

Spatial-temporal dynamics of sunflower yield – the ecological and agricultural approach

O.V. Zhukov¹, S.V. Ponomarenko²

¹*Oles Honchar Dnipropetrovsk National University
Gagarina Prospekt 72, Dnipro, Ukraine, 490102*

²*Poltava State Agrarian Academy
Skovorody str. 1/3, Poltava, Ukraine, 36003
E-mail: zhukov_dnepr@rambler.ru
Tel.: +380985079682*

Submitted 13.08.2017. Accepted 20.09.2017

Dynamics of sunflower yield in agricultural enterprises in the administrative districts of the Poltava region for the period 1995–2016 have been explored. Agroecological zoning of the Poltava region that is based on dynamic productivity features sunflower have been performed. We founded that sunflower yield fluctuated in the farms of Poltava region from 13.36 ± 1.40 to 21.81 ± 1.89 t/ha within 1995–2016. The lowest level of variation (CV) of sunflower yields during the study period was 28.33% and the highest was 49.03%. The great yield range was caused by spatial variation component. The analysis of sunflower yield revealed clear trends which can be described by the third polynomial order. Specific terms of polynomial curve of the third order can be meaningfully interpreted and applied to describe the dynamics of sunflower yield. The free coefficient of the polynomial reflects the level of sunflower productivity in the starting period. The value of the function at the point of local minimum points to the "bottom" of the dynamics of productivity culture. The maximum productivity reflects a balance between factors of the agroecological and agrotechnological nature and also the biological potential of the sunflower. Parameters and special trend point of sunflower yield can be explained by landscape cover diversity indicators, topographic wetness index, erosion factors and their interaction. According to the forecast value of growth rate the study plots were divided into three groups of agriculture environment, namely: with low potential of growth ($b < 0.044$), moderate growth potential ($0.044 < b < 0.051$), and high growth potential ($b > 0.051$). Sunflower yield variability which is outside the polynomial trend can be described by four multidimensional factors that explained up to 84.9% of variability. These factors were characterized by definite spatial and temporal variability. The most typical oscillation period is 4.4 years and 2.2 years, whereas the longest period was 11 years. We also determined some periods of 5.5 and 7.3 years. We determined some clusters or agro-ecological zones by factor analysis. The highest yield potential of sunflower was registered for agro-ecological zone with disruptive areas in the east of study region. The area with lowest productive capacity was determined for agro-ecological zones in the northwest. We determined the transitional zones concerning the yields characteristic in the center and eastern part of study region.

Keywords: sunflower; yield; dynamics; landscape diversity; topographical wetness index; erosion factor

Агроекологічні аспекти просторово-часової динаміки урожайності соняшнику

О.В. Жуков¹, С.В. Пономаренко²

¹*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010*

²*Полтавська державна аграрна академія
вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003
E-mail: zhukov_dnepr@rambler.ru
Тел.: +380985079682*

У роботі досліджено динаміку урожайності соняшнику в сільськогосподарських підприємствах Полтавської області по адміністративним районам за період 1995–2016 рр., встановлені складові цієї динаміки, показана роль просторової та агроекологічної компонент у формуванні цих складових та виконане агроекологічне районування території Полтавської області на основі динамічних особливостей урожайності соняшнику. Встановлено, що врожайність соняшнику в сільськогосподарських підприємствах Полтавської області по районах у середньому за 1995–2016 рр. варіювала в межах від $13,36 \pm 1,40$ ц/га (Чорнуханський район) до $21,81 \pm 1,89$ ц/га (Великобагачанський). Найменший рівень варіювання показників врожайності соняшнику за період дослідження був характерний для Котелевського району (коефіцієнт варіації 28,33 %), а найбільший – для Чорнуханського (CV = 49,03 %). Просторова компонента варіювання середнього рівня врожайності соняшнику дуже значна. Аналіз динаміки урожайності соняшнику в сільськогосподарських підприємствах Полтавської області у часі вказує на наявність чіткого тренду зміни врожайності за період дослідження, який можна описати за допомогою поліному третього порядку. Особливі точки поліноміальної кривої третього порядку можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності соняшнику. Вільний член поліному вказує на урожайність культури в стартовий період. Значення функції в точці локального мінімуму вказує на «дно» динаміки урожайності культури. Стан максимуму продуктивності культури відбиває певну рівновагу між факторами агроекономічної та агротехнологічної природи з одного боку та біологічним потенціалом – з іншого. Параметри та особливі точки тренду урожайності соняшнику можуть бути пояснені за допомогою показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії. Відповідно до прогнозованого значення коефіцієнту зростання райони розподілені на три агроекологічні групи: з низьким потенціалом зростання ($b < 0,044$), помірним потенціалом зростання ($0,044 < b < 0,051$) та великим потенціалом зростання ($b > 0,051$). Варіабельність урожайності соняшнику, яка знаходиться поза межами поліноміального тренду, може бути описана за допомогою чотирьох багатовимірних факторів, які разом пояснюють 84,9 % варіабельності простору ознак. Ці фактори характеризуються закономірною мінливістю у просторі та часі. Варіювання у часі факторів 1–4 вказує на різні частотні характеристики, які властиві цим процесам. Найбільш типовим періодом коливання є період 4,4 роки, який робить суттєвий внесок у динаміку факторів 1, 2 та 3. Важливу роль має також кратний до нього період 2,2 роки, який проявляє себе для факторів 2 та 4. Найбільший за тривалістю період встановлений для фактору 2 який дорівнює 11 рокам. Менш тривалі періоди 5,5 та 7,3 роки характерні для фактору 4, та фактору 3 (7,3 роки) та фактору 2 (5,5 роки). На основі факторів 1–4 проведена кластеризація районів області, які чітко розподілені на чотири кластери (агроекологічних зони). Найвищим потенціалом урожайності соняшнику характеризується агроекологічна зона, яка має дизруптивний ареал на сході області. Найнижчий продукційний потенціал характерний для агроекологічної зони на північному заході. Перехідні показники врожайності характерні для агроекологічної зони, яка має центральне широтне розміщення та агроекологічна зона за сході області.

Ключові слова: соняшник; урожайність; динаміка; ландшафтне різноманіття; топографічний індекс вологості; фактор ерозії

Вступ

Світова потреба у їжі буде зростати у найближчі десятиліття у зв'язку зі значним збільшенням чисельності людства (Godfray et al., 2010). Тому існує нагальна потреба збільшення виробництва якісних сільськогосподарських продуктів (Godfray et al., 2010; Tscharntke et al., 2012). Вирішення цього завдання відбувається в умовах глобальних змін клімату та зростаючого тиску на природні екосистеми (Bohan et al., 2013). Деградація земель та екологічних процесів створюють потенційно небезпечний зворотній зв'язок (спустелення, засолення) та створює джерело тривалого негативного впливу на виробництво сільськогосподарської продукції (Rockstrom et al., 2009). Урожайність сільськогосподарських культур може бути збільшена за допомогою покращення агротехнологій (Mueller et al., 2012) та генетики культур (Tester, Langridge, 2010). Але ефективність цих напрямки обмежується зростаючими витратами, пов'язаними з ризиками хвороб та негативного впливу шкідників (Oerke, Dehne, 2004). Традиційний менеджмент шкідників та хвороб сприяє збільшенню урожайності сільськогосподарських культур, але має певні недоліки. Неспецифічний вплив синтетичних інсектицидів призводить до знищення нецільових груп організмів та таким чином порушуються природні механізми контролю чисельності шкідників (Metcalfe, 1980; Newsom, 1967; Sumarokov, Zhukov, 2007).

В ландшафтній екології застосовуються ландшафтні метрики та множина індикаторів навколишнього середовища, які визначаються як вимірювані біотичні та абіотичні характеристики навколишнього середовища, які дозволяють одержати кількісні дані щодо екологічних ресурсів та функціонування екосистем (McAlpine et al., 2002). Дані про типи ландшафтного покриття аграрних земель можуть бути застосовані для різних цілей. Це може бути аналіз сільськогосподарської продуктивності (Anaya-Romero et al., 2011), дослідження енергетичного потенціалу плантацій з короткою ротацією (Kollas et al., 2009), або для створення карт відкладення ерозійних осадів (Mahmoodabadi, 2011). Ландшафтні метрики широко застосовуються для кількісного відображення типів застосування земного покриття та особливостей просторового розподілу типів ландшафтно-екологічного покриття, а також для співставлення їх з географічними та екологічними процесами (McGarigal, Marks, 1995; Malaviya et al., 2010). Застосування концепції ландшафтно-екології й даних дистанційного зондування Землі дозволяє оцінити просторово-часову динаміку рослинного покриття агроценозів (Zhukov et al., 2013; 2015; 2017). Обґрунтовано доцільність застосування для оцінки ландшафтного різноманіття територій ландшафтних метрик, до яких належать: індекс найбільшого фрагмента, індекс щільності меж, індекс розподілу ядер, індекс різноманіття Шеннона, індекс рівномірності Сімпсона, індекс контакту,

індекс окружності, індекс щільності фрагментів, індекс близькості та індекс зчеплення. Ці індекси мають високу кореляцію з показником рівня розораності, часткою природних угідь та щільністю лісосмуг (Kuchma, 2015). Ландшафтні метрики на рівні окремих типів покриву включають також індекси форми. Аналіз ландшафтних метрик допомагає зрозуміти властивості класів ландшафтного покриву (Jiao, Liu, 2012). Дані дистанційного зондування Землі наають можливості тривалого та постійного моніторингу стану рослинного та ґрунтового покриву, а також водних ресурсів сільськогосподарських територій (Kostrzewski et al., 2002). Категоризована мапа типів покриву Землі є первинним джерелом інформації для ландшафтного аналізу, який стосується різноманіття типів покриву та його структури (Chmielewski et al., 2014). Головною позицією ландшафтної екології є уявлення про визначальний вплив ландшафтних патернів на екологічні процеси (Turner et al., 1989; Zhukov et al., 2013). Ландшафтний менеджмент є важливим для збереження біорізноманіття (Lindenmayer et al., 2008; Tschardt et al., 2012). Агрегація сільськогосподарських полів та придушення площ, які не культивуються, призводить до трансформації складних ландшафтів з відносно високою часткою напівприродних оселищ у прості за своєю структурою ландшафти з домінуванням орних полів (Roschewitz et al., 2005). Ландшафтна структура є ключовим фактором підтримання біорізноманіття (Antrop, 2005; Zhukov et al., 2016; Zhukov, Andryushchenko, 2017).

Топографічні індекси по різному впливають на урожайність зернових культур, що визначається ґрунтовими та кліматичними умовами (Kravchenko, Bullock, 2000). Позиція у межах ландшафту (вигнена або увігнена ділянки, схил або тальвер) є суттєвим фактором, який впливав на урожайність пшениці (Ciha, 1984). Кривизна поверхні рельєфу є ефективним параметром для описання взаємовідносин між урожайністю, топографією та погодними умовами (Timlin et al., 1998). Відносна висота рельєфу є одним з найважливіших ґрунтових та ландшафтних факторів, які впливають як на урожайність, так і на якість зерна соняшнику (Cox et al., 2006; Miao et al., 2006). Середня урожайність та середня вологість зерна значно залежать від довжини стоку поверхні поля в умовах ірігації (Marques da Silva, Silva, 2006). Довжина схилу до водорозділу є найкращим топографічним індикатором урожайності пшениці у широкому діапазоні масштабів (Zeleeke, Si 2004). Топографічний індекс вологості дозволив пояснити від 38 до 48 % просторової варіації урожайності пшениці у східному Колорадо (США) в 1997 р. (Green, Erskine, 2004).

Ландшафтна обстановка в різні етапи вегетації може по-різному впливати на ріст рослин і продуктивність агроєкосистем в цілому. В умовах степової зони спочатку вегетації лімітуючим фактором є тепло, тому геоморфологічні характеристики, які відображають розподіл сонячної енергії, відіграють провідну роль у формуванні продукційних процесів. У кінці весни і на початку літа, в період оптимального поєднання тепла і вологи, на передній план висувається потенційна родючість ґрунту, яка безпосередньо регулюється потужністю гумусованого горизонту, а таким чином – інтенсивністю ерозії. Тому геоморфологічні маркери активності ерозії ґрунтів найбільшою мірою пояснюють простору варіабельність фітомаси агроценозів. У другій половині літа дефіцит вологи стає головним детермінантом достатку фітомаси, а топографічний індекс вологості стає відповідальним за адекватний опис просторової мінливості вегетаційних показників (Демидов и др., 2013).

