

УДК 631:551.50+551.58

## РОЗВИТОК МЕТОДОЛОГІЇ ОЦІНКИ ПОТЕНЦІАЛУ ВРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ КЛІМАТУ І АГРОФІТОТЕХНОЛОГІЙ

**В. П. Дмитренко<sup>1</sup>**, д-р геогр. наук, проф.  
**Л. П. Однолєток<sup>1</sup>**, мол. наук. співроб.  
**О. О. Кривошеїн<sup>1</sup>**, канд. геогр. наук  
**А. В. Круківська<sup>2</sup>**, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,  
03028, Україна, м. Київ, проспект Науки, 37

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
01601, Україна, м. Київ, вул. Володимирська, 64/13, [Alkrukivska@ukr.net](mailto:Alkrukivska@ukr.net)

У статті викладено теоретичні основи сумісної оцінки біологічної, екологічної і антропогенної складових потенціалу врожайності сільськогосподарських культур, що ґрунтуються на екосистемній концепції та математичній моделі «Погода–урожай», розроблених В. П. Дмитренком. Наведено результати апробації комплексних підходів для просторово-часового аналізу потенціалу урожайності озимої пшениці на території України за різнофакторними показниками господарського максимуму урожайності з урахування стійкості та мінливості його рівнів.

**Ключові слова:** концепція, модель, клімат, агрофітотехнології, озима пшениця, коефіцієнт продуктивності, господарський максимум урожайності

### 1. ВСТУП

Для підвищення ефективності сільськогосподарської діяльності, пов'язаної з виробництвом рослинної продукції, важливою є оцінка потенціалу урожайності в умовах багатофакторної та багаторівневої залежності об'єктів виробництва від кліматичних, ґрунтових, агротехнічних і економічних чинників. Оцінка потенціалу урожайності полягає у визначенні максимального рівня біологічної або господарської продуктивності польової культури за обмежень, зумовлених родючістю ґрунту, сприятливістю клімату та наслідками антропогенного впливу на агроєкосистему [1, 2, 3].

Основи теорії високої продуктивності посівів сільськогосподарських культур вперше були обґрунтовані у працях А. О. Ничипоровича (1950-ті роки), який досліджував зв'язок між фотосинтезом і накопиченням органічної речовини в динаміці формування як біологічного, так і господарського урожаю в агрофітоценозі [4]. Потужним поштовхом для інтенсивного розвитку методів оцінки потенціалу урожайності стало висунення і розробка А. А. Климовим, Г. Е. Листопадом і Г. П. Устенком ідеї програмування урожаю (1971 р.). Концепцію максимальної продуктивності посівів, як систему ключових положень, розроблено Х. Тоомінгом (1977 р.).

Згідно з цією концепцією, найвища урожайність посіву формується за його максимально можливого газообміну CO<sub>2</sub> в певних умовах середовища, тобто за оптимального взаємозв'язку функцій фотосинтезу і дихання в онтогенезі рослин. Для кількісної оцінки потенційної продуктивності сільськогосподарських культур за різнофакторного природного і антропогенного впливу на агроєкосистему Х. Тоомінг розробив метод еталонних урожаїв (1984 р.), в якому вплив різних лімітуючих чинників на продукційний процес рослин (кліматичних, ґрунтових, господарсько-економічних) враховується на основі відповідних категорій урожайності – потенційної, кліматично забезпеченої, дійсно можливої, виробничої або господарської [4, 5]. Вагомий внесок у розвиток і поглиблення методології оцінки потенційної продуктивності посівів зроблено Є. Є. Жуковським, А. М. Польовим, Д. І. Шашком, Ю. І. Чирковим та іншими відомими вченими [4].

Основи системної оцінки потенціалу урожайності за ознаками динамічності та оптимальності його елементів у поєднанні з впливом агрометеорологічних чинників обґрунтовано в останніх працях В. П. Дмитренка [6, 7, 8]. Цей напрямок може бути визначений як комплексний підхід до сумісної оцінки біологічної, екологічної і антропогенної складових потенціалу врожайності сільськогосподарських культур.

Мета дослідження полягає в апробації нових підходів до системної оцінки потенціалу урожайності сільськогосподарських культур, розроблених В. П. Дмитренком, які засновані на визначенні господарського максимуму урожайності з урахування стійкості та мінливості його рівнів за впливу агрометеорологічних і агрокліматичних умов та організаційно-технологічних заходів.

Об'єктом дослідження є врожайність озимої пшениці, відображена сукупністю показників її рівня, ступеня мінливості та потенціалу в межах різних агрокліматичних зон України.

**Вихідні дані.** У дослідженні використано середні обласні дані по температурі повітря і кількості опадів за період 1961–2010 рр., надані Українським Гідрометцентром, і дані Держкомстату по середній обласній урожайності озимої пшениці за цей же період. На їх основі проведено порівняльний аналіз потенціалу урожайності озимої пшениці в Україні за стандартний кліматологічний період, рекомендований ВМО, (1961–1990 рр.) і двадцятиріччя на рубежі століть – 1991–2010 рр.

