

УДК 633.11"324"+631.559

А.М. Польовий, д. з. н., Л.Ю.Божко, к.з.н., О.О.Дронова к.з.н.

Одеський державний екологічний університет

ПРОСТОРОВО–ЧАСОВА ОЦІНКА МІНЛИВОСТІ ВРОЖАЇВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Наводиться аналіз рядів просторово–часової мінливості урожаїв озимої пшениці. Були розраховані лінії трендів урожаїв методом гармонійних зважувань, відхилення урожайності від лінії тренда, динаміка тенденції урожайності та дана оцінка кліматичної мінливості врожаїв культури стосовно території України.

Ключові слова: просторово-часова мінливість, урожайність, озима пшениця, Україна

Вступ. Прогрес сільського господарства привів до суттєвого підвищення врожаїв всіх культур. Але на фоні загального росту врожаїв їх коливання з року в рік ще досить значні.

Тому для одержання планованих урожаїв та науково обґрунтованого розміщення сільськогосподарських культур поряд з детальною оцінкою агрокліматичних ресурсів необхідне вивчення часової мінливості врожаїв у різних агрокліматичних зонах.

Матеріали та методи розрахунку. Для проведення оцінки часової мінливості врожаїв озимої пшениці використовувались дані про середньообласну урожайність культури на території України з 1996 по 2009 роки.

Мінливість врожаїв сільськогосподарських культур в окремі роки зумовлена впливом значної кількості факторів, які поділяють на дві групи. [1, 2, 3, 4]

Перша група включає ряд факторів, що зумовлюють рівень культури землеробства. Фактори цієї групи дуже різноманітні. Це і досягнення генетики та селекції, технологія обробітку культур, яка включає забезпеченість добривами, меліорацію земель, а також енергоозброєність сільського господарства. Друга група об'єднує метеорологічні фактори, які визначають значні відхилення урожайності в окремі роки від середнього рівня.

Однак при вирішенні практичних питань часто виникає необхідність роздільної оцінки ступеня впливу на урожайність як рівня культури землеробства, так і умов погоди. В основу такої оцінки покладено ідею В.М. Обухова [5] про можливість розкладання часового ряду урожайності будь-якої культури на дві складові: стаціонарну і випадкову. Ця ідея набула подальшого розвитку у дослідженнях інших авторів [6, 7, 8, 9]. У такій постановці ряд урожайності ($Y_t = 1, 2, \dots, n$) можна представити у вигляді загальної статистичної моделі такого роду

$$Y_t = f(t) + U_t, \quad (1)$$

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

Стаціонарна складова визначає загальну тенденцію зміни урожайності в аналізованому періоді. Вона являє собою плавну лінію, одержану в результаті згладжування ряду. Ця лінія називається трендом і описується зазвичай рівнянням прямої або параболою другого порядку. Лінія тренда досить точно характеризує середній рівень урожайності, зумовлений рівнем культури землеробства, економічними й природними особливостями конкретного району.

Випадкова складова зумовлюється погодними особливостями окремих років, визначає їх вплив на формування урожайності і представляє відхилення від лінії тренда.

Для оцінки урожайності сільськогосподарських культур у різних регіонах або прогнозування тенденції урожайності на найближчі роки в практиці агрометеорології найчастіше застосовують два методи - найменших квадратів і гармонійних зважувань. Метод гармонійних зважувань вперше був запропонований З.Хельвігом [10]. Пізніше цей метод набув подальшого розвитку у дослідженнях А.А.Френкеля [11], А.М.Польового [8] та інших. Основна ідея методу гармонійних зважувань (МГЗ) полягає в тому, що в результаті зважування певним чином окремих спостережень часового ряду, більш пізнім спостереженням часового ряду надаються більші ваги. При використанні МГЗ як деяке наближення істинного $f(t)$ тимчасового ряду урожайності сільськогосподарських культур береться ламана лінія

$$Y_i(t) \quad (t = 1, 2, 3, \dots, n),$$

що згладжує задане число точок тимчасового ряду Y_i . Окремі відрізки ламаної лінії (ковзаного тренда) представляють його окремі фази. Для визначення окремих фаз руху ковзаного тренда вибираємо число років, що утворюють окрему фазу, причому $k < n$, і за допомогою методу найменших квадратів знаходимо рівняння лінійних відрізків

$$Y_i(t) = a_i + b_i t \quad (i = 1, 2, \dots, n - k + 1) \quad (2)$$

причому

для	$i = 1, t = 1, 2, \dots, k;$
для	$i = 2, t = 2, 3, \dots, k + 1;$
для	$i = n - k + 1, t = n - k + 1, n - k + 2, \dots, n.$

Параметри a_i і b_i рівняння (2) визначаються методом найменших квадратів.

