

СТАН ТЕПЛОВИХ РЕСУРСІВ ТА ДИНАМІКА УРОЖАЙНОСТІ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

В. І. Чабан, С. П. Клявзо, О. Ю. Подобед, А. І. Горбатенко

Державна установа Інститут зернових культур НААН, вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49027, Україна

Проведено оцінку стану теплових ресурсів і динаміку урожайності польових культур в умовах північного Степу України. Встановлено збільшення ресурсів тепла у регіоні за 1991–2018 рр. порівняно з кліматичною нормою. Середньорічна температура повітря підвищилася на 1,0 °С, за теплий і холодний періоди року – на 1,0 °С, за період активної вегетації ранніх зернових (квітень - червень) та пізніх ярих культур (травень - серпень) – на 0,8–1,1 °С. Підвищення річної температури йде з коефіцієнтом лінійного тренду 0,31 °С/10 років. Повторюваність випадків, коли середня температура за рік досягає 9,5 °С і вище, становить 53 %. Потепління більшою мірою визначається підвищенням температурного режиму в холодний період року. Істотні позитивні аномалії проявляються у січні (+1,7 °С), лютому (+1,1 °С), березні (+1,6 °С), а також у липні (+1,4 °С) і серпні (+1,5 °С). Спостерігається подовження періоду з температурою ≥ 5 °С на 11–16 діб (225 і 209–214). Зміна тривалості періоду з температурою ≥ 10 °С статистично не достовірна. Простежується збільшення сум ефективних температур ≥ 5 і ≥ 10 °С. Повторюваність підвищеної (2711 і 1709 °С) суми ефективних температур становить до 50 %. Встановлено тісний кореляційний зв'язок ($R^2 = 0,75$) між тривалістю періоду із середньодобовою температурою ≥ 5 °С та сумою ефективного тепла ≥ 5 °С. На фоні збільшення забезпеченості тепловими ресурсами регіону спостерігається позитивна динаміка середньої урожайності основних польових культур: озимина по пару – на 36 % (3,76 і 5,12 т/га), ячмінь ярий – на 24 % (2,14 і 2,65 т/га), кукурудза – на 11 % (4,14 і 4,59 т/га), соняшник – на 30 % (1,86 і 2,42 т/га). Імовірність формування оптимального рівня урожайності озимини по пару, ячменю ярого, кукурудзи та соняшника ($\geq 4,44$; $\geq 2,40$; $\geq 4,32$; $\geq 2,15$ т/га відповідно культурам) у постбазовий період становила 56–76 %, тимчасом як у 1961–1990 рр. – 25–43 %.

Ключові слова: теплові ресурси, суми температур, польові культури, динаміка урожайності, адаптивні властивості.

Сільське господарство тісно пов'язане з природним середовищем, в якому агрометеорологічні чинники є найбільш мінливими. Їх вплив на об'єкти та процеси аграрного виробництва, зокрема на формування продуктивності рослин, значною мірою визначає рівень та якість урожаю, його вартість і відповідно соціально-економічний стан сусільства.

Одним із найважливіших екологічних факторів середовища існування рослин є температура (t °С), оскільки цей чинник характеризує тепловий стан екосистеми [1]. Температурний режим безпосередньо впливає на ріст рослин (починаючи з проростання на-

сіння та розвитку кореневої системи), тривалість фенологічних фаз, інтенсивність фотосинтезу та формування продуктивності. Від температурного фону залежать також швидкість і характер протікання хімічних реакцій у ґрунті та забезпечення рослин доступними формами поживних речовин [2]. Тепловий фактор суттєво впливає і на реакцію рослин на внесення мінеральних добрив. Встановлено, що на кожні 10 % збільшення посушливості клімату ефективність добрив знижується на 15 % [3]. Вченими визнано той факт, що сучасне потепління клімату, окрім підвищення середньої температури, супроводжується змінами її річної і добової амплітуди

Інформація про авторів:

Чабан Володимир Ілліч, канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник, завідувач лаб. родючості ґрунтів, e-mail: cvi2209@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4763-0689>

Клявзо Сергій Павлович, канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник лаб. родючості ґрунтів, e-mail: klyavzosergiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4973-8503>;

Подобед Оксана Юрївна, канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник лаб. родючості ґрунтів, e-mail: oksanapodobed@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9993-7052>

Горбатенко Андрій Іванович, канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник лаб. захисту рослин, e-mail: a.gorbatenko2018@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7608-6483>.

і може мати як позитивні, так і негативні наслідки – істотно впливати на тривалість вегетаційного періоду, обсяги виробництва та якість продукції рослинництва [4].

Тому врахування температурного режиму залишається важливою умовою одержання високих й сталих врожаїв сільськогосподарських культур. Більше того, агропромислове виробництво потребує надання об'єктивної інформації щодо стану теплових ресурсів та реакції рослин на глобальне потепління у кожному конкретному регіоні. Це уможливить удосконалити механізм адаптації технологій вирощування сільськогосподарських культур до несприятливих змін у природному середовищі.