Вплив топографічних індексів на урожайність часто залежить від погодних умов, особливо від опадів. У семіаридних та аридних регіонах, де потенціал випаровування значно більший ніж кількість опадів, вміст води у ґрунті є лімітуючим фактором для продукції зерна (Chi et al., 2009). Вплив опадів (снігопадів або дощів) на урожайність може бути підсилений унаслідок взаємодії з рельєфними особливостями та ґрунтовими властивостями (Timlin et al., 1998; Kaspar et al., 2004). Слід відзначити, що відомості у літературі про характер взаємовідносин між погодними умовами, топографією та урожайністю, вкрай суперечливі (Kravchenko, Bullock, 2000). Було встановлено, що топографічні особливості менше впливають на урожай у сухі роки, ніж у вологі (Halvorson, Doll, 1991). У іншому дослідженні навпаки, було встановлене, що вплив топографії більш відчутливий у вологі роки, ніж у сухі (Simmons et al., 1989). Ці суперечливості можна пояснити відмінностями ґрунтових та кліматичних умов, у яких були виконані експерименти. Умови вологості ґрунту є найважливішим фактором, який контролює варіабельність урожайності пшениці та впливає на значимість топографічних індексів у семіаридних регіонах. У сухі роки довжина до водорозділу була найсуттєвішим фактором, який визначав урожайність. У вологі роки значення топографічних показників було меншим (Chi et al., 2009).

У Європі соняшник найбільш поширений у східних та півених країнах. В 2013 р. Україна та Росія (разом 49 % від світового обсягу – 17,7 млн. тон) та 28 країн Євросоюзу (19 %, 6,8 млн. тон) були найбільшими виробниками у світі, охоплюючи 68 % світового врожаю цієї культури (Debaeke et al., 2017). Серед цих країн спостерігається значна нерівномірність в урожайності соняшнику – від 1,1 до 2,4 тон/га (середні національні показники) з дуже помірним прогресом зростання, не дивлячись на постійні зусилля по генетичному покращенню рослин (Salvi, Pouzet, 2010). Кліматичні зміни можуть бути частково відповідальні за обмеження урожайності, як це встановлене для пшениці (Brisson et al., 2010), хоча зміни в агротехніці та стратегії використання земель також впливають на урожайність (Debaeke et al., 2017).

Метою нашої роботи є дослідити динаміку урожайності соняшнику в сільськогосподарських підприємствах Полтавської області по адміністративним районам за період 1995–2016 рр., визначити складові цієї динаміки, встановити роль просторової та агроєкологічної компонент у формуванні цих складових та провести агроєкологічне районування території Полтавської області на основі динамічних особливостей урожайності соняшнику.

Матеріали і методи досліджень

У основу дослідження покладені відкриті відомості про рівень урожайності ключових сільськогосподарських культур (зернові та зернобобові, кукурудза та соняшник) в середньому по адміністративним районам Полтавської області за період 1995–2016 рр. Відповідні відомості містяться у офіційних щорічних публікаціях «Сільське господарство Полтавської області» Головного управління статистики у Полтавській області (<http://www.pl.ukrstat.gov.ua/>).

Концептуальна блок-схема аналізу динаміки урожайності сільськогосподарських культур представлена на рис. 1. 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. В якості аналітичної форми тренду ми обирали між поліномами різного порядку. Надавали перевагу поліномам меншого порядку (більш простих за своєю аналітичною формою) та таким, які мають найбільшу пояснювальну здатність. Параметри лінійної моделі можуть бути самостійно інтерпретовані таким чином, що ним може бути наданий очевидний фізичний зміст. Це дозволяє відповідні коефіцієнти розглядати як самостійні змінні та досліджувати їх поведінку залежно від інших агроекологічних змінних, або досліджувати особливості їх просторової мінливості. Коефіцієнти поліномів більшого порядку, за винятком вільного члену, не можуть бути змістовно інтерпретовані, тому пошук їх аналітичних залежностей від зовнішніх змінних, або дослідження особливостей їх просторової мінливості, не є екологічно змістовними. Замість цього нами була досліджена поведінка характеристичних точок поліномів третього порядку, до числа яких ми віднесли мінімум та максимум відповідних функцій, а також максимальну швидкість збільшення урожайності у діапазоні між мінімумом та максимумом.

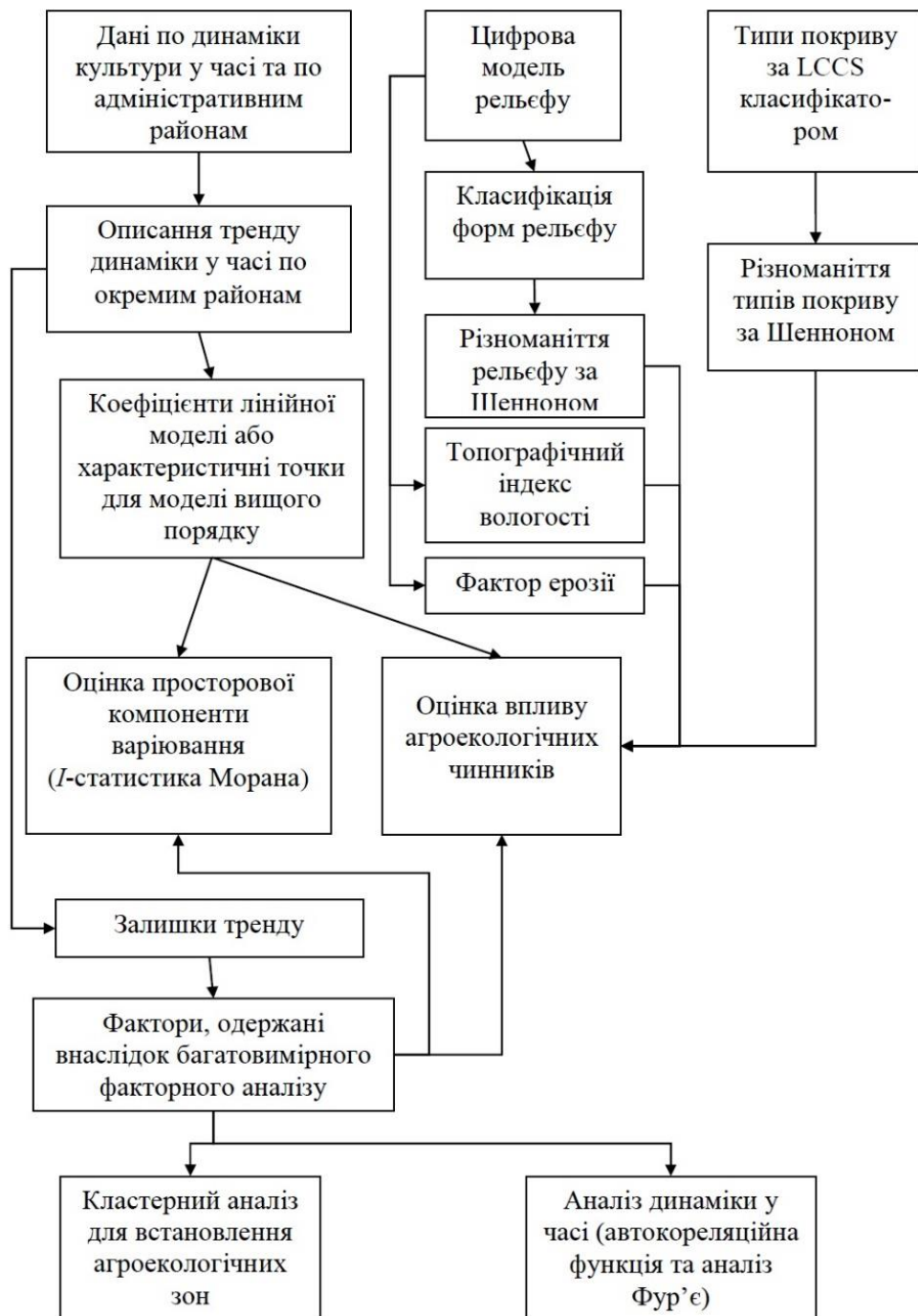


Рис. 1. Концептуальна блок-схема дослідження просторово-часової динаміки врожайності сільськогосподарських культур

Залишки відповідних регресійних моделей, які описують тренди, складаються з випадкової компоненти (шум) та,

вірогідно, регулярної, яку неможна пояснити обраною трендовою моделлю. Розрізнити ці дві компоненти можна за їх властивостями: шум є незалежним для різних точок простору, а регулярна компонента повинна бути скорельованою для усіх, або деяких точок простору (адміністративних районів). Для виокремлення регулярної компоненти залишки трендових моделей піддали аналізу головних компонент. Наявність головних компонент, власні числа яких переважають одиницю, вказує на наявність кореляційних плеяд мінливості урожайності.

Просторова регулярність варіювання як параметрів тренду, так і головних компонент позатрендової мінливості, може бути досліджена за допомогою *t*-статистики Морана (Жуков, 2015).

Розрахунки виконані у програмі GeoDa (Anselin et al., 2006).

Також був досліджений характер впливу агроєкологічних чинників на параметри тренду та багатовимірні фактори, які описують позатрендову компоненту варіабельності урожайності сільськогосподарських культур. Серед агроєкологічних чинників ми розглянули маркери рельєфу та структури рослинного покриву території. Рельєф є важливим фактором ґрунтоутворення, роль якого полягає у перерозподілі кліматичних ресурсів по поверхні Землі. Таким чином, рельєф індикує ґрунтові умови а також є маркером умов життя безпосередньо живих організмів. Структура рослинного покриву в умовах Полтавської області утворена комбінацією природних, сільськогосподарських та урбанізованих територій. Співвідношення цих компонентів формує різноманіття типів покриву, яке, вірогідно, може мати функціональні наслідки та бути або безпосередньо фактором дії, який визначає особливості продукційного процесу в агроєкосистемах, або може бути інформаційним індикатором, за допомогою ми зможемо висвітлити та пояснити динаміку урожайності сільськогосподарських культур.

Дослідження включало такі види робіт: підготовку та обробку матеріалів ДЗЗ, зокрема одержання матеріалів ДЗЗ та їх систематизація; спектральна, радіометрична та просторова корекція даних ДЗЗ та виявлення ознак дешифрування; камеральну обробку, в процесі якої здійснено дешифрування матеріалів ДЗЗ; створення карт наземного покриву; розрахунок індексів ландшафтного різноманіття, статистичні розрахунки.

Географічна інформаційна система побудована за допомогою програми ArcGIS 10.2.

Відмітимо ще два ключові інформаційні набори земельних характеристик, які використовуються в агроєкологічному дослідженні Полтавської області. Для оцінки рельєфу використовується набір даних GTOPO30 (*Global 30 arc-seconds elevation dataset*), який забезпечує характеризування висоти земної поверхні над рівнем моря. У якості геоморфологічних змінних у роботі розглянуто наступні похідні цифрової моделі рельєфу.

Топографічний індекс вологості. Концепція топографічного індексу вологості (*topographic wetness index* – TWI) вперше була запропонована К. Бівенем і Н. Кіркбі (Beven, Kirkby, 1979).

Топографічний індекс вологості обчислюється за формулою:

$$TWI = \ln(a/\tan\beta),$$

де a – дренажна площа (площа водозбору, розрахована на одиницю довжини замикаючого контуру), β – крутість схилу (Moore et al., 1993).

Фактор ерозії LS. Ерозійний потенціал рельєфу LS є одним з компонентів універсального рівняння ґрунтової ерозії (*Universal Soil Loss Equation* – USLE). LS є добутком L- і S-факторів. L-фактор визначає значення довжини схилу (*slope length*), а S-фактор – крутості (*slope steepness*). Універсальне рівняння ерозійних втрат ґрунту (USLE), або рівняння Уїшмейєра-Сміта, виведене в США як метод розрахунку середньорічних втрат ґрунту на основі узагальнення результатів спостережень на стандартних стокових площадках довжиною 22,13 м з ухилом 9 %, проведених більш ніж на 8000 ділянках в 21 штаті (Kunah, Парка, 2016). У першій редакції USLE для опису впливу крутості схилу використали тангенс, а для показника ступеня при довжині схилу – постійну величину, рівну 0,5. Пізніше тангенс кута нахилу поверхні замінили на синус, тому що було встановлено, що з допомогою цієї функції вдається більш точно відбити вплив ухилу на схилах крутістю більше 3° (Wischmeier, Smith, 1978). Ерозійні втрати ґрунту набагато більш чутливі до зміни крутості схилів, ніж до зміни довжини, тому вдосконалена модель USLE – RUSLE була спрямована на найбільш точну оцінку фактора крутості схилів (Kunah, Парка, 2016).

