

УДК 631.559
© 2017

О.В. ЖУКОВ,
доктор біологічних наук

С.В. ПОНОМАРЕНКО,
здобувач

АГРОЕКОЛОГІЧНА
ДЕТЕРМІНАЦІЯ
ТРЕНДУ ВРОЖАЙНОСТІ
ЗЕРНОВИХ
ТА ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР

Дніпропетровський національний
університет імені Олеся Гончара
– Полтавська державна
аграрна академія, Україна
E-mail: zhukov_dnipro@ukr.net

вул. С. Єфремова, 25, м. Дніпро
вул. Г. Сковороди, 1/3. м. Полтава

Запропоновано методичний підхід до встановлення значення агроекологічних факторів у тренді врожайності зернових та зернобобових культур. Тренд пов'язано з дією систематичних факторів агроекономічної та агротехнологічної природи. Циклічну компоненту ідентифіковано як таку, що має переважно агроекологічне походження. Встановлено чіткий тренд підвищення врожайності зернових та зернобобових в Полтавській області за 1995–2016 рр., який можна описати лінійною залежністю. Коефіцієнти лінійної моделі змістовно інтерпретовані як швидкість зростання врожайності згодом та потенціал урожайності в початковий період дослідження. Параметри лінійної моделі тренду врожайності досліджуваних культур можна пояснити за допомогою показників різноманіття ландшафтного покриву, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії. Відповідно до прогнозованого значення коефіцієнта зростання врожайності культур, райони поділені на три агроекологічні групи: з низьким, помірним та високим потенціалом зростання.

Ключові слова: мінімальна модель тренду врожайності, часова динаміка, агро-екологічні фактори, різноманіття, зернові та зернобобові культури.

Одним із перших на необхідність прогнозування часових рядів звернув увагу видатний український економіст-математик Є.Є. Слуцький [15]. На основі теорії пов'язаних рядів він побудував методику прогнозування випадкових процесів. Існує багато підходів до прогнозування та прогнозних моделей продуктивності аграрного виробництва. Усі методи прогнозування врожайності можна звести до чотирьох груп – космо-статистичні, гео-статистичні, абстрактно-статистичні та системно-статистичні [13]. Космо-статистичні методи досліджують гіпотетичну залежність продуктивності від космічних процесів і від динаміки сонячної активності [1]. Недостат-

ня ефективність та обґрунтованість космо-статистичних прогнозів пояснюється тим, що вплив космічних чинників на процес вегетації рослин здійснюється опосередковано. Тому в прогнозуванні врожайності необхідне поєднання космо-статистичних та інших прогнозів, зокрема гео-статистичних [14]. Гео-статистичний підхід до описання враховує вплив геофізичних, кліматичних і погодних чинників на динаміку біологічних процесів [2–10].

О.І. Симоненко вважає, що необхідно уважніше відноситися до абстрактно-статистичних методів прогнозування врожайності, які передбачають вивчення особливостей динаміки процесу, не розглядаючи причин,

які викликають цю динаміку [13]. Однією з найцікавіших наукових гіпотез є гіпотеза про циклічний характер змін урожайності на деякій обмеженій території. Як міру схожості коливань врожайності сільськогосподарських культур можна використовувати коефіцієнти кореляції між рядами відхилень від трендів часових рядів однакової тривалості. У зв'язку з цим висновки, які ґрунтуються на дослідженні трендових залишків, завжди є неоднозначними через можливість вибору різних варіантів тренду [13].

Для аналізу властивостей динамічної системи рекомендують позбутися тренду, що здійснюється або за допомогою механічного, або аналітичного згладжування [14]. Відзначимо, що тренд є не випадковою складовою часового ряду, яка повільно змінюється та відзеркалює вплив деяких постійних факторів [12]. Цій складовій часової динаміки врожайності ми приділяємо значну увагу, оскільки пов'язуємо її з дією систематичних факторів агроекономічної та агротехнологічної природи. У свою чергу циклічна компонента має переважно агроекологічне походження. Таке розподілення є певною генералізацією, так як агроекономічні процеси можуть мати циклічну динаміку, а тренд може бути пов'язаний з дією такого фактора, як глобальне потепління клімату. Тому **метою нашого дослідження** було запропонувати методичний підхід для того, щоб встановити значення агроекологічних факторів у тренді врожайності зернових та зернобобових культур.