Мета дослідження – оцінити стан теплових ресурсів і динаміку урожайності польових культур в умовах північного Степу України.

Матеріали та методи дослідження. Стан теплових ресурсів оцінювали аналізуючи температури показники повітря за 58 років (1961–2018 рр.), порівнювали між собою постбазовий (1991–2018 рр.) і базовий (1961–1990 рр.), періоди за рекомендаціями Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). Матеріалом для досліджень були узагальнені нами спостереження АМСЦ Дніпро (Авіаційної метеорологічної станції цивільної Дніпро). Спиралися на характеристики температурного режиму: середня температура за місяць, рік, окремі періоди (теплий, холодний, вегетація ранніх і пізніх культур); суми ефективних температур ≥ 5 ; ≥ 10 °С; тривалість періодів з температурою ≥ 5 і ≥ 10 °С.

Реакцію сільськогосподарських культур (пшениця озима, ячмінь ярий, кукурудза, соняшник) на забезпечення тепловими ресурсами визначали шляхом порівняння в межах цих періодів результатів обліку урожайності у варіантах абсолютного контролю стаціонарних дослідів лабораторій родючості ґрунтів, сівозмін та природоохоронних систем обробітку ґрунту (Державне підприємство «Дослідне господарство «Дніпро» Державної установи Інститут зернових культур НААН). Загальний обсяг вибірки урожайних даних культур становив: пшениця озима – 46 років; кукурудза – 42 роки; ячмінь ярий – 40 років; соняшник – 38 років.

Ґрунтовий покрив дослідних ділянок

представлений чорноземом звичайним малогумусним важкосуглинковим на лесі. Вміст гумусу – високий (4,2–4,3 %). Забезпеченість ґрунту рухомими формами поживних речовин: азоту – середня (12,8–15,6 мг/кг); фосфору – середня і підвищена (94–120 мг/кг); калію – висока (130–140 мг/кг).

Для порівняльної оцінки періодів у межах вибірки варіаційних рядів метеорологічних і урожайних даних розраховували статистичні характеристики: середнє арифметичне (M); стандартне відхилення (S); довірчий інтервал (CL_{05}), імовірність (p); повторюваність ($p \times 100$ %). Масиви даних статистично обробляли за допомогою прикладних програм у складі Excel 2003 та Statistica (version 6). Стаття є логічним продовженням досліджень, результати яких були частково опубліковані у 2018 р. [5].

Результати дослідження. Аналіз даних спостережень за тепловим режимом показав, що середньорічна температура повітря за постбазовий період (1991–2018 рр.) підвищилась порівняно з кліматичною нормою (1961–1990 рр.) на 1,0 °С, за теплий і холодний періоди року – на 1,0 °С, за період активної вегетації ранніх зернових (квітень – червень) та пізніх ярих культур (травень – серпень) – на 0,8–1,1 °С (табл. 1). Середня швидкість підвищення середньорічної температури повітря за весь термін спостережень (1961–2018 рр.) становила 0,31 °С/10 років. У цілому за 1991–2018 рр. було 15 випадків з температурою повітря вище 9,5 °С, а їх відносна повторюваність досягала 53 %. Однак дисперсія, яка характеризує ступінь розсіювання даних, навпаки, зменшується ($s^2 = 1,12$ до $s^2 = 0,80$). Тобто можна вважати, що амплітуди коливання в границях варіаційного ряду річної температури в 1991–2018 рр. були більш стабільними порівняно з базовим періодом. Для останнього десятиріччя (2011–2018 рр.) характерне подальше підвищення середньої температури за рік на 1,5 °С, за вегетаційний період ранніх зернових культур на 1,7 °С і пізніх ярих культур на 1,9 °С.

Так, збільшення річної температури на 1,0 °С за останні 28 років порівняно з кліматичною нормою (1961–1990 рр.), вважається статистично істотним, що підтверджується розрахованим значенням критерію Фишера

($F_{\phi} 9,75 > F_{кр} 7,0$). Довірчий інтервал для достовірної різниці між середніми генеральної

сукупності температури коливається в межах: $CL_{01} = 0,105 \div 1,56 \text{ } ^\circ\text{C}$.

1. Зміни середніх значень температурного режиму, $^\circ\text{C}$

Період спостереження	Річна	Холодний період (листопад - березень)	Теплий період (квітень - жовтень)	Вегетація ранніх зернових культур (квітень - червень)	Вегетація пізніх зернових культур (травень - серпень)
1961–1990 рр.	8,5	-1,7	15,8	15,0	19,4
1991–2018 рр.	9,5	-0,7	16,8	15,8	20,5
Відхилення (Δ), $^\circ\text{C}$	+1,0	+1,0	+1,0	+0,8	+1,1
2011–2018 рр.	10,0	-0,5	17,5	16,7	21,3
Відхилення (Δ), $^\circ\text{C}$	+1,5	+1,2	+1,7	+1,7	+1,9

Порівняння річного ходу середньомісячної температури повітря між досліджуваними періодами свідчить про те, що його крива стала більш пологою за рахунок подовження тривалості між датами переходу температури через $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ навесні та восени. Спостерігається збільшення кількості років з температурою повітря вищою за середню у листопаді і березні. Поряд з цим у різні роки мали місце екстремуми температури. Найнижчі її значення відмічались в січні 1963 р. ($-12,9 \text{ } ^\circ\text{C}$) і лютому 1985 р. ($-12,6 \text{ } ^\circ\text{C}$), а найвищі – в липні 2001 р. ($25,9 \text{ } ^\circ\text{C}$) та серпні

2010 р. ($26,0 \text{ } ^\circ\text{C}$).