На основі цифрової моделі рельєфу за допомогою процедури, основаної на індексі топографічної позиції (Guisan et al., 1999) були виділені головні форми рельєфу. Процедуру виконано у програмі SAGA (Olaya et al., 2008).

Для оцінки типів використання земель можуть бути застосовані результати програми глобального моніторингу покриву Землі – *Global Land Cover 2000 Project* (GLC 2000) [Global Land Cover 2000 database ..., 2003]. Класифікація типів покриву Землі проведена в результаті обробки знімків, які робилися щодня протягом 14 місяців із супутника SPOT 4. Проект GLC 2000 використовує класифікаційну систему типів покриву Землі ФАО (FAO Land Cover Classification System – LCCS). Це ієрархічна класифікація, що дозволяє описати типи рослинності для кожного регіону з деталізацією, найбільшою мірою придатною для експертизи ландшафтного різноманіття регіону, при цьому у відповідності зі стандартизованим підходом для класифікації. LCCS дає можливість регіональні легенди карт транслювати у більш загальні класи типів покриву Землі для такого глобального продукту, яким є GLC 2000.

На основі карт класифікації типів покриву поверхні Землі та головних типів рельєфу були обраховані карти просторового варіювання індексів різноманіття типів покриву Землі та рельєфного різноманіття за Шенноном. Розрахунки виконані у програмі ArcMap 10.2 за допомогою модуля Land Facet Corridor Designer (Jenness et al., 2013).

Кластерний аналіз проведений для встановлення агроєкологічних зон. Географічна інформаційна система побудована за допомогою програми ArcGIS 10.2. Статистичні розрахунки виконані в програмі Statistica 10.0.

Результати

Урожайність соняшнику

Аналіз одержаних даних свідчить про те, що врожайність соняшнику у сільськогосподарських підприємствах Полтавської області по районах у середньому за 1995–2016 рр. варіювала в межах від 13,36±1,40 ц/га (Чорнуханський район) до 21,81±1,89 ц/га (Великобагачанський) (табл. 1).

Таблиця 1. Урожайність соняшнику в сільськогосподарських підприємствах Полтавської області по районах (ц/га, 1995–2016 рр.)

№	Район	Середнє	Мінімум	Максимум	Довірчий інтервал		CV, %
					-95 %	+ 95 %	
1	В.-багачанський	21,81±1,89	10,00	40,40	10,00	40,40	40,73
2	Гадяцький	16,21±1,33	6,80	26,20	6,80	26,20	38,53
3	Глобинський	18,45±1,21	10,70	28,70	10,70	28,70	30,78
4	Гребінківський	15,04±1,46	3,70	25,50	3,70	25,50	45,47
5	Диканський	18,81±1,58	7,80	33,20	7,80	33,20	39,34
6	Зінківський	18,73±1,77	6,70	33,70	6,70	33,70	44,28
7	Карлівський	20,50±1,78	9,60	34,50	9,60	34,50	40,65
8	Кобеляцький	15,72±1,42	6,90	30,40	6,90	30,40	42,26
9	Козельщинський	15,70±1,38	5,80	27,90	5,80	27,90	41,08
10	Котелевський	20,06±1,21	6,90	28,20	6,90	28,20	28,34
11	Кременчуцький	14,61±1,04	7,70	26,10	7,70	26,10	33,48
12	Лохвицький	14,97±1,52	5,40	28,40	5,40	28,40	47,77
13	Лубенський	14,52±1,35	4,80	26,90	4,80	26,90	43,69
14	Машівський	18,84±1,78	8,10	35,00	8,10	35,00	44,30
15	Миргородський	17,04±1,41	7,70	32,10	7,70	32,10	38,94
16	Новосанжарський	21,06±1,71	9,40	33,30	9,40	33,30	38,02
17	Оржицький	19,44±1,42	7,20	30,80	7,20	30,80	34,38
18	Пирятинський	16,02±1,38	4,40	28,10	4,40	28,10	40,31
19	Полтавський	18,27±1,58	8,90	36,80	8,90	36,80	40,47
20	Решетилівський	19,32±1,49	10,30	35,10	10,30	35,10	36,07
21	Семенівський	16,44±1,52	6,30	28,90	6,30	28,90	43,45
22	Хорольський	17,69±1,40	8,10	31,40	8,10	31,40	37,22
23	Чорнуханський	13,36±1,40	1,60	25,90	1,60	25,90	49,02
24	Чутівський	17,08±1,36	7,70	28,80	7,70	28,80	37,35
25	Шишацький	21,54±1,72	9,70	33,70	9,70	33,70	37,43

Мінімальна врожайність встановлена у Чорнуханському районі в 1997 р. (1,60 ц/га), а максимальна – у Великобагачанському районі в 2013 р. (40,4 ц/га). За період досліджень діапазон варіювання середньої врожайності становив від 18,00 ц/га (Глобинський район) до 30,40 ц/га (Великобагачанський район). Найменший рівень варіювання показників врожайності соняшнику за період дослідження був характерний для Котелевського району (коефіцієнт варіації 28,33 %), а найбільший – для Чорнуханського (CV = 49,03 %).

Географічно райони з високим та середнім рівнем врожайності соняшнику зосереджені на південному сході (Новосанжарському, Карлівський райони) та у центрі (Великобагачанський, Шишацький райони) (рис. 2). Найменші рівні врожайності соняшнику характерні для північного заходу (Чорнуханський, Лубенський, Лохвицький, Гребінківський) та півдня області (Кременчуцький, Козельщинський, Кобеляцький).

Встановлено, що найвищий рівень варіабельності врожайності соняшнику характерний для півночі області (Чорнуханський, Лохвицький райони). Більш стабільні врожаї одержують в Котелевському та Глобинському районах.

Оцінити значення просторової компоненти варіювання можна за допомогою статистики Морана.

Для середнього значення врожайності статистика I -Морана склала 0,38. Після 999 рандомізацій p -рівень відмінності від випадкової альтернативи склав 0,002. Таким чином, просторова компонента варіювання середнього рівня врожайності соняшнику дуже значна. Для коефіцієнту варіації врожайності статистика I -Морана склала 0,26, а p -рівень після рандомізації склав 0,028, що вказує також на суттєвий внесок факторів просторової природи у варіювання мінливості врожайності сільськогосподарських культур.

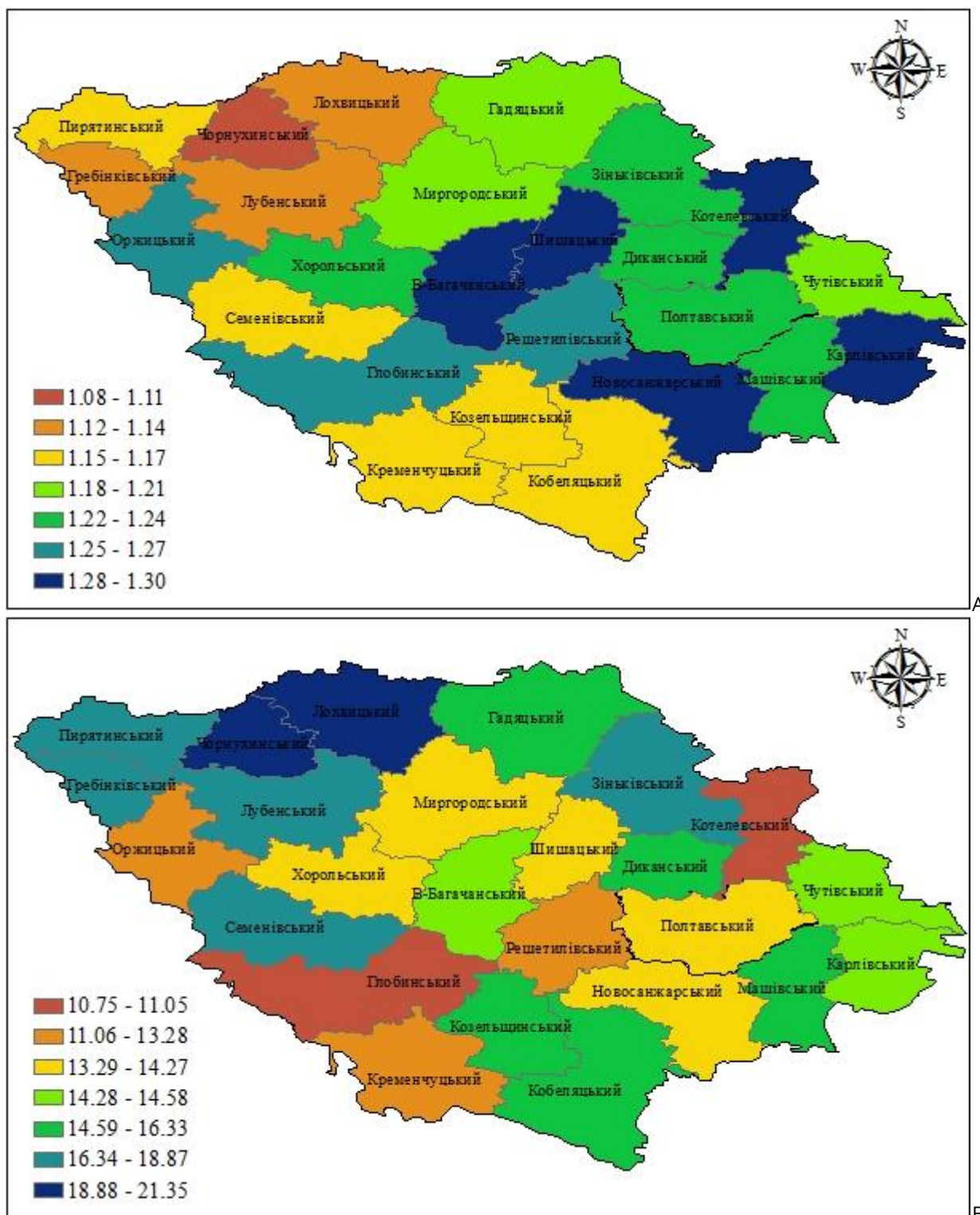


Рис. 2. Урожайність соняшнику (А – середнє у вазі ц/га, В – коефіцієнт варіації, %) у сільськогосподарських підприємствах Полтавської області по районах

Часовий тренд урожайності соняшнику та його просторові особливості

Аналіз динаміки урожайності соняшнику в сільськогосподарських підприємствах Полтавської області у часі вказує на наявність закономірного S-подібного тренду врожайності за період дослідження. Певний рівень врожайності на початку 90-х років змінився різким зниженням, яке відбувалося до кінця 90-х років. Зниження змінилось переконливим зростанням, яке мало характер майже лінійної залежності від часу до кінця 2010-х років, коли відбувся локальний максимум урожайності соняшнику. В деяких районах за локальним піком відбулося подальше зниження врожайності соняшнику, як, наприклад, у Великобагачанському, Гадяцькому, Диканському та багатьох інших. У деяких тенденція до зменшення у період досліджень себе не проявила, або проявила непереконливо, наприклад у Зінківському, Кобеляцькому, Кременчуцькому та деяких інших. Очевидно, що найкращою моделлю для описання спостережуваного глобального тренду варіювання врожайності соняшнику є поліном третього порядку:

$$Y_x = b + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3,$$

де Y_x – урожайність соняшнику в момент часу x , b , a_1 , a_2 , a_3 – коефіцієнти.

Особливі точки поліноміальної кривої третього порядку можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності соняшнику (рис. 3).

