноманіття значно скоротилося на користь виробництва продуктів харчування, високий рівень екосистемних послуг часто все ще може бути забезпечений завдяки

адекватній практиці управління ландшафтами. З іншого боку, управління агроландшафтом для забезпечення екосистемних послуг не автоматично гарантує, що «дикі» біорізноманіття буде захищене належним чином. Таким чином, біорізноманіття та екосистемні послуги необхідно враховувати при плануванні системи управління агроландшафтами. Отже, використання сільськогосподарських земель має бути екологічно стійким, тобто таким, яке не шкодить первинним екосистемним послугам.

Нами доведено, що між ландшафтним різноманіттям та варіюванням продукційного потенціалу агроландшафтів є зв'язок, який, як правило, описується нелінійною функцією. Це дає підстави вважати, що є території, з оптимальною структурою ландшафтного покриву, а також території, де необхідно збільшувати відсоток природного різноманіття, задля збільшення продукційного потенціалу агроландшафтів. Існують методики, за якими можна розрахувати економічний ефект від екосистемних послуг. У наших наступних дослідженнях ми плануємо оцінити їх.

Отже, зростаючі потреби в харчових продуктах вимагають, щоб агроекосистеми були максимально продуктивними і, по можливості, розширювалися за площею. З іншого боку, таке розширення шкодить біологічному різноманіттю, а агротехнології високої продуктивності, за неправильного застосування, можуть призвести до деградації земельних ресурсів, наприклад, через надлишкове внесення добрив, забруднення води пестицидами та гербіцидами, а також засолення земель. Тому, у збалансованих системах управління агроекосистемами, намагаються їх стабілізувати шляхом біологічного контролю шкідників, обмеження внесення поживних речовин, врахування кліматичних змін тощо. Таким чином, можна констатувати, що повноцінне використання продукційного потенціалу лежить в основі сталого розвитку агроландшафтів.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведене 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 агроєкосистем 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 ЛІТЕРАТУРИ

1. Абдулвалеев, Р.Р., Троц, В.Б. (2015). Влияние рельефа на режим увлажнения почвы и урожайность яровой пшеницы и ячменя. *Зерновое хозяйство России*, 3, 57–60.
2. Адаменко, О., Рудько, Г., Консевич, Л. (2003). *Екологічне картування: підручник*. Івано-Франківськ: Вид-во ІМЕ.
3. Александрова, Л.Н. (1980). *Органическое вещество почвы и процессы его превращения*. М.: Наука.
4. Асанішвілі, Н. М., Корсун, С. Г., Шляхтурова, С. П. (2014). Якість зерна кукурудзи залежно від технології вирощування в північній частині Лісостепу. *Землеробство*, 1-2, 63-66.
5. *Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР*. 1978. М.: ГУГК.
6. Бабич, А., Бабич-Побережна, А. (2010). Соєвий пояс і розміщення виробництва сортів сої в Україні. *Пропозиція*, 4, 52-56.
7. Бабич, А. О., Бабич-Побережна, А. О. (2011). Стратегічна роль сої у розв'язанні глобальної продовольчої проблеми. *Корми і кормовиробництво*, 69, 11–19.
8. Балабух, В. О., Однолеток, Л. П., Кривошеїн, О. О. (2017). Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у періоди вегетаційного циклу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 3, 72-85.
9. Балаєв, А.Д., Ковальчук, О.П., Гаврилюк, М.В., Стопа, В.П. (2011). Родючість ґрунтів Лісостепу України за різної інтенсивності їх використання. *Наукові праці НУБіП. Екологія*, 140 (152), 16–20.
10. Барабаш, М.Б., Корж, Т.В., Татарчук, О.Г. (2004). Дослідження змін та коливань опадів на рубежі ХХ і ХХІ ст. в умовах потепління глобального клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*, 253, 92–102.
11. Баранкова, Н. (2007). Ріпаківництво в Україні і регіоні та шляхи його розвитку. *Сіверянський літопис*, 6, 171-174.



12. Басанець О. (2017). 5 переваг та 5 недоліків вирощування ріпаку. Особливості технології. *SuperAgronom.* <https://superagronom.com/articles/63-5-perevag-ta-5-nedolikiv-viroschuvannya-ripaku-osoblivosti-tehnologiyi>
13. Бахмат, О. М. (2012). *Моделювання адаптивної технології вирощування сої: Монографія*. Кам'янець-Подільський: ПП Зволенко Д.Г.
14. Безручко, О. (2011). Нові сорти сої. *Agroexpert*, 10, 36–40.
15. Безручко, О.І., Колесніченко, О. В. (2011). Ринок сортів рослин України: соя культурна (*Glycine max. (L.) Merr.*). *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*, 2(14), 46-56.
16. Белаусов, А. А. (2000). Кинетика минерализации органического вещества при внесении соломы в почву. Красноярск, 5-19.
17. Белоус, Н.М. (2006). Влияние уровня плодородия почв на урожайность сельскохозяйственных культур и накопления <sup>137</sup>Cs. *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*, 3, 30-35.
18. Безуглий, М.Д., Присяжнюк, М.В. (2012). *Сучасний стан реформування аграрно-промислового комплексу України*. К.: Аграрна наука.
19. Бондарев, А.Г., Медведев, В.В. (1980). *Некоторые пути определения оптимальных параметров и агрофизических свойств почв. Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств*. М.: Наука. 128 с.
20. Букарєва, С. А. (2014). Агроекологічне районування території Херсонської області для формування посівів пшениці. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 4 : Географія і сучасність : зб. наук. праць*, 20 (32), 71-78.
21. Бурлакова, Л.М. (1984). *Плодородие Алтайских черноземов в системе агроценозов*. Новосибирск: Наука, 197 с.
22. Бутенко, Є.В., Харитоненко, Р.А. (2017). Продуктивний потенціал земель та принципи його оцінки в Україні. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, 1, 58 -65.

23. Вадюнина, А.Ф., Корчагина, З. А. (1986). *Методы исследования физических свойств почв*. М.: Агропромиздат, 416 с
24. Вожегова, Р.А. (2012). Адаптація землеробства степової зони до умов підвищення посушливості клімату. Режим доступу: <http://unt.org.ua/adaptats-ya-zemlerobstva-stepovo-zoni-do-umov-p-dvishchennya-posushlivost-kl-matu>
25. Гайдаш, В. (2002). Ріпак: його сучасний стан і перспективи в Україні. *Пропозиція*, 8-9, 50-51. <https://propozitsiya.com/ua/ripak-yogo-suchasniy-stand-i-perspektivi-v-ukrayini>
26. Ганжара, Н.Ф., Васильев, В.А. (1985). Влияние органических веществ на свойства почв и урожайность. *Агротехника*, 2, 70.
27. Гарбар, Л. А., Антал, Т. В., Романов, С. М. (2016). Продуктивність ріпаку озимого за впливу позакорневих підживлень. *Вісник ЖНАЕУ*, № 2 (56), 113–119.
28. Геренчук, К. И. (1965). *К вопросу о лесостепной зоне Украины. Доклады и сообщения Львовского отдела географического общества*. Львов: Изд-во Львов, ун-та.
29. Гнатів П. С., Хірівський П. Р. (2010). Теорія систем і системний аналіз в екології. Львів: Камула, 204 с
30. Горевая, А.И., Орлов, О.В. Щербенко, Д.С. (1995). Гуминовые вещества. К.: Наукова думка.
31. Грицюк, П. М., Бачишина, Л. Д. (2016). Вплив зміни кліматичних умов на динаміку врожайності зернових в Україні. *Економіка України*, 6, 68-75.
32. Демидов, А. А. Кобец, А.С., Грицан, Ю.И., Жуков, А.В. (2013). *Пространственная агроэкология и рекультивация земель: монография*. Днепропетровск: Изд-во «Свидлер А.Л.», 560 с.
33. Дмитренко, В.Л. (2003). Адаптації меліоративного землеробства до погоди і клімату. *Вісник аграрної науки*, 2, 52–56.

34. Добряк, Д. С., Канаш, Д. І. Бабміндра, І. А. (2009). *Розумний. Класифікація сільськогосподарських земель як наукова передумова їх екологічнобезпечного використання*. К.: Урожай, 464 с
35. Дударев, Д.С. (2011). Правове регулювання районування земель як основи агроландшафту: стан і перспективи. *Уч. зап. Таврического національного університета ім. В.И. Вернадського*, 24 (63), 262–267.
36. Єгорова, Т. М., Коніщук, В. В. (2014). Актуальні питання агроекологічного районування України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*, 1, 156-161.
37. Енкен, В. Б. (1959). *Соя*. М. Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 653 с.
38. Єрмакова, Л. М., Крестьянінов, Є. В. (2016). Урожайність кукурудзи залежно від удобрення та гібриду на темно-сірих опідзолених ґрунтах. *Вісник Полтавської державної академії*, 4, 63 – 65.
39. Жигайло, О. Л., Жигайло, Т. С. (2016). Оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування соняшнику в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*, 17, 86-92.
40. Жирнова, Д. Ф. (2001). *Пространственно-временной анализ влияния климатических изменений на урожайность основных сельскохозяйственных культур на территории Красноярского края и Хакасии*. (Диссертация кандидата биологических наук, 03.00.16.). Красноярск, 157 с.
41. Жуков, А. В. (1996). Экологические основы зоологической диагностики лесных почв степного Приднепровья. дис. канд. біол. наук. Дніпропетровськ, 267 с.
42. Жуков О. В., Лядська І.В., Маслікова К. П. (2017). Екологічні детермінанти вологості стійкого в'янення рослин у дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*, 44(2), 12-16
43. Жуков, О.В., Сироватко, В.О., Пономаренко, Н.О. (2017). Динаміка розмірів сільськогосподарських полів як функція їх розмірів та форми. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(3), 14–31. doi: 10.15421/2017\_45

44. Заставний, Ф. (1994). *Географія України*. Львів: Світ.
45. Заставний, Ф. Д. (1996). Фізична географія України: підручник для учнів старших класів середніх шкіл та студ. Львів: Львівський держ. ун-т ім. І.Франка. 232 с.
46. Зимароєва, А. А. (2018). Особливості просторово-часового тренду врожайності зернових і зернобобових культур в Поліській та Лісостеповій зонах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 3, 66 – 73.
47. Зимароєва, А. А. (2019). Аналіз варіювання врожайності овочів відкритого ґрунту у Поліссі та Лісостеповій зоні України. *Таврійський науковий вісник*, 109 (1), 49 – 56.
48. Зимароєва, А. А. (2019). Використання географічно зваженого аналізу головних компонент для агроекологічного зонування території України на основі даних варіювання врожайності картоплі. *Збалансоване природокористування*, 1, 48-57.
49. Зимароєва, А. А. (2019). Дослідження просторових моделей варіювання врожайності картоплі у Поліській та Лісостеповій зонах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 1, 49 – 55.
50. Зимароєва, А. А. (2019). Закономірності просторово-часової варіабельності урожайності картоплі у Поліській та Лісостеповій зонах України. *Наукові доповіді НУБІП України*, 1 (77), 75 - 85.
51. Зимароєва, А. А. (2019). Оцінка впливу змін клімату на врожайність кукурудзи на території Поліської та Лісостепової зон України. *Наукові горизонти*, 11(84), 113 – 120.
52. Зимароєва А.А. (2019). Перспективи використання географічно зваженого аналізу головних компонент для оцінки просторової варіабельності врожайності кукурудзи. *Наукові горизонти*, 10 (83), 20 – 28.
53. Зимароєва А.А. (2019). Просторово-часові закономірності варіювання урожайності кукурудзи в Україні. *Наукові горизонти*, 2 (75), 58 – 66.

54. Зимароєва А.А., Писаренко П.В. (2019). Просторовий взаємозв'язок властивостей ґрунту та урожайності кукурудзи. Вісник Полтавської державної аграрної академії, 4, 108 – 115.

55. Зимароєва А. А. (2019). Регіональна диференціація впливу екологічних факторів на врожайність цукрового буряку. *Таврійський науковий вісник*. 110 (1), 71 – 81.

56. 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.

57. Зимароєва, А. А., Пінкіна, Т. В., Іванюк, Т. М., Тишковський, В. В. (2020). Оцінка залежності між параметрами врожайності кукурудзи та показниками ландшафтного різноманіття. *Наукові горизонти*, 1(86), 29 – 38.

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

59. 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

60. Зуза, В.С., Рожков, А. О., Гутянський, Р. А. (2015). Урожайність сої залежно від попередника, метеорологічних умов та ефективності гербіциду. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 1-2, 22-24.

61. Калініченко, В.М. (2005). Агроекологічне обґрунтування та моделювання впливу кліматичних факторів на урожайність та якість зерна сої в умовах центрального Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук, 20 с.

62. Капустянчик, С.Ю. (2014). Ландшафтний підхід в оцінці агроценоза ярової пшениці. *Пермський аграрний вестник*, 2(6), 18–23.

63. Кернасюк, Ю. (2018). Ринок овочів відкритого ґрунту та тепличних. Економічний гектар: електронне видання. URL: <http://agro->

business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/10912-rynok-ovochiv-vidkrytoho-gruntu-ta-teplychnykh.html

64. Клімова, І. О. (2009) статистичний аналіз урожайності сільськогосподарських культур у Житомирській області. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*, 3(49), 238-240.

65. Кирилюк, В.П. (2010). Влияние систем основной обработки почвы и предшественников на плотность почвы в посевах сахарной свеклы. *Сахарная свекла*, 2, 20–21.

66. Кононова, М.М. (1984). Органическое вещество и плодородие почв. *Почвоведение*, 8, 6–19.

67. Кононова, Н.К. (2002). Флуктуации циркуляции атмосферы Северного полушария за 1899-2002 гг. Экстремальные периоды // Материалы Всемирной конференции по изменению климата. М.: Наука, 411.

68. Концепція збалансованого (сталого) розвитку агроєкосистем в Україні на період до 2025 р. Міністерство аграрної політики України. Наказ № 280 від 20 серпня 2003 р.

69. Корнієнко, С.І., Рудь, В.П. (2017). Овочівництво. історичний і сучасний аспекти розвитку. *Сучасний стан та перспективи розвитку овочівництва: матеріали міжнародної науково-практичної конференції* (26 липня 2017 р., сел. Селекційне Харківської обл.). Інститут овочівництва і баштанництва НААН: Пляда, 15–27.

70. Королев, В.А. (2002). Изменение физических свойств черноземов обыкновенных при длительном сельскохозяйственном использовании. *Почвоведение*, 3, 25 – 31.

71. Кулаковская, Т.Н. (1976). Агрохимические основы получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур в западной части Нечерноземной зоны. *Агрохимия*, 33, 3.

72. Лазаренко, П.І. (1995). *Еколого-біологічні основи сільськогосподарського районування території*. Дніпропетровськ: Пороги, 476 с.

73. Ласло, О. О., Писаренко, П. В. (2009). Агроекологічне районування угідь за рівнем урожайності основних сільськогосподарських культур. *Вісн. Полтав. держ. аграр. акад.*, 3, 12-14.
74. Лебедева, И. Н. (1989). О влияние содержания гумуса в почвах Западной Сибири на урожайность сельскохозяйственных культур Текст. Тез. докл. VIIIВПО. Новосибирск, 111 с.
75. Лихочвор, В. В., Костючко, В. В. (2015). Вплив фунгіцидів на збереження врожайності цукрових буряків. *Цукрові буряки*, 5, 12-14.
76. Лопотич, Н. Я., Лихочвор, В. В. (2016). Біотичний потенціал польової агроєкосистеми в гірській частині Львівщини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26 (7), 220-224.
77. Лукин, С. М., Жуков, А. И., Барина, К. С. (2001). Динамика и баланс органического вещества в почвах при использовании разных систем удобрения. *Бюлл. ВИУА*, 114, 26-27.
78. Лукомец, В.М., Кочегура, А.В., Баранов, В.Ф., Махонин, В. Л. (2013). *Соя в России - действительность и возможность*. Краснодар, 100 с.
79. Лыков, А.М. (1984). *Органическое вещество и плодородие почвы в интенсивном земледелии*. Обзорная информация. М.: ВНИИТЭИСХ, 60 с.
80. Мазур, Г.А. (2002). Гумус і родючість ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*, С.3–9.
81. Малашенко, В. Я. (1985). Эффективность применения соломы под зерновые культуры в условиях Приобья Алтая Текст.: автореф. дисс. . канд. с/х. наук. Омск: ОмСХИ, 16 с.
82. Малиенко, А. М. (1989). *Обработка почвы. Научные основы устойчивого ведения зернового хозяйства*. К.: Урожай, С. 93-108
83. Манелля, А.И., Нагнибедова, Н.Н. (1972). *Динамика урожайности сельскохозяйственных культур в РСФСР*. М.: Статистика, 192 с.
84. Маринич, О.М., Шищенко, П.Г. (2006). *Фізична географія України: Підручник*. К.: Знання, 511 с.

85. Маркова Н. В. (2010). Вплив строків сівби і технологічних особливостей вирощування на формування врожайності гібридів соняшнику та якість їх насіння. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 2 (53), 212 – 218.

86. Маслак, О. (2011). Привабливість ринку сої. *Агробізнес сьогодні*, 18, 14–15.

87. Мацюра, О. В., Зимароєва, А. А. (2016). Просторовий розподіл воронових в умовах трансформованих ландшафтів Житомирської області. *Вісн. Дніпропетровського ун-ту. Біологія. Екологія*, 24 (1), 40 –49.