Слід відзначити, що потепління йде в основному за рахунок холодного періоду року. Розрахована аномалія (відхилення середньої температури від кліматичної норми) в цей час характеризується найвищими показниками (рис.). Так, температура січня підвищилась на 1,7; лютого – на 1,1; березня – на 1,6 $^\circ\text{C}$. Істотні позитивні аномалії проявляються у липні ($1,4 \text{ } ^\circ\text{C}$) та серпні ($1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$). В інші місяці відхилення середньої температури повітря коливається у межах річної мінливості ($0,5\text{--}0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$).

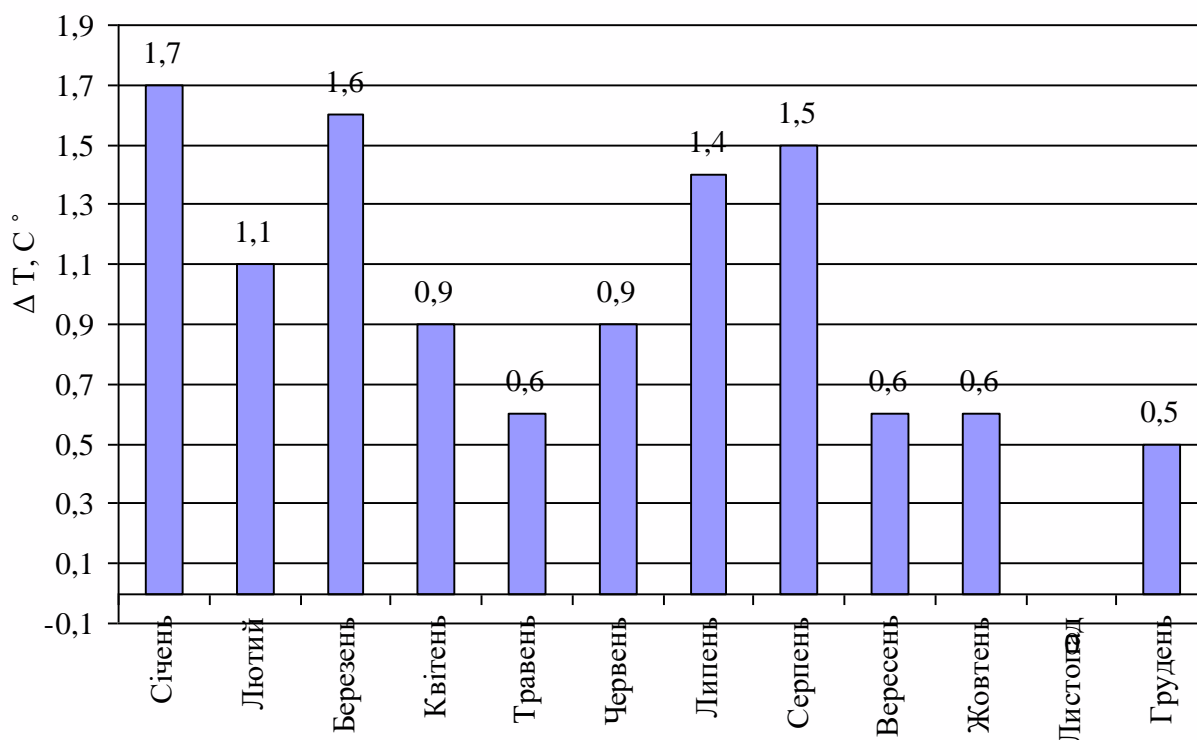


Рис. Відхилення середньомісячної температури повітря (1991–2018 рр.) порівняно з кліматичною нормою (1961–1990 рр.).

Для оцінки теплових ресурсів важливими характеристиками є середня температура найбільш холодного (січень) та найбільш теплого (липень) місяців. Методом середніх ковзних, який уможливорює частково позбутися випадкових флуктуацій, досліджено її зміни за 58-річний період з інтервалом згладжування 10 років (табл. 2).