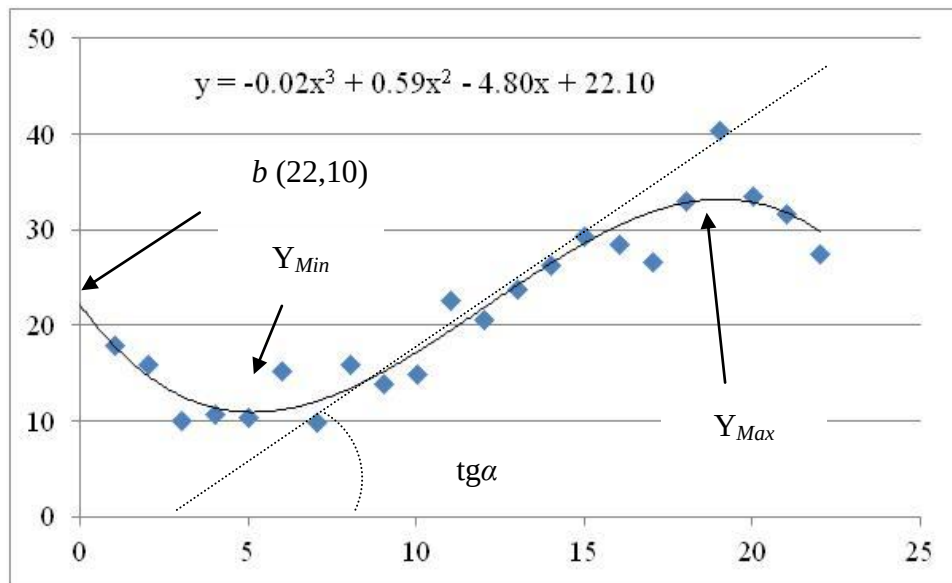


Рис. 3. Типова динаміка урожайності соняшнику в Полтавській області протягом 1995–2016 рр. та апроксимація тренду поліномом третього порядку

Умовні позначки. ось абсцис – час (1 – 1995 р., 22 – 2016 р.); ось ординат – урожайність, ц/га; b – вільний член у рівнянні поліному; Y_{Min} – значення поліному в точці локального мінімуму; Y_{Max} – значення поліному в точці локального максимуму; $tg\alpha$ – максимальна швидкість нарощування урожаю у часі між мінімумом та максимумом, тангенс кута нахилу дотичної до кривої поліному в точці перегину.

Вільний член поліному – константа b , як у випадку з лінійною залежністю та поліномом другого порядку, 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. Слід відзначити, що описання реальної динаміки обраною аналітичною функцією – це певним чином генералізація та спрощення. Форма функції та її параметри можуть бути обрані на основі інтерполяції та 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. 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 вказує Y_{Min} на «дно» динаміки урожайності культури. Самій природі тренду ми надаємо агроекономічне та агротехнологічне походження. Тому динаміка тренду має характер економічного циклу з його фазами: підйом, пік, спад, дно. У часі спостережуване дно продуктивності сільськогосподарської культури співпало з соціально-економічною кризою 90-х років, яка виникла як продовження процесу розпаду СРСР. 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 (Koval et al., 2012). Реструктуризація виробничих відношень у сільському господарстві та фінансово-економічна криза призвели до агротехнології виробництва сільськогосподарських культур, у тому числі й соняшнику. 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 соняшнику аж до настання максимуму цього показнику наприкінці 2010-х років. Стан максимуму продуктивності культури Y_{Max} відбиває певну рівновагу між факторами агроекономічної та агротехнологічної природи з одного боку та біологічним потенціалом – з іншого. Очевидно, що при даному рівні економічного забезпечення та агротехнологічній системі сільськогосподарські угіддя здатні давати найбільший можливий урожай. У такій ситуації слід очікувати виходу продуктивності на плато, варіювання на якому урожайності буде вже обумовлене тільки природними флуктуаціями, які за своїм походженням будуть спільними як у природних екосистемах, та і в агроекосистемах. Замість плато може відбуватися зниження урожайності, внаслідок чого, власно кажучи, і формується локальний максимум. Причини зниження урожайності після досягнення максимуму потребують свого дослідження також у економічній площині, але на нашу думку, причини найбільшою мірою мають агротехнологічну природу. Порушення сівозмін призводить до виснаження ґрунтів та втраті їх родючості, внаслідок чого загальний рівень урожайності соняшнику після настання локального максимуму, знижується.

Між локальними мінімумом та максимумом урожайності відбувається перегин поліноміальної кривої, де друга похідна стає дорівнювати нулю. У цій точці швидкість нарощування врожаю в період між мінімумом та максимумом стає найбільшою, а відповідна динаміка може бути апроксимована лінійною залежністю. Кут нахилу дотичної до лінії регресії у точці перетину вказує на максимальну швидкість нарощування врожаю, що може бути характеристичним показником динаміки врожайності.

Координати точок екстремуму функції, яка описує динаміку урожайності соняшнику, можуть бути знайдені після вирішення рівняння, яке одержане внаслідок диференціювання поліному третього ступеню:

$$Y_x' = a_1 + 2a_2x + 3a_3^2 = 0.$$

Відповідне квадратичне рівняння має два рішення:

$$x_{Min,Max} = \frac{-2a_2 \pm \sqrt{4a_2^2 - 12a_3a_1}}{6a_3}.$$

Підставляючи у рівняння регресії відповідні значення аргументу x_{Min} та x_{Max} можна встановити значення функції Y_{Min} та Y_{Max} .

Точку перегину функції x_i знаходиться у місці, де друга похідна функції дорівнює нулю:

$$Y_x'' = 2a_2 + 6a_3 = 0.$$

Рішенням рівняння є $x_i = -2a_2/6a_3$. Значення похідної функції у точці перегину x_i дорівнює тангенсу кута нахилу дотичної до графіку функції, яке кількісно дорівнює максимальній швидкості зростання урожайності соняшнику.

Параметри та характеристичні точки регресії третього порядку динаміки тренду урожайності соняшнику в районах Полтавської області наведені у таблиці 1 Додатку 3. Мінімальний рівень врожайності соняшнику в районах Полтавської області спостерігався у 1998–2000 рр. Таким чином, тренд зниження врожайності соняшнику як наслідок соціально-економічної кризи початку 90-ї років спостерігався аж до початку 21 століття, після чого відбулася зміна напрямку тренда та розпочалося зростання урожайності цієї культури. Мінімальні рівні урожайності, обумовлені глобальним трендом, становили 6,7–13,8 ц/га. Слід відзначити, що у даному випадку мова йде не про абсолютні мінімуми, які є результатом динаміки урожайності соняшнику, обумовленої глобальним трендом та локальними флуктуаціями, які можуть мати агроекологічну, або випадкову природу.

Локальний максимум урожайності соняшнику було досягнуто у 2012–2015 рр., відповідно після чого почали спостерігатися тенденції до зниження продуктивності посівів цієї культури. Максимум урожайності, обумовлений глобальним трендом, склав 21,3–34,7 ц/га. В інтервалі між точками екстремуму максимальна швидкість зростання урожайності соняшнику спостерігалася у 2005–2007 рр.

Просторове варіювання параметрів та характеристичних точок регресії тренду третього порядку урожайності соняшнику за період 1995–2016 рр. наведено на рис. 4.



А

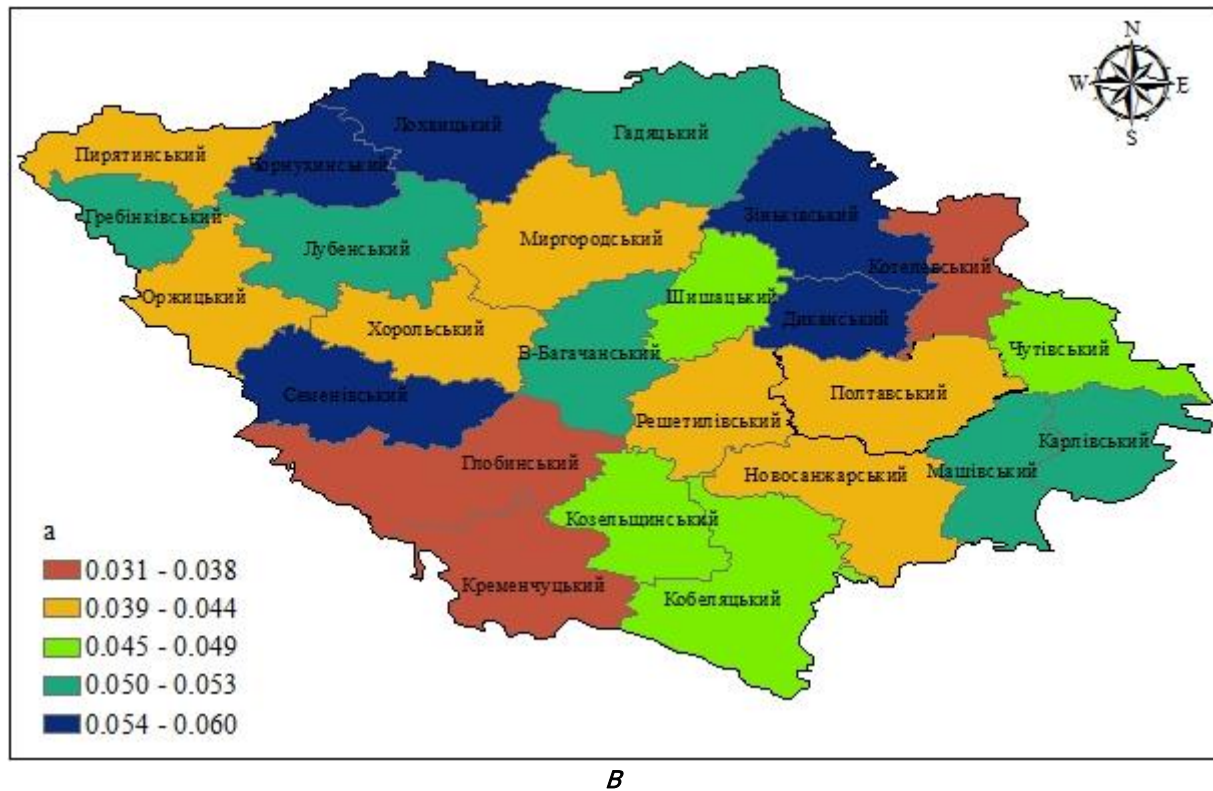


Рис. 4. Просторове варіювання параметрів та характеристичних точок регресії тренду третього порядку урожайності соняшнику за період 1995–2016 рр. А – коефіцієнт b – потенціал врожайності на початок періоду, В – коефіцієнт a – швидкість зростання урожайності у точці перегину

Коефіцієнт регресії b , або потенціал врожайності на початок періоду дослідження, демонструє закономірну просторову варіабельність. Найбільший та помірний потенціал характерний для східних та більшою мірою – для центральних районів області. Ці райони формують досить просторово компактний кластер. Райони з найменшим початковим потенціалом зосереджені на північному заході області та також утворюють компактний кластер.

Швидкість зростання урожайності соняшнику в період між локальним мінімумом та максимумом формує специфічні просторові патерни. З одного боку, райони з подібним рівнем показнику зростання урожайності розміщені, як правило поряд, формуючи споріднені кластери. Найбільший та помірний рівень зростання урожайності встановлений для північних та центральних районів області. Найменша швидкість зростання встановлена для південних західних районів (Глобинський, Кременчуцький), а також для Котелевського, який знаходиться на сході області.

Між значеннями урожайності в локальному мінімумі та локальному максимумі встановлений позитивний кореляційний зв'язок ($r = 0,39$, $p = 0,05$). Між значеннями урожайності в локальному мінімумі та максимальною швидкістю зростання урожайності соняшнику встановлений від'ємний кореляційний зв'язок ($r = -0,65$, $p = 0,00$), у той час як між значеннями урожайності в локальному максимумі та максимальною швидкістю зростання урожайності лінійний статистично вірогідний кореляційний зв'язок відсутній ($r = 0,12$, $p = 0,56$). Таким чином, падіння продуктивності соняшнику, яке спостерігається у рамках загального тренду, а також швидкість подальшого відновлення урожайності взаємопов'язані та визначаються агроекономічними та агротехнологічними чинниками. У той час як для максимальної урожайності лімітуючими факторами виступають чинники агроекологічної природи за умов необхідного агроекономічного та агротехнологічного забезпечення виробництва соняшнику.

Найбільше зниження урожайності соняшнику внаслідок соціально-економічної кризи відбулося у північних західних районах – Лохвицькому, Чорнухинському та Лубенському районах (рис. 5). Найменше зниження урожайності спостерігалось у Котелевському районі. У цілому, центральна широтна зона області (Новосанжарський, Решетилівський, Шишацький, Великобагачанський, Глобинський та Оржицький райони) характеризувались високим рівнем стійкості агровиробництва у аспекті урожайності соняшнику. Менш стійким опинилось виробництво у південних районах (Козельщинський, Кременчуцький, Кобеляцький), а також у північних східних районах (Гадяцький та Зенківський).

Найбільше значення локального максимуму було характерне для центральних районів області (Шишацький та Великобагачанський). Досить високий рівень максимальної урожайності соняшнику характерний для південних східних районів (Карлівський, Машівський та Новосанжарський), а також для Зінківського, який знаходиться на північному сході. Найменший продукційний потенціал соняшнику характерний для Чорнухинського та Кременчуцького районів.