88. МГЭИК. (2007). Изменение климата, 2007: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. МГЭИК, Женева, Швейцария, 104 с.

89. Медведев, В.В. (1988). *Оптимизация агрофизических свойств черноземов*. М.: Агропромиздат. 160 с.

90. Медведєв, В.В. Чесняк, Г. Я., Полупан, М.І. та ін. (1992). *Родючість ґрунтів: моніторинг та управління*. К.: Урожай, 248 с.

91. Медведєв, В.В., Лактіонова, Т.М. (1992). Агрофізична деградація ґрунтів. Родючість ґрунтів: моніторинг та управління. К.: Урожай.

92. Медведєв, В.В. (1997) Відтворення екологіовідтворних і продуктивних функцій ґрунтів як найважливіший етап реалізації концепції сталого розвитку України. *Вісник аграрної науки*, 9, 16–20.

93. Медведєв, В.В., Булігін, С.Ю., Балюк, С.А. та ін. (2001). *Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства*. Харків: ШТРИХ, 100 с.

94. Медведєв, В.В. (2001). Оптимізація ґрунтовоагрохімічних факторів. *Вісник аграрної науки*, 2, 9–11.

95. Мельничук, А. О., Бовсуновський, А. М., Савчук, О. І. та ін. (2011). *Методичні рекомендації щодо призупинення деградаційних процесів у агроландшафтах поліської зони Житомирської області*. Житомир: Ін-т сільського госп-ва Полісся НААН, 40 с.



96. Мильков, Ф.Н. (1990). *Общее землеведение*. М.: Высш. шк.
97. Міщенко, Н. М., Гуменюк, К. В. (2006). Оцінка потенціалу сільськогосподарських земель України за методологією агроекологічного зонування ФАО. *Економіка і прогнозування*, 4, 55-75 .
98. Мордвінов О. Г. (1995). Принципи і методика еколого-сільськогосподарського районування. Економічна та соціальна географія: Міжвідомчий науковий збірник. К.: Либідь. Вип. 46. С. 105-109.
99. *Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України*. (2004). Українська академія аграрних наук ; голова редкол. М. В. Зубець та ін.. К.: Логос, 776 с.
100. Нова карта кліматичних зон України: зміщення на 200 км на північ. Режим доступу: <https://landlord.ua/special-projects/nova-karta-klimatychnykh-zon-ukrainy-zmishchennia-na-200-km-na-pivnich/>
101. Носко, Б.С. (1987). Изменение гумусового состояния чернозема типичного под влиянием удобрения. *Почвоведение*, 5, 26–30.
102. Обухов, В.М. (1949). *Урожайность и метеорологические факторы*. М.: Госпланиздат, 318 с.
103. Оверченко, Б.П., Міщенко, Н.М. (2007). Перспективи розвитку ріпаківництва та проблеми виробництва біодизелю в Україні. *Економіка і прогнозування*, 3, 75—98
104. Орлов Д.С. (1990). Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 325 с.
105. Панас, Р.М. (2007). *Рекультивация земель: навч. посіб.* Львів: Новий Світ–2000. 224 с.
106. Панас, Р.М. (2009). *Ґрунтознавство: навч. посіб.* Львів: Новий Світ–2000, 372 с.
107. Панас, Р.М. (2013). Сучасні проблеми зниження родючості ґрунтів України і перспективи її відтворення та збереження. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 2, 102-106.

108. Панников, В.Д., Минеев, В.Г. (1977). Почва, климат, удобрение и урожай. М.: Колос, 416 с
109. Пасов, В.М. (1986). *Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур*. Л.: Гидрометеиздат, 152 с.
110. Пересадько, В. А., Сінна, О. І., Вяткін, К. В., Бодня, О. В. (2012). Геоінформаційне забезпечення природоохоронних територій. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії, 15, 74–77.
111. Петриченко, В.Ф., Безуглий, М.Д., Жук, В.М., Іващенко, О.О. (2012). *Нова стратегія виробництва зернових та олійних культур в Україні*. Київ: Аграрна наука.
112. Пласкальний, В. В. (2012). Створення та використання елементів просторових баз даних Чорноморський біосферний заповідник. Географія та туризм, 18, 316-322.
113. Платонова, Т.Ф. (1983). *Прогнозирование динамики урожайности сельскохозяйственных культур*. Кишинев: Штиинца, 87 с.
114. Пліско, І. В., Біщора, В. Л. (2007). Дослідження просторової неоднорідності параметрів ґрунту за даними агрохімічного обстеження земельної ділянки. *Агрохімія і ґрунтознавство*, 67, 60-66.
115. Полевой А.Н. (1983). *Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур*. Л.: Гидрометеиздат, 175 с.
116. Полупан, М.І., Ковальов, В.Г. (1997). Теоретичні основи нагромадження гумусу в природних умовах, його еволюція та управління ним в агроценозах. *Вісник аграрної науки*, 9, 21–26.
117. Полупан, М.І., Соловей, В.В., Полупан, В.І., Величко, В.А. (2002). Природна та штучна родючість ґрунтів України за агропотенціалами озимої пшениці. *Вісник аграрної науки*, 7, 14–21.
118. Полупан, М.І., Соловей, В.В., Кисіль, В.І., Величко, В.А. (2005). *Визначення еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України*. К.:Кругообіг, 303 с.

119. Полупан М.І., Соловей, В.В., Величко, В.А. (2009). Родючість ґрунту, її види та оцінка. *Проблеми українського хлібороба*, 195–200.
120. Польовий А.М. (2007). *Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: Навчальний посібник*. К.: КНТ, 348 с.
121. Польовий, А. М., Божко, Л. Ю., Дронова О. О. (2011). Просторово-часова оцінка мінливості врожаїв озимої пшениці на території України. *Український гідрометеорологічний журнал*, № 8, 84-91.
122. Пономаренко, О. Л., Жуков, О. В., Зимарова А.А. (2017). Порівняльна характеристика екологічних ніш великої синиці (*Parus major*) та білошиї мухоловки (*Ficedula albicollis*) як типових представників птахів-дуплогніздників долинних лісів степової зони України. *Berkut*, 25 (2), 139-145.
123. Попитченко, Л. М. (2009). Погодно-кліматичні умови вегетації озимої пшениці в Луганській області. *Збірник наукових праць Луганського Національного аграрного університету: Серія "Сільськогосподарські науки"*, 100, 121–124
124. Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року. Постанова Кабінету міністрів України від 7 вересня 2011 р., №942.
125. Раунер, Ю.Л. (1981). *Клімат и урожайность зерновых культур*. М.: Наука, 163 с.
126. Сєвідова, І. О., Лещенко, Л. О. (2017). Стан, проблеми та перспективи розвитку овочівництва в Україні. *Економічна наука. Інвестиції: практика і досвід*, 12, 28–33.
127. Сибирцев, Н.М. (1951). *Почвоведение*. М.: Наука. 472 с.
128. Слободян, Б. І., Єгорова, Т. М., Клос, С. В. (2005). Цільове ландшафтно-геохімічне картографування масштабу 1:200 000 як складова комплекту Держгеолкарти-200 України. *Сучасний стан і задачі розвитку регіональних геологічних досліджень: матеріали III науково-виробничої*

наради геологів-зйомщиків України (м. Рівне. 8–12 вересня 2005 р.), К.: УкрДГРІ, 233–235.

129. Смурыгин, М.А., Алтунин, Д.А. (1983). *Проблемы и пути повышения плодородия почв нечерноземной зоны в условиях интенсивного кормопроизводства. Плодородие почв и пути его повышения*. М.: Колос. 36с.

130. Снітинський В., Гнатів П., Зинюк О., Корінець Ю, Дацко Т. (2019). Системний підхід в агроекології: дослідницький і навчальний аспекти. *Вісник Львівського національного університету*, 23(53), 34 -40.

131. Танасиенко, А.А (1991). Эрозия черноземов Западной Сибири Текст.: автореф. дисс. . д-ра биол. наук. Новосибирск, 34 с.

132. Танделов, Ю. П. (1998). Плодородие почв и эффективность удобрений в Сибири. М.: Изд-во Мос-го ун-та, 302 с.

133. Тараріко О. Г. (1998). Основні фактори сталого розвитку агроекологічних систем і сільськогосподарських ландшафтів. Проблеми сталого розвитку України. К.: Лібра, С. 254–268

134. Тараріко О.Г. (2003). Охорона родючості ґрунтів в контексті продовольчої безпеки. *Вісник аграрної науки*, 9, 5–9.

135. Тараріко Ю. О. (2004). *Сучасні технології відтворення родючості ґрунтів та підвищення продуктивності агро систем*. К.: Аграрна наука, 126 с.

136. Тараріко, Ю.О., Чернокозинський, А.В., Сайдак, Р.В. та ін. (2008). Вплив агротехнічних і агрометеорологічних факторів на продуктивність агро екосистем. *Вісник аграрної науки*, 5, 64–67.

137. Тараріко, О.Г., Сиротенко, О.В., Ільєнко, Т.В., Величко В.А. (2012). Космічний моніторинг посушливих явищ. *Вісник аграрної науки*, 10, 16–20.

138. Тараріко, О.Г., Сиротенко, О.В., Ільєнко, Т.В., Кучма, Т.Л. (2013). Прогнозна оцінка впливу змін клімату на урожайність зернових культур та їх валові збори в Україні з використанням космічної інформації. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*: Зб. наук. пр., Севастополь,. Вип. 27. С. 106-116.

139. Тараріко, О. Т., Ільєнко, Т. В., Кучма, Т. Л. (2016). Вплив змін клімату на продуктивність та валові збори зернових культур: аналіз та прогноз. *Український географічний журнал*, 1, 14–22.
140. Тооминг, Х.Г. (1984). *Экологические принципы максимальной продуктивности посевов*. Л.: Гидрометеиздат.
141. Украинская Советская Социалистическая Республика: Энцикл. справ. Гл. редкол.: Кудрицкий А. В. (отв. ред.) и др. К.: Гл. ред. УСЭ, 1987. 516 с.
142. Улянич, О. І., Воробйова, Н. В., Наумчук, В. М. (2014). Урожайність сортів картоплі ранньостиглої за різних способів застосування абсорбентів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агронімія*, 195(1), 187-193.
143. Фурдичко О. І., Стадник А. П. (2012). *Основи управління агроландшафтами України*. К.: Аграрна наука, 384 с.
144. Хлыстовский, А.Д., Касицкий, Ю.И., Бахтин, С.Л. (1989). Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборотов, баланс питательных веществ и плодородие дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. Сообщение 2. Баланс питательных веществ и плодородие почвы при длительном применении удобрений. *Агрохимия*, 3, 27-38.
145. Хорошев, А. В., Ткач, К.А., Муртазина, Д.У. (2018). Влияние ландшафтных условий на урожайность зерновых культур в степной зоне северного Казахстана. *Вестник московского университета. Серия 5. География*, 3, 62-69.
146. Черников, В.А. (2001). Экологическая оценка гумусового состояния почв в системах земледелия. *Бюллетень ВИУА*, 115, 82 с.
147. Чертко, Н.К. (1991). Геохимия агроландшафтов Белоруссии и их оптимизация: автореф. дис. ...д-ра геогр. наук: 11.00.01, 40 с.
148. Чехов, С. (2018). Насіння олійних культур як об'єкт на аграрному ринку. *Схід*, 1, 30-33.

149. Чижов, М.П. (1961). Український лісостеп. К.: Радянська школа, – 204 с.
150. Шарый, П.А., Рухович, О.В., Шарая, Л.С. (2011). Методология анализа пространственной изменчивости характеристик урожайности пшеницы в зависимости от условий агроландшафта. *Агрехимия*, 11, 57–81.
151. Шевцова, Л.К., Дробков, Ю.А. (1981). Содержание гумуса в почвах Нечерноземья при длительном удобрении. *Почвоведение*, 10, 113 с.
152. Шевцова, Л.К., Володарская, И.В., Горбунов, Е.В. (2000). Моделирование трансформации и баланса гумуса дерново-подзолистых почв на основе информационной базы длительных опытов. *Агрехимия*, 9, 5 – 15.
153. Шикуча, М.К., Ігнатенко, О.Ф., Капштик, М.В. та ін. (1998). *Відтворення родючості у ґрунтозахисному землеробстві*. К.:Оранта, 680 с.
154. Щербачук, В. М. (2016). Оптимізація елементів технології вирощування сої в умовах Західного Лісостепу : дис. канд. : 06.01.09. Львів, 177 с.
155. Abeledo, L. G., Savin, R. & Slafer, G. A. (2008). Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy*, 28, 541–550.
156. Abate, T., Shiferaw, B., Menkir, A. et. al. (2015). Factors that transformed maize productivity in Ethiopia. *Food Security*, 7(5), 965 – 981.
157. Abeysiriwardena, D. S. (2016). Yield potential, potential yield and realized yield at farmer level of cereals with special reference to rice (*Oryza sativa* L.). *Sri Lanka Journal of Food and Agriculture*. 2. 1. 10.4038/sljfa.v2i1.20.
158. Aggarwal, P. K. (1991). Agro-ecological zoning using crop growth simulation models: characterization of wheat environments of India. Proceedings of the International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development, 2–6 December 1991, Bangkok, Thailand.
159. Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A. & Klein, A. M. (2008) Long-term global trends in crop yield and production reveal no current

pollination shortage but increasing pollinator dependency. *Current Biology*, 18, 1572–1575. DOI: 10.1016/j.cub.2008.08.066.

160. Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A. & Klein, A.M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103, 1579–1588. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcp076.v>

161. Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19, 716–723.

162. Alignier, A., Bretagnolle, V. & Petit, S., 2012. Spatial patterns of weeds along a gradient of landscape complexity. *Basic Appl. Ecol.* 13, 328–337

163. Amy, S. R., Heard, M. S., Hartley, S. E., George, C. T., Pywell, R. F., & Staley, J. T. (2015). Hedgerow rejuvenation management affects invertebrate communities through changes to habitat structure. *Basic and Applied Ecology*, 16(5), 443–451.

164. Andales, A. A., Green, T. R., Ahuja, L. R., Erskine, R. H. & Peterson, G. A. (2007). Temporally stable patterns in grain yield and soil water on a dryland catena. *Agricultural Systems* 94, 119-127.

165. Anderson, M.C., Cammalleri, C., Hain, C.R., Otkin, J., Zhan, X.W. & Kustas, W. (2013). Using a diagnostic soil-plant-atmosphere model for monitoring drought at field to continental scales. *Four Decades of Progress in Monitoring and Modeling of Processes in the Soil-plant-atmosphere System: applications and challenges*. 19, 46 - 57. DOI: 10.1016/j.proenv.2013.06.006

166. Andrews, S.S. & Carrol, C.R. (2001). Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecol. Appl.*, 11(6), 1573-1585.

167. Andrushenko, A. Yu. & Zhukov, A.V. (2016). Scale-dependent effects in structure of the wintering ecological niche of the mute swan during wintering in the gulf of Sivash. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6 (3), 234–247.

168. Annicchiarico, P. & Iannucci A. (2008). Breeding Strategy for Faba Bean in Southern Europe based on Cultivar Responses across Climatically Contrasting Environments. *Crop Science*, 48(3), 983-991. doi: 10.2135/cropsci2007.09.0501
169. Anselin, L., Ibnu, S. & Youngihn, Kh. (2005). GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, 38(1), 5 – 22. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>
170. Antrop, M. (2005). Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape Urban Plan*, 70, 21–34.
171. Asner, G.P. & Heidebrecht, K.B. (2005). Desertification alters regional ecosystem-climate Inter-actions. *Glob. Change Biol.* 11, 182–194.
172. Arino, O. R. P., Julio, J., Vasileios, K., Sophie, B., Pierre, D. & Eric, V. B. (2012). Global Land Cover Map for 2009 (GlobCover 2009). European Space Agency (ESA) & Université catholique de Louvain (UCL). PANGAEA.
173. Ashraf, S., Ashraf, V. & Abbaspour, H. (2011). Assessment of land production potential for barley using geographic information system (GIS) method. *Indian Journal of Science and Technology*. 4. 1775-1777. 10.17485/ijst/2011/v4i12/30325.
174. Asseng, S, Foster, I. & Turner, N C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17, 997–1012.
175. Asseng, S., Ewert, F., Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., Boote, K. J... Wolf, J. (2013). Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature Climate Change*, advance online publication.
176. Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rotter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., Kimball, B. A. ... Zhu, Y. (2014). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5(2), 143-47. doi: <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
177. Ayoubi, S., Khormali, F. & Sahrawat, K.L. (2009). Relationship of barley biomass and grain yields to soil properties within a field in the arid region: Use of factor analysis. *Acta. Agric. Scand. Section B-Soil Plant. Sci.*, 59(2), 107-117.