Матеріали та методи. В основу дослідження покладено відкриті відомості про рівень урожайності зернових та зернобобових культур у середньому по адміністративних районах Полтавської області за 1995–2016 рр. Відповідні відомості містяться в офіційних щорічних публікаціях “Сільське господарство Полтавської області” Головного управління статистики області (<http://www.pl.ukrstat.gov.ua/>). Наявність загального тренду по зростанню врожайності зернових та зернобобових культур за досліджуваний період дозволяє для аналітичного опису динаміки у часі застосовувати лінійну модель виду (дані попередньо логарифмовані):

$$Y = b x + a,$$

де Y – врожайність у момент часу x ; a та b – коефіцієнти.

Наголосимо, що ці коефіцієнти можна змістовно інтерпретувати: коефіцієнт b – як швидкість зростання врожайності з часом, a – як потенціал урожайності в початковий період дослідження. Коефіцієнти розраховують за методом найменших квадратів, у розрахунку використовують усі експериментальні дані. Отже, як швидкість зростання, так і потенціал на початку спостережень розраховані певною мірою ретроспективно. Точність моделі характеризує коефіцієнт детермінації R^2 , який може варіювати в межах від 0 до 1. Величина $1-R^2$ вказує на частку варіабельності врожайності культур, які знаходяться поза межами лінійного тренду. Ця частка також має складну природу. До її складу входять “шум” та закономірні зміни врожайності, які не мають глобального характеру, тобто мають частотні характеристики, значно менші за свій періодом, ніж період досліджень. Тренд інтерпретуємо як частину динаміки врожайності сільськогосподарських культур, які обумовлені агроекологічними та агротехнологічними чинниками. Позатрендова регулярна мінливість має агроекологічну природу.

Відзначимо ще два ключові інформаційні набори земельних характеристик, які використовуються в агроекологічному 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. Як геоморфологічні змінні в роботі розглянуто деякі похідні цифрової моделі рельєфу.

Топографічний індекс вологості. Концепція топографічного індексу вологості (*topographic wetness index – TWI*) уперше була запропонована К. Бівеном і Н. Кіркбі [16]. 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 [8–10, 20].

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 розкриває 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 у 21 штаті [11].

На базі цифрової моделі рельєфу за допомогою процедури, основаної на індексі топографічної позиції [18], були виділені головні форми рельєфу. Процедуру виконано в програмі SAGA [21].

Для оцінки типів використання земель можуть бути застосовані результати програ-

ми глобального моніторингу покриття Землі – *Global Land Cover 2000 Project (GLC 2000)* [17]. На основі карт класифікації типів покриття поверхні Землі та головних типів рельєфу були обраховані карти просторового варіювання індексів різноманіття типів покриття Землі та рельєфного різноманіття за Шенноном. Розрахунки виконані в програмі ArcMap 10.2 за допомогою модуля Land Facet Corridor Designer [19]. Географічна інформаційна система побудована за допомогою програми ArcGIS 10.2. Статистичні розрахунки виконані в програмі Statistica 10.0.

Результати дослідження та їх обговорення. Лінійна модель залежності врожайності зернових та зернобобових культур за 1995–2016 рр. здатна пояснити від 55 до 88 % варіабельності цього показника (табл. 1).

1. Параметри лінійного рівняння тренду динаміки врожайності зернових та зернобобових культур по районах Полтавської області (для попередньо логарифмованих даних)

№ п.п	Район	R^2	a	b
1	Великобагачанський	0,83	1,26	0,025
2	Гадяцький	0,73	1,19	0,028
3	Глобинський	0,72	1,31	0,019
4	Гребінківський	0,72	1,22	0,023
5	Диканський	0,77	1,25	0,021
6	Зінківський	0,77	1,23	0,023
7	Карлівський	0,68	1,29	0,021
8	Кобеляцький	0,67	1,19	0,022
9	Козельщинський	0,64	1,18	0,023
10	Котелевський	0,65	1,32	0,018
11	Кременчуцький	0,55	1,23	0,019
12	Лохвицький	0,66	1,20	0,027
13	Лубенський	0,68	1,18	0,026
14	Машівський	0,86	1,21	0,031
15	Миргородський	0,88	1,24	0,029
16	Новосанжарський	0,78	1,28	0,028
17	Оржицький	0,64	1,38	0,014
18	Пирятинський	0,77	1,21	0,025
19	Полтавський	0,70	1,27	0,020
20	Решетилівський	0,75	1,24	0,023
21	Семенівський	0,76	1,24	0,024
22	Хорольський	0,65	1,29	0,019
23	Чорнуханський	0,65	1,11	0,030
24	Чутівський	0,59	1,26	0,018
25	Шишацький	0,75	1,34	0,021

Вільний член, який свідчить про початковий потенціал урожайності культур, варіює від 1,11 до 1,38, що відповідає врожайності 12,59 та 23,98 ц/га. Швидкість тренду варіює в межах 0,014–0,031.