A



B

Рис. 5. Просторове варіювання параметрів регресії тренду третього порядку урожайності соняшнику за період 1991–2016 рр. А – значення регресійної функції у точці мінімуму, В – значення регресійної функції у точці максимуму

Між значеннями урожайності в локальному мінімумі та коефіцієнтом детермінації поліному третього порядку встановлений негативний статистично вірогідний кореляційний зв'язок ($r = -0,45$, $p = 0,03$). Між значеннями урожайності в локальному максимумі та коефіцієнтом детермінації поліному лінійний статистично вірогідний кореляційний зв'язок відсутній ($r = 0,08$, $p = 0,72$). Найкраще загальний тренд варіювання урожайності соняшнику за допомогою поліному третього порядку описаний для Великобагачанського району (рис. 6).

Статистично вірогідним предиктором коефіцієнту детермінації є топографічний індекс вологості та взаємодія цього індексу з індексом рельєфного різноманіття. Топографічний індекс характеризується позитивним регресійним коефіцієнтом ($4,13 \pm 1,41$), що вказує на те, що у більш сприятливих умовах зволоження ефективність агроекономічних та агротехнологічних заходів є більш високою. У свою чергу взаємний вплив рельєфного різноманіття та топографічного індексу вологості є від'ємним ($-19,29 \pm 7,34$). Очевидно, складні рельєфні умови викликають додаткові труднощі при виконанні агротехнологічних операцій, що певним чином нейтралізує сприятливі умови зволоження. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт b тренду здатна пояснити 67 % варіювання цього показнику (табл. 3).

Таблиця 3. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт b тренду ($R^2 = 0,67$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступені свободи	Середня сума квадратів	F -відношення	p -рівень
Ландшафтне різноманіття (Land)	0,010	1	0,010	3,77	0,07
Різнороманіття рослинного покриття (Plant)	0,018	1	0,018	6,43	0,02
Топографічний індекс вологості (TWI)	0,010	1	0,010	3,72	0,07
Індекс ерозії (LS)	0,037	1	0,037	13,51	0,00
Land*Plant	0,000	1	0,000	0,03	0,86
Land*TWI	0,008	1	0,008	2,95	0,11
Plant*TWI	0,017	1	0,017	6,20	0,03
Land*LS	0,009	1	0,009	3,15	0,10
Plant*LS	0,029	1	0,029	10,68	0,01
TWI*LS	0,018	1	0,018	6,45	0,02
Помилка	0,041	15	0,003	–	–

Стартовий потенціал урожайності статистично вірогідно залежить від рельєфного різноманіття та різноманіття рослинного покриття, топографічного індексу вологості та індексу ерозії, а також взаємодії між різноманіттям рослинного покриття та топографічного індексу вологості, різноманіттям рослинного покриття та індексом ерозії, взаємодією топографічного індексу вологості та індексу ерозії. Значна залежність коефіцієнту b від агроекологічних предикторів пояснює значну просторову компоненту його варіювання. Різнороманіття рельєфне негативно впливає на коефіцієнт b ($-7,32 \pm 3,77$), а різноманіття рослинного покриття – позитивно ($8,89 \pm 3,51$). Позитивно впливає на коефіцієнт b топографічний індекс вологості ($1,35 \pm 0,71$), але негативно впливає індекс ерозії ($-2,67 \pm 0,73$). Взаємний вплив рослинного різноманіття та топографічного індексу вологості, як і індексу ерозії, є негативним ($-8,21 \pm 3,29$ та $-0,64 \pm 0,19$ відповідно). У свою чергу, позитивним є взаємний вплив топографічного індексу вологості та індексу ерозії ($2,51 \pm 0,98$). Слід відзначити, що характер не кожного типу статистично вірогідного впливу в рамках складної системи взаємодій можна просто інтерпретувати. Головний результат – це те, що у формуванні стартового потенціалу урожайності соняшнику приймає участь складна взаємодія екологічних процесів, які меншою мірою формально можуть бути описані за допомогою застосованих екологічних предикторів з урахуванням їх статистичних взаємодій. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт a тренду здатна пояснити 79 % варіювання цього показнику (табл. 4).

Таблиця 4. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт a тренду ($R^2 = 0,79$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступені свободи	Середня сума квадратів	F -відношення	p -рівень
Ландшафтне різноманіття (Land)	0,042	1	0,042	5,11	0,04
Різнороманіття рослинного покриття (Plant)	0,032	1	0,032	3,93	0,07
Топографічний індекс вологості (TWI)	0,134	1	0,134	16,21	0,00
Індекс ерозії (LS)	0,370	1	0,370	44,95	0,00
Land*Plant	0,007	1	0,007	0,86	0,37
Land*TWI	0,024	1	0,024	2,87	0,11
Plant*TWI	0,029	1	0,029	3,47	0,08
Land*LS	0,121	1	0,121	14,72	0,00
Plant*LS	0,041	1	0,041	5,02	0,04
TWI*LS	0,354	1	0,354	42,98	0,00
Помилка	0,124	15	0,008	–	–

Обрані предиктори характеризуються статистично вірогідним впливом на значення максимальної швидкості зростання урожайності за період досліджень. Важливу роль також відіграють взаємодії між предикторами. Встановлено, що складність рельєфного оточення, яке знаходить своє відображення у рельєфному різноманітті, негативно впливає на темпи зростання урожайності соняшнику ($-12,21 \pm 5,41$). Різнорманіття рослинного покриву є обставиною, яка здійснює стимулюючий вплив на швидкість збільшення урожайності соняшнику ($9,97 \pm 5,03$). Також позитивний вплив мають топографічний індекс вологості та індекс ерозії ($4,05 \pm 1,01$ та $6,98 \pm 1,05$). Слід утримуватися від буквального трактування діагностичної цінності геоморфологічних предикторів, пам'ятаючи реальну процедуру їх розрахунку.

Індекс ерозії пропорційний довжині схилу, що також можна інтерпретувати як довжину прогону в межах поля. З одного боку, як фактор ерозії, ця геоморфологічна обставина є несприятливим фактором, але якщо цей показник розглядати з боку конфігурації поля, то поля з більш великою довжиною прогонів мають більш бонітет. Значну роль відіграє взаємодія індексу ерозії з іншими предикторами. Взаємодія з рельєфним різноманіттям є позитивною ($2,65 \pm 0,69$), а з рослинним різноманіттям та топографічним індексом вологості – негативною ($-0,63 \pm 0,28$ та $-9,29 \pm 1,42$ відповідно).

Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриву, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на мінімум тренду здатна пояснити 76 % варіювання цього показника (табл. 5).

Таблиця 5. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриву, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на мінімум тренду ($R^2 = 0,76$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступені свободи	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень
Ландшафтне різноманіття (Land)	0,024	1	0,024	16,63	0,00
Різнорманіття рослинного покриву (Plant)	0,034	1	0,034	23,52	0,00
Топографічний індекс вологості (TWI)	0,002	1	0,002	1,43	0,25
Індекс ерозії (LS)	0,042	1	0,042	29,36	0,00
Land*Plant	0,001	1	0,001	0,37	0,55
Land*TWI	0,028	1	0,028	19,87	0,00
Plant*TWI	0,036	1	0,036	24,93	0,00
Land*LS	0,002	1	0,002	1,73	0,21
Plant*LS	0,032	1	0,032	22,50	0,00
TWI*LS	0,047	1	0,047	33,08	0,00
Помилка	0,021	15	0,001	–	–

Ми вважаємо, що загальний рівень мінімуму тренду як показника розвитку наслідків соціально-економічної кризи визначається агроекономічними чинниками та як наслідок – зниженням культури землеробства без відповідного фінансування агротехнічних заходів виробництва. Але варіювання значень мінімуму між адміністративними районами певною мірою залежить також і від агроекологічних умов, що нами і показано. Так, статистично вірогідними предикторами локального мінімуму врожайності соняшнику є як рельєфне різноманіття, та і різноманіття рослинного покриву, а також індекс ерозії. Через взаємодію з індексами різноманіття та індексом ерозії проявляє себе топографічний індекс вологості. Взаємний вплив на мінімальний рівень урожайності соняшнику здійснюють також індекс ерозії та різноманіття рослинного покриву. Таким чином, сприятливі агроекологічні умови можуть пом'якшувати негативні наслідки економічної кризи.

Таблиця 6. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриву, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на максимум тренду ($R^2 = 0,61$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступені свободи	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень
Ландшафтне різноманіття (Land)	0,010	1	0,010	7,51	0,02
Різнорманіття рослинного покриву (Plant)	0,021	1	0,021	15,49	0,00
Топографічний індекс вологості (TWI)	0,019	1	0,019	14,12	0,00
Індекс ерозії (LS)	0,008	1	0,008	5,72	0,03
Land*Plant	0,001	1	0,001	0,74	0,40
Land*TWI	0,008	1	0,008	5,64	0,03
Plant*TWI	0,023	1	0,023	16,64	0,00
Land*LS	0,004	1	0,004	3,25	0,09
Plant*LS	0,028	1	0,028	20,20	0,00
TWI*LS	0,004	1	0,004	2,61	0,13
Помилка	0,020	15	0,001	–	–

Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на максимум тренду здатна пояснити 61 % варіювання цього показнику (див. табл. 6).

Майже усі досліджені предиктори, за винятком показнику взаємодії рельєфного різноманіття та різноманіття рослинного покриття, а також взаємодії топографічного індексу вологості та індексу ерозії, впливають на максимальне значення урожайності соняшнику по адміністративним районам Полтавської області. Ця обставина підтверджує нашу гіпотезу про значну агроекологічну обумовленість найбільших рівнів урожайності соняшнику. Найважливіше значення у визначенні максимального врожаю відіграє позитивний вплив різноманіття рослинного покриття ($15,41 \pm 3,17$) та взаємодія топографічного індексу вологості з рельєфним різноманіттям ($14,77 \pm 3,31$).

Прогнозоване значення коефіцієнту зростання тренду врожайності соняшнику вказує на біотичний потенціал території для зростання урожайності внаслідок агроекономічних та агроекологічних зусиль, яке обумовлене агроекологічними чинниками). Відповідно до прогнозованого значення коефіцієнту зростання райони розподілені на три агроекологічні групи: з низьким потенціалом зростання ($b < 0,044$), помірним потенціалом зростання ($0,044 < b < 0,051$) та великим потенціалом зростання ($b > 0,051$) (рис. 7).



Рис. 7. Агроекологічне районування території Полтавської області за агроекологічним потенціалом зростання урожайності соняшнику. **Умовні позначки.** 1 – низький потенціал; 2 – помірний потенціал; 3 – високий потенціал.

Райони з високим агроекологічним потенціалом росту урожайності соняшнику зосереджені у північній та центральній частині області. Райони з низьким агроекологічним потенціалом знаходиться на сході та у центральній частині області, яка наближена до заходу. Райони з помірним потенціалом займають знаходяться на півдні та сході області.

Природно-екологічні аспекти динаміки врожайності соняшнику

Аналіз тренду варіювання урожайності соняшнику показав, що він може бути описаний за допомогою поліному третього порядку. Параметри поліному та характеристичні точки відбивають динаміку урожайності соняшнику та демонструють певний рівень просторової залежності та можуть бути пояснені за допомогою агроекологічних предикторів. Причиною формування закономірного тренду врожайності соняшнику протягом періоду дослідження є сукупність факторів агроекономічної та агротехнологічної природи. Просторові особливості протікання процесів реалізації біотичного потенціалу території під впливом агротехнології обумовлені її агроекологічними особливостями. Формально залишок тренду складається з двох компонент: регулярної, яка не може бути пояснена у рамках моделі глобального тренду та інформаційний шум. Інформаційний шум представляє собою випадковий процес, який нескорельований між різними адміністративними районами. Регулярна компонента має погоджену динаміку між кількома адміністративними районами, у випадку, коли керуюча причина має поширення більше, ніж межі окремого адміністративного району. У іншому випадку регулярну компоненту неможливо відрізнити від інформаційного шуму. Багатовимірний аналіз залишків регресійних моделей, які описують глобальний тренд мінливості соняшнику в адміністративних районах Полтавської області, дозволив виявити чотири фактори, власні числа яких перевищують одиницю. Загалом, перші чотири фактори пояснюють 84,9 % загальної варіабельності залишків. Фактор 1 пояснює 63,9 % варіабельності простору ознак. Він вказує на синхронну варіабельність урожайності соняшнику в північних західних районах області. Значення цього фактору згасає у південному напрямку (рис. 8). Південні райони зовсім не відчувають коливальної динаміки, яку цей фактор віддзеркалює.