178. Bae, S., Müller, J., Lee, D. ... Thorn, Simon. (2018). Taxonomic, functional, and phylogenetic diversity of bird assemblages are oppositely associated to productivity and heterogeneity in temperate forests. *Remote Sensing of Environment*, 215. 10.1016/j.rse.2018.05.031.
179. Bajracharya, M. & Sapkota, M. (2017). Profitability and productivity of potato (*Solanum tuberosum*) in Baglung district, Nepal. *Agriculture & Food Security* 6, 47. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0125-5>
180. Bakanogulları, F., Ay, U. & Akdemir, B. (2018). Determination of Spatial Variability in Sunflower Production. *International Journal of Crop Science and Technology*. 10.26558/ijcst.373589.
181. Bakhsh, A., Jaynes, D. B., Colvin, T. & Kanwar, R. S. (2000). Spatio-temporal analysis of yield variability for a corn-soybean field in Iowa. *Transactions of the ASAE*, 43, 31-38.
182. Bakhsh, K., & Kamran, M. A. (2019). Adaptation to Climate Change in Rain-Fed Farming System in Punjab, Pakistan. *International Journal of the Commons*, 13(2), 833–847. DOI: <http://doi.org/10.5334/ijc.887>
183. Backlund, P., et al. (2008). The Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources, and Biodiversity (US Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC), pp 11–21.
184. Basille, M., Calenge, C., Marboutin, E. , Andersen, R. & Gaillard, J-M. (2008). Assessing habitat selection using multivariate statistics: Some refinements of the ecological-niche factor analysis. *Ecological modeling*, 211, 233–300.
185. Basso, B., Ritchie, J.T., Cammarano, D. & Sartori, L. (2011). A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field. *European Journal of Agronomy*, 35, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.06.004>
186. Bellamy, C., Scott, C. & Altringham J. (2013). Multiscale presence-only habitat suitability models: fine-resolution maps for eight bat species. *Journal of*

Applied Ecology. 50: 892–901. Access mode: <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12117>.

187. Berthold, M. R. & Hoppner, F. (2016). On Clustering Time Series Using Euclidean Distance and Pearson Correlation, arXiv:1601.02213v1 [cs.LG]

188. Bianchi, F., C. Booij, & Tschardt, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B*, 273, 1715–1727.

189. Billeter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I., ... Edwards, P. J. (2008). Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: A pan-European study. *Journal of Applied Ecology*, 45, 141–150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01393.x>

190. Birkhofer, K., Diehl, E., Andersson, J., Ekroos, J., Früh-Müller, A., Machnikowski, F. ... Smith, H. (2015). Ecosystem services – current challenges and opportunities for ecological research. *Front. Ecol. Evol.*, 2, 87. doi: 10.3389/fevo.2014.00087

191. Bajracharya, M. & Sapkota, M. (2017). Profitability and productivity of potato (*Solanum tuberosum*) in Baglung district, Nepal. *Agriculture & Food Security*, 6, 47. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0125-5>

192. Battisti, D. S. & Naylor, R. L. 2009. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science*, 323(5911), 240-44.

193. Bingham, J. (1967). Breeding cereals for improved yielding capacity. *Ann. Appl. Biol.*, 59, 312-315.

194. Blum, W.E.H. (2006). Soil Resources - The basis of human society and the environment, *Bodenkultur* 57, 197–202.

195. Boatman, N. D., & Sotherton, N. W. (1988). The agronomic consequences and costs of managing field margins for game and wildlife conservation. *Aspects of Applied Biology*, 17(1), 47–56

196. Bockstaller, C., Guichard, L., Keichinger, O., Girardin, P., Galan, M.-B. & Gaillard G. (2009). Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 223–235.

197. Boesing, A. L, Nichols, E. & Metzger, J.P. (2017). Effects of landscape structure on avian-mediated insect pest control services: a review. *Landsc Ecol.*, 32 (5), 931–944. doi: 10.1007/s10980-017-0503-1.
198. Bolton, D. K. & Friedl, M. (2013). Forecasting Crop Yield Using Remotely Sensed Vegetation Indices and Crop Phenology Metrics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 173, 74–84. doi:10.1016/j.agrformet.2013.01.007.
199. Bommarco, R., Kleijn, D. & Potts S.G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol. Evol. (Amst.)*, 28, 230–238.
200. Bondeau, A., Smith, C.M., Zaehle, S., Schaphoff, S., Lucht, W., Cramer, W., Gerten, D., Lotze-Campen, H., Mueller, C., Reichstein, M. & Smith, B. (2007). Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance, *Glob. Change Biol.*, 13, 679–706.
201. Boogaard L H, van Diepen C A, Rotter R P et al. (1998). User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST control center 1.5. Wageningen: DLO Winand Staring Centre.
202. Bommarco, R., Kleijn, D. & Potts, S.G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol. Evol. (Amst.)*, 28, 230–238.
203. Bouman B. A. M, van Keulen, van Laar H H et al. (1996). The school of de wit crop growth simulation models: A pedigree and historical overview. *Agricultural System*, 52(2/3), 171–198.
204. Bourennane, H.; Nicoullaud, B.; Couturier, A. & King, D. (2004). Exploring the spatial relationships between some soil properties and wheat yields in two soil types. *Precision Agric.*, 5. 521-536.
205. Brisson, N. et al. (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crop. Res.*, 119, 201–212.
206. Brown, J., Beeby, R. & Penfield, Steven. (2019). Yield instability of winter oilseed rape modulated by early winter temperature. *Scientific Reports*, 9. 10.1038/s41598-019-43461-7.

207. Bruinsma, J. (2009). The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? FAO expert meeting on how to feed the world in 2050, 24-26 June 2009, Rome.
208. Burgess, P. J., Incoll, L. D., Corry, D. T., Beaton, A., & Hart, B. J. (2004). Poplar (*Populus* spp.) growth and crop yields in a silvoarable experiment at three lowland sites in England. *Agroforestry Systems*, 63, 157–169. <https://doi.org/10.1007/s10457-004-7169-9>
209. Bussel, L. G. J. V., Müller, C., Keulen, H. V., Ewert, F. & Leffelaar, P. A. (2011). The effect of temporal aggregation of weather input data on crop growth models' results. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 607–619.
210. Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A. ... Jin, F. (2014). Increasing Frequency of Extreme El Nino Events due to Greenhouse Warming. *Nature Climate Change*. 4. 10.1038/NCLIMATE2100.
211. Calderini, D. F. & Slafer, G. A. (1998). Changes in yield and yieldstability in wheat during the 20th Century. *Field Crops Res* 57, 335–347
212. Canadell, J. G., Pataki, D., Gifford, R., Houghton, R. A., Lou, Y., Raupach, M. R., Smith, P. & Steffen, W. (2007). In: *Terrestrial Ecosystems in a Changing World, International Geosphere–Biosphere Programme Series*, eds Canadell J. G. , Pataki D., Pitelka L. (Springer, Berlin), pp 59–78.
213. Carlson, J.C., Franklin, A.B., Hyatt, D.R., Pettit, S.E. & Linz, G.M. (2011). The role of starlings in the spread of Salmonella within concentrated animal feeding operations. *Journal of Animal Ecology*, 48, 479–486
214. Cassman, K. G. (1999): Ecological intensification of cereal production systems; Yield potential, soil quality and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96, 5952-5959.
215. Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters, D.T. & Yang, H. (2003). Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources and Improving Environmental Quality. *Ann. Rev. Environ. Res.*, 28, 315 – 358

216. Cassman, K.G., Grassini, P. & van Wart, J. (2010). Crop yield potential, yield trends and global food security in a changing climate. In: Handbook of climate change and Agroecosystems (Eds: Rosenzweig, C., Hillel, D.). p 37. Imperial College Press, London.
217. Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 245–76.
218. Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E, Blitzer, E. J. & Kremen, C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14, 922–932.
219. Chen, H. (2018) The spatial patterns in long-term temporal trends of three major crops' yields in Japan. *Plant Production Science*, 21(3), 177-185. doi: <https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1459752>.
220. Cherevko, G. (2016). Rapeseed Growing for Energy Purposes in Ukraine. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 18(3), 29-34
221. Comber, A.J., Harris, P. & Tsutsumida, N. (2016). Improving land cover classification using input variables derived from a geographically weighted principal components analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119, 347-360. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.06.014>.
222. CONABIO. 2017. Ecosystems and agro-biodiversity across small and large-scale maize production systems, feeder study to the “TEEB for Agriculture and Food”. Available at: [http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2018/01/Final-Maize-TEEB-report\\_290817.pdf](http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2018/01/Final-Maize-TEEB-report_290817.pdf)
223. Constable, G.A. & Bange, M.P. (2015). The yield potential of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crop Res.*, 182, 98 - 106.
224. Corwin, D.L., Kaffka, S.R., Hopmans, J.W., Mori, Y., Lesch, S.M. & Oster, J.D. (2003). Assessment and field-scale mapping of soil quality properties of a saline-sodic soil. *Geoderma*, 114 (3–4), 231–259.

225. Cox, M.S., Gerard, D.P., Wardlaw, M.C. & Abshire M.J. (2003). Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1296-1302
226. Cronbach, L. J. & Gleser, G. C. (1953). Assessing similarity between profiles. *Psychological Bulletin*, 50(6) 456–473. <http://dx.doi.org/10.1037/h0057173>
227. Cunningham, S., Attwood, S., Bawa, K., Benton, T., Broadhurst, L., Didham, R. ... Lindenmayer, D. (2013). To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 173, 20 – 27, doi:10.1016/j.agee.2013.04.007.
228. Curcic, Z., Ćirić, M., Nagl, N. & Taški-Ajduković, K. (2018). Effect of Sugar Beet Genotype, Planting and Harvesting Dates and Their Interaction on Sugar Yield. *Front. Plant Sci.*, 9, 1041. doi: 10.3389/fpls.2018.01041
229. Dainese, M., Poppenborg-Martin, E., Aizen, M., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R. ... Steffan-Dewenter, I. (2019). A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5 (10), eaax0121, doi:10.1101/554170.
230. Dalposso, G. H, Uribe-Opazo, M. A. & Johann, J. A. (2016). Soybean yield modeling using bootstrap methods for small samples. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(3), e0207. DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016143-8635>
231. Dalu, T., Wasserman, R.J. & Dalu, M.T.B. (2017). Agricultural intensification and drought frequency increases may have landscape-level consequences for ephemeral ecosystems. *Glob.Chang.Biol.* 23, 983–985.
232. Darwish, K.H.M., Rashad, M., Mohamed, S.Z. & Gada, A. (2015). Spatial Distribution Analysis Of Soil Variables For Agronomic Development In El-Omayed Area, North Coastal Of Egypt, *Environ Earth Scie*, 74, 889-901.
233. Davis, M.L. & Masten, S.J. (2003). Principles of Environmental Engineering and Science, McGraw-Hill Professional, ISBN 0072921862, 9780072921861, 704 p.

234. Dawe, D. & Dobermann, A. (1998). Defining productivity and yield. Discussion paper series No. 33. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
235. Dengiz, O. & Sağlam, M. (2012). Determination of land productivity index based on parametric approach using GIS technique. *Eurasian Journal of Soil Science*. 1. 51-57.
236. Deppermann, A., Balkovic, J., Bundle, S.C., Di Fulvio, F., Havlik, P., Leclere, D., Lesiv, M., Prishchepov, A.V. & Schepaschenko, D. (2018). Increasing crop production in Russia and Ukraine-regional and global impacts from intensification and recultivation. *Environmental Research Letters*, 13(2), 025008. doi: 10.1088/1748-9326/aaa4a4
237. De Snoo, G. R. (1994). *Cost-benefits of unsprayed crop edges in winter wheat, sugar beet and potatoes*. In N. D. Boatman (Ed.), *Field margins: Integrating agriculture and conservation* (Vol. 58, pp. 197–202). Farnham, UK: British Crop Protection Council Monograph.
238. Devi, G.M.G., Kumar, K.S.A. (2008). Remote Sensing and GIS Application for Land Quality Assessment for Coffee Growing Areas of Karnataka. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 36, 89-97.
239. Diacono, M., Castrignano, A., Troccoli, A., De Benedetto, D., Basso, B. & Rubino, P. (2012). Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. *Field Crops Research*, 131, 49-62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.004>.
240. Dinno, A. (2012). paran: Horn's Test of Principal Components/Factors. R package version 1.5.1. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=paran>
241. Donatelli, M., Srivastava, A., Duveiller, G., Niemeyer, S. & Fumagalli, D. (2015). Climate change impact and potential adaptation strategies under alternate realizations of climate scenarios for three major crops in Europe. *Environmental Research Letters*. 10. 10.1088/1748-9326/10/7/075005.

242. Driessen, P., Deckers, J., Spaargaren, O., & Nachtergaele, F. (2000). Lecture notes on the major soils of the world. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO).
243. Duarte, G.T., Santos, P.M., Cornelissen, T.G., Ribeiro, M.C. & Paglia, A.P. (2018). The effects of landscape patterns on ecosystem services: meta-analyses of landscape services. *Landsc. Ecol.*, *33*, 1247–1257.
244. Durán Zuazo, V.H. & Rodríguez Pleguezuelo, C.R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review, *Agron. Sustain. Dev.*, *28*, 65–86.
245. Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., & Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(4), 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
246. Eghball, B., Binford, G. D., Power, J. F., Baltensperger, D. D. & Anderson, F. N. (1995). Maize temporal yield variability under long-term manure and fertilizer application: fractal analysis. *Soil Science Society of America Journal*, *59*, 1360-1364.
247. Eghball, B. & Power, J. F. (1995). Fractal description of temporal yield variability of 10 crops in the United States. *Agronomy Journal*, *87*, 152-156.
248. Eghball, B. & Varvel, G. E. (1997). Fractal analysis of temporal yield variability of crop sequences: Implications for site-specific management. *Agronomy Journal*, *89*, 851-855.
249. Ekroos, J., Ödman, A., Andersson, G., Birkhofer, K., Herbertsson, L., Klatt, B., ... Smith, H. (2016). Sparing Land for Biodiversity at Multiple Spatial Scales. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *3*, Article 145, doi:10.3389/fevo.2015.00145.
250. Elith, J. & Leathwick, J.R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, *40*, 677–697.



251. Emitiyagoda, G.A.M.S.S., Abey Siriwardena, D.S. de Z. & Silva S. (2010). Grain yield and yield variability of rice under high management in different Agro-climatic Zones in Sri Lanka. *Annals Sri Lanka Dep. Agric.*, 12, 63-77.
252. Enrico, J. M., García, F., Stewart, M., Francisco, E., Balboa, G., Ciampitti, I. & Salvagiotti, F. (2018). Integrating Crop and Fertilization Management Strategies for Soybean in the Central Pampas. *Better Crops*, 102 (2), 6–10. DOI: <https://doi.org/10.24047/BC10226>.
253. Esterka, J. (2008). The influence of woody edges on wheat yield. *Journal of Landscape Studies*, 1, 19–26.
254. Evans, L.T. (1993). *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge University Press, Cambridge.
255. Evans, L.T. & Fischer, R.A. (1999). Yield Potential: Its Definition, Measurement and Significance. *Crop Sci.*, 39(6), 1544-1551.
256. FAO. (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agricultural Organisation, Soils Bulletin 32, Rome, Italy.
257. FAO. (1982). *Potential Population Supporting Capacities of Lands in the Developing World*, 23–27.
258. FAO. (1996). *Guidelines: Agro-ecological zoning*. Food and Agricultural Organisation, Soils Bulletin, Rome, Italy.
259. FAO. (2016). 'FAOSTAT data.' in FAOSTAT data. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
260. FAOSTAT. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [www.fao.org](http://www.fao.org) [Accessed 5 December 2018].
261. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 185–212.
262. Fedoniuk R. H, Fedoniuk T. P., Zimarioieva 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.

263. Fernández-Tirado, F, Parra-López, C. & Romero-Gámez, M. (2017). Evaluating the environmental sustainability of energy crops: A life cycle assessment of Spanish rapeseed and Argentinean soybean cultivation. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(1), e0107.
264. Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 4302–4315. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
265. Filho, O. G., Vieira, S. R., Chiba, M. K., Nagumo, C. H. & Dechen, S. C. F. (2010). Spatial and temporal variability of crop yield and some Rhodic Hapludox properties under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34 (1). <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100001>
266. Finger, R. (2010). Evidence of slowing yield growth – the example of Swiss cereal yields. *Food Policy*, 35, 175–182. doi:10.1016/j.foodpol.2009.11.004.
267. Fischer, S., Pluntke, T., Pavlik, D., & Bernhofer, C. (2014). Hydrologic effects of climate change in a sub-basin of the Western Bug River, Western Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 72(12), 4727-44.
268. Florian, S., Monireh, F., Alexander, V. P., Friedrich, J. K. & Daniel, M. (2014). Quantifying yield gaps in wheat production in Russia. *Environmental Research Letters*, 9, 084017.
269. Folberth, C., Gaiser, T., Abbaspour, K. C., Schulin, R. & Yang, H. (2012). Regionalization of a large-scale crop growth model for subSaharan Africa: Model setup, evaluation, and estimation of maize yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 151, 21–33.
270. Foley, J. A., Defries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. ... Snyder, P. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309, 570 – 574, doi:10.1126/science.1111772.
271. Fotheringham, A.S., Brunson, C. & Charlton, M. (2002), Geographically Weighted Regression the analysis of spatially varying relationships. Wiley, Chichester, 284 p. ISBN: 978-0-471-49616-8.