Потім визначаємо значення кожної функції $Y_i(t)$ в точках $t = i + h - 1$ ($h = 1, 2, \dots, k$).

Із цих значень обираємо ті, для яких $t = l$, та через $Y_j(t)$ позначаємо функції $Y_i(t)$ для $t = i$. Нехай таких значень буде g_i . Середнє значення можна визначити за виразом

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{g_i} \sum_j^{g_i} Y_i(t), \quad (j = 1, 2, \dots, g_i). \quad (3)$$

Прирости w_{t+1} функції $f(t)$ визначаємо як

$$w_{t+1} = f(t+1) - f(t) = \bar{Y}_{t+1} - \bar{Y}_t, \quad (4)$$

розраховуємо середню приростів

$$\bar{w} = \sum_{t+1}^{n-1} C_{t+1}^n \cdot w_{t+1}, \quad (5)$$

де C_{t+1}^n – коефіцієнти, які задовольняють такі вимоги

$$C_{t+1}^n > 0 \quad (t = 1, 2, \dots, n-1),$$

$$\sum_{t=1}^{n-1} C_{n+1}^n = 1.$$

Гармонійні коефіцієнти визначаємо за формулою

$$C_{t+1}^n = \frac{m_{t+1}}{(n-1)}, \quad (6)$$

де m_{t+1} - гармонійні ваги.

Вираз (4) дозволяє надавати більш пізнім спостереженням більші ваги. Якщо найбільш ранні спостереження мають вагу

$$m_2 = \frac{1}{(n-1)}, \quad (7)$$

то вага інформації m_3 , яка відноситься до наступного моменту часу, буде визначатися як

$$m_3 = \frac{m_2 + 1}{(n-2)}. \quad (8)$$

Таким чином, ряд гармонійних ваг визначається за рівнянням

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t} \quad (t = 2, 3, \dots, n-1) \quad (9)$$

з початковим значенням, яке виражається рівнянням (6).

Екстраполяція тенденції часового ряду урожайності визначається за виразом

$$\bar{Y}_{t+1} = \bar{Y}_t + \bar{w} \quad (10)$$

при початкових умовах $\bar{Y}_t = \bar{Y}_n$.

Запропонований алгоритм описує метод розрахунку точок динамічної складової часового ряду урожайності за МГЗ, а також дозволяє по тенденції часового ряду прогнозувати її величину на найближчі 1 - 2 роки.

Нами досліджувалися ряди урожайності озимої пшениці по кожній з областей України, які були об'єднані в окремі регіони – Полісся, Лісостеп, Степ, Закарпаття та Прикарпаття. Тенденція урожайності визначалася за допомогою методу гармонійних зважувань [3,6,7].

Для проведення аналізу динаміки тенденції урожайності нами розглядався абсолютний приріст тенденції урожайності ΔY_t

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-k} \quad (11)$$

та темп росту тенденції урожайності T_p

$$T_p = \frac{Y_t}{Y_{t-k}} \cdot 100\% \quad (12)$$

де Y_t – значення урожайності в i -й рік; Y_{t-k} – базисний рівень врожаїв, віддалений від Y_t на k років, т/га.

Для оцінки властивостей послідовних випадкових відхилень від тренда нами розглядалися такі статистичні параметри: максимальний, мінімальний, середній урожаї та оцінка варіації випадкових відхилень урожаю за Пасовим В.М. [7].

Погодний коефіцієнт варіації урожайності C_p розраховується за формулою вигляду

$$C_p = \frac{1}{\bar{Y}} \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2 - \sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})}{n-1}}. \quad (13)$$

Таким чином, аналіз тимчасових рядів урожайності проводився за такою схемою:

- розрахунок тенденції урожайності;
- аналіз динаміки тенденції урожайності;
- дослідження випадкової компоненти (середні, максимальні та мінімальні значення, коефіцієнт варіації).

Аналіз результатів розрахунків.

Продуктивність сільськогосподарських культур залежить від відповідності кліматичних ресурсів біологічним особливостям та агротехніки вирощування культури. Тобто урожайність є інтегральним показником, який висвітлює вплив всього комплексу умов сільськогосподарського виробництва.

На основі проведеного аналізу динаміки врожаїв озимої пшениці були побудовані графіки динаміки урожаїв та лінії тренда озимої пшениці для визначення особливостей динаміки у різних регіонах України.

