

УДК 551

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА УРОЖАЙНІСТЬ ЯЧМЕНЮ В УКРАЇНІ

Токарь Віктор

Науковий керівник: канд.ф.-м. наук, доцент Акбаш К.С.

Центральноукраїнський державний педагогічний університет

імені Володимира Винниченка

Анотація. Урожай зернових культур є важливим ресурсом, як для вирішення продовольчих питань, так і для економічних відносин. Враховуючи, що урожайність цих культур може змінюватись під дією різних факторів, моделювання та прогнозування показників урожайності, є важливим та актуальним питанням. У статті досліджується зв'язок між кліматичними факторами та показниками урожайності ячменю на території України, оцінюється їх вплив та будуються моделі для показників урожайності з врахуванням впливу кліматичних факторів. На основі цих моделей робляться прогнози для майбутніх значень показників урожайності.

Ключові слова: урожайність, моделі, прогноз, клімат, ячмінь.

MODELING AND EVALUATION OF THE CLIMATE CHANGE IMPACT ON BARLEY YIELD IN UKRAINE

Tokar Viktor

Scientific supervisor: Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Docent

Akbash K.S.

Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University

Abstract. The harvest of grain crops is an important resource, both for solving food issues and for economic relations. Given that the productivity of these crops can change under the influence of various factors, modeling and forecasting of yield indicators is an important and relevant issue. The article examines the relationship between climatic factors and barley yield indicators on the territory of Ukraine, evaluates their influence and builds models for yield indicators taking into account the influence of climatic factors. Based on these models, forecasts are made for future values of the yield indicators.

Key words: yield, models, forecast, climate, barley.

Постановка проблеми. Вирощування зернових культур займає досить важливе місце в аграрній промисловості будь якої країни. Основні причини для цього: зерно отримане з цих культур вносить основний вклад в задоволення продовольчих потреб населення, та являється важливим елементом економічної діяльності країни, або як продукт, що імпортується, або як той що експортується, в залежності від того які обсяги врожаю з вирощування таких культур отримує країна.

Це приводить нас до того, що знання того які саме обсяги зерна буде зібрано, є досить важливим та завжди актуальним, як при плануванні економічної діяльності, так і при вирішенні продовольчих питань.

Проте, відомо, що урожайність тої чи іншої культури залежить від значної кількості факторів: як від технології вирощування або властивостей ґрунту, так і кліматичних факторів таких як температура чи кількість опадів. Враховуючи той факт, що урожайність цих культур може змінюватись під дією різних факторів, моделювання та прогнозування показників урожайності, для оцінки обсягів врожаю, що буде отримано, є важливим та актуальним питанням.

Аналіз досліджень і публікацій.

Питання впливу кліматичних факторів на урожайність існує уже певний час, і була зроблена певна кількість досліджень в цій сфері. Так наприклад є роботи в яких проводяться експерименти для визначення того як саме такі фактори, як кількість опадів чи температура, може вплинути на урожайність та деякі інші властивості зернових культур [4, 5], проте хоч ці роботи підтверджують вплив цих факторів, вони не надають ніяких моделей, а також їх результати стосуються регіонів з кліматичними умовами які відрізняються від умов на території України.

Мета статті: Дослідити та оцінити вплив зміни кліматичних показників на урожайність ячменю на території України. Створити моделі урожайності для озимого ячменю та ярого ячменю з урахуванням впливу кліматичних факторів. Зробити прогнози.

Виклад основного матеріалу дослідження.

В якості кліматичних факторів впливу було обрано показники кількості опадів, та середньомісячної, середньомісячної максимальної і мінімальної температур за окремі місяці року. Були введені наступні умовні позначення для цих факторів:

A_i – Значення показника кількості опадів в i -тому місяці;

B_i – Значення показника середньомісячної температури в i -тому місяці;

C_i – Значення показника середньої максимальної температури в i -тому місяці;

D_i – Значення показника середньої мінімальної температури в i -тому місяці;

Для всіх показників $i = 1, 2, 3, \dots, 12$.

Для визначення рівня зв'язку кожного фактору з показниками урожайності ячменю, та вибору тих, які з них включати при побудові моделей розглядалися абсолютні значення коефіцієнтів кореляції Спірмена [2] між факторами [6] та показниками урожайності [1].

Ячмінь на території України вирощується переважно як озима культура, проте хоч і в меншій кількості, вирощується також і як яра культура. Враховуючи різний цикл росту, для озимого та ярого ячменю, їх краще розглядати окремо один від одного, тому зв'язок між кліматичними показниками визначався окремо для показника урожайності озимого ячменю, та показника урожайності ярого ячменю.