272. Frankow-Lindberg, B. E., Brophy, C., Collins, R. P., & Connolly, J. (2009). Biodiversity effects on yield and unsown species invasion in a temperate forage ecosystem. *Annals of botany*, *103*(6), 913–921. doi:10.1093/aob/mcp008

273. Frieler, K., Schauburger, B., Arneth, A., Balkovi, J., Chryssanthacopoulos, J., Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Khabarov, N., Müller, C., Olin, S., Pugh, T. A. M., Schaphoff, S., Schewe, J., Schmid, E., Warszawski L. & Leverman, A. (2017). Understanding the weather signal in national crop-yield variability. *Earth's Future*. *5*. 605-616. doi:10.1002/2016EF000525

274. Fuller, R. J., Gregory, R. D., Gibbons, D. W., Marchant, J. H., Wilson, J. D., Baillie, S. R., & Carter, N. (1995). Population declines and range contractions among lowland farmland birds in Britain. *Conservation Biology*, *9*(6), 1425–1441. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.09061425.x>

275. Gallé, R., Happe, A., Baillod, A.B., Tschamntke, T. & Batáry, P. (2019). Landscape configuration, organic management, and within-field position drive functional diversity of spiders and carabids. *J. Appl. Ecol.* *56*, 63–7.

276. Galpern, Paul & Vickruck, Jess & Devries, James & Gavin, Michael. (2019). Landscape complexity is associated with crop yields across a large temperate grassland region. *Agriculture Ecosystems & Environment*. *290*. 10.1016/j.agee.2019.106724.

277. Garbach, K., Milder, J.C., DeClerck, F.A.J., Montenegro de Wit, M., Driscoll, L. & GemmillHerren, B. (2017). Examining multi-functionality for crop yield and ecosystem services in five systems of agroecological intensification. *Int. J. Agric. Sustain.* *15*, 11–28.

278. Gassman, P W, Williams, J R, Benson, V. W. et al. (2005). Historical development and applications of the EPIC and APEX models. <http://www.card.iastate.edu>, 1–45.

279. Geological Survey (U.S.), and EROS Data Center. 1900. EarthExplorer. [Reston, Va.]: U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey. <http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS82497>.

280. De Snoo, G. R. (1994). Cost-benefits of unsprayed crop edges in winter wheat, sugar beet and potatoes. In N. D. Boatman (Ed.), *Field margins: Integrating agriculture and conservation* (Vol. 58, pp. 197–202). Farnham, UK: British Crop Protection Council Monograph.

281. Ghosh, B. N., Dogra, P., Bhattacharyya, R., Sharma, N. K., & Dadhwal, K. S. (2012). Effects of grass vegetation strips on soil conservation and crop yield under rainfed conditions in the Indian sub-Himalayas. *Soil Use and Management*, 28(4), 635–646. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00454.x>

282. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M. & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818. doi: 10.1126/science.1185383.

283. Golbitz, P. (2001). *Soya and Oilseed Blue Book*. Soyatech Inc. Bar Harbor, ME.

284. Gollini, I., Lu, B., Charlton, M., Brunsdon, Ch. & Harris, P. (2013). GWmodel: An R Package for Exploring Spatial Heterogeneity Using Geographically Weighted Models. *Journal of Statistical Software*, 63(17), 1–52.

285. Gornott, C. & Wechsung, F. (2016). Statistical regression models for assessing climate impacts on crop yields: A validation study for winter wheat and silage maize in Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 217, 89-100

286. Grassini P., Eskridge K. M. & Cassman K. G. (2013). Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nature Communications*, 4, Article number: 2918.

287. Grassini P, Yang H, Irmak S, Thorburn J, Burr C. & Cassman, K.G. (2011). High-yield irrigated maize in the Western US Corn Belt: II. Irrigation management and crop water productivity. *Field Crops Research*, 120, 133 –141.

288. Guisan, A. & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993–1009.

289. Habekotte, B. (1997). Evaluation of seed yield determining factors of winter oilseed rape (*Brassica napus L.*) by means of crop growth modelling, *Field Crops Research*, 54 ( 2–3), 137-151.
290. Hammond, M. P. & Kolasa, J. (2014) Spatial variation as a tool for inferring temporal variation and diagnosing types of mechanisms in ecosystems. *PloS one*, 9(2), e89245. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089245>
291. Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. & Lo, K. (2010). Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
292. Hatzinger, R., Hornik, K., Nagel, H. & Maier, M. J. (2014). R: Einführung durch angewandte Statistik (2nd ed.). München: Pearson Studium.
293. Harrach, T. (1982) Ertragsfähigkeit erodierter Böden, Arbeiten der DLG, Bd. 174, Bodenerosion, 84–91.
294. Harris, P., Clarke, A, Juggins, S, Brunson, C. & Charlton, M. (2015). Enhancements to a Geographically Weighted Principal Component Analysis in the Context of an Application to an Environmental Data Set. *Geographical Analysis*, 47 (2), 146 – 172. doi: 10.1111/gean.12048.
295. Hawkins, E., Fricker, T. E. Challinor, A. J., Ferro, C. A.T., Ho, C. K. & Osborne T.M. (2013). Increasing influence of heat stress on French maize yields from the 1960s to the 2030s. *Global Change Biology*, 19(3), 937–947.
296. Hergert, G. W. (2010). Sugar beet fertilization. *Sugar Tech*, 12. 256 – 266. doi: 10.1007/s12355-010-0037-1
297. Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G.B.M., Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A., Shangguan W. ... Kempen B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*. 12(2), e0169748.
298. Hillel, D. (2009). The mission of soil science in a changing world. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 5–9.
299. Hilton, S., Avila, A. M H. & Cardoso, A. O. (2013). *Challenges to Increased Soybean Production in Brazil*. A Comprehensive Survey of International Soybean Research James E. Board, IntechOpen, DOI: 10.5772/52647.

300. Hipólito, J., Boscolo, D., & Viana, B. F. (2018). Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.038>
301. Hirzel, A. H. & Guisan A. (2002). Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modeling. *Ecol. Model.*, 157(2–3), 331–341.
302. Hoffmann C. M. & Kenter C.(2018). Yield Potential of Sugar Beet – Have We Hit the Ceiling? *Front Plant Sci.* 9, 289. doi: 10.3389/fpls.2018.00289
303. Hoffmann C. M. & Kluge-Severin S. Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *Eur. J. Agron.*, 2011, 34. 1–9. doi: 10.1016/j.eja.2010.09.001
304. Hooper, D. U, Chapin, F.S, Ewel, J.J, et al. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs.* 75, 3–35.
305. Horn, J.L. (1965). A rationale and a test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30: 179–185. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02289447>.
306. Hulugalle, N.R., Weaver, T.B., Finlay, L.A., Hare, J. & Entwistle, P.C. (2007). Soil properties and crop yields in a dryland Vertisol sown with cotton-based crop rotations. *Soil Tillage Res.*, 93, 356–369.
307. Hungate, B.A., Barbier, E.B., Ando, A.W., Marks, S.P., Reich, P.B., van Gestel, N., Tilman, D., Knops, J.M.H., Hooper, D.U. & Butterfield, B.J. (2017). The economic value of grassland species for carbon storage. *Sci. Adv.* 3, e1601880.
308. Hutchinson, G.E. (1965). The niche: an abstractly inhabited hypervolume. *The ecological theatre and the evolutionary play*. New Haven: Yale Univ. Press. 26–78.
309. Iizumi, T. & Ramankutty, N. (2016). Changes in yield variability of major crops for 1981-2010 explained by climate change. *Environmental Research Letters.* 11(3), 034003. doi: 10.1088/1748-9326/11/3/034003.

310. Ioffe, G., Nefedova, T. & Zaslavsky, I. (2004). From spatial continuity to fragmentation: the case of Russian farming. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 94, 913 – 943.
311. Iqbal, J., Thomasson, J.A., Jenkins, J.N., Owens, P.R. & Whisler, F.D., (2005). Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *Soil Science Society America urnal*, 69(4), 1338-1350. DOI10.2136/sssaj2004.0154
312. IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
313. Jackson, L.E., Calderon, F.J., Steenwerth, K.L., Scow, K.M. & Rolston, D.E. (2003). Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. *Geoderma*, 114, 305–317.
314. Jaggard K. W, Qi A. & Ober E. S. (2010). Possible changes to arable crop yields by 2050. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*; 365, 2835–2851. doi: 10.1098/rstb.2010.0153
315. Jaime, R., Alcántara, J., Manzaneda, A. & Rey, P. (2018). Climate change decreases suitable areas for rapeseed cultivation in Europe but provides new opportunities for white mustard as an alternative oilseed for biofuel production. *PLOS ONE*. 13. e0207124. 10.1371/journal.pone.0207124.
316. Jaynes, D. B. & Colvin, T. S. (1997). Spatiotemporal variability of corn and soybean yield. *Agronomy Journal* 89, 30-37.
317. Jean, N.; Burke, M.; Xie, M.; Davis, M.; Lobell, D.; & Ermon, S. (2016). Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty. *Science*. 353 (6301), 790-794. DOI: 10.1126/science.aaf7894
318. Jiang, X. J., Tang, L., Liu, X. J., Cao, W X. & Zhu, Y. (2013). Spatial and temporal characteristics of rice potential productivity and potential yield increment in main production regions of China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12, 45–56.

319. Joernsgard, B. & Halmoe, S. (2003). Intra-field yield variation over crops and years. *European Journal of Agronomy* 19, 23-33. 10.1016/S1161-0301(02)00016-3.
320. Johansson, B. (2012). A note on approximating bond returns allowing for both yield change and time passage. MPRA Paper. 92607. Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/92607/>
321. Jones, A., Stolbovoy, V., Rusco, E., Gentile, A.-R., Gardi C., Marechal, B. & Montanarella, L., (2009). Climate change in Europe. 2. Impact on soil. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 423–432.
322. Juhos, K., Szabó, S. & Ladányi, M. (2015). Influence of soil properties on crop yield: a multivariate statistical approach. *Int. Agrophys.*, 29(4), 433-440.
323. Kaiser, H. F. (1974). An Index of Factorial Simplicity. *Psychometrika*, 39 (1), 31–36.
324. Karlen, D.L. (2004) Soil quality as an indicator of sustainable tillage practices. *Soil Tillage Res.* 78, 129–130.
325. Karp, Daniel & Frishkoff, Luke & Echeverri, Alejandra & Zook, Jim & Juarez, Pedro & Chan, Kai. (2017). Agriculture erases climate-driven  $\beta$ -diversity in Neotropical bird communities. *Global Change Biology*, 24. 10.1111/gcb.13821.
326. Kaspari, M., & Yanoviak, S. (2009). Biogeochemistry and the Structure of Tropical Brown Food Webs. *Ecology* 90, 3342–51.
327. Kavdir, Y. & Smucker, A.J.M. (2005). Soil aggregate sequestration of cover crop root and shoot-derived nitrogen. *Plant Soil*, 272, 263–276.
328. Keita, N., Ouedraogo, E. & Nyamsi, U.E. *Measuring Area, Yield and Production of Vegetable.* (2016). ICAS VII Seventh International Conference on Agricultural Statistics, 24-26 October 2016. Rome, 1–13.
329. Keyzer, M. A., Merbis, M. D., Witt, R., Heyets, V., Borodina, O., & Prokopa, I. (2012). 'Farming and rural development in Ukraine: making dualisation work.' in Farming and rural development in Ukraine: making dualisation work. Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Centre.



330. Khosla, R., Fleming, K., Delgado, J.A., Shaver, T. & Westfall, D.G. (2002). Use site-specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture. *J. Soil Water Conserv.*, 57, 513-518.
331. Khush, G.S. (2013). Strategies to increase yield potential of cereals: case of rice as an example. *Plant Breeding*, 132, 433-436.
332. Kitamura, A.E.; Carvalho, M.D.P.E. & Lima, C.G.D.R. (2007). Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31, 361-369.
333. Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L. G., Henry, M., Isaacs, R. ... Potts, S. G. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nat. Commun.*, 6, 7414. doi: 10.1038/ncomms841
334. Koenker R. & Bassett, G. Jr. (1978). Regression Quantiles. *Econometrica*, 46 (1), 33-49
335. Koenker R. & Bassett, G. Jr. (1982). Robust Tests for Heteroscedasticity Based on Regression Quantiles. *Econometrica*, 50 (1), 43-61.
336. Kolaric, L, Popovic, V., Paunovic, J., Zivanovic, L., Ikanovic, J. & Sikora, V. (2015). Sugar beet yield and quality in the agroecological conditions of Central Banat, Serbia. *Agricult. & Forest.*, 61, 33-41. doi: 10.17707/agricultforest.61.4.03.
337. Kong, L.Q., Zheng, H., Rao, E.M., Xiao, Y., Ouyang, Z.Y. & Li, C. (2018). Evaluating indirect and direct effects of eco-restoration policy on soil conservation service in Yangtze River Basin. *Science of the Total Environment*. 631-632, 887-894. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.117
338. Kort, J. (1988). Benefits of windbreaks to field and forage crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 22(23), 165–190.
339. Kowalchuk, T. E., & de Jong, E. (1995). Shelterbelts and their effect on crop yield. *Canadian Journal of Soil Science*, 75(4), 543–550. <https://doi.org/10.4141/cjss95-077>

340. Kozhukhar, T. (2017). Soy in Ukraine: Market Research - Kleffmann Group. Available at: <https://www.kleffmann.com/en/kleffmann-group/news--press/press-releases/soy-in-ukraine/>
341. Kravchenko, A. N., Robertson, G. P., Thelen, K. D. & Harwood, R. R. (2005). Management, topographical and weather effects on spatial variability of crop grain yields. *Agronomy Journal* 97, 514 - 523.
342. Kucharik, C. J. & Ramankutty, N. (2005). Trends and variability in US corn yields over the twentieth century. *Earth Interact.* 9, 1 – 29.
343. Kukal, M. S. & Irmak, S. (2018). Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great Plains Agricultural Production. *Scientific Reports*, 8, 3450. doi:10.1038/s41598-018-21848-2.
344. Kumar, S., Lal R. & Lloyd, C. D. (2012). Assessing spatial variability in soil characteristics with geographically weighted principal components analysis. *Computational Geosciences*. 16 (3), 827-835. DOI 10.1007/s10596-012-9290-6
345. Kunah, O.M. & Papka, O.S. (2016). Ecogeographical determinants of the ecological niche of the common milkweed (*Asclepias syriaca*) on the basis of indices of remote sensing of land images. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 24(1), 78–86. DOI: <https://doi.org/10.15421/011609>
346. Kunah, O. M., Pakhomov, O. Y., Zymarioieva, A.A., Demchuk, N.I., Skupskyi, 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>
347. Kussul, N., Lavreniuk, M., Shelestov, A. & Skakun, S. (2018). Crop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and SAR satellite imagery. *European journal of remote sensing*. 51(1), 627-636. DOI: 10.1080/22797254.2018.1454265
348. Kyriakidis, P. C. & Journel, A. G. (1999). Geostatistical space-time models: A review. *Mathematical Geology*, 31, 651 – 684.

349. Lal, R. (1988). Soil erosion by wind and water problems and prospects. In: Lal, R. (ed.). *Soil erosion research methods*. Ankeny: Soil Conservation Society of America, p. 153-185.
350. Lamb, J. & Dowdy, R. & Anderson, J. & Rehm, G.. (1997). Spatial and Temporal Stability of Corn Grain Yields. *jpa*. 10. 410. 10.2134/jpa1997.0410.
351. Lambin, E. F., Gibbs, H. K., Ferreira, L., Grau, R., Mayaux, P., Meyfroidt, P., Morton, D. C., Rudel, T. K., Gasparri, I. & Munger, J. (2013). Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. *Glob. Environ. Change*, 23, 892–901.
352. Landis, D.A. (2017). Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic Appl. Ecol.*, 18, 1–12.
353. Lauzon, J. D., Fallow, D. J., O'Halloran, O. P., Gregory, S. D. L. & Bertoldi, A. P. 2005. Assessing the temporal stability of spatial patterns in crop yields using combine yield monitor data. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(3), 439-451, <https://doi.org/10.4141/S04-067>
354. Lavalle, C., Micale, F., Houston, T.D., Camia, A., Hiederer, R., Lazar, C., Conte, C., Amatulli, G. & Genovese, G. (2009). Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 433–446.
355. Legendre, P., and E. Gallagher. (2001). “Ecological Meaningful Transformations for Ordination of Species Data.” *Oecologia* 129, 271–80.
356. Leng G. & Huang M. (2017). Crop yield response to climate change varies with crop spatial distribution pattern. *Scientific Reports*, 7, 1463. doi: 10.1038/s41598-017-01599-2.
357. Lerman, Z., Csaki, C. & Feder, G. (2004). *Agriculture in Transition: Land Policies and Evolving Farm Structures in Post-Soviet Countries*. Oxford, New York: Lexington Books.
358. Lesk, C., Rowhani, P. & Ramankutty, N. (2016) Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 84–87. doi: <https://doi.org/10.1038/nature16467>