Для характеристики динаміки урожайності озимої пшениці у Поліссі на рис.1 представлена динаміка урожайності, її тенденція (а) та відхилення урожаїв від лінії тренда (б) на прикладі Житомирський області.

Так, за розрахунковий період середня урожайність озимої пшениці становила 24.7ц/га. Мінімальний врожай був зібраний у 2003 році і дорівнював 14.1 ц/га (рис. 1а), найбільший урожай був зібраний у 2008 році – 34.7 ц/га.

При цьому розрахований за методом гармонійних зважувань урожай за період має тенденцію до підвищення. Так, на початку розрахункового періоду врожай за трендом становив 20.5 ц/га, а на кінець періоду (2009 р) – 28.95 ц/га (рис. 1 б). У 2003 році спостерігалось найбільше від'ємне відхилення – -11 ц/га, а у 2008 році найбільше позитивне – 6.4 ц/га.

У 8 роках спостерігалися позитивні відхилення від лінії тренда, у 6 роках – від'ємні.

Аналіз динаміки урожайності озимої пшениці у Лісостепу (Харківська область) показує, що розрахований за методом гармонійних ваг урожай за період має тенденцію до підвищення. При середньому рівні фактичного врожаю у 28.8 ц/га спостерігалися його коливання від 12.5 ц/га (2003 рік) до 46.3 ц/га (2008 рік) (рис.2).

Найбільші позитивні відхилення від лінії тренда спостерігалися у 2008 році і становили 13.7 ц/га, при цьому позитивні відхилення урожаю озимої пшениці від лінії тренда спостерігалися у 9 роках. Найбільші від'ємні відхилення спостерігалися у 2003 році і становили – -16.7 ц/га, загальна кількість років з негативними відхиленнями склала 5 років.

У Херсонській області, на території Степу, спостерігалися значні коливання одержаних урожаїв. Так, при середньому рівні урожаю у 23.7 ц/га, мінімальний одержаний урожай становив лише 6.1 ц/га (2003 рік), а максимальний – 32.8 ц/га (2008 рік). У ці ж роки спостерігалися і екстремальні відхилення урожаїв від лінії тренда – -17.7ц/га та 8.12ц/га відповідно. При цьому лінія тренда характеризується стабільним поступовим зростанням урожаїв озимої пшениці від 22.6 у 1996 році до 24.9 ц/га у 2009 році.

У Закарпатській області на початку розрахункового періоду рівень урожайності по тренду становив 26.5 ц/га, на кінець періоду – 27.1 ц/га. Впродовж всього періоду спостереження урожайність по тренду майже не змінювалась. Проте коливання фактичного урожаю, навпаки, були значними. За період дослідження мінімальний урожай був зібраний у 2000 році і становив 19.0 ц/га. Максимальний урожай був зібраний у 2004 році і становив 40.6 ц/га.

Впродовж досліджуваного періоду спостерігалися значні відхилення урожайності, спричинені впливом погодних умов. За досліджуваний період у 3 роках спостерігалися від'ємні відхилення від -1.6(1998 р.) до -7.8 ц/га (2000 р.) В 11 роках спостерігалися позитивні відхилення від 2.0 (2001 р.) до 13.8 ц/га (2004р.).

В цілому по Україні за розрахунковий період середня урожайність озимої пшениці становила 27 ц/га, але в окремі роки спостерігалися значні коливання фактичного урожаю від 14.1 ц/га у 2003 році до 37.1 ц/га у 2008 році.

Лінія тренда характеризується стабільним поступовим позитивним зростанням від 28.9 ц/га у 1996 році до 30.1 у 2009 році. Значні відхилення фактичного урожаю, зумовлені впливом погодних умов, спостерігалися у 2003 році – -13.1 ц/га та у 2008