## 2. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ГОСПОДАРЬКОГО МАКСИМУМУ ВРОЖАЙНОСТІ

Потенціал урожайності  $Y_{II}$  є провідним показником базової фізико-статистичної моделі «Погода–урожай» В. П. Дмитренка [6].

У загальному вигляді базова модель «Погода–урожай» описується рівнянням виду

$$y_P = Y_{II} (1 - u) S(T, R) (1 - \gamma_k), \quad (1)$$

де  $y_P$  – розрахункова урожайність, ц/га;  $Y_{II}$  – потенціал урожайності, ц/га;  $u$  – зрідженість посівів у відносних одиницях;  $S(T, R)$  – сумарний коефіцієнт продуктивності польової культури за значеннями температури повітря ( $T$ ) і кількості опадів ( $R$ ) у міжфазні періоди розвитку рослин;  $\gamma_k$  – фактори, що порушують біологічні закономірності формування максимальної врожайності за їх числовою відносною ідентифікацією.

Модель «Погода–урожай» містить блок оцінки потенціалу врожайності і блок впливу основних метеорологічних чинників за різні міжфазні періоди розвитку сільськогосподарської культури. Модель (1) дозволяє кількісно оцінювати вплив погодних умов на урожайність культури шляхом поєднання щорічного потенціалу урожайності  $Y_G$ , характе-

ристич стану посівів за їх зрідженістю  $u$  та іншими ознаками  $\gamma_k$  (кущистість, умови загартування, умови перезимівлі, терміни сівби тощо) із значеннями сумісних коефіцієнтів продуктивності  $\eta(T, R)$  польової культури за температурою повітря  $T$  і кількістю опадів  $R$  за міжфазні періоди чи в цілому за вегетаційний період. Останні узагальнюються у вигляді сумарних коефіцієнтів продуктивності  $S(T, R)$ . Осереднені значення сумарних коефіцієнтів продуктивності за відповідний кліматично та біологічно визначений інтервал часу в онтогенезі рослин є основою для оцінки впливу клімату на відносний рівень урожайності за цей період у вигляді показника загальної плодотворності клімату  $C_{кл}$ .

Блок оцінки потенціалу врожайності в моделі «Погода–урожай» призначений для розв'язання різних наукових і виробничих завдань на основі даних про можливі рівні врожаю польової культури у визначеній місцевості з певною родючістю ґрунту та плодотворністю клімату і антропогенним впливом на агроєкосистему за рівнем господарювання.

В. П. Дмитренко розробив нові підходи до оцінки різнофакторних потенціалів урожайності – загального, трендового та кліматичного, а також методику розрахунку коефіцієнтів ефективності різномістовних потенціалів урожайності.

Перший підхід стосується врахування стійкості рівнів урожайності і ґрунтується на таких положеннях. Згідно з С. Я. Антомоновим [9], середня арифметична величина за великої кількості членів ряду, що спрямовуються до математичного сподівання  $\bar{y}$ , визначає детерміновану складову поведінки біосистеми по відношенню до вихідної величини  $y$ . Середнє квадратичне відхилення  $\sigma$ , що є параметром теоретичного закону розподілу випадкових величин, відображає їхню ймовірність. Якщо основне відхилення  $\sigma$  є ймовірністю математичного сподівання  $\bar{y}$ , то коефіцієнт варіації  $C_v$  за відношенням  $\sigma$  до  $\bar{y}$  уявляє собою мінливість детермінованої складової [10]. У виразі  $\bar{y} - \sigma$  детермінована складова зменшується на ймовірність коливань поточних значень  $y_i$ . Стійкий, тобто такий, що не коливається рівень урожайності  $Y$  за величин поточних значень  $y_i$  описується виразом

$$Y = \bar{y} - \sigma. \quad (2)$$

Розділивши обидві частини виразу (2) на ма-

тематичне сподівання  $\bar{y}$ , отримано

$$\frac{Y}{\bar{y}} = 1 - \frac{\sigma}{\bar{y}} = 1 - C_{v,y}, \quad (3)$$

де  $C_{v,y}$  – коефіцієнт варіації величини  $y$ .

Права частина виразу (3) отримала назву *коефіцієнта стійкості* [7, 8]. Поєднання коефіцієнта стійкості із стабільним рівнем урожайності  $Y$  є основою для оцінки її математичного сподівання за виразом

$$Y(1 - C_{v,y}) = \bar{y}. \quad (4)$$

З (4) отримано вираз для розрахунку загального потенціалу врожайності

$$Y_{п.заг} = \frac{\bar{y}}{1 - C_{v,y}}. \quad (5)$$

Потенціал урожайності з урахуванням антропогенного впливу на агроценоз  $Y_{mp}$  за певний період визначається за відношенням середньої урожайності  $\bar{y}$  до коефіцієнта трендової стійкості за виразом

$$Y_{п,mp} = \frac{\bar{y}}{1 - C_{v,mp}}, \quad (6)$$

де  $C_{v,mp}$  – антропогенна або організаційно-технологічна мінливість урожайності, що описується відношенням міри мінливості (з урахуванням тренду) до середньої величини

$$C_{v,mp} = \frac{\sigma_{mp}}{\bar{y}}. \quad (7)$$

За таким підходом В. П. Дмитренко реалізував ідею оцінки стійкості (щорічної мінливості) урожайності під впливом агротехнічних чинників за співставленням статистичних параметрів – математичного сподівання і коефіцієнта варіації.