359. Liefert, W. M. & Liefert, O. (2012). Russian agriculture during transition: performance, global impact, and outlook. *Appl. Econ. Perspect. Pol.* 34, 37–75.
360. Lieth, H. (1975) Modeling the primary productivity of the world, in: Lieth H., Whittaker R.H. (Eds.), *Primary Productivity of the Biosphere*, Springer, Berlin, pp. 237–263.
361. Lindenmayer, D., Hobbs, R., Montague–Drake, R., ... Zavaleta, E. (2008). A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecol. Lett.* 11, 78–91.
362. Lindgren, J., Lindborg, R., & Cousins, S. A. O. (2018). Local conditions in small habitats and surrounding landscape are important for pollination services, biological pest control and seed predation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 107–113. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2017.09.025>
363. Lioubimtseva, E., Beurs, K. M., & Henebry, G. M. (2013). 'Grain Production Trends in Russia, Ukraine, and Kazakhstan in the Context of the Global Climate Variability and Change.' in *Grain Production Trends in Russia, Ukraine, and Kazakhstan in the Context of the Global Climate Variability and Change* eds. T. Younos & C. A. Grady. Berlin: Springer, 121 – 141.
364. Lioubimtseva, E. & Henebry, G. (2012). Grain production trends in Russia, Ukraine and Kazakhstan: New opportunities in an increasingly unstable world? *Frontiers of Earth Science*, 6(2), 157-66.
365. Li, Y.S. & Huang, M.B. (2008). Pasture yield and soil water depletion of continuous growing alfalfa in the Loess Plateau of China. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 124(1–2), 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.08.007>.
366. Li, Z., Cheng, J. & Wu, Q. (2015). Analyzing regional economic development patterns in a fast developing province of China through geographically weighted principal components analysis. *Letters in Spatial and Resource Sciences*. 9 (3), 233-245. ISSN 1864-4031.
367. Lindsey, A. J. & Thomison, P. R. (2016). Drought-tolerant corn hybrid and relative maturity yield response to plant population and planting date. *Agron. J.*, 108, 229–242. [10.2134/agronj2015.0200](https://doi.org/10.2134/agronj2015.0200)

368. Liu, X., Zhu, X-H., Qiu, P. & Chen W. (2012). Correlation-Matrix-Based Hierarchical Clustering Method for Functional Connectivity Analysis. *J Neurosci Methods*, 211 (1), 94-102. doi: 10.1016/j.jneumeth.2012.08.016.
369. Lloyd, C.D. (2010). Analysing population characteristics using geographically weighted principal components analysis: a case study of Northern Ireland in 2001. *Comput. Environ. Urban*, 34(5), 389–399.
370. Lobell, D. B. & Burke, M. B. (2010). On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(11), 1443-52.
371. Lobell, D.B., Schlenker, W. & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333, 616–620. doi: 10.1126/science.1204531.
372. Lobell, D. B., Hammer, G. L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M. J. & Schlenker W. (2013). The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nat. Clim. Change*, 3(5), 497–501. <https://doi.org/10.1038/nclimate1832>.
373. Louwagie, G., Gay, S.H. & Burrell, A. (2009). Addressing soil degradation in EU agriculture: relevant processes, practices and policies, Report on the project 'Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo)', JRC Scientific and Technical Reports, ISSN 1018 5593, 209 p.
374. Lu, J., Leung, L.R., Yang, Q., Chen, G., Collins, W.D., Li, F., Hou, Z.J. & Feng, X. (2014) The robust dynamical contribution to precipitation extremes in idealized warming simulations across model resolutions. *Geophysical Research Letters*, 41, 2971–2978.
375. Lyles, L., Tatarko, J., & Dickerson, J. D. (1984). Windbreak effects on soil water and wheat yield. *Transactions of the ASAE*, 27(1), 069–072. <https://doi.org/10.13031/2013.32737>
376. Maas, B., Clough, Y. & Tschardtke, T. (2013). Bats and birds increase crop yield in tropical agroforestry landscapes. *Ecology letters*, 16, 10.1111/ele.12194.

377. Maier, M.J. (2015). Companion Package to the Book "R: Einführung durchangewandte Statistik". R package version 0.9.3, <URL: <http://CRAN.R-project.org/package=REdaS>>.
378. Mallarino, A.P.; Oyarzabal, E.S. & Hinz, P.N. (1999). Interpreting within-field relationships between crop yields and soil and plant variables using factor analysis. *Precision Agric.*, 1, P. 15-25.
379. Malosetti, M., Ribau, T. J.M., and Van Eeuwijk, F. A. (2013). The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Front. Physiol.* 4:44. doi: 10.3389/fphys.2013.00044M
380. Mäntylä, E., Klemola, T. & Laaksonen, T. (2011). Birds help plants: a meta-analysis of top-down trophic cascades caused by avian predators. *Oecologia*, 165, 143–151.
381. Märlander B, Hoffmann C. M, Koch H.-J, Ladewig E, Merkes R, Petersen J, et al. (2003). Environmental situation and yield performance of the sugar beet crop in Germany: heading for sustainable development. *J. Agron. Crop Sci.* 189. 201–226. doi: 10.1046/j.1439-037X.2003.00035.x
382. Martin, E.A., Reineking, B., Seo, B. & Steffan-Dewenter, I. (2013). Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110.
383. Martin, E., Bumsuk S., Park, C., Reineking, B. & Steffan-Dewenter, I. (2016). Scale-dependent effects of landscape composition and configuration on natural enemy diversity, crop herbivory, and yields. *Ecological Applications*, 26, 448 – 452. 10.1890/15-0856.
384. Masuda, T. & Goldsmith, P. G. (2009). World Soybean Production: Area Harvested, Yield, and Long-Term Projections. *International Food and Agribusiness Management Review*, 12(4), 143 - 162
385. Masutomi, Y, Takahashi, K, Harasawa, H. & Matsuoka, Y. (2009). Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive

consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131, 281–291.

386. Matheron, G. (1971). *The theory of regionalized variables and its application*. Fontainebleau: Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique, 56 p.

387. Mattison, E. H. A. & Norris, K. (2005). Bridging the gaps between agricultural policy, land-use and biodiversity. *Trends Ecol. Evol.*, 11, 610–616. doi: 10.1016/j.tree.2005.08.011

388. Matsyura, A. V., Zimaroyeva, A. A. & Jankowski, K. (2016). Spatial patterns of seasonal distribution of Corvidae (the case of urban habitats). *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 24 (2), 459 - 465.

389. McBratney, A. B., Whelan, B. & Shatar, T. M. (1997). Variability and uncertainty in spatial, temporal and spatiotemporal crop-yield and related data. In "Precision agriculture: Spatial and temporal variability of environmental quality (Ciba Foundation Symposium 210)", pp. 141-160.

390. McBratney, A. B. & Whelan, B. (1999). The "Null Hypothesis" of Precision Agriculture. In "2nd European conference on Precision Agriculture" (J. Stafford, ed.), pp. 947-957. Sheffield Academic Press, Denmark.

391. McBratney, A., B. Whelan, T. Ancev, & J. Bouma. (2005). *Precision Agriculture*, 6, 7-23.

392. Meadows D H. (1972). *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.

393. Mearns L. O, Rosenzweig C. & Goldberg R. (1996). The effects of changes in daily and interannual climatic variability on cereals-wheat: Sensitivity study. *Climatic Change*, 32, 257–292.

394. Melnyk, A., Akuaku, J. & Makarchuk, A. (2018). State and prospects of sunflower production in Ukraine. *Agrofor*, 2. 10.7251/AGRENG1703116M.

395. Metcalf, R.L. (1980). Changing roles of insecticides in crop protection. *Annu. Rev. Entomol.*, 25, 219–256.

396. Meyfroidt, P., Schierhorn, F., Prishchepov, A.V., Muller, D. & Kuemmerle, T. (2016). Drivers, constraints and trade-offs associated with recultivating abandoned cropland in Russia, Ukraine and Kazakhstan. *Global environmental change-human and policy dimensions*, 37, 1- 15. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.01.003
397. Montezano, Z.F.; Corazza, E.J. & Muraoka, T. (2006). Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. *R. Bras. Ci. Solo.*, 30, 839-847.
398. Moran, P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17–23. DOI: 10.2307/2332142
399. Moran, N. A. & Whitham, T. G. (1990). Interspecific competition between root–feeding and leaf–galling aphids mediated by host–plant resistance. *Ecology*, 71, 1050–1058.
400. Morgounov, A., Haun, S., Lang, L., Martynov, S. & Sonder, K. (2013). Climate change at winter wheat breeding sites in central Asia, eastern Europe, and USA, and implications for breeding. *Euphytica*, 194(2), 277-92. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-013-0968-1>
401. Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N. & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419), 254-257. doi:10.1038/nature11420
402. Muhire, I., Ahmed, F. & Abutaleb, K. (2014). Spatio-Temporal Trends in Major Food Crop Yields in Rwanda. *Global Journal of Human-social science: B Geography, Geo-Sciences, Environmental Disaster Management*, 14 (4), 25–42.
403. Muller, R., Rohde, R., Jacobsen, R., Muller, E. & Wickham, C. (2013). A New Estimate of the Average Earth Surface Land Temperature Spanning 1753 to 2011. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*. 01. 10.4172/2327-4581.1000101.
404. Müller, D., Jungandreas, A., Koch, F. & Schierhorn, F. (2016). *Impact of climate change on wheat production in Ukraine*. Report for the Agrarpolitischer Dialog (APD) Ukraine.



405. Müller, M. E. H., Koszinski, S., Bangs, D. E., Wehrhan, M., Ulrich, A., Verch, G., & Brenning, A. (2016). Crop biomass and humidity related factors reflect the spatial distribution of phytopathogenic *Fusarium* fungi and their mycotoxins in heterogeneous fields and landscapes. *Precision Agriculture*, 17(6), 698–720. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9444-y>
406. Munkholm, L.J., Schjonning, P., Rasmussen, K.J. & Tanderup, K. (2003). Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil Tillage Res.*, 71, 163–173.
407. Murray, W.G., Harris, D.G., Miller, G.A. & Thompson N.S. (1983). *Farm appraisal and valuation*. Iowa State University Press, 6th ed., 304
408. Nawar, S., Corstanje, R., Halcro, G., Mulla, D. & Mouazen, A. M. (2017). Chapter four-delineation of soil management zones for variable-rate fertilization: A Review. *Advances in Agronomy*, 143, 175–245.
409. Ndhlela, T., Herselman, L., Magorokosho, C., Setimela, P., Mutimaamba, C. & Labuschagne, M. (2014). Genotype-environment interaction of maize grain yield using AMMI biplots. *Crop Sci.* 54, 1992–1999. doi: 10.2135/cropsci2013.07.0448
410. Nelson, G. C., Valin, H., Sands, R. D., Havlík, P., Ahammad, H., Deryng, D., Elliott, J. ... Willenbockel, D. (2014). Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3274-3279. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1222465110>
411. Nizalov, D., Thornsbury, S., Loveridge, S., Woods, M. & Zadorozhna, O. (2015). *Transition to Agricultural Market Economies: The Future of Kazakhstan, Russia and Ukraine* ed A Schmitz and W Meyers (Wallingford: Cabi International) Dynamics of agricultural production and land use in post-soviet Ukraine, 215–27 pp.
412. Norwood, C. A. (2001). Planting date, hybrid maturity, and plant population effects on soil water depletion, water use, and yield of dryland corn. *Agron. J.*, 93, 1034–1042. 10.2134/agronj2001.9351034x

413. Oerke, E.-C. & Dehne, H.-W. (2004). Safeguarding production – losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Prot.*, 23, 275–285.
414. O'Reilly-Nugent, A., Palit, R., Lopez-Aldana, A., Medina-Romero, M., Wandrag, E. & Duncan, R.P. (2016). Landscape effects on the spread of invasive species. *Curr. Landsc. Ecol. Rep.* 1, 107–114.
415. Osborne T. M. & Wheeler T.R. (2013). Evidence for a climate signal in trends of global crop yield variability over the past 50 years. *Environ. Res. Lett.*, 8, 1-9. doi:10.1088/1748-9326/8/2/024001
416. Osman, D., Ozgur, A. & Ozlem, I. (2014). A Methodology to Implement Box-Cox Transformation When No Covariate is Available. *Communications in Statistics- Simulation and Computation*, 43, 1740 – 1759. doi: 10.1080/03610918.2012.744042.
417. Patel, N.R. (2003). Remote sensing and GIS application in agro-ecological zoning. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, Proceedings of a Training Workshop (7-11 July), Dehra Dun, India. pp. 213-233.
418. Pearson, K. (1901). On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Phil. Mag.* 2(7–12), 559–572.
419. Pedersen, P. & Lauer, J. G. (2003). Soybean Agronomic Response to Management Systems in the Upper Midwest. *Agronomy Journal*, 95, 1146-1151. DOI:10.2134/agronj2003.1146
420. Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hannukkala, A. (2007). Declining rapeseed yields in Finland: how why and what next? *J. Agric. Sci.*, 145, 587–598. doi: 10.1017/S0021859607007381.
421. Penning de Vries F W T, Jansen D M, Ten Berge H F M et al. (1989). Simulation of ecophysiological processes of growth of several annual crop. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
422. Phalan, B., Onial, M., Balmford, A., & Green, R. E. (2011). Reconciling food production and biodiversity conservation: Land sharing and land

sparing compared. *Science*, 333, 1289–1291.

<https://doi.org/10.1126/science.1208742>

423. Phalan, B., Green, R. & Balmford, A. (2014). Closing Yield Gaps: Perils and Possibilities for Biodiversity Conservation. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 369, 20120285. doi: 10.1098/rstb.2012.0285.

424. Picasso, V. D, Brummer, E. C, Liebman, M, Dixon, P. & Wilsey, B.J. (2008). Crop species diversity affects productivity and weed suppression in perennial polycultures under two management strategies. *Crop Science*, 48, 331–342.

425. Pichura, V. I. (2015). Basin approach to spatial-temporal modeling and neyroprediction of potassium content in dry steppe soils. *Biogeosystem Techniqu*, № 2 (4), 172–184. DOI: 10.13187/bgt.2015.4.172.

426. Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7, 229 – 252

427. Pinkina, T., Zymaroieva, A., Matkovska, S., Svitelskyi, M., Ishchuk O. & Fediuchka, M. (2019). Trophic characteristics of *Lymnaea stagnalis* (Mollusca: Gastropoda: Lymnaeidae) in toxic environment. *Ekológia (Bratislava)*, 38(3), 282–300. DOI: <https://doi.org/10.2478/eko-2019-0022>

428. Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc. R. Soc. B*, 282, 20141396. doi: 10.1098/rspb.2014.1396

429. Poveda, K., Martinez, E., Kersch-Becker, M., Bonilla, M. & Tscharntke, T. (2012). Landscape simplification and altitude affect biodiversity, herbivory and Andean potato yield. *Journal of Applied Ecology*, 49, 513–522. doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02120.x.

430. Powers, L., Schmehl, W. R., Federer, W. T. & Payne, M. G. (1963). Chemical genetic and soils studies involving thirteen characters in sugar beet. *J. ASSBT*, 12, 393 –448. doi: 10.5274/jsbr.12.5.393

431. Prishchepov, A. V., Muller, D, Dubinin, M, Baumann, M. & Radeloff, V. C. (2013). Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia. *Land Use Policy*, 30, 873–84
432. Pywell, R. F., Heard, M. S., Woodcock, B. A., Hinsley, S., Ridding, L., Nowakowski, M., & Bullock, J. M. (2015). Wildlife-friendly farming increases crop yield: Evidence for ecological intensification. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 1–8. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1740>
433. Qian, B., Jing, Q., Bélanger, G., Shang, J., Huffman, T., Liu, J. & Hoogenboom, G. (2017). Simulated Canola Yield Responses to Climate Change and Adaptation in Canada. *Agronomy journal*. 110. 10.2134/agronj2017.02.0076.
434. Raatz, Larissa & Bacchi, Nina & Pirhofer-Walzl, Karin & Glemnitz, Michael & Müller, Marina & Joshi, Jasmin & Scherber, Christoph. (2019). How much do we really lose?-Yield losses in the proximity of natural landscape elements in agricultural landscapes. *Ecology and Evolution*, 9. 10.1002/ece3.5370.
435. Ram, F. (2016). More uneven distributions overturn benefits of higher precipitation for crop yields. *Environmental Research Letters*, 11(2), 024004. DOI: 10.1088/1748-9326/11/2/024004
436. Ray, D. K., Ramankutty N., Mueller N. D., West P. C. & Foley, J. A. (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*, 3, 1293. doi:10.1038/ncomms2296.
437. R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
438. Redlich, S., Steffan-Dewenter, I., Poppenborg Martin, E. & Wende, B. (2018). Landscape heterogeneity rather than crop diversity mediates bird diversity in agricultural landscapes. *PLoS ONE*, 13, doi: 10.1371/journal.pone.0200438.
439. Rezaei, S.A., Gilkes, R.J. & Andrews, S.S. (2006). A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma*, 136, 229-234.