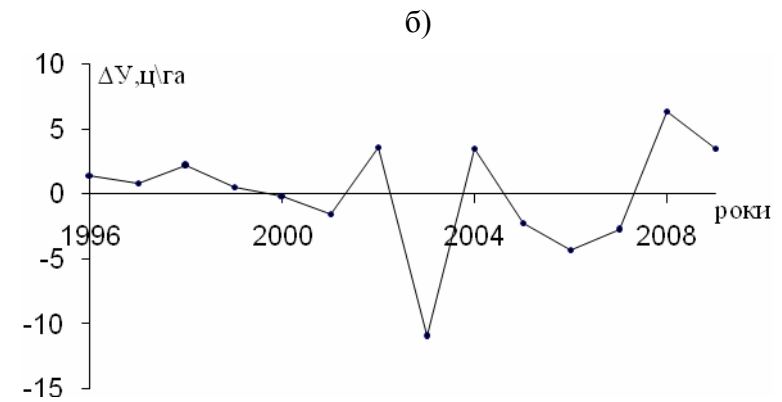
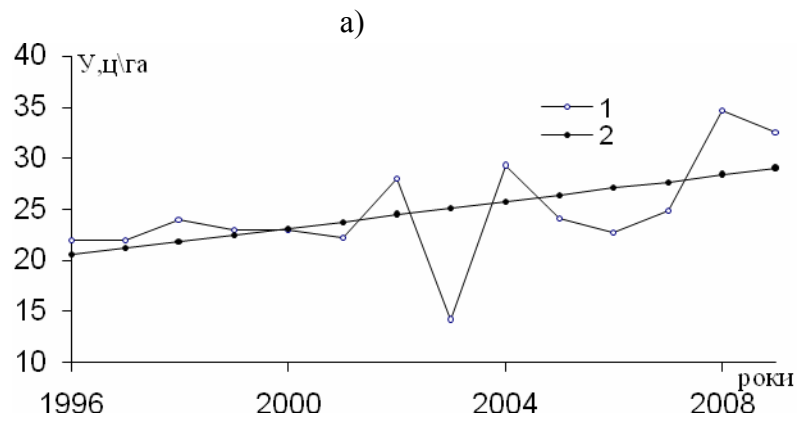


Рис. 1 - Динаміка урожайності озимої пшениці в Житомирській області (1 – щорічні значення урожайності, 2 – лінія тренду) (а) та відхилення від тренда в окремі роки (б) за період з 1996 – 2009рр.

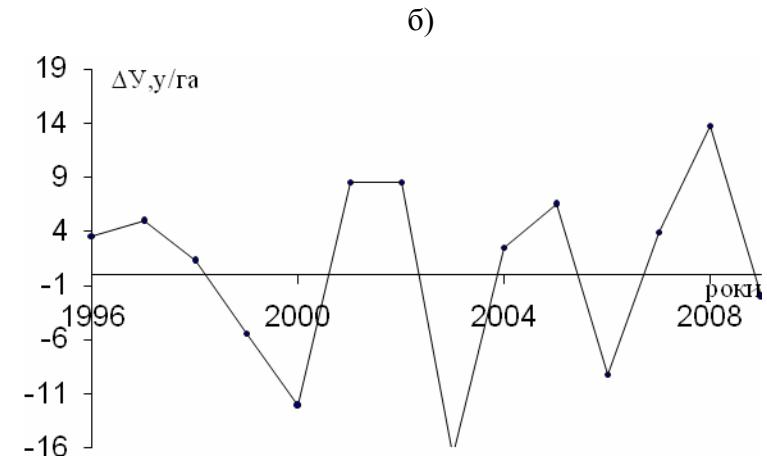
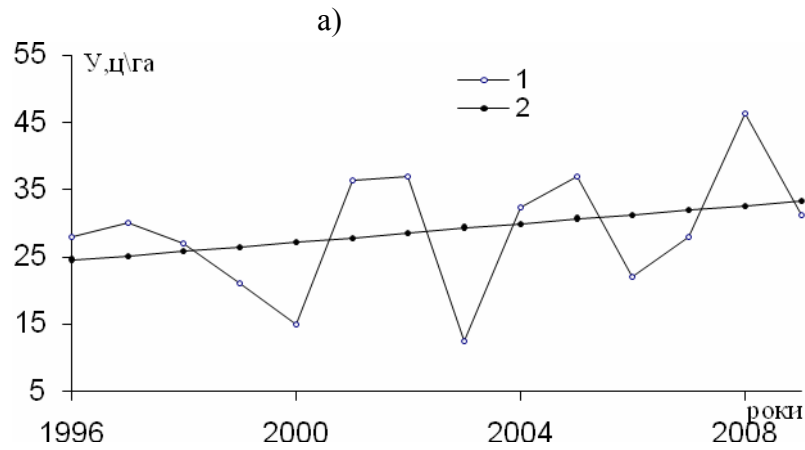


Рис. 2 - Динаміка урожайності озимої пшениці в Харківській області (1 – щорічні значення урожайності, 2 – лінія тренду) (а) та відхилення від тренда в окремі роки (б) за період з 1996 – 2009рр.