Для озимої культури, також перевірялась наявність зв'язку з показниками, що стосуються року попереднього перед роком якому відповідає значення урожайності, а саме показники вересня-грудня, тобто фактори для яких $i = 9, \dots, 12$.

Для ярої культури, перевірялися місяці лише того року якому відповідає показник урожайності, проте не були враховані вересень-грудень, так як

основна частина урожаю вже зібрана до цього часу. Також ці місяці звітнього року також не враховувались і для озимої, з цих же міркувань.

Які фактори включити до моделі вирішувалось виходячи з наступного трактування коефіцієнта кореляції: значення коефіцієнта кореляції вказує на наявність слабого лінійного зв'язку якщо він більше 0,4.

Результати розрахунку коефіцієнтів кореляції для озимого та ярого ячменю наведено в наступних таблицях:

Таблиця 1. Коефіцієнти кореляції між кліматичними факторами та показником урожайності озимого ячменю.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
п	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,218	0,4	0,182
з	0,282	0,218	0,027	0,155	0,309	0,209	0,145	0,009	-	-	-	-
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
п	-	-	-	-	-	-	-	-	0,573	0,282	0,173	0,173
з	0,118	0,364	0,291	0,291	0,564	0,045	0,278	0,182	-	-	-	-
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
п	-	-	-	-	-	-	-	-	0,409	0,427	0,155	0,164
з	0,082	0,391	0,182	0,2	0,682	0,191	0,082	0,182	-	-	-	-
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
п	-	-	-	-	-	-	-	-	0,569	0,291	0,255	0,223
з	0,132	0,318	0,336	0,382	0,464	0,027	0,173	0,128	-	-	-	-

п – попередній рік; з – звітний рік

Таблиця 2. Коефіцієнти кореляції між кліматичними факторами та показником урожайності ярого ячменю.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
з	0,082	0,091	0,251	0,178	0,469	0,278	0,05	0,032	-	-	-	-
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
з	0,082	0,401	0,606	0,556	0,738	0,077	0,274	0,169	-	-	-	-
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
з	0,087	0,428	0,515	0,487	0,815	0,264	0,046	0,159	-	-	-	-
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
з	0,105	0,346	0,629	0,67	0,674	0,05	0,278	0,023	-	-	-	-

з – звітний рік

При такому відборі для показника урожайності озимого ячменю при побудові моделі будуть використані фактори:

$A_{11}, A_1, A_5, B_9, B_5, C_9, C_{10}, C_5, D_9, D_5.$

А для показника урожайності ярого ячменю фактори:

$A_5, B_2, B_3, B_4, B_5, C_2, C_3, C_4, C_5, D_3, D_4, D_5$.

Перед побудовою моделей для показників урожайності, спочатку було побудовано моделі для кліматичних показників, які виступають в якості факторів для цих моделей, щоб зробити прогноз для цих показників та мати можливість для прогнозування майбутніх показників урожайності.

Для цього було вирішено будувати сезонні адитивні моделі, що містять 12 сезонних компонент.

Для побудови моделей для показників середньомісячної, середньої місячної максимальної, та середньої місячної мінімальної температури, що містять 12 сезонних компонент, а також показника кількості опадів було обраховано значення цих компонент на основі часового ряду, що покриває період з 2012 по 2021 роки.

Слід зазначити що значення показника кількості опадів зазнає сильного впливу від випадкової компоненти. Як результат хоч отримана для цього показника модель достатньо добре передає циклічність та сезонну зміну показник, вона має коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,302$.

Проте відповідно до результатів застосування критерію Колмогорова-Смирнова [2] відхилення для моделі кількості опадів відповідають нормальному розподілу, на основі цього, ми можемо сказати що в 90% випадків вони будуть лежати в межах квантилів 0,1 та 0,9 відповідного розподілу, яким відповідають значення $-18,637$ та $22,128$. При прогнозуванні урожайності, для кількості опадів, будуть враховані варіанти з даними відхиленнями як крайні варіанти.

Використовуючи побудовані моделі, були зроблені прогнози значень для розглянутих кліматичних показників для 2022-го та 2023-го років. Дані прогнози наведені в таблиці 3. (Для показника кількості опадів наведено значення отримані моделлю без врахування випадкових коливань про які було сказано вище).

Таблиця 3. Прогнозовані значення для кліматичних показників на
2022-2023 рік.

		Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
Кількість опадів	2022р.	46,39	34,40	37,27	33,50	64,12	65,17
	2023р.	46,29	34,29	37,17	33,40	64,01	65,07
Середньомісячна температура	2022р.	-5,83	-0,38	3,92	10,49	16,25	20,66
	2023р.	-5,74	-0,32	3,98	10,55	16,31	20,72
Середня максимальна температура	2022р.	-3,01	2,70	8,21	16,08	22,02	26,37
	2023р.	-3,17	2,78	8,29	16,16	22,10	26,45
Середня мінімальна температура	2022р.	-6,64	-3,47	-0,34	4,96	10,55	15,00
	2023р.	-6,60	-3,43	-0,30	5,00	10,59	15,04
		Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Кількість опадів	2022р.	58,02	36,64	42,08	40,61	36,12	43,30
	2023р.	57,92	36,53	41,97	40,51	36,02	43,19
Середньомісячна температура	2022р.	24,56	21,96	16,69	9,89	4,31	-0,13
	2023р.	24,62	22,02	16,75	9,95	4,37	-0,07
Середня максимальна температура	2022р.	30,62	28,25	22,44	14,41	7,21	2,42
	2023р.	30,70	28,33	22,52	14,49	7,29	2,50
Середня мінімальна температура	2022р.	18,62	15,73	10,98	5,43	1,46	-2,68
	2023р.	18,66	15,78	11,03	5,48	1,50	-2,63

Тепер коли було отримано прогнозні значення для кліматичних показників, та встановлені фактори що впливають на показники урожайності озимого та ярого ячменю, за допомогою статистичного пакету SPSS було обраховано коефіцієнти для лінійних регресійних моделей [3], для показників урожайності цих культур.

Отримані моделі наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Моделі та прогнози значення показників урожайності

Показник	Модель	R ²	Прогноз	
			2022	2023
Урожайність озимого ячменю (ц\га)	$76,019 + 0,374A_{11} + 0,262A_1 - 0,164A_5 + 1,088B_9 + 2,468C_{10} - 4,483C_5 - 4,911D_9 + 3,837D_5$	0,892	27,60 – 44,96	17,04 – 49,65
Урожайність ярого ячменю (ц\га)	$129,621 + 0,207A_5 + 12,641B_2 - 14,776C_2 - 7,068C_3 + 4,527C_4 - 2,917C_5 + 9,455D_3 - 8,796D_4 + 2,285D_5$	0,809	22,13 – 30,57	21,37 – 29,81

Для можливості візуальної оцінки якості отриманих моделей, на рисунках 1 та 2 наведені змодельовані теоретичні та емпіричні значення відповідних показників.

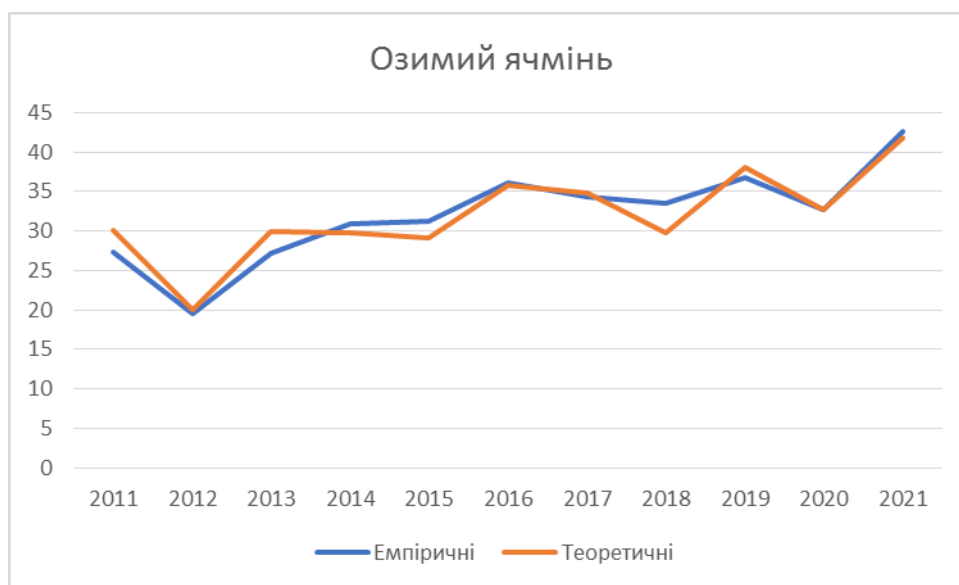


Рис. 1. Змодельовані теоретичні та емпіричні значення показника урожайності озимого ячменю на території України.