Фактор 2 описує 11,4 % варіабельності простору ознак. Цей фактор чутливий до варіабельності врожайності соняшнику в східних та центральних районах області. Ареал найбільш чутливих до дії цього фактору районів має дизруптивний

(розірваний) характер. Фактор 3 описує 5,8 % варіабельності простору ознак. Центральні райони з півночі до півдня найбільш чутливі до цього фактору. Його значення найменше на сході та заході області. Фактор 4 пояснює 4,4 % варіабельності. Він вказує на динамічні процеси, які розгортаються переважно на південному сході області.

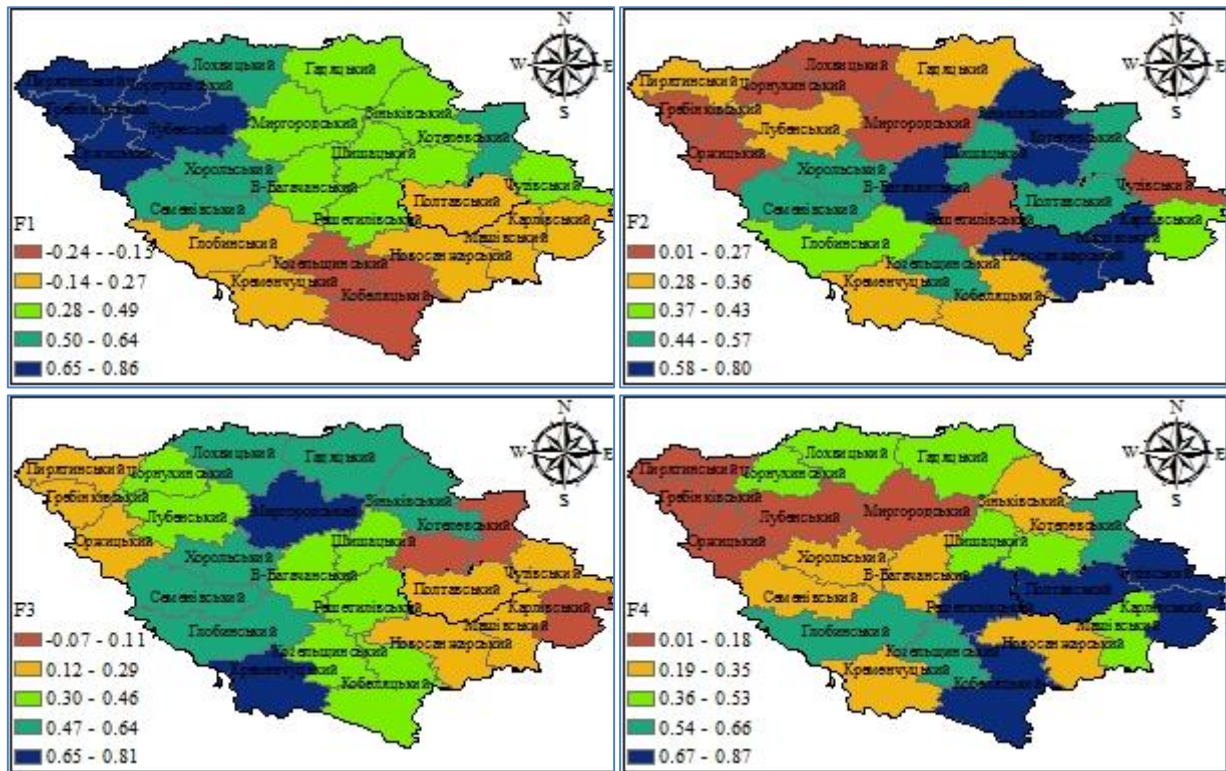


Рис. 8. Просторове варіювання навантажень багатовимірних факторів 1–4

Встановлені фактори віддзеркалюють структуру динаміки урожайності соняшнику, яка обумовлена іншими, ніж агроекономічними та агротехнологічними причинами. Підтвердженням цієї позиції є закономірний розподіл значень цих факторів у просторі. Статистики Морана вказують на велику просторову компоненту варіювання факторів 1, 3, 4. Статистики I -Морана великі за модулем та статистично вірогідно відрізняються від випадкових альтернатив (для всіх факторів $p < 0,01$). Велика просторова обумовленість факторів вказує на їх агроекологічну природу. Просторова компонента варіювання для фактору 2 не статистично вірогідною на обраному масштабному рівні.

Варіювання у часі факторів 1–4 вказує на різні частотні характеристики, які властиві цим процесам (рис. 8).

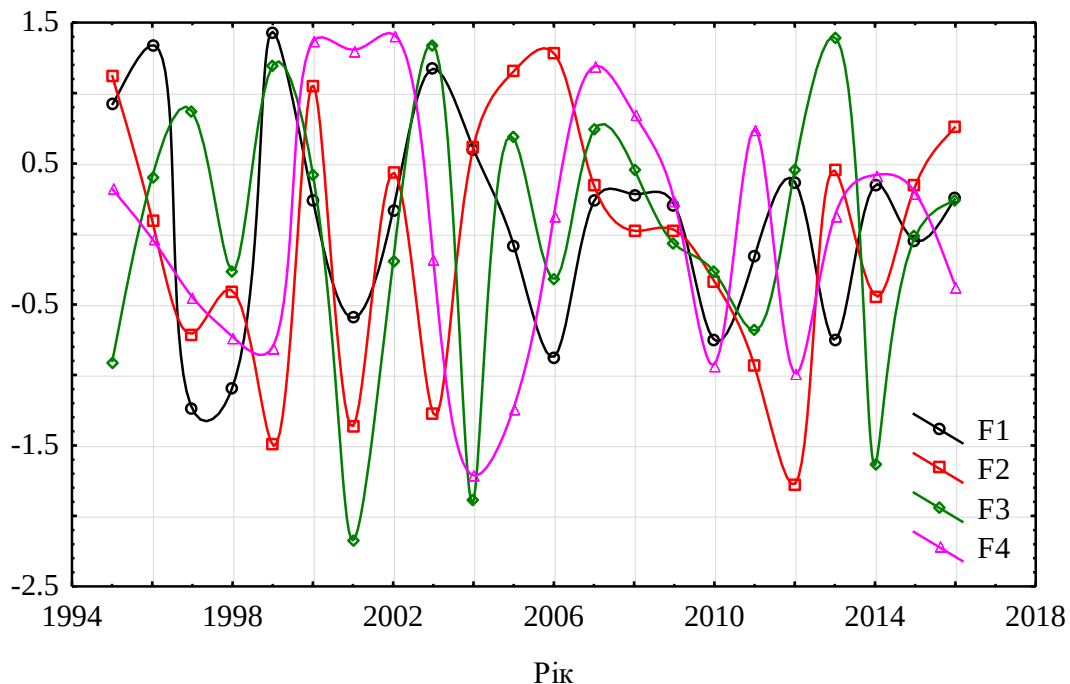


Рис. 9. Варіювання у часі багатовимірних факторів 1–4

Результати спектрального аналізу свідчать про те, що у часовій динаміці фактору 1 можна виділити найголовніший період довжиною 4,4 роки (рис. 10).

Динаміка фактору 2 у часі більш складна. Для неї характерні періоди 2,2, 4,4 та 11 років. Особливе значення має період 11 років, дещо менше – 2,2 роки.

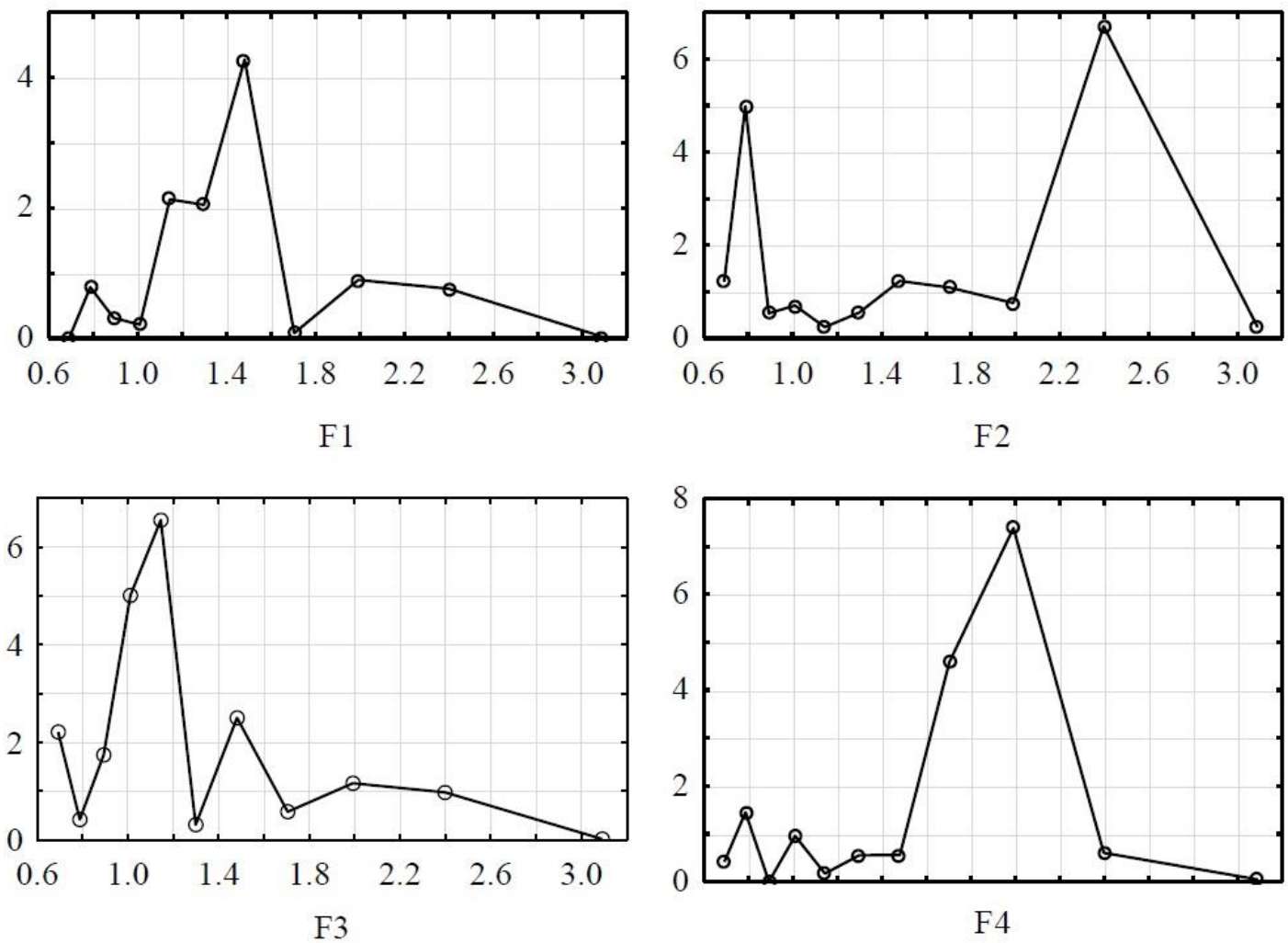


Рис. 10. Періодограма факторів 1–4

Для фактору 3 найважливішими складовими динаміки є компоненти з періодами 2, 2,75–3,14, 4,4 та 7,3 роки. Головні особливості динаміки фактору 3 визначають періоди 2,75–3,14 та 4,4 роки. Складовими динаміки фактору 4 є компоненти з періодичністю 2,2, 5,5–7,3 роки.

Таким чином, найбільш типовим періодом коливання є період 4,4 роки, який робить суттєвий внесок у динаміку факторів 1, 2 та 3. Важливу роль має також кратний до нього період 2,2 роки, який проявляє себе для факторів 2 та 4. Найбільший за тривалістю період встановлений для фактору 2 який дорівнює 11 рокам. Менш тривалі періоди 5,5 та 7,3 роки характерні для фактору 4, та фактору 3 (7,3 роки) та фактору 2 (5,5 роки).

На північному заході найбільш типовим є період коливання урожайності соняшнику з періодичністю 3,14–4,4 років. На сході динаміка відбувається з періодичністю 3,14 років, але з зсувом по фазі майже на три роки. Також на сході набувають значення коливання періодичністю 2,0–2,2 та 11 років.