Значення довірчого інтервалу коливання температур січня ($CL_{05} = -5,7 \div -3,5$ °C) показують, що потепління в умовах північного Степу, починаючи з 1981 р., стабілізувалось і не виходить за межі довірчого інтервалу середньої температури. Десятирічні середні температури стабільно змінювалися

від (-6,5) °C в 1961–1970 рр., до (-4,0) °C в 2011–2018 рр. Відмічається тенденція до зниження їх щорічної мінливості, що підтверджує зменшення стандартного відхилення (S) до 1,6 °C (2011–2018 рр.), або в 2,3 раза порівняно з 3,7 °C (1961–1970 рр.). При цьому повторюваність підвищеного температурного режиму (>-5 °C) у січні збільшилася з 34–35 % в 1961–1980 рр. до 73 % в 2011–2018 рр. Це підтверджує те, що процес глобального потепління клімату в регіоні проявляється як підвищення температури повітря у холодний період року. Подібна закономірність встановлена й іншими дослідниками [6].

2. Статистичні характеристики показників ковзних середніх температур, °C

Роки	Січень			Липень		
	M	S	p ($x > -5$ °C)	M	S	p ($x > 23,0$ °C)
1961–1970	-6,5	3,7	34	21,9	1,31	20
1971–1980	-6,3	3,3	35	20,8	1,74	10
1981–1990	-3,7	3,3	65	21,1	1,32	8
1991–2000	-3,8	2,6	68	22,2	1,67	32
2001–2010	-3,4	3,3	69	23,0	1,62	50
2011–2018	-4,0	1,6	73	23,0	1,22	50

Аналіз розподілу липневих температур показав, що середні її значення за десятирічні цикли, починаючи з 1970 р. стійко підвищувалися з 20,8 до 23,0 °C та з імовірністю 95 % виходили за межі довірчого інтервалу ($CL_{05} = 21,3 \div 22,7$ °C) генеральної середньої (табл. 2). Тобто ми маємо достовірне підвищення температури за останні 18 років. Щодо амплітуди мінливості температур липня простежується тенденція до періодичного коливання її показників – мінімум відмічався в 2011–2018 рр., стандартне відхилення (S) температур зменшилось в 1,4 раза і перевищувало 0,5 °C порівняно з 1971–1980 рр. Повторюваність температури $>23,0$ °C за 1961–1970 рр. становить 2 випадки і їх кількість в останні роки збільшилася в 2,5 раза. Отже, підвищується вірогідність прояву бездошових періодів, тривалість яких може становити приблизно 21 добу. Їх повторюваність в 1991–2000 рр. дорівнювала 29 %, а за 2011–2018 рр. – збільшилася до 36 %.

Наростаючий тренд температурного режиму призводить до зміщення дат стійкого переходу середньодобової температури повітря через 5 °C і в кінцевому рахунку впливає

на довжину вегетаційного періоду (табл. 3). Мінливість температурного режиму стабілізувалась в 1991–2000 рр., а потім різко посилювалася і триває донині. За останні 18 років (2001–2018 рр.) тривалість періоду з середньодобовою температурою ≥ 5 °C подовжилася на 11–16 діб (225 і 209–214 діб). При сучасній його тривалості 223–225 діб, в 1961–1970 рр. встановлено тільки два таких випадки, а з 2001 по 2018 рр. їх повторюваність збільшилась у два рази (з 22 до 44–50 %).

В той же час збільшення тривалості періоду з середньодобовою температурою ≥ 10 °C статистично недостовірне і коливається в межах довірчого інтервалу середньої за десятиріччя ($CL_{05} = 176 \div 183$ доби). Тобто тривалість періоду активної вегетації сільськогосподарських культур в умовах сучасного потепління клімату не змінюється (табл. 3).

Одним з показників, який характеризує потребу рослин в теплових ресурсах, є суми ефективних температур. Загальноприйнятими біологічними мінімумами температури розвитку ранніх ярих є 5 °C, теплолюбних

3. Статистичні характеристики ковзних середньої тривалості вегетаційного періоду ($\geq 5^\circ\text{C}$) і періоду активної вегетації ($\geq 10^\circ\text{C}$) польових культур, діб

Роки	Період із середньодобовою $t \geq 5^\circ\text{C}$			Період із середньодобовою $t \geq 10^\circ\text{C}$		
	M	S	p ($x > 225$)	M	S	p ($x > 183$)
1961–1970	214	14,2	22	182	15,9	48
1971–1980	209	8,7	3	177	13,8	33
1981–1990	218	15,9	33	176	15,1	32
1991–2000	215	7,5	9	180	10,7	39
2001–2010	225	17,7	50	183	12,5	50
2011–2018	223	13,9	44	181	16,5	45

культури – 10°C . Оцінка розподілу ковзних середніх сум $\geq 5^\circ\text{C}$ свідчить про те, що за 2011–2018 рр. цей показник був 2711°C , що на 347°C більше порівняно з середнім його значенням за базовий період (1961–1990 рр.). Динаміка розподілу показує, що суми ефективних температур лінійно збільшуються, починаючи з 1971 р. (табл. 4). Хоча мінливість досить стабільна за кожне десятиліття, за винятком 1971–1980 рр., коли стандартне відхилення (S) збільшувалось до 305°C . При цьому повторюваність підвищених (≥ 2711) сум ефективних температур $\geq 5^\circ\text{C}$ у 2011–2018 рр. різко збільшилася – до 50 %.