році – 7.48 ц/га. В цілому у 8 роках спостерігався позитивний вплив погодних умов, у 6 роках – негативний.

Числові значення середніх характеристик динаміки урожайності по періодах наведені у табл. 1

На території Полісся з початку 1997 року спостерігається поступова, незначна тенденція до зростання урожайності на рівні 101–130%. Лише у Чернігівській області за період – 1997–2000 рр спостерігаються незначні падіння динаміки урожаю озимої пшениці.

У Лісостепу за період 1997-2000 роки у більшості областей спостерігається падіння темпів зростання урожаю з 97 до 87%. У період з 2001–2006 –2009 роки починається поступове зростання тенденції урожайності від 104 до 150%.

На території Степу у період 1997–2000 роки на сході зони спостерігається незначне падіння темпів урожайності озимої пшениці з 94 до 85%, на півдні зони, навпаки, спостерігається зростання темпів з 104 до 200%, яке продовжується і далі, але дещо повільніше – з 101 до 103%.

У Закарпатті та Прикарпатті протягом 1997-2000 років спостерігалось падіння динаміки урожаїв з 97 до 92%, протягом 2001–2005 років, навпаки, зростання з 104 до 124%, потім темпи приросту зростали дещо повільніше.

Як зазначалося вище, нами була проведена оцінка варіації урожайності озимої пшениці з урахуванням впливу клімату за Пасовим В.М. [7]. Погодний коефіцієнт варіації урожайності C_p розраховувався за формулою 13.

У таблиці 1 наведені результати розрахунків кліматичної складової мінливості врожаїв культури на території України.

Так, практично вся територія Полісся відноситься до зони стійких урожаїв озимої пшениці $C_p = 0.16$.

Таблиця 1 – Динаміка основних характеристик тенденцій середньообласної урожайності озимої пшениці по Україні в розрізі ґрунтово-кліматичних зон (перший рядок – абсолютний приріст, ц/га; другий – темп зростання, %)

Ґрунтово-кліматична зона, область	Характеристика тенденцій середньообласної урожайності			Коефіцієнт кліматичної складової мінливості урожаїв
	Роки спостереження			
	1997-2000	2001-2005	2006-2009	
1	2	3	4	5
Полісся				
Волинська	$\frac{1,25}{106,1}$	$\frac{0,77}{105,0}$	$\frac{-0,2}{100,6}$	0.12
Рівненська	$\frac{1,25}{105,8}$	$\frac{-0,04}{130,8}$	$\frac{1,25}{105,7}$	0.14
Житомирська	$\frac{0,25}{101,2}$	$\frac{0,22}{112,5}$	$\frac{2,1}{109,3}$	0.17
Чернігівська	$\frac{-0,75}{96,6}$	$\frac{2,1}{122,3}$	$\frac{20,03}{108,6}$	0.19

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
Лісостеп				
Львівська	<u>0,5</u> 102,9	<u>0,32</u> 103,3	<u>1,85</u> 107,2	0.10
Тернопільська	<u>-0,25</u> 101,0	<u>0,04</u> 108,8	<u>3,4</u> 112,9	0.18
Хмельницька	<u>0,25</u> 102,2	<u>-1,04</u> 104,8	<u>3,47</u> 114,1	0.21
Вінницька	<u>-1,25</u> 96,8	<u>1,00</u> 119,9	<u>2,7</u> 110,7	0.22
Київська	<u>-1,25</u> 98,8	<u>2,12</u> 123,3	<u>0,28</u> 103,2	0.21
Сумська	<u>-1,0</u> 96,9	<u>1,64</u> 128,9	<u>2,43</u> 112,4	0.25
Черкаська	<u>-2,25</u> 94,7	<u>2,52</u> 143,4	<u>2,13</u> 108,9	0.26
Полтавська	<u>-4,5</u> 86,1	<u>4,32</u> 176,3	<u>0,63</u> 105,3	0.31
Харківська	<u>-3,25</u> 86,6	<u>4,4</u> 150,2	<u>-1,45</u> 104,9	0.30
Степ				
Кіровоградська	<u>-1,5</u> 94,5	<u>3,08</u> 192,2	<u>-0,58</u> 106,5	0.32
Дніпропетровська	<u>-1,5</u> 95,0	<u>3,68</u> 206,1	<u>-1,35</u> 105,6	0.34
Донецька	<u>-2,5</u> 89,1	<u>3,28</u> 154,2	<u>-0,7</u> 101,5	0.28
Луганська	<u>-2,5</u> 85,4	<u>4,56</u> 157,6	<u>-1,88</u> 104,3	0.32
Одеська	<u>0,25</u> 109,4	<u>-0,82</u> 181,1	<u>0,6</u> 110,3	0.32
Миколаївська	<u>-0,5</u> 102	<u>1,28</u> 196,1	<u>1,78</u> 118,9	0.33
Запорізька	<u>-0,5</u> 102,9	<u>2,66</u> 148,9	<u>-0,45</u> 103,3	0.27
Херсонська	<u>0,5</u> 108,7	<u>1,1</u> 166,9	<u>0,00</u> 107,2	0.29
АР Крим	<u>1,00</u> 106,2	<u>0,3</u> 104,2	<u>0,8</u> 101,8	0.12
Закарпаття та Прикарпаття				
Закарпатська	<u>-2,5</u> 92,46	<u>2,78</u> 114,6	<u>-0,83</u> 97,5	0.34
Івано-Франківська	<u>2,00</u> 115,8	<u>0,1</u> 104,8	<u>1,57</u> 106,7	0.15
Чернівецька	<u>0,5</u> 107,9	<u>0,8</u> 118,9	<u>2,2</u> 109,1	0.22