Для врахування щорічних коливань тренду врожайності В. П. Дмитренко введено поняття господарського потенціалу урожайності  $Y_{п,г}$ , що розраховується за рівнянням

$$Y_{п,г} = Y_{п,i} + A(t - t_0), \quad (8)$$

де  $A$  – тренд за період;  $t$  – номер поточного року;  $t_0$  – номер реперного року.

Інший підхід до визначення потенціалу врожайності базується на оцінці стійкості (мінливості) статистичного максимуму урожайності із застосуванням параметрів плодотворності клімату  $C_{кл}$  і географічного мак-

симуму урожайності [6, 7, 8]. Географічний потенціал урожайності  $Y_g$  характеризує взаємодію біологічних властивостей рослин  $Y_B$ , ефективної родючості ґрунту  $F_e$ , плодотворності клімату  $C_{кл}$  та антропогенного впливу  $A$  на систему “ґрунт–рослина–атмосфера” і описується виразом

$$Y_g = Y_B F_e C_{кл} A. \quad (9)$$

Середній рівень урожайності  $\bar{y}$  визначається, з урахуванням параметрів моделі «Погода–урожай», за рівнянням

$$\bar{y} = Y_B F_e S(\bar{T}, \bar{R}) A, \quad (10)$$

де  $S(\bar{T}, \bar{R})$  – плодотворність клімату  $C_{кл}$  за певний інтервал часу.

Зважаючи на умовну стійкість (стабільність) показників  $Y_B$ ,  $F_e$  та  $A$  за деякий інтервал часу, кліматичний максимум урожайності  $Y_{кл}$  описується виразом

$$Y_{кл} = \frac{\bar{y}}{S(\bar{T}, \bar{R})} f(Y_B, F_e, A), \quad (11)$$

де  $f(Y_B, F_e, A)$  – постійний коефіцієнт стабільного сумісного впливу сортозміни  $Y_B$ , родючості ґрунту  $F_e$  і агротехнології  $A$ .

Зміст запропонованих В. П. Дмитренко різнофакторних потенціалів урожайності відображено в табл. 1.

Розглянуті підходи до визначення потенціалів урожайності у вигляді загального максимуму, кліматичного максимуму та трендового максимуму мають важливе науково-прикладне значення. Потенціал урожайності кожного типу може бути використаний для оцінки ефективності умов вирощування польової культури за кожним врахованим фактором, а також як критерій оптимальності у процесах агрометеорологічних стратегій адаптації аграрного виробництва та як критерій міри чутливості рівня урожайності до умов вирощування сільськогосподарських культур.

Оцінка ефективності умов вирощування польової культури виконується із застосуванням відношення отриманої врожайності за сукупності фактичних умов до відповідного потенціалу за оптимальних умов. Коефіцієнт ефективності умов вирощування польової культури  $\eta$  розраховується за формулою

$$\eta_{п,i} = \frac{y_i}{Y_{п,i}}. \quad (12)$$

**Таблиця 1** – Зміст потенціалів урожайності сільськогосподарських культур у моделі «Погода–урожай» (за В. П. Дмитренком)

Потенціал урожайності	Вираз	Зміст
Загальний господарський за коефіцієнтом статистичної стійкості	$\frac{\bar{y}}{1 - C_{v,y}} + At$	Визначає загальний максимальний рівень урожайності відповідно до коефіцієнту стійкості і тренду, зумовленого впливом організаційно-економічних чинників у сукупності з технологічними заходами і впливом клімату за певний період
Кліматичний господарський за показником плодотворності клімату	$\frac{\bar{y}}{S(\bar{T}, \bar{R})} + At$	Відображає максимальний рівень урожайності під впливом особливостей клімату за певний період із урахуванням щорічного тренду
Антропогенний господарський за коефіцієнтом трендової стійкості	$\frac{\bar{y}}{1 - C_{v,TP}} + At$	Відображає максимальний рівень урожайності за сукупним антропогенним впливом у певний період відповідно до коефіцієнту стійкості за щорічним трендом

Коефіцієнт ефективності  $\eta_{Pi}$  кількісно відображає вплив агрометеорологічних умов та господарсько-економічних заходів на рівень урожайності за співставленням її щорічного рівня з максимально можливим. Він дозволяє оцінити внесок відповідних умов у формування врожайності. Таким чином, за загальним типом потенціалу він відповідає сумарному внеску антропогенних і кліматичних чинників, за кліматичним типом потенціалу визначається внесок клімату в рівень урожайності, за типом трендового потенціалу оцінюється значення антропогенного внеску в рівень урожайності.

Щорічні коефіцієнти ефективності потенціалів  $\eta$  урожайності змінюються в межах від 0,2 до 1,2. Оцінка їх господарського значення здійснюється за даними табл. 2 [8].

Аналіз та порівняння даних табл. 2 є основою для визначення ступеня пристосування агроєкосистеми до особливостей агрофітотехнологій, мінливості агрометеорологічних умов та змін клімату.