Тенденція до підвищення була характерною і для суми ефективних температур

$\geq 10^\circ\text{C}$, особливо у постбазовий період спостережень (1991–2018 рр.). Порівняно з 1961–1990 рр. також має місце підвищення середніх її значень за десятирічні цикли на $53\text{--}176\text{--}321^\circ\text{C}$, що підтверджується збільшенням імовірності таких випадків до 50 % (табл. 4).

Встановлено тісний кореляційний зв'язок між тривалістю періоду із середньодобовою температурою $\geq 5^\circ\text{C}$ та сумою ефективного тепла $\geq 5^\circ\text{C}$. Коефіцієнт детермінації між ними утримується на високому рівні ($R^2 = 0,75$). Тобто подовження вегетаційного періоду у регіоні відбувається за рахунок збільшення теплозабезпеченості.

Таким чином, аналіз наявних даних свідчить про збільшення ресурсів тепла у ре-

4. Статистичні характеристики ковзних середніх сум ефективних температур

Роки Цикл	Сума ефективних температур $\geq 5^\circ$			Сума ефективних температур $\geq 10^\circ$		
	M	S	p ($x > 2711$)	M	S	p ($x > 1709$)
1961–1970	2410	180	5	1428	134	2
1971–1980	2307	305	9	1350	295	11
1981–1990	2375	154	1	1387	131	1
1991–2000	2415	175	5	1441	145	3
2001–2010	2591	180	25	1564	168	19
2011–2018	2711	174	50	1709	141	50

гіоні, що, перш за все, пов'язано з особливостями атмосферних циркуляційних процесів. Наслідком цього є прискорення ростових процесів та випередження строків настання основних фаз органогенезу на 7–11 діб порівняно з середніми багаторічними термінами. До того ж з'являється можливість розширити посівні площі пізньостиглих культур або вирощувати післяжнивні культури у разі вирішення питання їх вологозабезпеченості.

Результати обліку врожаїв у стаціонарних дослідах свідчать про те, що за весь термін спостережень їхні середні показники були наступними: пшениця озима по пару –

4,44 т/га; ячмінь ярий – 2,40 т/га; кукурудза – 4,32 т/га; соняшник – 2,15 т/га (табл. 5). Для їх розподілу були характерні значні коливання у зв'язку з мінливістю погодних умов. Однак максимальна урожайність пшениці озимої (7,13 т/га), кукурудзи (8,21 т/га), соняшника (3,52 т/га) була у постбазовий період. Висока урожайність ячменю ярого (4,93 і 4,26 т/га) відмічалася в кожен з досліджуваних періодів. Щодо мінімального рівня продуктивності культур, слід відзначити, що останніми роками урожай ячменю і соняшника в контрольних варіантах нижче 1,83 т/га не відмічався. Випадки дуже низьких врожаїв

зерна озимини (2,02 і 1,45 т/га) та кукурудзи (0,64 і 1,24 т/га) періодично мали місце в кожний з досліджуваних періодів. Порівняння середньої урожайності

5. Урожай сільськогосподарських культур та його статистичні параметри, т/га

Період, роки	Статистичні параметри	Пшениця озима (по пару)	Ячмінь ярий	Кукурудза	Соняшник
1967–2018	M	4,44	2,40	4,32	2,15
Базовий (1967–1989)	M	3,76	2,14	4,14	1,86
	Max	5,48 (1989 р.)	4,93 (1987 р.)	6,33 (1983 р.)	2,74 (1971 р.)
	Min	2,02 (1985 р.)	0,64 (1979 р.)	1,22 (1975 р.)	1,02 (1975 р.)
	S	1,02	0,92	1,35	0,47
	p × 100 %	25	39	43	27
Постбазовий (1996–2018)	M	5,12	2,65	4,59	2,42
	Max	8,21 (2008 р.)	4,26 (2006 р.)	7,13 (1997 р.)	3,52 (1996 р.)
	Min	1,45 (2000 р.)	1,24 (2000 р.)	1,83 (2012 р.)	1,83 (1999 р.)
	S	1,62	0,84	1,39	0,42
	p × 100 %	66	62	56	74

сільськогосподарських культур по періодах свідчить про її підвищення: пшениці озимої збільшилася на 36 % (3,76 і 5,12 т/га); ячменю ярого – на 24 % (2,14 і 2,65 т/га); кукурудзи – на 11 % (4,14 і 4,59 т/га); соняшника – на 30 % (1,86 і 2,42 т/га). При цьому варіабельність статистичних рядів урожайності більшості культур, яку характеризує показник стандартне відхилення (S), змінюється незначно і досить близький за значеннями: ячмінь ярий – 0,92 і 0,84; кукурудза – 1,35 і 1,39; соняшник – 0,47 і 0,42 т/га відповідно періодам; тільки для озимини він збільшився до 1,68 порівняно з 1,02 у 1967–1989 рр. Це свідчить про більш значне відхилення (8,21 і 1,45 т/га) даних по роках досліджень відносно середньої урожайності зерна (5,12 т/га). В цілому за реакцією рослин на зміни умов природного середовища і відповідно за адаптивним потенціалом культури можна розмістити наступним чином: пшениця озима (по попереднику пар) > соняшник > ячмінь ярий > кукурудза.