Указані особливості ми розглядаємо переважно як результат глобального фактора, який діє протягом усього періоду дослідження. Природа цього фактора може бути агро-економічною або агротехнологічною. Але результативність згаданих чинників переломлюється через призму агроекологічних умов. За допомогою загальної лінійної моделі спробуємо дослідити характер такої залежності.

Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт детермінації лінійного тренду здатна пояснити 49 % варіювання цієї ознаки (табл. 2).

Підкреслимо, що коефіцієнт детермінації лінійного тренду може змістовно бути інтерпретований як результативність агро-економічних та агротехнологічних зусиль на динаміку зростання врожайності сільсько-господарських культур. Чим менший цей показник, тим більше значення мають фактори з нелінійною складовою. Це можуть бути як випадкові фактори – інформаційний шум,

так і фактори екологічного походження, які мають коливальну природу з різними характерними частотами. Безумовно, лінійна модель є певною спрощеною генералізацією, яка придатна для описання процесу на фазі активного зростання. Кінцевим станом динаміки процесу є вихід на плато, яке позначає максимально можливе використання агро-екологічного потенціалу за умов застосування відповідної агротехнології. На етапі активного зростання лінійний характер динаміки надає саме розгортання можливостей агротехнологічних та агро-економічних зусиль для реалізації агро-екологічного потенціалу.

Для коефіцієнта детермінації статистично вірогідними предикторами є різноманіття рослинного покриття та рельєфне різноманіття, взаємодія рельєфного різноманіття та топографічного індексу вологості, взаємодія рослинного різноманіття та топографічного індексу вологості, а також взаємодія рослинного різноманіття та індексу ерозії.

Рельєфне різноманіття негативно впливає на коефіцієнт детермінації ($-16,09 \pm 6,06$). Це свідчить про те, що різноманітні агро-еко-системи в рельєфному аспекті більш чутливі для впливу екологічних чинників на фоні відповідних агро-економічних та агротехнологічних зусиль.

2. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт детермінації лінійного тренду ($R^2 = 0,49$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступінь вільності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень
Ландшафтне різноманіття (Land)	0,16	1	0,16	7,05	0,02
Різнорманіття рослинного покриття (Plant)	0,31	1	0,31	13,68	0,00
Топографічний індекс вологості (TWI)	0,01	1	0,01	0,27	0,61
Індекс ерозії (LS)	0,03	1	0,03	1,27	0,28
Land*Plant	0,01	1	0,01	0,29	0,60
Land*TWI	0,16	1	0,16	7,20	0,02
Plant*TWI	0,30	1	0,30	13,37	0,00
Land*LS	0,01	1	0,01	0,48	0,50
Plant*LS	0,36	1	0,36	16,13	0,00
TWI*LS	0,01	1	0,01	0,37	0,55
Помилка	0,34	15	0,02	–	–

Рослинне різноманіття належить до найбільш дієвих факторів стабільного розгортання агроекологічного потенціалу території ($20,84 \pm 5,64$). Зазначимо, що рослинне різноманіття у своєму впливі взаємодіє з ерозійними ризиками ($-1,28 \pm 0,32$) у такий спосіб, що ерозія знижує позитивний вплив різноманіття.

Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриву, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт a лінійного тренду здатна пояснити 73 % варіювання цього показника (табл. 3).