За викладеною методологією проведено оцінку мінливості урожайності озимої пшениці у ґрунтово-кліматичних зонах України за різні багаторічні інтервали часу (табл. 3).

Аналіз та порівняння даних, наведених у табл. 3, надає підстави для визначення ступеня пристосування агроєкосистем до особливостей агрометеорологічних умов, змін клімату та антропогенного внеску у формування урожайності озимої пшениці.

Узагальнений по ґрунтово-кліматичних зонах середній рівень урожайності озимої пшениці свідчить про його підвищення у період 1991–2010 рр. порівняно з періодом 1961–1990 рр. на 0,8–1,6 ц/га, за винятком

Південного Степу, де урожайність зменшилась на 0,7 ц/га. Коефіцієнт мінливості урожайності  $C_{v,y}$  майже у всіх зонах і підзонах помітно зменшився у другий досліджуваний період (на 2–7%), крім Південного Степу, де він збільшився на 2%. Тренд урожайності озимої пшениці протягом 1961–1990 рр. коливається в межах 0,6–0,8 ц/га-рік, що є показником підвищення культури землеробства. За період 1991–2010 рр., навпаки, тренд має від'ємне значення, що свідчить про застійне і деградуєчне землеробство та невідповідність організаційно-технологічних заходів із адаптації до агрометеорологічних умов. Значення тренду змінюється від -0,03 до -0,33 ц/га-рік, за винятком Полісся, де тренд додатний і становить в середньому 0,02 ц/га-рік. Такі особливості динаміки показників узгоджуються і з багаторічним ходом кліматичного потенціалу врожайності озимої пшениці  $Y_{П,КЛ}$ , який зменшився на більшій частині території країни на 0,1–1,2 ц/га в останній період порівняно із попереднім, за винятком Полісся та Центрального Лісостепу.

Поряд із значною неоднорідністю показників потенціалу та мінливості врожайності озимої пшениці, лише показник плодотворності клімату у вигляді сумарного коефіцієнта продуктивності  $S(T,R)$  суттєво підвищився (на 2–4%) за період 1991–2010 рр. Це свідчить, у цілому, про сприятливість кліматичних умов протягом вегетаційного циклу озимої пшениці. Винятком є Південний Степ, де сумарний коефіцієнт продуктивності у багаторічному ході зменшився на 1%, що пов'язано з впливом несприятливих агрокліматичних умов, зокрема недостатньої вологозабезпеченості.

Таблиця 2 – Типізація коефіцієнтів ефективності потенціалів урожайності (за В. П. Дмитренком)

Тип рівня урожайності	Числові межі рівня	Зміст типу
Вище традиційного	$\geq 1,01$	Урожайність вища, ніж потенціал
Звичний відмінний	0,9–1,0	Урожайність на рівні потенціалу
Звичний добрий	0,7–0,9	Урожайність вище середньої
Задовільний	0,5–0,7	Урожайність на рівні середньої
Незадовільний	0,2–0,5	Урожайність нижче середньої
Надзвичайний низький	0,0–0,2	Урожайність за несприятливих і надзвичайних умов вирощування культури

Таблиця 3 – Основні показники різнофакторних потенціалів урожайності озимої пшениці з урахуванням впливу агрокліматичних умов та господарської діяльності у ґрунтово-кліматичних зонах України

Ґрунтово-кліматична зона і підзона	$\bar{y}^*$	$C_{v,y}$	$S(T,R)$	$A$	$U_{n.z.}$	$\eta_z$	$U_{n.кл.}$	$\eta_{кл.}$	$U_{n.тр.}$	$\eta_{тр.}$
	<b>1961–1990 рр.</b>									
Полісся	24,6	27	0,79	0,68	30,3	0,81	31,4	0,78	29,3	0,84
Лісостеп Західний	26,9	29	0,78	0,75	33,2	0,81	35,1	0,76	31,6	0,84
Лісостеп Центральний	30,9	26	0,79	0,73	38,2	0,81	39,7	0,78	36,2	0,85
Лісостеп Східний	28,0	30	0,77	0,69	36,3	0,77	36,6	0,76	34,4	0,81
Степ Північний	26,7	28	0,79	0,57	35,1	0,76	34,1	0,78	32,5	0,82
Степ Південний	26,5	27	0,80	0,53	34,3	0,77	33,8	0,78	32,0	0,82
<b>1991–2010 рр.</b>										
Полісся	26,2	18	0,82	0,02	32,0	0,82	31,9	0,82	30,3	0,86
Лісостеп Західний	28,1	23	0,81	-0,33	35,6	0,79	34,5	0,81	33,2	0,85
Лісостеп Центральний	32,1	22	0,82	-0,14	40,9	0,79	39,8	0,81	39,1	0,82
Лісостеп Східний	28,9	28	0,81	-0,12	40,3	0,72	35,4	0,81	37,6	0,77
Степ Північний	27,5	28	0,81	-0,03	38,1	0,72	33,3	0,83	36,2	0,79
Степ Південний	25,8	29	0,79	-0,09	35,5	0,73	32,7	0,79	35,2	0,74

\*Умовні позначення:  $\bar{y}$  – середня урожайність, ц/га;  $C_{v,y}$  – мінливість урожайності, %;  $S(T,R)$  – сумарний коефіцієнт продуктивності як показник плодотворності клімату  $C_{кл}$ , д.о.;  $A$  – тренд урожайності, ц/га-рік;  $U_{n.z.}$  – загальний потенціал урожайності, ц/га;  $U_{n.кл.}$  – кліматичний потенціал урожайності, ц/га;  $U_{n.тр.}$  – трендовий потенціал урожайності, ц/га;  $\eta_z$ ,  $\eta_{кл.}$ ,  $\eta_{тр.}$  – ефективність відповідних потенціалів, в.о.