Розрахунок показника імовірності (p, %) уможливорює прогнозувати формування оптимального (середнього і більше) рівня урожайності польових культур (табл. 5). Так, ймовірність одержання в базовий період (1961–1991 рр.) врожаю озимини по пару $\geq 4,44$ т/га становила 25 %, ячменю ярого $\geq 2,40$ т/га – 39 %, кукурудзи $\geq 4,32$ т/га – 43 %, соняшника $\geq 2,15$ т/га – 27 %, в той час як у постбазовий період (1991–2018 рр.) повторюваність цих показників збільшилася до

66, 62, 56, 74 % відповідно культурам.

Статистично доведене підвищення урожайності польових культур можна пояснити, перш за все, оновленням їх сортового і гібридного складу з більш високим потенціалом продуктивності. Не менш важливе значення належить й адаптивній здатності культур. Так, знижена до мінімуму вірогідність загибелі пшениці озимої у відносно теплі зими, а навесні простежується ефективно використання рослинами накопичених в осінньо-зимовий період вологозапасів з ґрунту на фоні стрімкого підвищення температурного режиму. Щодо соняшнику – це пізня теплолюбна культура, яка досить стійка до підвищених та високих температур повітря впродовж вегетаційного періоду. Позитивна динаміка урожайності ячменю ярого, на наш погляд, також пов'язана з більш ранніми строками сівби, як результат – подовжується період проростання - сходи - кущення, що надає можливість рослинам сформувати потужну кореневу систему та більш повно використовувати запаси вологи з ґрунту. Мінімальне відносне підвищення продуктивності кукурудзи пояснюється меншою стійкістю культури до стресових температур повітря у другій половині вегетації.

Крім того, в умовах потепління клімату зростання емісії окису вуглецю в атмосфері до певної концентрації, за сучасного рівня зволоження і родючості ґрунту, зумовлює покращання фотосинтетичної діяльності рослин та приріст біомаси [7, 8].

Висновки

1. Встановлено збільшення ресурсів тепла у регіоні за 1991–2018 рр. порівняно з кліматичною нормою. Підвищення річної температури йде з коефіцієнтом лінійного тренду 0,31 °C/10 років. Повторюваність випадків з температурою 9,5 °C і вище досягає 53 %. Потепління йде за рахунок підвищення температурного режиму в холодний період року – у січні, лютому і березні на 1,1–1,7 °C. Позитивні аномалії також проявляються у липні (1,4 °C) та серпні (1,5 °C).

2. Потепління клімату викликає подовження періоду з температурою ≥ 5 °C (біологічний мінімум розвитку ранніх ярих) на 11–16 діб (225 і 209–214). Зміна тривалості періоду з температурою ≥ 10 °C (біологічний мінімум розвитку теплолюбних культур) статистично не достовірні. Простежується по-

силення накопичення суми ефективних температур ≥ 5 і ≥ 10 °C. Повторюваність суми підвищених температур (2711 і 1709 °C) досягає майже 50 %.

3. На фоні наростання забезпеченості тепловими ресурсами регіону спостерігається збільшення середньої урожайності основних сільськогосподарських культур: озимина по пару – на 36 % (3,76 і 5,12 т/га); ячмінь ярий – на 24 % (2,14 і 2,65 т/га), кукурудзи – на 11 % (4,14 і 4,59 т/га), а соняшника – на 30 % (1,86 і 2,42 т/га). Імовірність формування оптимального рівня урожайності озимини по попереднику пар, ячменю ярого, кукурудзи та соняшника ($\geq 4,44$; $\geq 2,40$; $\geq 4,32$; $\geq 2,15$ т/га відповідно культурам) у постбазовий період становила 56–76 %, тимчасом як у 1961–1990 рр. цей показник дорівнював 25–43 %.

Використана література

1. Сытник К. М., Брайон А. В., Гордецкий А. В., Брайон А. П. Словарь-справочник по экологии. Киев: Наук. думка, 1994. 668 с.
2. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти: колективна моногр. / за наук. ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, Б. С. Носка. Харків: Стильна типографія, 2018. С. 90–108.
3. Чирков Ю. И. Агротемнеорология. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Гидрометеоздат, 1986. 296 с.
4. Сиротенко О. Д., Павлова В. Н. Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства. *Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем*: моногр. Гл. 5. Москва: Росгидромет, 2012. С. 165–189. URL: http://downloads.igce.ru/publications/metodi_ocenki/05.pdf
5. Чабан В. І. Подобед О. Ю., Клявзо С. П., Горбатенко А. І. Реалізація потенціалу продуктивності

польових культур в умовах північного Степу. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 1. С. 116–122.