У центральній частині області, яка сполучає східну та західну зони також спостерігається коливання з періодом 4,4 роки, яке характерне також і для сходу і для заходу, але значення цього коливального процесу суттєво поступається іншим складовим динаміки. Найбільшу роль у центральній частині області відіграють більш високочастотні коливання урожайності соняшнику з періодичністю 2,4–3,1 роки. Для південних та південно східних районів домінуючим є період 7,3 роки.

На основі значень факторів 1–4 проведена кластеризація районів області (рис. 11). Встановлено, що райони можуть бути чітко розподілені на чотири кластери (групи). Кластер 1 сформований районами на північному заході області (рис. 11). Кластер 2 поєднує північні, центральні та південні райони у меридіональному напрямку. Кластери 2 та 4 тісно переплетені так, що їх слід розглядати як підзони загальної агроекологічної зони, яка знаходиться на південному сході області.

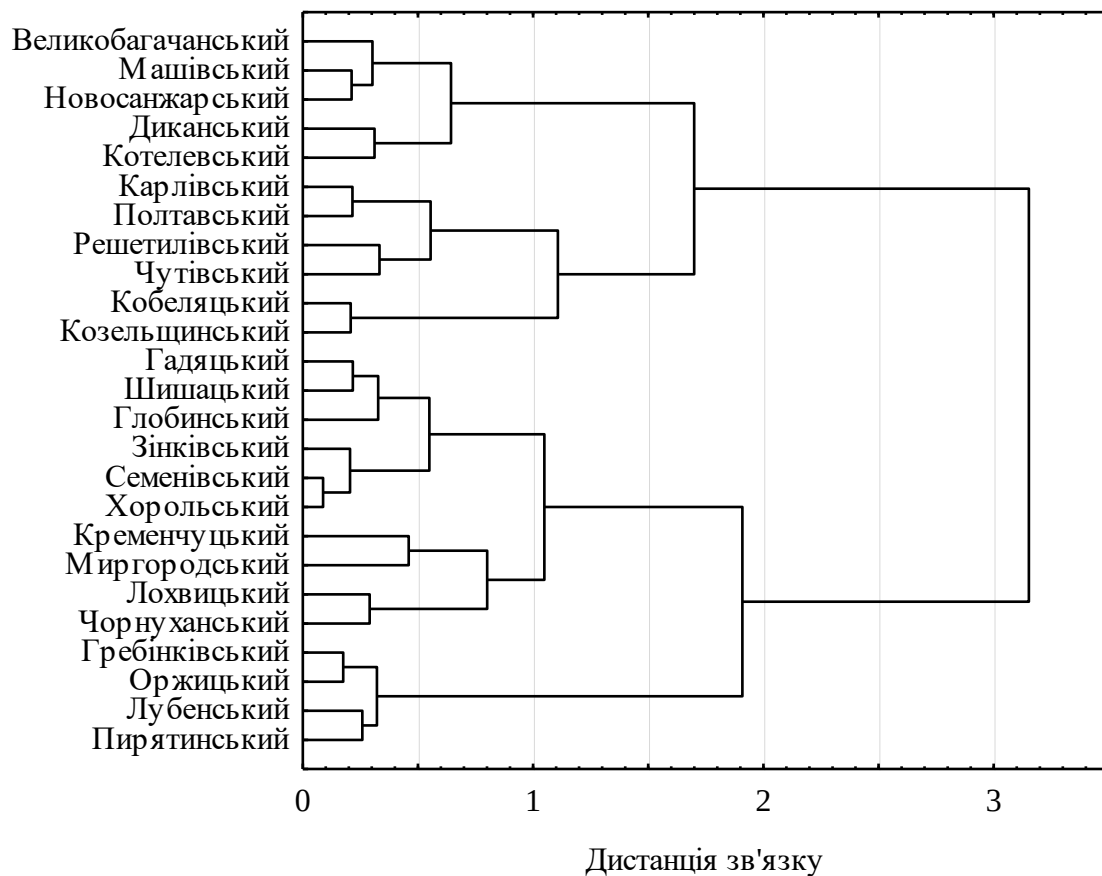


Рис. 11. Кластерний аналіз районів Полтавської області за особливостями динаміки урожайності соняшнику (метод Уорда, Евклідова відстань)

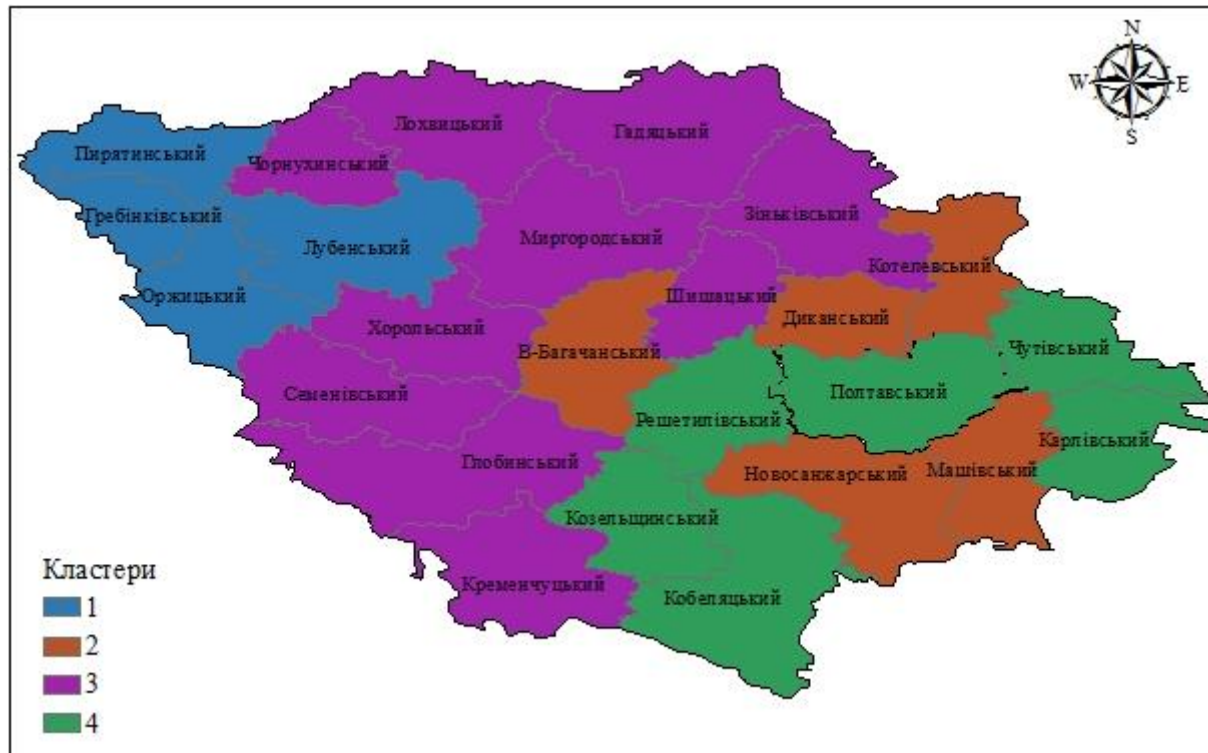


Рис. 12. Просторове розміщення кластерів, встановлених на основі варіювання урожайності соняшнику

Чотири агроекологічні зони встановлені на основі особливостей циклічної динаміки урожайності соняшнику. Важливим аспектом є визначення особливостей цих зон у відношенні до загального рівня урожайності. Встановлено, що агроекологічні зони (кластери) статистично вірогідно відрізняються за мінімальним та максимальним значеннями

поліноміального тренду урожайності соняшнику ($F=3,62$, $p=0,03$ та $F=3,49$, $p=0,03$ відповідно). Найвищим потенціалом урожайності характеризується кластер 2 (рис. 13).

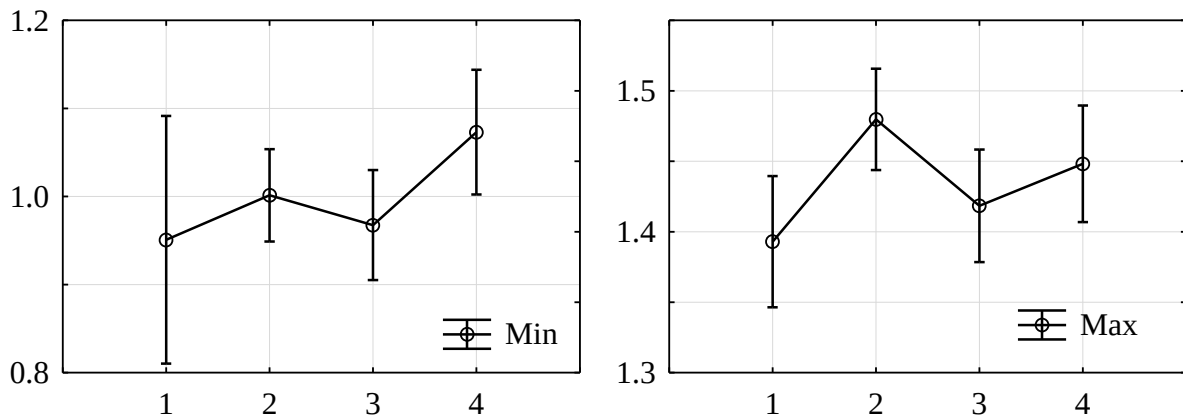


Рис. 13. Параметри урожайності соняшнику по агроекологічним зонам (кластерам, ось абсцис). Представлене мінімальне та максимальне значення поліноміального тренду (ц/га, логарифмовані дані)

У свою чергу, найнижчий рівень зниження врожайності можна очікувати у межах кластеру 4. Можна стверджувати, що ці два кластери формують цілісну агроекологічну зону, яка характеризується найбільшим продукційним потенціалом для вирощування соняшнику. Ця зона знаходиться у південному сході Полтавської області. Найнижчий продукційний потенціал характерний для кластеру 1. Цей кластер знаходиться на північному заході. Перехідні показники врожайності характерні для кластеру 3.

Обговорення

Таким чином, аналіз просторової та часової динаміки врожайності соняшнику в Полтавській області показав складний характер процесів, які її визначають. Загальною особливістю змін у часі для всіх адміністративних районів є наявність тренду, який відповідно до його складності може бути описаний поліномом третього ступеню. У формулі поліному тільки вільний член може бути змістовно інтерпретований як потенціал урожайності культури на початку періоду дослідження. Цей показник слід розглядати як спадок від виробничих відносин, які розпалися внаслідок соціально-економічної кризи початку 90-х років. Інші коефіцієнту поліному не можуть бути змістовно інтерпретовані, так як вони мають суто математичний сенс. Для порівняння особливостей динаміки урожайності соняшнику ми розробили та застосували метод характеристичних точок. На графіку поліному обрані особливі (характеристичні) точки, які найбільш суттєво його характеризують та можуть бути змістовно інтерпретовані. Таким точками є значення поліному в точці локального мінімуму, максимуму та найбільша швидкість зміни урожайності у діапазоні між локальним мінімумом та локальним максимумом. Ці характеристичні точки об'ємно віддзеркалюють специфіку динаміки зміни урожайності соняшнику по районах. Крім того, ці характеристичні точки володіють значною компонентою просторової мінливості, а також можуть бути статистично вірогідно пояснені за допомогою агроекологічних предикторів. Існування явища трендової динаміки урожайності сільськогосподарських культур, на нашу думку, обумовлене причинами тотальної природи, а саме – агроекономічними та агротехнологічними факторами. Ці фактори безпосередньо розгортають біотичний потенціал території щодо можливості продукції урожаю. Та обставина, що параметри тренду також залежать від агроекологічних предикторів свідчить про те, що особливості розгортання біотичного потенціалу залежать від екологічних обставин. Співвідношення загалом соціально-економічних та природно-екологічних факторів у формуванні врожаю різне залежно від етапів динаміки. На рівні мінімальної продуктивності найважливішими є чинники соціально-економічної природи. Це обумовлене тим, що агроекологічна система знаходиться далеко від максимальної екологічної ємності, тому роль лімітуючих факторів виконують агроекономічні та агротехнологічні фактори. У зоні максимальних урожаїв, які досягаються систематичними багаторічними зусиллями, агроекологічні фактори набувають значення лімітуючих. Але якісна перебудова виробництва, яка потребує економічних витрат та впровадження новітніх агротехнологічних підходів є єдиною можливістю подальшого збільшення продуктивності сільськогосподарських угідь при збереженні екологічної рівноваги. Таке рішення є основою стійкого розвитку агропромислового комплексу.