Коефіцієнт ефективності  $\eta$  певного потенціалу врожайності визначає ступінь відповідності агроекологічних чи агротехнічних умов вирощування польової культури або їхньої сукупності. Так, загальна ефективність умов формування врожайності озимої пшениці за період 1961–1990 рр. більша за кліматичну ( $\eta_z > \eta_{кл.}$ ) на 1–5 % на більшій частині території України. Винятком є степова зона, де агротехнології поступаються впливу клімату. У період 1991–2010 рр. спостерігається зменшення загальної ефективності агрофітотехнологій у формуванні врожайності озимої пшениці на 2–5 % майже на всій території країни, крім Полісся, де простежується її підвищення на 1 %. Це свідчить про незначне послаблення внеску організаційно-технологічної складової у формування врожайності у цей період порівняно з попереднім.

Коефіцієнт ефективності трендового потенціалу урожайності озимої пшениці  $\eta_{тр.}$  в обидва періоди виявився більшим ніж кліматичний  $\eta_{тр.} > \eta_{кл.}$ . Це означає, що, в цілому, організаційно-технологічні заходи є більш значимими чинниками формування врожайності ніж вплив клімату. Тобто, кліматичні умови не лімітують формування врожайності озимої пшениці і є цілком задовільними. Лише у Східному Лісостепу і в Степу спостерігається зменшення коефіцієнту ефективності трендового потенціалу протягом 1991–2010 рр. ( $\eta_{тр.} < \eta_{кл.}$ ) на 3–8 %, що зумовлено зниженням ефективності організаційно-технологічних заходів.

Коефіцієнт кліматичної ефективності формування врожайності озимої пшениці, незважаючи на суттєву повторюваність на території України несприятливих погодних умов і явищ, виявився досить стабільним – на рівні 0,76–0,78 у період

1961–1990 рр. та зріс на 3–5 % у період 1991–2010 рр. у всіх ґрунтово-кліматичних зонах.

Коефіцієнт кліматичної ефективності потенціалу врожайності мало відрізняється від сумарного коефіцієнта продуктивності  $S(T,R)$  – лише на 1–2% в усіх зонах в обидва періоди. Подібність цих показників свідчить про сталість впливу погодних і кліматичних умов на формування урожайності озимої пшениці.

Таким чином, за наслідками порівняльного аналізу показників потенціалу врожайності озимої пшениці в ґрунтово-кліматичних зонах України за 1961–1990 рр. та 1991–2010 рр. можна зробити висновок про домінуюче значення антропогенного організаційно-технологічного внеску в рівень і мінливість урожайності. Кліматична складова не визначає необхідності зміни стратегій адаптації. Значення клімату в коливаннях рівнів урожайності є другорядним і підпорядкованим антропогенній стратегії.

Узагальнені по періодах і зонах дані щодо оцінки ефективності умов вирощування озимої пшениці не повною мірою відображають вплив на рівень урожайності щорічних коливань цих умов. На рис. 1 і рис. 2 для прикладу показано

просторовий розподіл показника кліматичного потенціалу озимої пшениці, як найбільш стабільного, за 2003 р. та 2008 р., які відрізняються за ступенем сприятливості агрометеорологічних умов протягом осінньої і весняно-літньої вегетації озимої пшениці. Таким чином, у 2003 р. (рис. 1) значне зниження врожайності озимої пшениці було спричинено впливом осінньої посухи і вимерзання посівів взимку. Рівень урожайності озимої пшениці був надзвичайно низьким за невідповідних і надзвичайних умов вирощування у Кіровоградській, Дніпропетровській, Миколаївській, Одеській і Херсонській областях, коефіцієнт ефективності кліматичного потенціалу  $\eta_{кл} < 0,2$ . Урожайність нижче середньої за коефіцієнтом ефективності кліматичного потенціалу 0,2–0,5 спостерігалась на значній території України (Лісостеп Центральної і Східної). Лише у межах західної частини території ефективність кліматичного потенціалу відзначилась у межах 0,5–0,7, що свідчить про задовільний (близько до середнього багаторічного) та добрий (вище середнього) рівень врожайності озимої пшениці. 2008 рік (рис. 2), навпаки, був сприятливим для вирощування озимої пшениці в усіх областях України.