6. Мищенко З. А., Кирнасовская Н. В. Агротемнеорологические ресурсы Украины и урожай: моногр. Одесса: Экология, 2011. 295 с.
7. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: общее резюме / сост.: Г. В. Алексеев и др.; под ред. А. В. Фролова. Москва: Росгидромет, 2014. 60 с. http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/pdf/resume_ob.pdf
8. Бобылев С. Н. Политика двойного выигрыша: климатические изменения в области землепользования. *Роль механизмов Киотского протокола в развитии лесо- и землепользования в России*: семинар. (г. Москва, 14 марта 2005 г.). URL: http://www.water-info.net/bk/land_law/files/bobylev.pdf

References

1. Sy`tnik, K. M., Brajon, A. V., Gordeczkij, A. P. & Brajon, A. P. (1994). *Slovar-spravocznik po ekologii* [Dictionary of Ecology]. Kyiv: Naukova dumka. 668 p. [in Ukrainian]
2. *Adaptatsiia ahrotekhnolohii do zmin klimatu: gruntovo-ahrokhimichni aspekty* [Adaptation of agrotechnologies to climate change: soil-agrochemical aspects]. (2018) / S. A. Baliuk, V. V. Medvediev, B. S. Nosko (Eds.). Kharkiv: Styl'na typhografii. 90–108. [in Ukrainian]
3. Chirkov, Y. I. (1986). *Agrometeorologiya* [Agrometeorology]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 296 p. [in Russian]
4. Sirotenko, O. D. & Pavlova, V. N. (2012). *Metody ocenki vliyaniya izmenenij klimata na produktivnost sel'skogo hazyjstva* [Methods for assessing the im-

pact of climate change on agricultural productivity]. *Metody ocenki posledstvij izmenenija klimata dlja fizicheskikh i biologicheskikh sistem* [Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems] Retrieved from: http://downloads.igce.ru/publications/metodi_ocenki/05.pdf. [in Russian]- 5. Chaban, V. I., Podobed, O. Y., Kliavzo, S. P. & Horbatenko, A. I. (2018). Realization of productivity potential of field crops in the conditions of the northern steppe. *Zernovi kultury* [Grain crops], 2 (1), 116–122. [in Ukrainian]
- 6. Mishhenko, Z. A. & Kirnasovskaya, N. V. (2011). *Agroklimaticheskie resursy Ukrainy i urozhaj* [Agroclimatic Resources of Ukraine and the harvest]. Odessa: Ekologiya. 295 p. [in Ukrainian]

7. Alekseev, G. V., Ananicheva, M. D., Anisimov, O. A., Ashik, I. M., Bardin, M. Ju. et. al. (2014). *Vtoroj ocennochnyj doklad Rosgidrometa ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshhee rezjume* [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General sum-

mary] / A. V. Frolov (Ed). Moskva: Rosgidromet. 60 p. [in Russian]

8. Bobylev, S. N. (2005). *Politika dvojnogo vyigrysha: klimaticheskie izmenenija v oblasti zemlepol'zovanija* [Doublewin policy: climate change in land use]. Retrieved from http://www.cawater-info.net/bk/land_law/files/bobylev.pdf [in Russian]

УДК 633:551.524 (292.486)

Чабан В. И., Клявзо С. П., Подобед О. Ю., Горбатенко А. И. Состояние тепловых ресурсов и динамика урожайности полевых культур в условиях северной Степи Украины.

Зерновые культуры. 2020. Т. 4. № 2. С. 330–338.

Государственное учреждение Институт зерновых культур НААН, ул. Владимира Вернадского, 14, г. Днепр, 49027, Украина

Изложены результаты оценки состояния тепловых ресурсов и показана динамика урожайности полевых культур в условиях северной Степи Украины. Установлено увеличение ресурсов тепла в регионе за период 1991–2018 гг. в сравнении с климатической нормой. Среднегодовая температура воздуха повысилась на 1,0 °С, за теплый и холодный периоды года – на 1,0 °С, за период активной вегетации ранних зерновых (апрель - июнь) и поздних яровых (май - август) – на 0,8–1,1 °С. Повышение годовой температуры проходит с коэффициентом линейного тренда +0,31 °С/10 лет. Повторяемость случаев, когда средняя температура за год достигает 9,5 °С и выше, составляет 53 %. Потепление в большей степени проходит за счет повышения температурного режима в холодный период года. Существенные положительные аномалии проявляются в январе (+1,7 °С), феврале (+1,1 °С), марте (+1,6 °С), а также в июле (+1,4 °С) и августе (+1,5 °С). Наблюдается удлинение периода с температурой ≥ 5 °С на 11–16 дней (225 и 209–214). Изменения продолжительности периода с температурой ≥ 10 °С статистически не достоверны. Наблюдается накопление суммы эффективных температур ≥ 5 и ≥ 10 °С. Повторяемость случаев повышенных (2711 и 1709 °С) сумм температур составляет 50 %. Установлена тесная корреляционная связь ($R^2 = 0,75$) между продолжительностью периода со среднегодовой температурой ≥ 5 °С и суммой эффективного тепла ≥ 5 °С. На фоне повышения уровня обеспечения тепловыми ресурсами региона наблюдается увеличение средней урожайности основных полевых культур: пшеница озимая по черному пару – на 36 % (3,76 и 5,12 т/га); ячмень яровой – на 24 % (2,14 и 2,63 т/га); кукуруза – на 11 % (4,14 и 4,59 т/га); подсолнечник – на 30 % (1,86 и 2,42 т/га). Вероятность формирования оптимального уровня урожайности озимой пшеницы по пару, ярового ячменя, кукурузы и подсолнечника ($\geq 4,44$; $\geq 2,40$; $\geq 4,32$; $\geq 2,15$ т/га соответственно культурам) в постбазовый период составляла 56–76 %, в то время как в 1961–1990 гг. этот показатель был на уровне 25–43 %.