На основі отриманих моделей можна зробити висновки, що з кожної з груп факторів найбільший вплив на показник урожайності озимого ячменю здійснюють наступні: показник кількості опадів у листопаді, показник середньомісячної температури у вересні (минулого року), показник середньої максимальної температури в травні, та показник середньої мінімальної температури в вересні (минулого року).

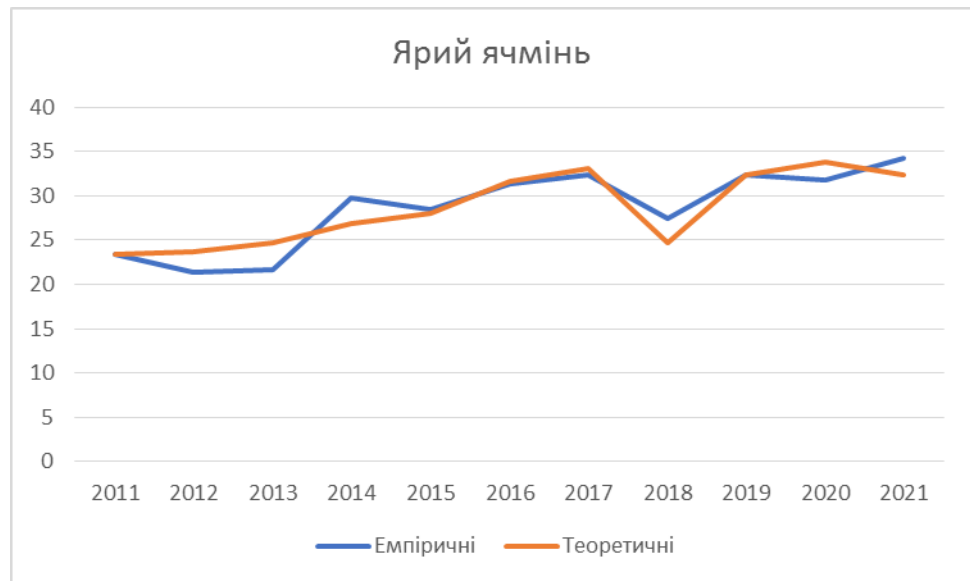


Рис. 2. Змодельовані теоретичні та емпіричні значення показника урожайності ярого ячменю на території України.

А основний вклад в рівень показника урожайності ярого ячменю роблять показник кількості опадів в травні, та температурні показники в березні, квітні та травні, тобто в весняні місяці, що відповідає часу коли дана культура сіється, та проходять її перші етапи росту.

Також слід зазначити що частина обраних під час аналізу впливу факторів не ввійшла до остаточних моделей, через мультиколінеарність.

Висновки та перспективи подальших пошуків у напрямі дослідження.

В роботі було досліджено та оцінено вплив змін кліматичних показників на урожайність ячменю на території України.

На основі отриманих результатів про зв'язок між кліматичними показниками були побудовані моделі для показників урожайності озимого та ярого ячменю.

Для того щоб зробити прогнози майбутніх значень цих показників було побудовано сезонні адитивні моделі для кліматичних показників, та на основі зроблених з їх допомогою прогнозів, було зроблено прогнози майбутніх значень показників урожайності озимого та ярого ячменю. Враховуючи

випадковий характер показника кількості опадів, були зроблені прогнози для різних можливих випадків.

В таблиці 4 були наведені найбільш оптимістичні та найбільш песимістичні прогнози зроблені за цими моделями.

Проте, дані прогнози є крайніми можливими для побудованих моделей, а найбільш вірогідні значення урожайності для озимої та ярої культур ячменю в 2022 та 2023 році, знаходяться всередині даних інтервалів. Дані значення не є довірчими інтервалами, тому не виключається потрапляння реальних значень урожайності для вказаних культур у відповідні роки за їх межі.

Перспективами для подальшого дослідження є включення до моделей інших факторів, що не були враховані, побудова моделей для інших культур, та побудова подібних моделей на рівні областей, для підвищення якості та точності моделювання, та прогнозування.

Бібліографія

1. Державна служба статистики України. Офіційний веб-сайт [Електронний ресурс]. <https://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
3. Лупан І.В., Авраменко О.В., Акбаш К.С. Комп'ютерні статистичні пакети: навчально-методичний посібник. 2-е вид. Кіровоград: «КОД», 2015. – 236 с.
4. Heat stress and plant development: role of sulphur metabolites and management strategies. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science. 69. 1-11. 10.1080/09064710.2019.1569715.
5. The influence of rainfall and tillage on wheat yield parameters and weed population in monoculture versus rotation systems. Sci Rep 11, 22138 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00934-y>.
6. World Bank Group, Climate Change Knowledge Portal. [Електронний ресурс]. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>