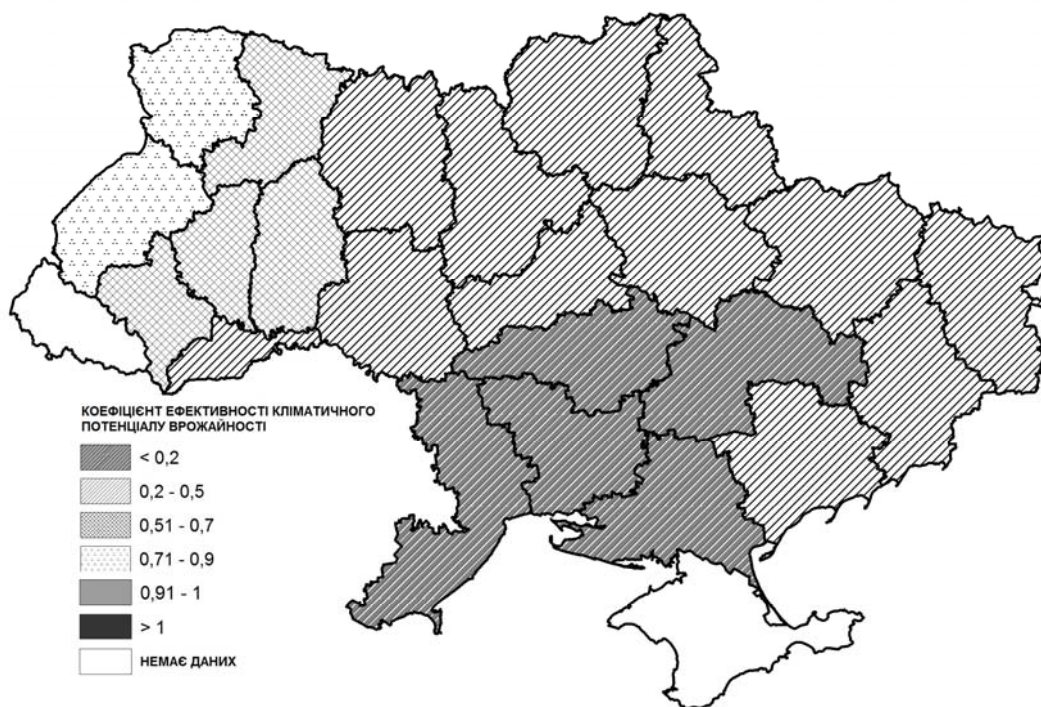


Рис. 1 – Оцінка ефективності умов вирощування озимої пшениці за кліматичним потенціалом урожайності в адміністративних областях України за 2003 р.

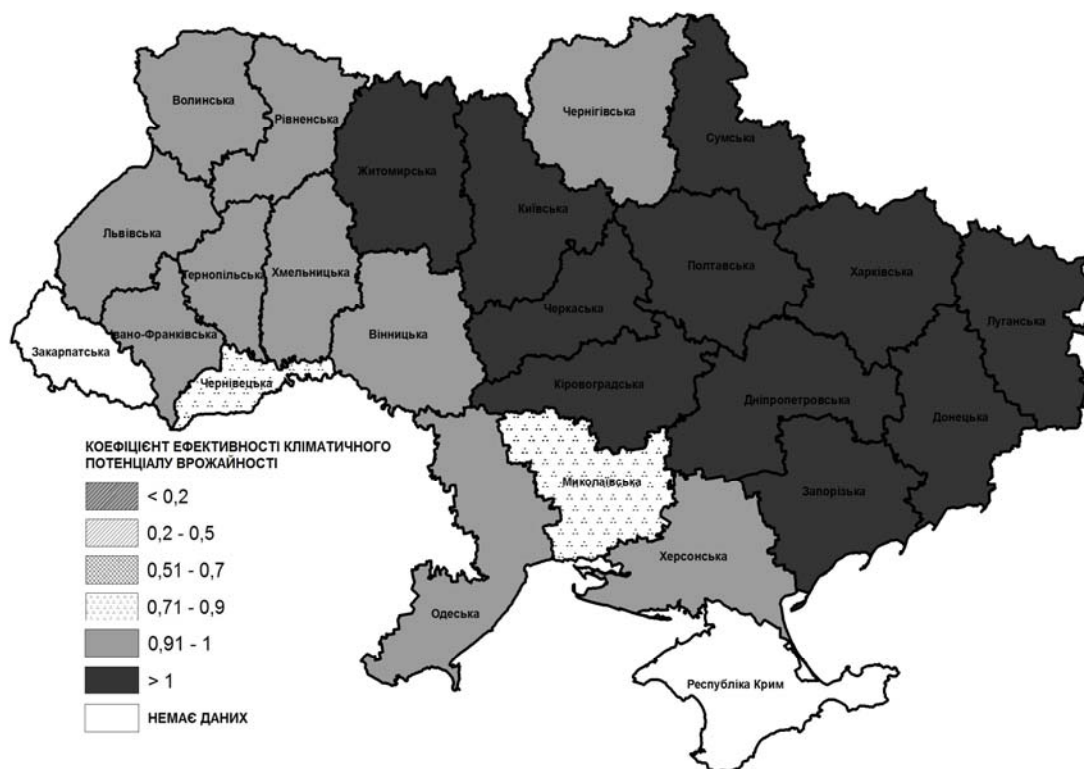


Рис. 2. – Оцінка ефективності умов вирощування озимої пшениці за кліматичним потенціалом урожайності в адміністративних областях України за 2008 рік

Урожайність культури досягала рівня кліматичного потенціалу в Поліссі (за винятком Житомирської області, де  $y_i > Y_{кл}$ ) і у Західному Лісо-степу. Формуванню високої урожайності також сприяло ефективне застосування агрофітотехнологій, у тому числі залучення високопродуктивних сортів і гібридів, обробка насіння мікроелементами і стимуляторами росту.