440. Ritz, C., Baty, F., Streibig, J. C. & Gerhard, D. (2015). Dose-Response Analysis Using R. *PLOS ONE*, *10*(12), e0146021. doi: 10.1371/journal.pone.0146021
441. Rockstrom, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, *461*, 472–475.
442. Robertson, M, Isbister, B, Maling, I, Oliver, Y, Wong, M, Adams, M, Bowden, B. & Tozer, P. (2007). Opportunities and constraints for managing within-field spatial variability in Western Australian grain production. *Field Crops Research*, *104*(1), 60–67.
443. Rodenburg, J., Demont, M., Sow, A. & Dieng, I. (2014). Bird, weed and interaction effects on yield of irrigated lowland rice. *Crop Protection*, *66*, 46-52. 10.1016/j.cropro.2014.08.015.
444. Rodrigues, M. S., Corá, J. E. & Fernandes, C. (2012). Spatial relationships between soil attributes and corn yield in no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *36*(2), 599-609.
445. Roger-Estrade, J., Richard, G., Dexter, A.R., Boizard, H., De Tourdonnet, S., Bertrand, M. & Caneill J. (2009) Integration of soil structure variations with time and space into models for crop management. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, *29*, 135–142.
446. Rosa Filho, G., Carvalho, M. D., Andreotti, M., Montanari, R., Binotti F.F. & Gioia, M. T. (2009). Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, *33*, 283-293.
447. Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardt, T. & Thies, C. (2005). The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *J. Appl. Ecol.* *42*, 873–88

448. Ruiz-Vega, J. (1984). Soybean phenology and yield as influenced by environmental and management factors. Retrospective Theses and Dissertations. 8213. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/8213>
449. Ryabchenko O. & Nonhebel S. (2016). Assessing wheat production futures in the Ukraine. *Outlook on Agriculture*, 45 (3), 165 – 172. <https://doi.org/10.1177/0030727016664159>
450. Schäckermann, J, Weiss, N, Von Wehrdren, H. & Klein, AM. (2014). High trees increase sunflower seed predation by birds in an agricultural landscape of Israel. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2, 35.
451. Schaffartzik A, Plank C and Brad A 2014 Ukraine and the great biofuel potential? A political material flow analysis. *Ecol. Econ.* 104, 12–21.
452. Scheelbeek, P. F.D., Bird, F. A., Tuomisto, H. L., Green, R., Harris, F. B., Joy, E. J.M., Chalabi, Z., Allen, E., Haines, A. & Dangoura, A. D. (2018). Effect of environmental changes on vegetable and legume yields and nutritional quality. *PNAS*. 115(26), 6804–6809. doi: 10.1073/pnas.1800442115
453. Schepers, A. R., Shanahan, J. F., Liebzig, M. A., Schepers, J. S., Johnson, S. H. & Ariovaldo Luchiarra, J. (2004). Appropriateness of Management Zones for Characterizing Spatial Variability of Soil Properties and Irrigated Corn Yields across Years. *Agronomy Journal* 96, 195-203.
454. Schierhorn, F., Muller, D., Beringer, T., Prishchepov, A. V., Kuemmerle, T. & Balmann, A. (2013). Post-Soviet cropland abandonment and carbon sequestration in European Russia, Ukraine, and Belarus. *Glob. Biogeochem. Cycles.*, 27, 1175–1185.
455. Schlenker, W. & Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37), 15594-98. doi: 10.1073/pnas.0906865106
456. Schneider, M. K., Lüscher, G., Jeanneret, P., Arndorfer, M., Ammari, Y., Bailey, D. ... Herzog, F. (2014). Gains to species diversity in organically farmed

fields are not propagated at the farm level. *Nat. Commun.*, 5, 4151. doi: 10.1038/ncomms5151

457. Schippers, P., Heide, C. Koelewijn, H., Schouten, M., Smulders, M. J. M., Cobben, M. ... Verboom, J. (2015). Landscape diversity enhances the resilience of populations, ecosystems and local economy in rural areas. *Landscape Ecology*, 30, 193 – 202. doi:10.1007/s10980-014-0136-6.

458. Searle, B., Hedderley, D., Hunt, A., Jesson, L., Bloomer, D. & Pishief, J. (2017). Implications of plant-to-plant variability on spatial variability of yield in vegetable crops. 10.5281/zenodo.891088.

459. Shaxson, F. (2006). Re-thinking the conservation of carbon, water and soil: a different perspective. *Agronomy for Sustainable Development*, 26. 9-19. 10.1051/agro:2005054.

460. Silva, J.R.M.D. & Alexandre, C. (2005). Spatial Variability of Irrigated Corn Yield in Relation to Field Topography and Soil Chemical Characteristics. *Precision Agric.*, 6, 453–466

461. Sivakumar, M. V. K. & Valentin C. (1997). Agroecological zones and the assessment of crop production potential. *Phil. Trans. R. Soc. Lond*, 352 (1356), 907-916.

462. Smaliychuk, A., Müller, D., Prishchepov, A. V., Levers, C., Kruhlov, I. & Kuemmerle, T. (2016). Recultivation of abandoned agricultural lands in Ukraine: patterns and drivers. *Glob. Environ. Change*, 38, 70–81.

463. Smit, H.J., Metzger, M.J. & Ewert F. (2008). Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe, *Agric. Syst.* 98, 208–219.

464. Smith, F. H. (1938). An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *J. Agric. Sci.*, 28, 1–23.

465. Sparkes, D. L., Jaggard, K. W., Ramsden, S. J., & Scott, R. K. (1998). The effect of field margins on the yield of sugar beet and cereal crops. *Annals of Applied Biology*, 132, 129–142. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1998.tb05190.x>

466. Spinoni J., Naumann G., Vogt J. & Barbosa P. (2015). European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. *Glob. Planet. Change*, 127, 50–57. doi: 10.1016/j.gloplacha.2015.01.012
467. Stehfest, E, Heistermann, M, Priess, J A, Ojima, D S. & Alcamo, J. (2007). Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. *Ecological Modelling*, 209, 203–219.
468. Stenberg, B. (1998). Soil attributes as predictors of crop production under standardized conditions. *Biol. Fert. Soils.*, 27, 104-112.
469. Struk, D. H. (1993). *Encyclopedia of Ukraine*. Vol. 4, Ph-Sr. University of Toronto press.
470. Supit, I., van Diepen, C. A., de Wit, A. J. W., Wolf, J., Kabat, P., Baruth, B., & Ludwig, F. (2012). Assessing climate change effects on European crop yields using the Crop Growth Monitoring System and a weather generator. *Agricultural and Forest Meteorology*, 164, 96 – 111.
471. Suriadikusumah, A. & Herdiansyah, D. G. (2014). Study on land resources based on agro-ecological zones in Bandung district, West Java-Indonesia. *International Journal of Applied Science and Technology*, 4(4), 212 -220.
472. Swinnen, J., Burkitbayeva, S., Schierhorn, F., Prishchepov, A.V. & Muller, D. 2017. Production potential in the "bread baskets" of Eastern Europe and Central Asia. *Global Food Security-agriculture Policy Economics and Environment*. 14, 38-53. doi: 10.1016/j.gfs.2017.03.005
473. Sutter, L., Albrecht, M., & Jeanneret, P. (2018). Landscape greening and local creation of wildflower strips and hedgerows promote multiple ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 612–620. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12977>
474. Sys, C., Van Ranst, E. & Debaveye, J. (1991). *Land evaluation. Part 1. Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation*. Brussels, Belgium: Agricultural Publication.



475. Tack, J., Barkley, A., & Nalley, L. L. (2015). Effect of warming temperatures on US wheat yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(22), 6931–36. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1415181112>

476. Tester, M. & Langridge, P. (2010). Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, *327*, 818–822.

477. Thaler, S., Eitzinger, J., Trnka, M., & Dubrovsky, M. (2012). Impacts of climate change and alternative adaptation options on winter wheat yield and water productivity in a dry climate in Central Europe. *Journal of Agricultural Science*, *150*(5), 537–555. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000093>

478. Thies, C., & Tscharntke, T. (1999). Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science*, *285*(5429), 893–895. <https://doi.org/10.1126/science.285.5429.893>

479. Thornton, P. K., Ericksen P. J., Herrero M. & Challinor A.J. (2014). Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biology*. *20*, 3313–3328, doi: 10.1111/gcb.12581

480. Tigchelaar, M., Battisti, D.S., Naylor, R. L., & Ray, D. K. (2018). Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks. *PNAS*, *115*(26). 6644–6649. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718031115>

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

482. Tscharntke, T., Tylianakis, J., Rand, T., Didham, R., Fahrig, L., Batary, P., Bengtsson, J., Clough, Y., Crist, T., Dormann, C., Ewers, R., Holt, R., Holzschuh, A., Klein, A., Kremen, C., Landis, D., Laurance, W., Lindenmayer, D., Scherber, C., Sodhi, N., Steffan–Dewenter, I. & Thies, C., vanderPutten, W., Westphal, C., (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes – eight hypotheses. *Biol. Rev.* *87*, 661–685.

483. Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., & Jacot, K. (2015). High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage.

Proceedings of the Royal Society B: *Biological Sciences*, 282(1814), 20151369.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1369>

484. Turner, M. G. (1990). Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape ecology*, 4(1), 21-30.
485. Tyagi, S. D, Khan ,M. H & Silva J. A. T. (2010). Yield Stability of some Soybean Genotypes across Diverse Environments. *International Journal of Plant Breeding*, 5(1), 37-41.
486. Ukraine: Sugar sector review. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2013; 90 p. <http://www.fao.org/support-to-investment/en>
487. Urban, D.W, Sheffield, J. & Lobell, D.B. (2015). The impacts of future climate and carbon dioxide changes on the average and variability of US maize yields under two emission scenarios. *Environ. Res. Lett.*, 10, 045003
488. Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A. & Álvarez-Buylla, E. R. (2019). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, 102697. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
489. USDA (United States Department of Agriculture). (2017, March 9). *Production, supply, and distribution (PSD) reports-Oilseeds*. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads?tabName=default> (Accessed March 28, 2017)
490. Valdez-Cepeda, R. D. & Olivares-Saenz, E. (1998). Fractal analysis of Mexico's annual mean yields of maize, bean, wheat and rice. *Field Crops Research*, 59, 53-62.
491. Valin, H., Sands, R. D., van der Mensbrugge, D., Nelson, G. C., Ahammad, H., Blanc, E. ... Willenbockel, D. (2014). The future of food demand: understanding differences in economic models. *Agric. Econ.*, 45, 51 – 67. doi: 10.1111/agec.12089
492. Van Ittersum, M. & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crop Res.* 52, 197–208. doi: 10.1016/S0378-4290(97)00037-3

493. Verma, A. & Pratap, C. (1989). Agro climatic zones. Profiles and Issues. Agro-climatic Regional Planning UNIT (ARPU) Working paper, Ahmedabad: Sardar Patel Inst. of Econ. and Soc. Res.
494. Vieira, S. & Paz-González, A. (2003). Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia: revista de ciencias agronómicas (Brasil)*, 1(62). 10.1590/S0006-87052003000100016.
495. Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494–499. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.494>
496. Wang, T., Lu, C. & Yu, B. (2011). Production potential and yield gaps of summer maize in the Beijing-Tianjin-Hebei Region. *J. Geogr. Sci.* 21, 677 – 688 doi:10.1007/s11442-011-0872-3
497. Wart J. K., Kersebaum K.C., Peng S., Milner M. & Cassmana K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*. 143, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.018>.
498. Waynick, D.D. (1918). Variability in soils and its significance to past and future soil investigations. I. Statistical study of nitrification in soils. *Agricultural Sciences*, 3(9), 243-270.
499. Whelan, C.J., Wenny, D.G. & Marquis, R.J. (2008) Ecosystem services provided by birds. *Ann N Y Acad Sci.*, 1134, 25 – 60.
500. White J. W., Hoogenboom G., Kimball B. A. & Wall G. W. (2011). Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crop. Res.* 124, 357–368. doi: 10.1016/j.fcr.2011.07.001
501. Wilcox, A., Perry, N. H., Boatman, N. D., & Chaney, K. (2000). Factors affecting the yield of winter cereals in crop margins. *Journal of Agricultural Science*, 135(4), 335–346. <https://doi.org/10.1017/S002185969900828X>
502. Wong, M.T.F. & Asseng S. (2006). Determining the causes of spatial and temporal variability of wheat yields at sub-field scale using a new method of upscaling a crop model. *Plant Soil*, 283, 203–215.

503. Woodcock, B. A., Bullock, J. M., McCracken, M., Chapman, R. E., Ball, S. L., Edwards, M. E., ... Pywell, R. F. (2016). Spill-over of pest control and pollination services into arable crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 15–23.
504. Wu, D, Yu, Q, Lu, C & Hengsdijk H. (2006). Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. *European Journal of Agronomy*, 24, 226–235.
505. Xiao, D.P, Moiwo, J.P., Tao, F.L., Yang, Y.H., Shen, Y.J., Xu, Q.H, Liu, J.F., Zhang, H. & Liu, F.S. (2015). Spatiotemporal variability of winter wheat phenology in response to weather and climate variability in China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20 (7), 1191 – 1202. doi: 10.1007/s11027-013-9531-6
506. Zhang, S., Zhang, X., Qiu, X., Tang, L., Zhu, Y., Cao, W. & Liu, L. (2017). Quantifying the spatial variation in the potential productivity and yield gap of winter wheat in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 845-857. 10.1016/S2095-3119(16)61467-3.
507. Zhao C, et al. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proc Natl Acad Sci USA*, 114, 9326–9331.
508. Zhukov, O.V. & Ponomarenko, S.V. (2017). Spatial-temporal dynamics of sunflower yield – the ecological and agricultural approach. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(3), 186–207, doi: 10.15421/2017\_68
509. Zhukov, O., Kunah, O., Dubinina, Y. & Novikova, V. (2018). The Role of Edaphic and Vegetation Factors in Structuring Beta Diversity of the Soil Macrofauna Community of the Dnipro River Arena Terrace. *Ekológia (Bratislava)*, 37, 301-327. 10.2478/eko-2018-0023.
510. Zymaroieva A.A.& Fedonyuk T. P. Assessing the spatiotemporal dynamics of maize yield in the central and northern regions of Ukraine. *Agrology*. 2019. 2(4), P. 199–204. doi: 10.32819/019028

511. Zymaroieva A., Zhukov O., Fedonyuk T. & Pinkin A. (2019a). 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>
512. Zymaroieva A., Zhukov O., Romanchuck L., Pinkin A. (2019b). Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (6), 1107–1113.
513. Zymaroieva A., Zhukov O., Fedonyuk T., Pinkina T. (2020a). The spatio-temporal trend of rapeseed yields in Ukraine as a marker of agro-economic factors influence. *Agronomy Research*, 18(S2), 1584–1596. <https://doi.org/10.15159/ar.20.119>.
514. Zymaroieva, A., Zhukov, O. & Romanchuck, L. (2020b). 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>
515. 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>
516. 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>
517. 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>
518. Zymaroieva, A., Fedoniuk, T., Matkovska, S., Andreieva, O., & Pazych, V. (2021). Agroecological Determinants of Potato Spatiotemporal Yield Variation at

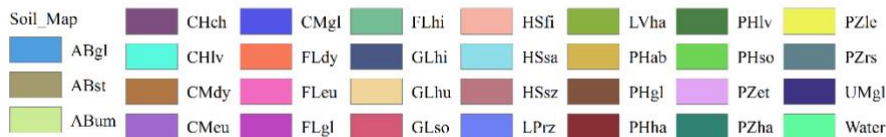
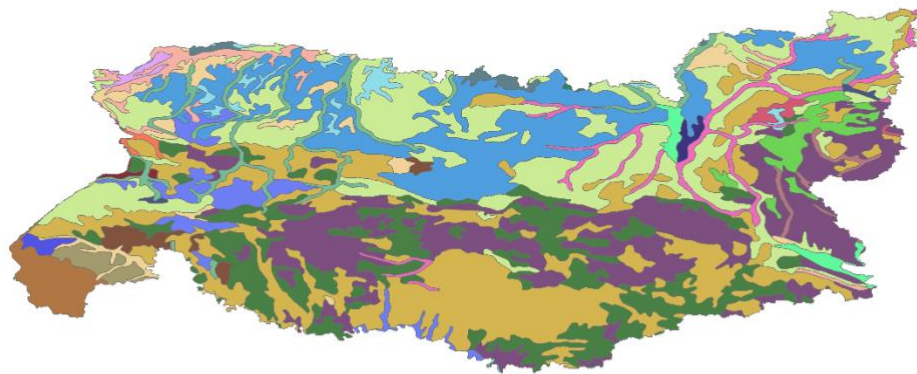
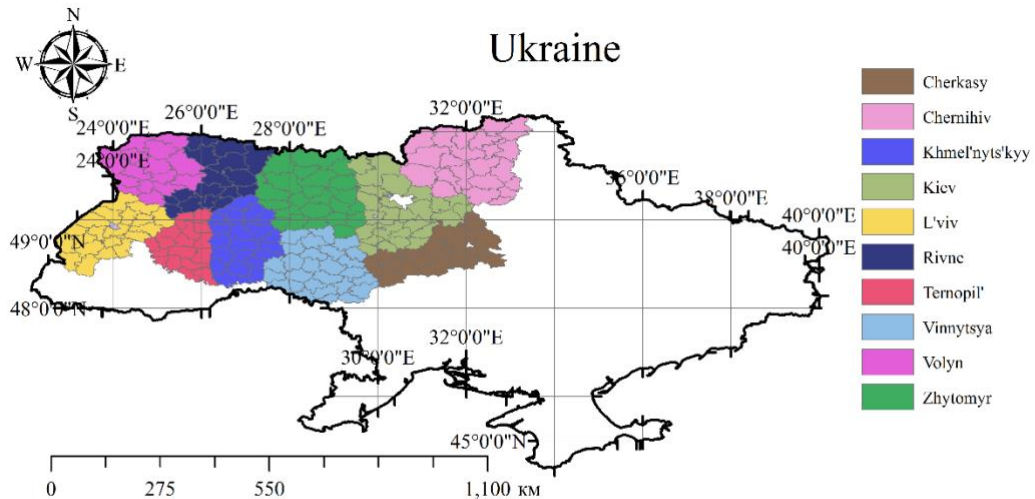
the Landscape Level in the Central and Northern Ukraine. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 4(2), 34-47. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040203>.

519. 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

520. Zymaroieva, A., & Nykytiuk, Y. (2023). Agroecological drivers of winte rye (*Secale cereale*) yield spatio-temporal variation. *Agrology*, 6(4), 86–91. doi: 10.32819/021114.