Статистично вірогідними предикторами потенціалу врожайності на початку періоду спостережень є різноманіття рослинного покриву, індекс ерозії, взаємодія різноманіття рослинного покриву та рівня зволоження території, взаємодія різноманіття рослинного покриву та індексу ерозії, взаємодія зволоження та ерозії. Потенціал врожайності позитивно залежить від різноманіття рослинного покриву (стандартизований регресійний коефіцієнт $4,66 \pm 1,93$) та негативно від ризиків ерозії, які позначаються індексом LS ($-1,77 \pm 0,40$). Регресійний коефіцієнт біля члена, який позначає взаємодію різноманіт-

тя рослинного покриву та топографічного індексу вологості, є від'ємним ($-4,73 \pm 1,81$). Можна припустити, що найбільше значення як різноманіття рослинного покриву, так і зволоження, обумовленого рельєфними причинами, спостерігається одночасно поза зоною оптимуму для зернових та зернобобових культур. Взаємодія різноманіття рослинного покриву та індексу ерозії також позначається від'ємним регресійним коефіцієнтом ($-0,36 \pm 0,11$). Очевидно, що ризики ерозійних процесів знижують позитивний вплив різноманіття рослинного покриву. У свою чергу взаємодія TWI та LS позначається позитивним регресійним коефіцієнтом ($2,64 \pm 0,54$). Такий результат може бути наслідком компенсації більшим рівнем зволоження негативного впливу ризиків ерозійних процесів.

Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриву, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт b лінійного тренду дозволяє пояснити 68 % варіювання цієї ознаки (табл. 4).

Статистично вірогідними предикторами є топографічний індекс вологості, індекс ерозії, взаємодія ландшафтного різноманіття та індексу ерозії, взаємодія топографічного ін-

3. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриву, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт a лінійного тренду ($R^2 = 0,73$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступінь вільності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень
Ландшафтне різноманіття (Land)	0,0020	1	0,0020	2,49	0,14
Різнноманіття рослинного покриву (Plant)	0,0047	1	0,0047	5,86	0,03
Топографічний індекс вологості (TWI)	0,0013	1	0,0013	1,58	0,23
Індекс ерозії (LS)	0,0159	1	0,0159	19,69	0,00
Land*Plant	0,0020	1	0,0020	2,50	0,13
Land*TWI	0,0024	1	0,0024	2,92	0,11
Plant*TWI	0,0055	1	0,0055	6,84	0,02
Land*LS	0,0027	1	0,0027	3,27	0,09
Plant*LS	0,0090	1	0,0090	11,09	0,00
TWI*LS	0,0191	1	0,0191	23,59	0,00
Помилка	0,0121	15	0,0008	—	—

4. Загальна лінійна модель впливу показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії на коефіцієнт b лінійного тренду ($R^2 = 0,68$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступінь вільності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень
Ландшафтне різноманіття (Land)	0,08	1	0,08	0,17	0,69
Різноманіття рослинного покриття (Plant)	0,01	1	0,01	0,02	0,88
Топографічний індекс вологості (TWI)	2,53	1	2,53	5,53	0,03
Індекс ерозії (LS)	7,42	1	7,42	16,21	0,00
Land*Plant	0,01	1	0,01	0,03	0,86
Land*TWI	0,23	1	0,23	0,50	0,49
Plant*TWI	0,01	1	0,01	0,03	0,87
Land*LS	2,09	1	2,09	4,57	0,05
Plant*LS	0,00	1	0,00	0,00	0,98
TWI*LS	7,93	1	7,93	17,32	0,00
Помилка	6,87	15	0,46	–	–

дексу вологості та індексу ерозії. Топографічний індекс вологості характеризується позитивним регресійним коефіцієнтом впливу на швидкість зростання врожайності зернових та зернобобових культур протягом періоду дослідження (стандартизований коефіцієнт $3,91 \pm 1,62$). Це є достатньо закономірним результатом: агроекономічні та агротехнологічні зусилля мають тим більшу результативність, чим більш сприятливими є агроекологічні умови, які позначаються в тому числі й топографічним індексом вологості. Свого пояснення потребує та обставина, що індекс ерозії також характеризується і позитивним регресійним коефіцієнтом ($6,72 \pm 1,68$).

Для більш глибокого розуміння впливу маркера ерозійної небезпеки на швидкість зростання врожайності сільськогосподарських культур необхідно враховувати також статистично вірогідний регресійний коефіцієнт біля члена, який позначає взаємодію між рельєфним різноманіттям та індексом ерозійної небезпеки – він дорівнює $2,37 \pm 1,11$. Очевидно, що рельєфне різноманіття є позитивним фактором, який забезпечує потенціал зростання врожайності сільськогосподарських культур, але він тісно корелює з пересіченістю рельєфу, з якою

пов'язана також ерозійна небезпека. У такий спосіб можна визнати, що позитивний зв'язок індексу ерозії та коефіцієнта зростання врожайності є не функціональним, а формальним, як наслідок опосередкованого впливу на врожайність рельєфного різноманіття.