### 3. ВИСНОВКИ

Таким чином, за результатами проведених досліджень узагальнено основні методологічні положення і апробовано нові підходи до комплексної оцінки потенціалу урожайності сільськогосподарських культур.

Потенціал урожайності є провідним показником у моделі «Погода–урожай» В. П. Дмитренка. За своїм змістом він поєднує значення біологічних властивостей посіву у формуванні можливої максимальної урожайності з впливом умов середовища, який є неоднорідним за ступенем відповідності потребам рослин в онтогенезі. У розглянутих підходах особливості впливу різних чинників середовища на формування

урожайності сільськогосподарських культур визначаються за показниками різнофакторних потенціалів урожайності – загального, кліматичного і трендового (агротехнологічного). На основі положень математичної статистики та теорії максимального урожаю В. П. Дмитренко розробив методику оцінки потенціалів урожайності, які відрізняються за змістом і значенням кліматичних і організаційно-технологічних складових. Відмінності за ступенем впливу цих чинників на рівень урожайності, згідно з опрацьованими підходами, можуть бути визначені шляхом порівняння коефіцієнтів ефективності загального, кліматичного і трендового потенціалів.

Розроблені підходи апробовано на прикладі оцінки багаторічної динаміки різнофакторних потенціалів урожайності озимої пшениці на території України. За наслідками порівняльного аналізу показників потенціалу врожайності за 1961–1990 рр. та 1991–2010 рр. виявлено домінуюче значення антропогенного організаційно-технологічного внеску в рівень і мінливість урожайності озимої пшениці в обидва періоди.

Стаття написана за матеріалами останніх до-

сліджень видатного українського вченого-агрометеоролога, доктора географічних наук, професора Віталія Павловича Дмитренка (1931–2016), який присвятив свою наукову діяльність вивченню закономірностей впливу агрометеорологічних чинників на розвиток рослин, біологічну продуктивність і урожайність сільськогосподарських культур, систем землеробства і агрофітотехнології на засадах розроблених ним екосистемної концепції та математичної моделі «Погода–урожай».

Світла Пам'ять про Віталія Павловича Дмитренка залишається в серцях його колег і учнів, у монографіях, численних статтях і науково-методичних розробках, які слугують і надалі слугуватимуть джерелом глибоких наукових ідей та поштовхом для нових творчих пошуків у царині агрометеорології.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дмитренко В. П. Математическая модель урожайности сельскохозяйственных культур // Труды УкрНИГМИ. 1973. Вып. 122. С. 3-13.
2. Дмитренко В. П. О моделях расчета урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических факторов // Метеорология и гидрология. 1971. № 5. С. 84-91.
3. Дмитренко В. П., Бердник А. А. Статистическая модель географического максимума урожайности сельскохозяйственных культур // Труды УкрНИГМИ. 1974. Вып. 131. С. 11-23.
4. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Ленинград: Гидрометеоздат, 1984. 264 с.
5. Тооминг Х. Г. Метод эталонных урожаев // Вестн. с.-х. науки. 1982. №3 (306). С. 89-94.
6. Дмитренко В. П. Погода, клімат і урожай польових культур. Київ: Ніка-Центр, 2010. 620 с.
7. Дмитренко В. П. Принципи і засоби визначення потенціалу урожаю сільськогосподарських культур за еколого-географічними засадами // Наук. праці УкрНДГМІ. 2005. Вып. 254. С. 9-29.
8. Дослідження впливу регіональних кліматичних змін в Україні на властивості агроєкосистем і механізми їх пристосування за міжрічної мінливості агрометеорологічних умов та несприятливих явищ. Звіт про НДР (заключний), 2/12. Київ: УГМІ. 2012. (№ держреєстрації 01124004652).
9. Антомонов Ю. Г. Моделирование биологических систем. Справочник. Київ: Наукова думка, 1977. 260 с.
10. Юзбашев М. М., Манелля А. И. Статистический анализ тенденций и колеблености. Москва: Финансы и статистика, 1983. 208 с.