# ДОДАТКИ

## ДОДАТОК 1

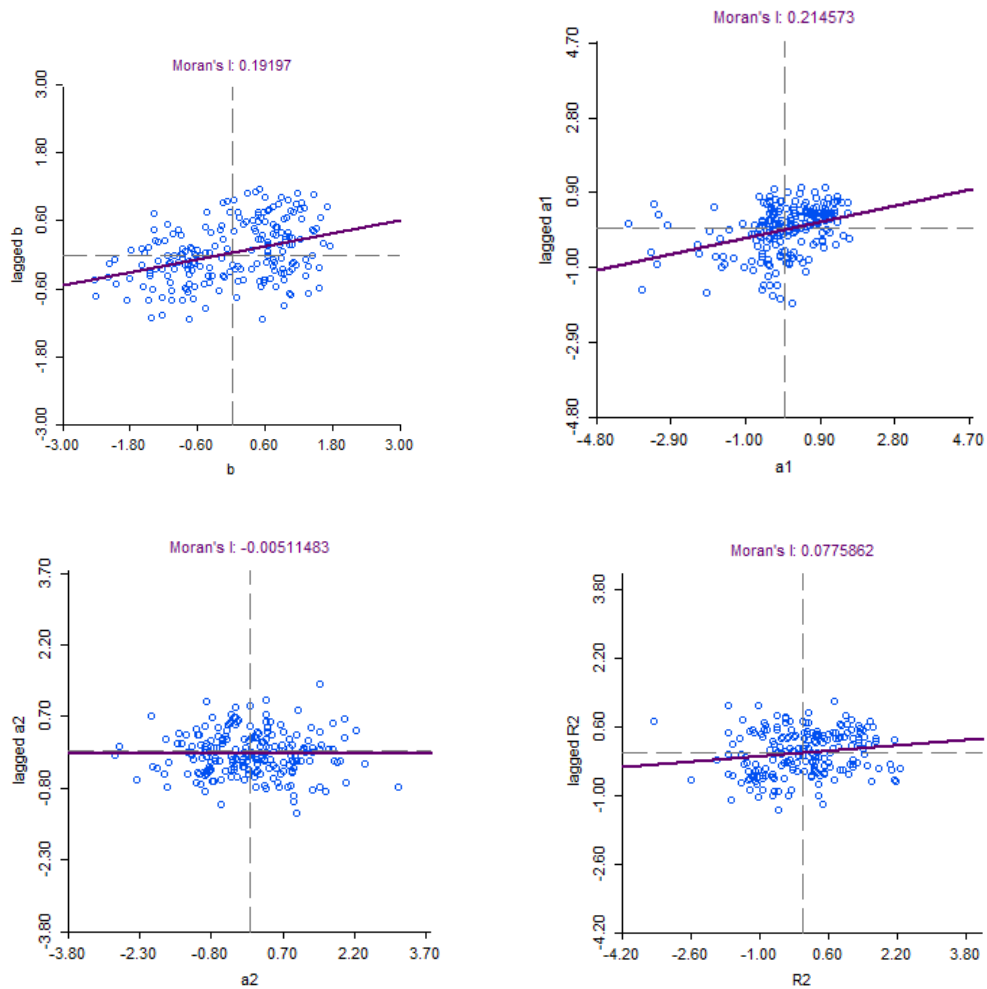


Карта 10 адміністративних регіонів України та карта ґрунтів (за даними Hengl et al, 2017 [297])

**Легенда:** Класифікація ґрунтів згідно Всесвітньої довідкової бази ґрунтових ресурсів: (Hengl et al, 2017): ABgl – Альбелювісоль Глеїк, ABst – Альбелювісоль Стагнік; ABum – Альбелювісоль Умбрік; CHch – Чернозем Чернік; CHlv – Чернозем Лювік; CMdy – Самбісоль Дістрік; CMeu – Самбісоль Еутрік; CMgl – Самбісоль Глеїк; FLdy – Флювісоль Дістрік; FLeu – Флювісоль Еутрік; FLgl – Глеїс Флювісоль; FLhi – Флювісоль Гістік; GLhi – Глейсоль Гістік; GLhu – Глейсоль Гумік; GLso – Глейсоль Содік; HSfi – Гістосоль Фібрік; HSsa – Гістосоль Сапрік; HSsz – Гістосоль Салік; LPrz – Лептосоль Рендзік; LVha – Хаплік Лувісоль; PHab – Феозем Альбік; PHgl – Феозем Глеїк; PHha – Феозем Гаплік; PHlv – Феозем Лювік; PHso – Феоземс Содік; PZet – Подзол Ентік; PZha – Подзол Гаплік; PZle – Лептік Подзол; PZrs – Подзол Рустік.

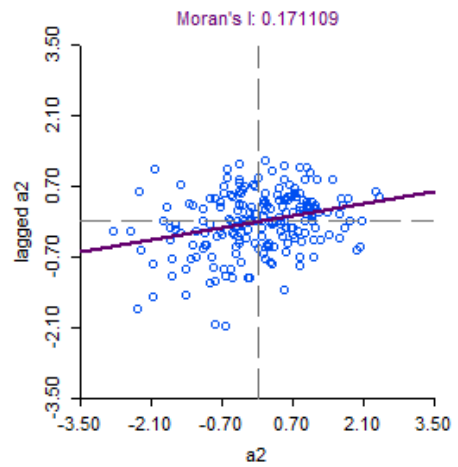
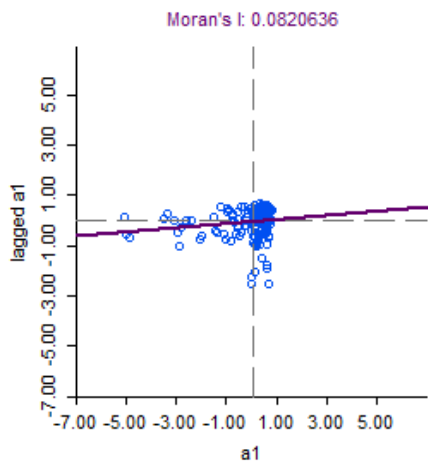
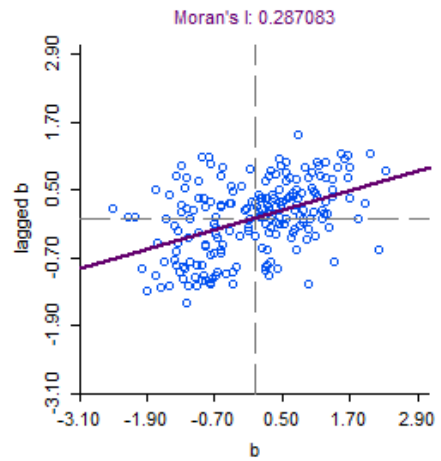
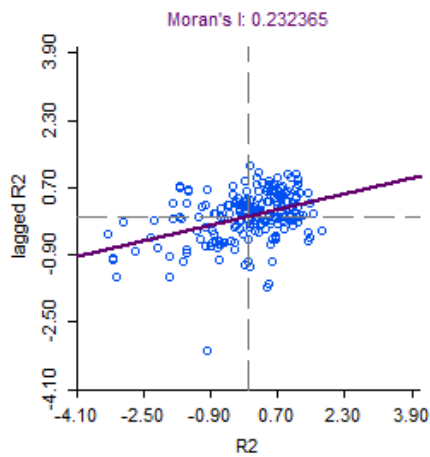


## ДОДАТОК 2



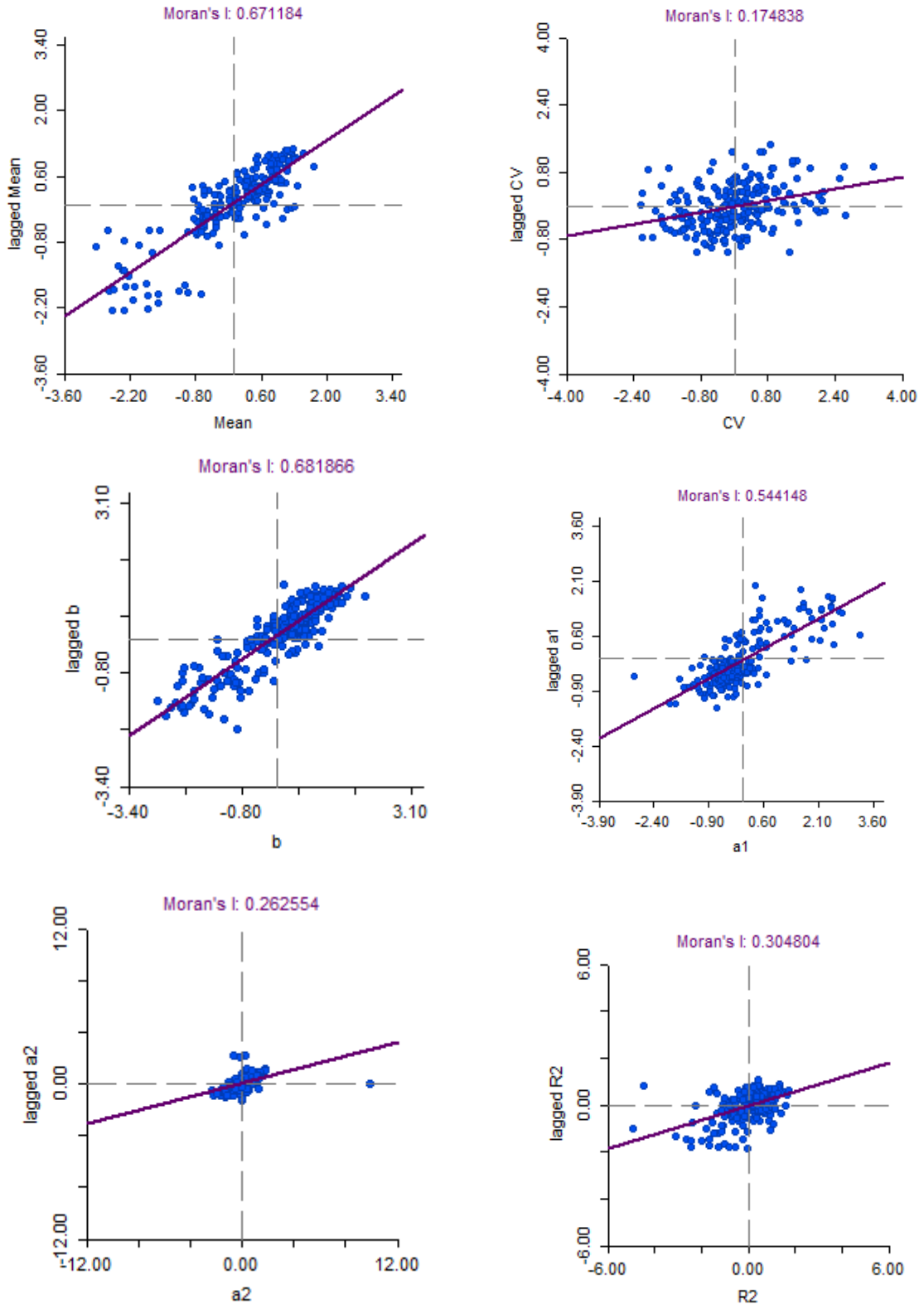
Оцінка просторової залежності параметрів моделі урожайності кукурудзи за  $I$ -статистикою Морана. **Умовні позначки:** ось абсцис – значення змінної:  $b$  – вільний член поліному четвертого ступеню,  $a1$  – максимальна швидкість зниження врожайності,  $a2$  – максимальна швидкість зростання врожайності,  $R^2$  або  $R2$  – коефіцієнт детермінації; ось ординат – побудована на її основі просторово-залежна змінна.

## ДОДАТОК 3



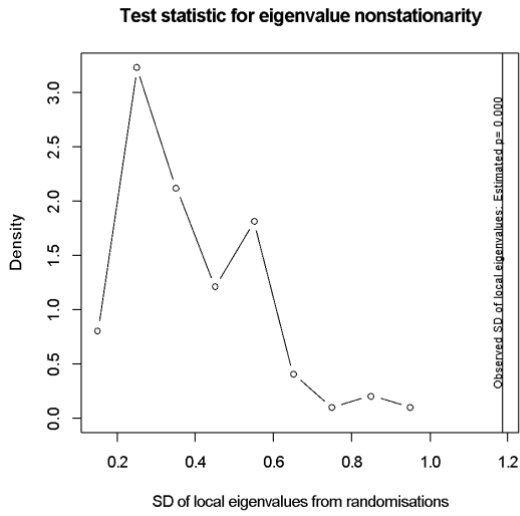
Оцінка просторової залежності параметрів моделі урожайності картоплі за  $I$ -статистикою Морана. **Умовні позначки:** ось абсцис – значення змінної:  $b$  – вільний член поліному четвертого ступеню,  $a_1$  – максимальна швидкість зниження врожайності,  $a_2$  – максимальна швидкість зростання врожайності,  $R^2$  або  $R^2$  – коефіцієнт детермінації; ось ординат – побудована на її основі просторово-залежна змінна.

## ДОДАТОК 4

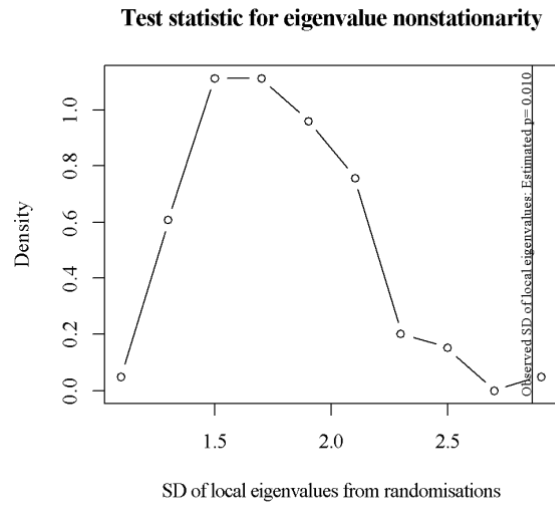


Оцінка просторової залежності параметрів моделі урожайності овочів за  $I$ -статистикою Морана. **Умовні позначки:** ось абсцис – значення змінної: Mean – середнє значення врожайності, CV – коефіцієнт варіації, b – вільний член поліному четвертого ступеню, a1 – максимальна швидкість зниження врожайності, a2 – максимальна швидкість зростання врожайності,  $R^2$  або R2 – коефіцієнт детермінації; ось ординат – побудована на її основі просторово-залежна змінна.

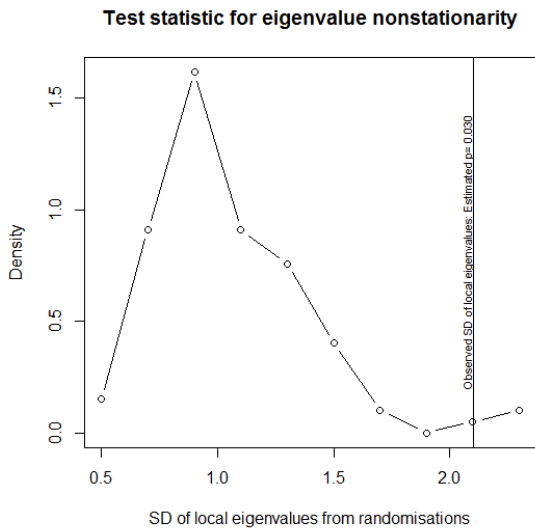
ДОДАТОК 5



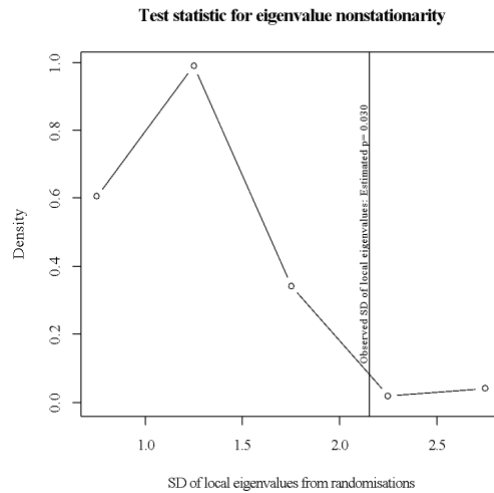
А



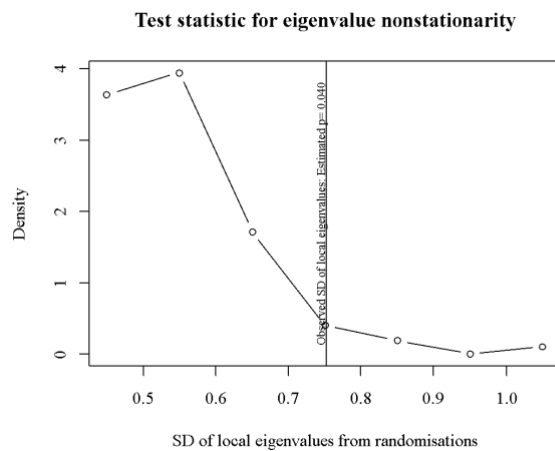
Б



В



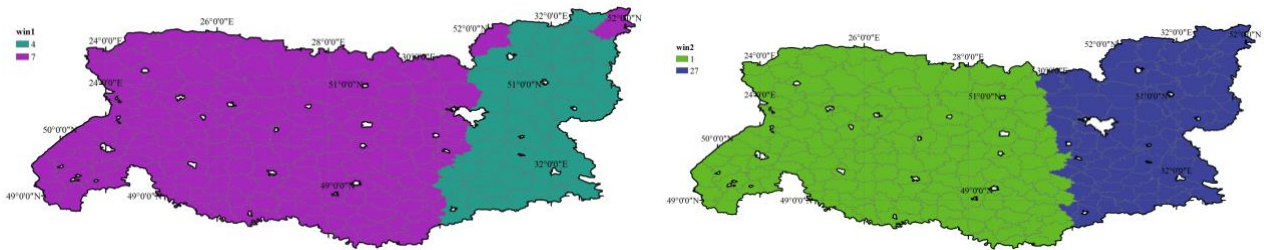
Г



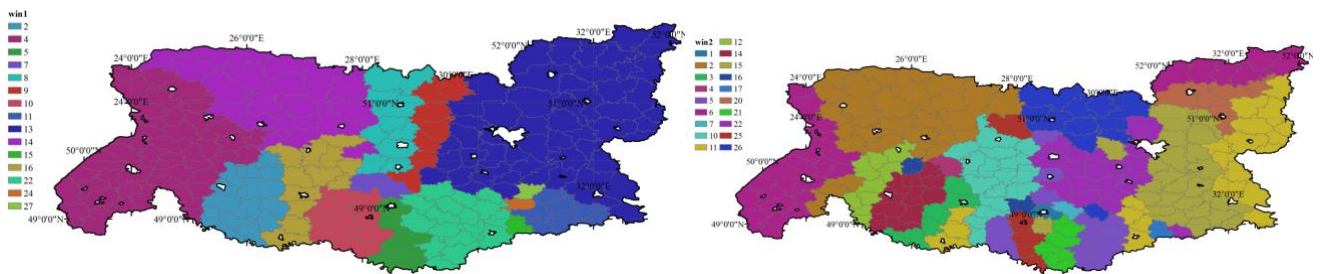
Д

Тест Монте-Карло для GWPCA за культурами: А – картопля, Б – цукровий буряк, В – овочі, Г – ріпак, Д – соняшник.