Взаємний вплив топографічного індексу вологості та індексу ерозії характеризується негативним регресійним коефіцієнтом ($-9,50 \pm 2,28$). Отриманий результат можна пояснити нейтралізуючим впливом ризиків ерозії на вологозабезпеченість території.

Таким чином, агроекологічні особливості території формують матрикс, у межах якого розгортається реалізація біотичного потенціалу під впливом агроекономічних та агротехнологічних факторів. На результативність цих факторів, які за визначенням певною мірою є незалежними від природних обставин, діє агроекологічний контекст, який відображається в термінах різноманіття рослинного покриття та рельєфу.

Регресійна модель дозволяє на основі агроекологічних предикторів спрогнозувати значення коефіцієнта зростання тренду врожайності зернових та зернобобових культур (рис. 1).

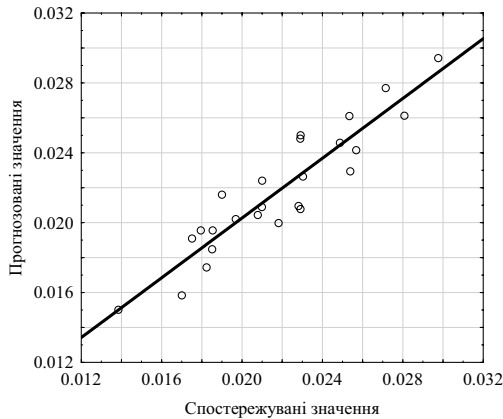


Рис. 1. Спостережувані та прогнозовані на основі агроекологічних предикторів значення коефіцієнта зростання тренду врожайності зернових та зернобобових культур

Прогнозоване значення коефіцієнта зростання тренду врожайності зернових та зернобобових культур вказує на біо-

тичний потенціал території для зростання врожайності внаслідок агроекономічних та агроекологічних зусиль, який обумовлений агроекологічними чинниками. Відповідно до прогнозованого значення коефіцієнта зростання райони розподілені на три агроекологічні групи: з низьким потенціалом зростання ($b < 0,020$), помірним ($0,020 < b < 0,024$) та високим ($b > 0,024$) – рис. 2.

Райони з високим агроекологічним потенціалом росту врожайності зернових та зернобобових культур зосереджені в північній та центральній частинах області. Райони з низьким агроекологічним потенціалом розташовані на сході, півдні та на південному заході області; райони з помірним потенціалом займають перехідне положення між двома попередніми агроекологічними територіями.

Виділені агроекологічні райони вказують на чутливість територій до агроекономічних та агротехнологічних зусиль для зростання врожайності зернових та зернобобових культур.



Рис. 2. Агроекологічне районування території Полтавської області за агроекологічним потенціалом зростання врожайності зернових та зернобобових культур: 1 – низький потенціал; 2 – помірний потенціал; 3 – високий потенціал

Висновки

1. Визначено чіткий тренд збільшення врожайності зернових та зернобобових в Полтавській області за 1995–2016 рр., який можна описати лінійною залежністю. Коефіцієнти лінійної моделі змістовно інтерпретовані як швидкість зростання врожайності з часом та потенціал врожайності в початковий період дослідження.

2. Параметри лінійної моделі тренду врожайності зернових та зернобобових культур можуть

бути пояснені за допомогою показників різноманіття ландшафтного покриття, топографічного індексу вологості, індексу ерозії та їх взаємодії.

3. Відповідно до прогнозованого значення коефіцієнта зростання врожайності зернових та зернобобових культур райони розподілені на три агроекологічні групи: з низьким потенціалом зростання ($b < 0,020$), помірним ($0,020 < b < 0,024$) та високим ($b > 0,024$).

Бібліографія

1. Грицан Ю.І. Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище / Ю.І. Грицан. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2000. – 300 с.

2. Фитоиндикационное оценивание катены сообществ почвенной мезофауны и их экоморфическая организация / А.В. Жуков, О.Н. Кунах, В.А. Новикова, Д.С. Ганжа // Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого. – 2016. – № 6(3). – С. 39–45.