#### REFERENCES

1. Dmitrenko V. P. Mathematical model of productivity of agricultural crops. *Trudy UkrNIGMI – Works of UHMI*, 1973, vol. 122, pp. 3-13. (In Russian)
2. Dmitrenko V. P. About the models of crop yields calculation with consideration of hydrometeorological factors. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, 1971, № 5, pp. 84-91. (In Russian)
3. Dmitrenko V. P., Berdник A. A. Statistical model of the geographical maximum of crop yields. *Trudy UkrNIGMI – Works of UHMI*, 1974, vol. 131, pp. 11-23. (In Russian)
4. Tooming Kh. G. *Ekologicheskiye printsipy maksimalnoy produktivnosti posevov* [Ecological principles of maximum crop productivity]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1984. 264 p.
5. Tooming Kh. G. Method of standard yields. *Vestn. s.-kh. nauki – Proceedings of agricultural science*, 1982, no. 3 (306), pp. 89-94. (In Russian)
6. Dmytrenko V. P. *Pohoda, klimat i urozhay pol'ovyykh kul'tur* [Weather, climate and crop yields]. Kyiv: Nika-Tsentr, 2010. 620 p.
7. Dmytrenko V. P. Principles and means of determination of potential crop yields on ecological and geographical bases. *Nauk. pratsi UkrNDHMI – Scientific Works of UHMI*, 2005, vol. 254, pp. 9-29. (In Ukrainian)
8. *Investigation of the influence of regional climatic changes in Ukraine on the properties of agroecosystems and mechanisms of their adaptation for intermittent variability of agrometeorological conditions and adverse events. Report about bresearch work*, № 01124004652, 2012 (In Ukrainian, unpublished)
9. Antomonov Yu. G. *Modelirovaniye biologicheskikh sistem. Spravochnik* [Modeling of biological systems. Directory]. Kiev: Naukova dumka, 1977, 260 p.
10. Yuzbashev M. M., Manellya A. I. *Statisticheskyy analiz tendentsiy i koleblenosti* [Statistical analysis of trends and fluctuations]. Moscow: Finance and statistics, 1983, 208 p.

## DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF ESTIMATING OF AGRICULTURAL CROP YIELD POTENTIAL WITH CONSIDERATION OF CLIMATE AND AGROPHYTOTECNOLOGY IMPACT

**V. P. Dmytrenko**, Dr, Prof.

**L. P. Odnolyetok**<sup>1</sup>, JRF

**O. O. Kryvoshein**<sup>1</sup>, PhD

**A. V. Krukivska**<sup>2</sup>, PhD

<sup>1</sup>Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Emergency Service of Ukraine and National Academy of Science of Ukraine  
03028, Ukraine, Kyiv, 37 Nauky Avenue

<sup>2</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv  
01601, Ukraine, Kyiv, 64/13 Volodymyrska Street, [Alkrukivska@ukr.net](mailto:Alkrukivska@ukr.net)



In the paper it is outlined the main methodological positions and the results of the approbation of new approaches to the integrated assessment of the potential of crop yields.

There are considered the theoretical foundations of a joint assessment of the biological, ecological and anthropogenic components of the yield potential of agricultural crops which are based on the ecosystem concept and the mathematical model "Weather–Crop Yield" developed by V. P. Dmytrenko. In the considered approaches the peculiarities of the influence of various environmental factors on the formation of crop yields are determined by indicators of various potential yields – general, climatic and trend (agrotechnological). Each type of yield potential can be used for evaluation of the effectiveness of the conditions of field crop growing for each factor taken into account, as well as the optimality criterion in the agrometeorological adaptation strategies and also as a criterion for the degree of sensitivity of the yield level to the conditions of crops cultivating.

The developed approaches are tested on the example of estimation of long-term dynamics of winter wheat yield potential in Ukraine. According to the results of the evaluation of different factors of the potential of the productivity of winter wheat for the periods 1961–1990 and 1991–2010 the dominant importance of organizational and technological processes in comparison with the contribution of changes of agroclimatic conditions has been determined in both periods.

**Keywords:** conception, model, climate, agrophytotechnology, winter wheat, coefficient of productivity, economic maximum of crop yield

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И АГРОФИТОТЕХНОЛОГИЙ

**В. П. Дмитренко**<sup>1</sup>, д-р геогр. наук

**Л. П. Однолеток**<sup>1</sup>, мл. науч. сотр.

**О. О. Кривошеин**<sup>1</sup>, канд. геогр. наук

**А. В. Круковская**<sup>2</sup>, канд. геогр. наук

<sup>1</sup>Український гідрометеорологічний інститут ГСЧС України і НАН України  
03028, Україна, г. Київ, проспект Науки, 37

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
01601, Україна, г. Київ, ул. Владимирская, 64/13, [Alkrukivska@ukr.net](mailto:Alkrukivska@ukr.net)

В статье изложены теоретические основы совместной оценки биологической, экологической и антропогенной составляющих потенциала урожайности сельскохозяйственных культур, базирующиеся на экосистемной концепции и математической модели «Погода–урожай», разработанных В. П. Дмитренко. Приведены результаты пространственно-временного анализа потенциала урожайности озимой пшеницы на территории Украины по показателям общего, климатического и трендового хозяйственного максимумов урожайности с учетом устойчивости и изменчивости их уровней. На основе оценки разнофакторных показателей потенциала урожайности озимой пшеницы за 1961–1990 гг. и 1991–2010 гг. установлено доминирующее значение организационно-технологических процессов для формирования урожайности по сравнению с вкладом изменений агроклиматических условий в оба периода.

**Ключевые слова:** концепция, модель, климат, агрофитотехнологии, озимая пшеница, коэффициент продуктивности, хозяйственный максимум урожайности

Дата першого подання: 30. 08. 2017

Дата надходження остаточної версії: 12. 10. 2017

Дата публікації статті: 26. 10. 2017