Висновки

Врожайність соняшнику в сільськогосподарських підприємствах Полтавської області по районах у середньому за 1995–2016 рр. варіювала в межах від $13,36 \pm 1,40$ ц/га (Чорнуханський район) до $21,81 \pm 1,89$ ц/га (Великобагачанський). Найменший рівень варіювання показників врожайності соняшнику за період дослідження був характерний для Котелевського району (коефіцієнт варіації 28,33 %), а найбільший – для Чорнуханського ($CV = 49,03$ %). Просторова компонента варіювання середнього рівня врожайності соняшнику дуже значна.

Аналіз динаміки урожайності соняшнику в сільськогосподарських підприємствах Полтавської області у часі вказує на наявність чіткого тренду зміни врожайності за період дослідження, який можна описати за допомогою поліному третього порядку. Особливі точки поліноміальної кривої третього порядку можуть бути змістовно інтерпретовані та застосовані для описання динаміки урожайності соняшнику.

Вільний член поліному вказує на урожайність культури в стартовий період. Значення функції в точці локального мінімуму вказує на «дно» динаміки урожайності культури. Стан максимуму продуктивності культури відбиває певну рівновагу між факторами агроекономічної та агротехнологічної природи з одного боку та біологічним потенціалом – з іншого.

Параметри та особливі точки тренду урожайності соняшнику можуть бути пояснені за допомогою показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії. Відповідно до прогнозованого значення коефіцієнту зростання райони розподілені на три агроекологічні групи: з низьким потенціалом зростання ($b < 0,044$), помірним потенціалом зростання ($0,044 < b < 0,051$) та великим потенціалом зростання ($b > 0,051$).

Варіабельність урожайності соняшнику, яка знаходиться поза межами поліноміального тренду, може бути описана за допомогою чотирьох багатовимірних факторів, які разом пояснюють 84,9 % варіабельності простору ознак. Ці фактори характеризуються закономірною мінливістю у просторі та часі.

Варіювання у часі факторів 1–4 вказує на різні частотні характеристики, які властиві цим процесам. Найбільш типовим періодом коливання є період 4,4 роки, який робить суттєвий внесок у динаміку факторів 1, 2 та 3. Важливу роль має також кратний до нього період 2,2 роки, який проявляє себе для факторів 2 та 4. Найбільший за тривалістю період встановлений для фактору 2 який дорівнює 11 рокам. Менш тривалі періоди 5,5 та 7,3 роки характерні для фактору 4, та фактору 3 (7,3 роки) та фактору 2 (5,5 роки).

На основі факторів 1–4 проведена кластеризація районів області, які чітко розподілені на чотири кластери (агроекологічних зони). Найвищим потенціалом урожайності соняшнику характеризується агроекологічна зона, яка має дизруптивний ареал на сході області. Найнижчий продукційний потенціал характерний для агроекологічної зони на північному заході. Перехідні показники врожайності характерні для агроекологічної зони, яка має центральне широтне розміщення та агроекологічна зона за сході області.

References

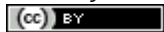
- Anaya-Romero, M., Pino, R., Moreira, J., Mujoz-Rojas, M., de la Rosa, D. (2011). Analysis of soil capability versus land use change by using CORINE land cover and MicroLEIS. *Int. Agrophys.*, 25, 395–398.
- Antrop, M. (2005). Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape Urban Plan*, 70, 21–34.
- Beven K., Kirkby N. (1979). A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydro. Sci. Bull*, 24, 43–69.
- Bohan, D.A., Raybould, A., Mulder, C., Woodward, G., Tamaddon-Nezhad, A., Bluthgen, N., Pocock, M.J.O., Muggleton, S., Evans, D.M., Astegiano, J., Massol, F., Loeuille, N., Petit. S., Macfadyen, S. (2013). Networking agroecology: integrating the diversity of agroecosystem interactions. *Adv. Ecol. Res.*, 49, 1–67.
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.X., Huard, F. (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Res*, 119, 201–212.
- Chi, B.L., Bing, C.S., Walley, F. and Yates, T. (2009). Topographic indices and yield variability in a rolling landscape of western Canada. *Pedosphere*, 19(3), 362–370.
- Chmielewski, Sz., Chmielewski, T. J., Tompalski, P. (2014). Land cover and landscape diversity analysis in the West Polesie Biosphere Reserve. *International Agrophysics*, 28, 153–162.
- Ciha, A.J. (1984). Slope position and grain yield of soft white winter wheat. *Agron. J.*, 76, 193–196.
- Cox, M.S., Gerard, P.D., Abshire, M.J. (2006). Selected soil properties' variability and their relationships with yield in three Mississippi fields. *Soil Sci.*, 171, 541–551.
- Debaeke, P., Casadebaig, P., Flenet, F., Langlade, N. (2017). Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. *OCL*, 24(1), D102. DOI:10.1051/ocl/2016052
- Godfray, H.C.H., 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, 812–818.
- Green, T.R., Erskine, R.H. (2004). Measurement, scaling, and topographic analyses of spatial crop yield and soil water content. *Hydrol. Process*, 18, 1447–1465.
- Guisan, A., Weiss, S.B., Weiss, A.D. (1999). GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*. 143, 107–122.
- Halvorson, G.A. and Doll, E.C. (1991). Topographic effects on spring wheat yield and water use. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 1680–1685.
- Hansen, M.C., DeFries, R.S., Townshend, J.R.G., Sohlberg, R. (2001). Global land cover classification at the 1km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 1331–1364.
- Jenness, J., Brost, B., Beier, P. (2013). Land Facet Corridor Designer: Extension for ArcGIS. Jenness Enterprises. Available at: http://www.jennessent.com/arcgis/land_facets.htm
- Jiao, L., Liu, Y. (2012). Analyzing the Shape Characteristics of Land Use Classes in Remote Sensing Imagery. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1–7, 135–140.
- Kaspar, T.C., Pulido, D.J., Fenton, T.E., Colvin, T.S., Karlen, D.L., Jaynes, D.B. and Meek, D.W. (2004). Relationships of corn and soybean yield to soil and terrain properties. *Agron. J.*, 96, 700–709.
- Kollas, C., Lasch, P., Rock, J., Suckow, F., (2009). Bioenergy potential in Germany – assessing spatial patterns of biomass production with aspen short-rotation coppice. *Int. agrophys.*, 23, 343–352.

- Kostrzewski, M., Waller, P., Guertin, P., Haberland, J., Colaizzi, P., Barnes, E., Thompson, T., Clarke, T., Riley, E., Choi, C. (2002). Ground-based remote sensing of water and nitrogen stress. *J. Trans. ASABE*, 46(1), 29–38.
- Koval, V.V., Natalochka, V. O., Tkachenko, S.K., Minenko, O.V. (2012). The present state of soil fertility in the Poltava region. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 2, 76–82 (in Ukrainian).
- Kravchenko, A.N., Bullock, D.G. (2000). Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron. J.*, 92, 75–83.
- Kuchma, T.L. (2015). Indication landscape diversity according to remote sensing: Dis. candidate. Agricultural Sciences: 03.00.16. Kyiv (in Ukrainian).
- 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.
- Mahmoodabadi, M. (2011). Sediment yield estimation using a semiquantitative model and GIS-remote sensing data. *Int. Agrophys.*, 25, 241–247.
- Malaviya, S., Munsli, M., Oinam, G., Joshi, P.K., (2010). Landscape approach for quantifying land use land cover change (1972–2006) and habitat diversity in a mining area in Central India (Bokaro, Jharkhand), *Environmental Monitoring and Assessment*, 170, 215–229.
- Marques da Silva, J.R., Silva, L.L. (2006). Evaluation of maize yield spatial variability based on field flow density. *Biosyst. Eng.*, 95, 339–347.
- McAlpine, C.A., Eyre, T.J. (2002). Testing landscape metrics as indicators of habitat loss and fragmentation in continuous eucalypt forests (Queensland, Australia). *Landscape Ecol.*, 17(8), 711–728.
- McGarigal, K., Marks, B.J., (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.
- Metcalf, R.L. (1980). Changing roles of insecticides in crop protection. *Annu. Rev. Entomol.*, 25, 219–256.
- Miao, Y.X., Mulla, D.J., Robert, P.C. (2006). Identifying important factors influencing corn yield and grain quality variability using artificial neural networks. *Precis. Agr.*, 7, 117–135.
- Moore I., Gessler P., Nielsen G., Peterson G. (1993). Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, 443–452.
- 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, 254–257.
- Newsom, L.D. (1967). Consequences of insecticide use on nontarget organisms. *Annu. Rev. Entomol.*, 12, 257–286.
- Oerke, E.-C., Dehne, H.-W. (2004). Safeguarding production – losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Prot.*, 23, 275–285.
- Olaya, V., Conrad, O. (2008). Geomorphometry in SAGA. Hengl T., Reuter H.I. (Eds.): *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Elsevier.
- 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.
- Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardtke, T., Thies, C. (2005). The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *J. Appl. Ecol.*, 42, 873–882.
- Salvi, F., Pouzet, A. (2010). Étude sur les causes possibles du ralentissement du progrès agronomique en colza d'hiver et en tournesol. *CR Académie d'Agriculture de France*, 96(3), 24–32.
- Simmons, F.W., Cassel, D.K. and Daniels, R.B. (1989). Landscape and soil property effects on corn grain yield response to tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 534–539.
- Sumarokov, A.M., Zhukov, A.V. (2006). Ground of renewal of ecological potential of agrobiogeocenoses at diminishing of pesticidal loadings in Ukraine. *The Kharkov Entomological Society Gazette*, XIV, 1–2, 145–154.
- Tester, M., Langridge, P. (2010). Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327, 818–822.
- Timlin, D., Pachepsky, Y., Snyder, V.A., Bryant, R.B. (1998). Spatial and temporal variability of corn grain yield on a hillslope. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, 764–773.
- Tschardtke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biol. Cons.*, 151, 53–59.
- Turner, M.G., O'Neill, R.V., Gardner, R.H., Milne, B.T. (1989). Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 3, 153–162.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. *Agricultural handbook*. Washington, 537–565.
- Zeleeke, T.B., Si, B.C. (2004). Scaling properties of topographic indices and crop yield: Multifractal and joint multifractal approaches. *Agron. J.*, 96, 1082–1090.
- Zhukov, O.V., Pisarenko, P.V., Kunah, O.M., Dichenko, O.J. (2015). Role of landscape diversity in dynamics of abundance of sugar beet pests population in Poltava region. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 23, 1, 21–27 (in Ukrainian).
- Zhukov, O.V., Pisarenko, P.V., Kunah, O.M., Dichenko, O.J. (2015). Assessment of the variation within space and time plant cover by means of remote sensing. *Visnyk of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economy University*, 2, 36, 105–112 (in Ukrainian).
- Zhukov, A. V., Kunah, O. Y., Zadorozhnaja, G. A., Andrushevich E. V. (2013). Landscape ecology as a basis of the spatial analysis of agrocoenosis productivity. *Ecology and Noospherology*, 24, 1–2, 68–80 (in Russian).

- Zhukov, A., Zadorozhnaya, G. (2016). Spatial heterogeneity of mechanical impedance of a typical chernozem: the ecological approach. *Ekológia (Bratislava)*, 35, 263–278.
- Zhukov, A.V., Andryushchenko, A.Yu. (2017). Relief and ecological niche of mute swan (*Cygnus olor* (Gmelin, 1803)) wintering in Sivash. *Acta Biologica Sibirica*, 3 (2), 20–45.
- Zhukov, A.V., Kunah, O.N., Konovalova, T.M. (2011). Landscape aspect of the mole rats (*Spalax microphthalmus* Guldenstaedt 1770) ecological niche Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 3, 13–27 (in Russian).
- Zhukov, A.V., Kunah, O.N., Novikova, V.A., Ganzha, D.S. (2016). Phytointication estimation of soil mesopedobionts communities catena and their ecomorphic organization. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 6 (3), 91–117 (in Russian).
- Zhukov, A.V., Sirovatko, V.O., Ponomarenko, N.O. (2017). Spatial dynamic of the agriculture fields towards their shape and size. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(3), 14–31. doi: 10.15421/2017_45
- Zhukov, O.V., Kunah, O.M., Taran, V.O., Lebedinska, M.M. (2016). Spatial variability of soils electrical conductivity within arena of the river Dnepr valley (territory of the natural reserve “Dniprovsko–Orilsky”). Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 6 (2), 129–157 (in Ukrainian).

Citation:

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.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License