3. Жуков О.В. Аналіз часових рядів показника NDVI рослинності Великого Чапельського поду за 2010–2015 рр. / О.В. Жуков, О.П. Гофман // Наукові записки НАУКМА. – 2016. – Т. 184. – С. 40–46. – (Серія: Біологія та екологія).

4. Роль ландшафтного різноманіття у динаміці чисельності популяцій шкідників цукрового буряку в Полтавській області / О.В. Жуков, П.В. Писаренко, О.М. Кунах, О.Ю. Диченко // Вісник Дніпропетровського університету. – 2015. – Вип. 23, т. 1. – С. 21–27. – (Серія: Біологія та екологія).

5. Оцінка варіювання у просторі та часі рослинного покриття засобами дистанційного зондування Землі / О.В. Жуков, П.В. Писаренко, О.М. Кунах, О.Ю. Диченко // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. – 2015. – №2(36). – С. 105–112.

6. Жуков О.В. Аналіз просторових даних в екології та сільському господарстві / О.В. Жуков. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2015. – 124 с. doi: 10.13140/RG.2.1.3480.2406

7. Екологія техноземів: монографія / О.В. Жуков, Г.О. Задорожна, К.П. Маслікова, К.В. Андрушевич, І.В. Лядська. – Дніпро: Журфонд, 2017. – 442 с.

8. Просторова варіабельність електропровідності ґрунтів ари долини р. Дніпро (у межах природного заповідника “Дніпровсько-Орільський”) / О.В. Жуков, О.М. Кунах, В.О. Таран, М.М. Лебединська // Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького. – 2016. – № 6(2). – С. 129–157.

9. Кунах О.М. Геоморфологічні екогеографічні зміни, які визначають особливості екологічної ніші ваточника сирійського (*Asclepias syriaca* L.) / О.М. Кунах, О.С. Патка // Біологічний вісник МДПУ. – 2016. – № 1. – С. 243–275.

10. Кунах О.М. Екогеографічні детермінанти екологічної ніші ваточника сирійського (*Asclepias syriaca*) на

основі індексів знімків дистанційного зондування Землі / О.М. Кунах, О.С. Патка // Вісник Дніпропетровського університету. 2016. – 24(1). – С. 78–86. – (Серія: Біологія та екологія).

11. Митчел Дж.К. Расчеты потерь почвы / Дж.К. Митчел, Г.Д. Бубензер // Эрозия почв. – М.: Колос, 1984. – С. 34–95.

12. Присенко Г.В. Прогнозування соціально-економічних процесів: навч. посібник / Г.В. Присенко, Є.І. Равікович. – К.: КНЕУ, 2005. – 378 с.

13. Симоненко Е.І. Методология анализа и моделирования одномерных временных рядов урожайности зерновых культур / Е.І. Симоненко // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 8. – С. 130–133.

14. Симоненко О.І. Методологічні засади моделювання виробництва зерна в Україні / О.І. Симоненко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2013. – Вип. 181(3). – С. 232–238. – (Серія: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес).

15. Слуцький Е.Е. Сложение случайных причин как источник циклических процессов / Е.Е. Слуцький // Вопросы конъюнктуры. – 1927. – Вип. 1, т. 3. – С. 34–64.

16. Beven K. A physically based variable contributing area model of basin hydrology / K. Beven, N. Kirkby // Hydro. Sci. Bull. – 1979. – P. 43–69.

17. European Commission. Joint Research Centre [Electronic resource] / Global Land Cover 2000 database, 2003. – Available at: <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php>.

18. Guisan A. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution / A. Guisan, S.B. Weiss, A.D. Weiss // Plant Ecology. – 1999. – Vol. 143. – P. 107–122.

19. Jenness J. Land Facet Corridor Designer: Extension for ArcGIS / J. Jenness, B. Brost, P. Beier // Jenness Enterprises. – 2013. – Available at: http://www.jennessent.com/arcgis/land_facets.htm

20. Moore I. Soil attribute prediction using terrain analysis / I. Moore, P. Gessler, G. Nielsen, G. Peterson // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1993. – Vol. 57. – P. 443–452.

21. Olaya V. Geomorphometry in SAGA / V. Olaya, O. Conrad; ed. by T. Hengl, H.I. Reuter // Geomorphometry: concepts, software, applications. Elsevier. – 2008. – 765 p.