Стійкі урожаї озимої пшениці у Лісостепу можна одержувати на території Львівської та Тернопільської областей ($C_p=0.10$, $C_p=0.18$). Території Хмельницької, Вінницької, Київської, Сумської та Черкаської областей відносяться до зони помірно стійких урожаїв озимої пшениці. На сході зони, у Полтавській та Харківській областях, слід очікувати нестійки урожаїв озимої пшениці ($C_p=0.31$, $C_p=0.30$ відповідно).

Стійкі урожаї озимої пшениці на території Степу слід очікувати лише на території Криму ($C_p=0.12$), більша частина зони відноситься до зони нестійких урожаїв ($C_p=0.32-0.34$), а території Донецької, Запорізької та Херсонської областей – до зони помірно стійких урожаїв.

У Прикарпатті стійкі урожаї озимої пшениці можна очікувати лише на території Івано-франківської області, територія Чернівецької області відноситься до зони помірно стійких урожаїв ($C_p=0.22$), а територія Закарпатської області – до нестійких ($C_p=0.34$).

Список літератури

1. Френкель А.А. Математические методы анализа динамики и прогнозирования производительности труда. – М.: Экономика, 1972. – 190 с.
2. Gurry R.V. Dynamic simulation of plant growth. Development of a model //Trans. ASAE.- 1971. – Vol. 14, № 5 - P. 23-31
3. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
4. Раунер Ю.Л. Климат и урожайность зерновых культур. – М.: Наука, 1981. – 163 с.
5. Обухов В.М. Урожайность и метеорологические факторы. – М.: Госпланиздат, 1949. – 318 с.
6. Манелля А.И., Нагнибеда Н.Н. и др.. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур в РСФСР. – М.: Статистика, 1972 – 192 с.
7. Пасов В.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. Л.: – Гидрометеиздат, 1986. – 152 с.
8. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 175 с.
9. Платонова Т.Ф. Прогнозирование динамики урожайности сельскохозяйственных культур. – Кишинев : Штиинца, 1983. – 87 с.
10. Hellwig Z. Schemat budowy prognozy statycznej metody wag harmonicnych.//Przegląd Statystyczny.- 1967. – V.14, N 2.- P. 133 – 153.
11. Френкель А.А. математические методы анализа динамики и прогнозирования производительности труда. М.: Экономика, 1972. – 190 с.

Пространственно-временная оценка изменчивости урожая озимой пшеницы на территории.

Украины Полевой А.Н., Божко Л.Е., Дронова Е.А.

Приводится анализ рядов пространственно-временной изменчивости урожаев озимой пшеницы. Были рассчитаны линии трендов урожаев методом гармонических весов, отклонения урожайности от линии тренда, динамика тенденции урожайности и дана оценка климатической изменчивости урожаев культуры на территории Украины.

Ключевые слова: *пространственно-временная изменчивость, урожайность, озимая пшеница, Украины*

The area spatio temporal variability of winter wheat harvests in Ukraine.

Polevoy A., Bozko L., Dronova E.

The analysis of time series variability in crop yields of winter wheat in Ukraine. Were calculated trend lines yield method of harmonic balance, yield deviations from the trend line, the dynamics of trends in crop yields, and the evaluation of climate variability sredneoblastnyh crop yields.

Key words: *space, the hourly variation, crop, winter wheat, Ukraine*