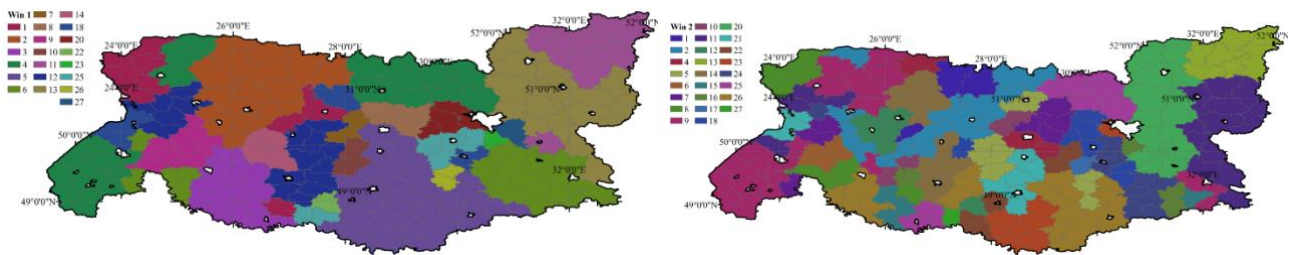
## ДОДАТОК 6



А



Б



В

Просторове розміщення «виграшних» змінних для головних компонент 1–2 для: А – кукурудзи, Б – овочів, В – цукрового буряка.

## ДОДАТОК 7

## Факторний аналіз просторової варіабельності ґрунтових умов

Змінна	Шар	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6
Запаси гумусу	0–0,05	0,71	0,59	0,31	–	0,32	–
	0,05–0,15	0,41	0,86	0,21	–0,14	0,42	–
	0,15–0,3	0,19	0,90	0,41	–0,15	0,49	–
	0,3–0,6	0,24	0,84	0,52	–0,26	0,48	0,16
	0,6–1	0,38	0,78	0,49	–0,22	0,50	0,14
	1–2	0,38	0,79	0,43	–	0,53	0,14
рН	0–0,05	–0,86	–	–	–0,32	0,23	–
	0,05–0,15	–0,91	–	0,17	–0,14	0,18	–
	0,15–0,3	–0,91	–	0,18	–0,14	0,19	–
	0,3–0,6	–0,89	–	0,15	–0,15	0,19	–
	0,6–1	–0,88	–	0,25	–0,22	0,19	–
	1–2	–0,83	–	0,32	–0,29	0,21	–
	2–3	–0,82	–	0,33	–0,29	0,21	–
Щільність ґрунту	0–0,05	–0,82	–0,32	–	–	–0,17	0,14
	0,05–0,15	–0,57	–0,63	0,26	–	–	–
	0,15–0,3	–0,27	–0,75	0,34	–	–	–
	0,3–0,6	–	–0,78	0,28	0,31	–	–
	0,6–1	0,41	–0,63	–	0,39	–	0,22
	1–2	0,81	–0,29	0,29	0,16	–	0,22
	2–3	0,81	–0,31	0,30	–	–	0,20
Пісок	0–0,05	0,98	–	0,34	–0,19	–0,14	–
	0,05–0,15	0,98	–	0,35	–0,19	–0,14	–
	0,15–0,3	0,98	–	0,34	–0,19	–0,14	–
	0,3–0,6	0,98	–	0,33	–0,18	–0,14	–
	0,6–1	0,98	–	0,32	–0,17	–0,15	–
	1–2	0,98	–	0,32	–0,16	–0,15	–
	2–3	0,98	–	0,32	–0,16	–0,14	–
Глина	0–0,05	–0,97	–	–0,19	0,20	–	0,16
	0,05–0,15	–0,97	–	–0,19	0,20	–	0,17
	0,15–0,3	–0,96	–	–0,18	0,21	–	0,18
	0,3–0,6	–0,97	–	–0,16	0,21	–	0,18
	0,6–1	–0,96	–	–0,19	0,26	–	0,19
	1–2	–0,95	–	–0,20	0,28	–	0,18
	2–3	–0,95	–	–0,23	0,30	–	0,18
Мул	0–0,05	–0,94	–	–0,34	0,37	0,18	–0,22
	0,05–0,15	–0,94	–	–0,34	0,37	0,18	–0,22
	0,15–0,3	–0,94	–	–0,34	0,37	0,18	–0,23
	0,3–0,6	–0,94	–	–0,34	0,35	0,18	–0,23
	0,6–1	–0,95	–	–0,30	0,31	0,20	–0,24
	1–2	–0,95	–	–0,29	0,29	0,20	–0,24
	2–3	–0,96	–	–0,28	0,29	0,20	–0,23
Власне значення		28,49	6,29	2,78	2,47	1,69	1,05
% загальної варіації		65, 63	14,50	6,40	5,69	3,88	2,41

## ДОДАТОК 8

## Структура типів ландшафтного покриття

Код	Тип ландшафтного покриття	Площа	
		км <sup>2</sup>	%
14	Орні землі без штучного поливу	62384.9	26.69
20	Мозаїчні орні землі (50-70%) / рослинність (луки/чагарники/ліс) (20-50%)	79835.5	34.16
30	Мозаїчна рослинність (луки/чагарники/ліс) (50-70%) / орні землі (20-50%)	19731.1	8.44
50	Зімкнутий (>40%) широколистяний ліс (>5м)	36311.6	15.54
70	Зімкнутий (>40%) хвойний вічнозелений ліс (>5м)	7525.2	3.22
90	Незімкнутий (15-40%) хвойно-листяний або вічнозелений ліс (>5м)	1628.9	0.70
100	Незімкнутий (>15%) змішаний широколистяно-хвойний ліс (>5м)	17419.1	7.45
110	Мозаїчний ліс або чагарник (50-70%) / пасовище (20-50%)	53.8	0.02
120	Мозаїчні луки (50-70%) / ліси або чагарники (20-50%)	2469.0	1.06
140	Відкрита (>15%) трав'яниста рослинність (луки, савани або лишайники/мохи)	212.5	0.09
150	Розріджена (<15%) рослинність	542.7	0.23
180	Зімкнуті або незімкнуті (>15%) луки або деревна рослинність на регулярно затоплюваних або перезволожених ґрунтах - Прісна, солонувата або солоня вода	1345.0	0.58
190	Штучні покриття та пов'язані з ними території (міські території >50%)	1037.3	0.44
200	Відкриті ділянки	19.3	0.01
210	Водні об'єкти	3223.2	1.38

ДОДАТОК 9  
Список публікацій здобувача в яких опубліковані основні наукові  
результати дисертації

У виданнях, які включені до наукометричних баз Web of Science та  
Scopus

1. Kuna, O. M., Pakhomov, O. Y., Zymaroieva, A.A., Demchuk, N.I., Skupskyi, R.M., Bezuhla, L.S. & Vladyka, Y.P. (2018). Agroeconomic and 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, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків, написання статті).

3. Zymaroieva, A., Zhukov, O., Romanchuck, L. & Pinkin, A. (2019). Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (6), 1107–1113. **Scopus** (особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання 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., **Zimarioieva 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., **Zymarioieva, 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, підбір та опрацювання літератури, 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 буряка 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, підбір та опрацювання літератури, 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.) Merril) 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. **Zymarioieva 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, підбір та опрацювання літератури, збір та обробка експериментальних даних, написання анотації).





ЗАТВЕРДЖУЮ  
Ректор Поліського національного  
університету

Скидан О.В.

« 08 » січня 2024 р.

### АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження ЗИМАРОЄВОЇ Анастасії Анатоліївни на тему: «Агроєкологічні детермінанти просторово-часової динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України» на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія.

#### Комісія у складі:

Голова: керівник навчально-наукового центру екології та охорони навколишнього середовища, д.с.-г.н., професор кафедри екології, Федонюк Т. П.

Члени комісії:

1. декан факультету лісового господарства та екології, к.с.-г.н., доцент Вишневський А. В.
2. завідувач кафедри ґрунтознавства та землеробства, к.с.-г.н., доцент Журавель С.В.
3. виконуюча обов'язків завідувача кафедри технологій у рослинництві к.с.-г.н., доцент Столяр С.Г.

цим Актом засвідчує, що результати дисертаційного дослідження Зимароєвої Анастасії Анатоліївни на тему: «Агроєкологічні детермінанти просторово-часової динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України» використані співробітниками кафедри екології, ґрунтознавства та землеробства та технологій у рослинництві Поліського національного університету при підготовці і викладанні курсів лекцій «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» для спеціальностей: 101 – Екологія та 201 – Агрономія.

Голова комісії:  
д.с.-г.н., професор

Федонюк Т.П.

Члени комісії  
к.с.-г.н., доцент  
к.с.-г.н., доцент  
к.с.-г.н., доцент

Вишневський А.В.  
Журавель С.В.  
Столяр С.Г.

« 08 » січня 2024 р.



**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
(МІНДОВКІЛЛЯ)**

вул. Митрополита Василя Липківського, 35, м. Київ, 03035, тел.: (044) 206-31-00, (044) 206-31-15,  
факс: (044) 206-31-07, E-mail: info@meprr.gov.ua, ідентифікаційний код 43672853

26.02.2024

На № \_\_\_\_\_

**ДОВІДКА**  
**про впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача**  
**Поліського національного університету**  
**Зимарової Анастасії Анатоліївни**

Даною довідкою засвідчуємо, що результати наукових досліджень здобувачки Поліського національного університету Зимарової А. А. за темою «Агроекологічні детермінанти просторово-часової динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України» взяті до впровадження, а саме методика для комплексної екологічної оцінки сільськогосподарських ландшафтів та їх потенціалу для вирощування конкретних культур.

Проведені дослідження відповідають стратегічним цілям Національної екологічної політики, а саме: сталому розвитку та збалансованому використанню природних ресурсів, а також Концепції загальнодержавної програми збереження біорізноманіття на 2005 – 2025 роки та Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. Запропонована у роботі методика оцінки продукційного потенціалу та агродинамічного зонування агроландшафтів може підвищити ефективність діяльності органів влади з адаптації до зміни клімату, спрямованої на мінімізацію поточних і очікуваних негативних наслідків екстремальних явищ погоди і стихійних лих на території України. Встановлені у ході дослідження моделі взаємодії між факторами ландшафтного різноманіття та урожайністю сільськогосподарських культур можуть бути використані при обґрунтуванні створення нових об'єктів природо-заповідного фонду або збереження елементів природного ландшафту в агроекосистемах.

**Заступник Міністра**  
**з питань цифрового розвитку,**  
**цифрових трансформацій і цифровізації**



**Сергій ВЛАСЕНКО**



ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА ІНСПЕКЦІЯ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА ІНСПЕКЦІЯ  
ПОЛІСЬКОГО ОКРУГУ

вул. Л.Качинського, 12а, м. Житомир, 10014, тел./факс: (0412) 42-24-38

e-mail: [polissya@dei.gov.ua](mailto:polissya@dei.gov.ua), код згідно з ЄДРПОУ 42163803

від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_ на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

У спеціалізовану вчену раду по захисту дисертаційних робіт на здобуття вченого ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 - екологія

**ДОВІДКА**

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача  
Поліського національного університету  
ЗИМАРОЄВОЇ Анастасії Анатоліївни**

Даною довідкою засвідчуємо, що результати наукових досліджень здобувачки Поліського національного університету ЗИМАРОЄВОЇ А. А. за темою «Агроекологічні детермінанти просторово-часової динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України» взяті до впровадження, а саме методика для комплексної екологічної оцінки сільськогосподарських ландшафтів та їх потенціалу для вирощування конкретних культур.

Проведені дослідження можуть стати відправною точкою для моделювання продукційного потенціалу агроecosистем під впливом зміни клімату та деградаційних процесів у ґрунтах. Також, встановлені у ході дослідження моделі взаємодії між факторами ландшафтного різноманіття та урожайністю сільськогосподарських культур у великих просторових масштабах можуть бути використані при обґрунтуванні створення нових об'єктів природо-заповідного фонду або природних осередків поблизу агроландшафтів у зв'язку із їх важливими «екосистемними послугами».



**Євгеній МЕДВЕДОВСЬКИЙ**



**ЖИТОМИРСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ**  
**ЖИТОМИРСЬКА ОБЛАСНА ВІЙСЬКОВА АДМІНІСТРАЦІЯ**  
**УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ**

вул. Театральна 17/20, м. Житомир, 10014; тел./факс (0412) 47-25-36;  
www.eprdep.zht.gov.ua E-mail: [pryroda@eprdep.zht.gov.ua](mailto:pryroda@eprdep.zht.gov.ua) код ЄДРПОУ 38708695

*Від 15.02.2024 №415/1-3/1*

У спеціалізовану вчену раду по захисту дисертаційних робіт на здобуття вченого ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 - екологія

**ДОВІДКА**

про впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача  
Поліського національного університету  
**Зимаросвої Анастасії Анатоліївни**

Засвідчуємо, що результати наукових досліджень здобувача Поліського національного університету *Зимаросвої А. А.* за темою «*Агроекологічні детермінанти просторово-часової динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України*» взяті до впровадження при виконанні завдань покладених на Управління екології та природних ресурсів Житомирської обласної державної адміністрації, а саме: сприяння у здійсненні заходів щодо збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, формування екомережі, розвитку заповідної справи охорони та використання територій та об'єктів природно-заповідного фонду на території Житомирської області.

Зокрема, у дослідженнях *Зимаросвої А. А.* розроблені просторові моделі взаємовпливу ландшафтного різноманіття та продукційного потенціалу агроландшафтів, які можуть бути використані при обґрунтуванні створення нових об'єктів природо-заповідного фонду або природних осередків поблизу агроландшафтів у зв'язку із їх важливими «екосистемними послугами». Також, у роботі апробована методика визначення геоекологічних детермінантів просторових моделей біорізноманіття на основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), яка може бути використана з метою моніторингу та контролю популяцій тварин. Більш того, у роботі розроблені методичні підходи, що можуть бути застосовані для управління природоохоронними територіями.

Всі теоретичні і практичні положення дисертації достатньо підтверджені і ілюструються авторськими експериментальними даними, широко апробовані у 53 наукових вітчизняних на зарубіжних публікаціях.

**Заступник начальника**



**Микола СЕМЕНЮК**



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ З УПРАВЛІННЯ ЗОНОЮ ВІДЧУЖЕННЯ  
**ЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ РАДІАЦІЙНО - ЕКОЛОГІЧНИЙ  
БІОСФЕРНИЙ ЗАПОВІДНИК**

вул. Толочина, 28, смт Іванків, Вишгородський район, Київська обл., 07201, тел.: (04591) 5-13-06,  
вул. Преображенська, 25, м. Київ, 03110, тел.: (044) 275-01-88,  
E-mail: info@zapovidnyk.org.ua, сайт: www.zapovidnyk.org.ua  
код згідно з ЄДРПОУ 41246328

від 15.02 2024 р. № 01-273/02 на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Спеціалізованій вченій раді по захисту дисертаційних робіт на здобуття вченого ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 - екологія

**ДОВІДКА**  
**про впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача**  
**Поліського національного університету**  
**ЗИМАРОЄВОЇ Анастасії Анатоліївни**

Даною довідкою засвідчуємо, що результати наукових досліджень здобувачки Поліського національного університету А. Зимароєвої за темою «Агроекологічні детермінанти просторово-часової динаміки продукційного потенціалу сільськогосподарських ландшафтів Поліської та Лісостепової зон України» взяті до впровадження при розробці Стратегії імплементації ГІС-технологій у виробничу діяльність Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника. Також, результати дисертації були застосовані при виконанні 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» за договором № 118/19, де А. Зимароєва була виконавцем.

Директор

Олександр ГАЛУЩЕНКО