Ключевые слова: тепловые ресурсы, суммы температур, полевые культуры, динамика урожайности, адаптивные свойства.

UDC 633:551.524 (292.486)

Chaban V. I., Kliavzo S. P., Podobed O. U., Horbatenko A. I. The state of heat resources and yield dynamics of the field crops in the conditions of the northern Steps of Ukraine.

Grain Crops. 2020. 4 (2). 330–338.

SE Institute of Grain Crops of NAAS, 14, Volodymyra Vernadakyi Str., Dnipro, 49027, Ukrainy

The most important environmental factors for the environment and habitat of plants include temperature. Agro-industrial production requires up-to-date information on the state of thermal resources and the response of plants to global warming within each region.

The purpose of the research is to evaluate the state of thermal resources and the dynamics of crop yields in the Northern Steppe of Ukraine. Material for the research was the results of observations of the temperature regime of the AISW Dnipro (1961–1990 and 1991–2018) and data of winter wheat, spring barley, corn, sunflower in stationary experiments on control variants (DPDG “Dnipro”). Statistical data were used to evaluate the data by period: arithmetic mean (M); standard deviation (S); confidence interval (CL0.05) probability (P); repeatability ($P \times 100$ %). Statistical processing was performed using applications in Excel 2003 and Statistica (version 6).

Analysis of the thermal regime data showed that in 1991–2018, the average temperature for the year increased by 1.0 °C compared to the climatic norm (1961–1990), by 0.9 °C during the warm and cold periods. vegetation period of early cereals and late crops – by 0.8–1.0 °C. The average rate of increase in the

average annual temperature in 1961–2018 was 0.31 °C/10 years. Between 1991 and 2018, there were 15 cases with temperatures above 9.5 °C, with a recurrence rate of up to 53 %. The last decade (2009–2018) is characterized by a further increase in temperature during the year – by 1.5 °C, the vegetation of early cereals – by 1.6 °C, and late crops – by 2.0 °C. It is established that the warming is due to the temperature increase in the cold season – in January, February and March by 1.1, 1.7 °C. Positive anomalies occur in July and August (+1.5 °C).

For estimating thermal resources, the important characteristics are the average temperature of the coldest and warmest months of the year. January 10-year average temperatures steadily increased from (-6.5) °C in 1961–1970, to (-4.0) °C in 2011–2018. Their annual variability decreased. The recurrence of high temperature (> -5 °C) in January increased from 34–35 % in 1961–1980 to 73 % in 2011–2018.

The average values of July temperatures for 10 annual cycles have steadily increased from 20.8 to 23.0 °C since 1970. The recurrence of temperature > 23.0 °C for 1961–1970 was 2 cases and has increased 2.5 times in recent years. This increases the likelihood of sleepless periods. The positive trend leads to a shift in the dates of the steady transition of the average daily air temperature through 5 °C and the duration of the growing season. Over the last 18 years (2001–2018), it increased by 11–16 days (225 and 209–214). The incidence of such cases increased from 22 % to 44–50 %. At the same time, the increase in the duration of the period with an average daily temperature of ≥ 10 °C is not statistically significant.

The average sums of effective temperatures ≥ 5 °C over the 10-year cycles in 2011–2018 were 2711 °C, which is 347 °C higher than the base period (1961–1990). Temperature totals increase linearly from 1971 to 2018. However, their recurrence (≥ 2711) in 2011–2018 sharply increases to 50 %. A close correlation ($R^2 = 0.75$) was established between the duration of the period at ≥ 5 °C and the sum of effective heat ≥ 5 °C. A similar trend is typical for effective temperatures at ≥ 10 °C.

The results of the accounting of crops show that for the whole period of observations their average values were: winter wheat (steam) – 4.44 t/ha; spring barley – 2.40 t/ha; corn – 4.32 t/ha; sunflower – 2.15 t/ha. Their distribution was characterized by significant fluctuations due to the variability of weather conditions. However, its maximum levels were noted in the post base period.

Against the background of increasing supply of thermal resources in the region, there is an increase in their average yield: steam of winter – by 36 % (3.76 and 5.12 t/ha); spring barley – 24 % (2.14 and 2.65 t/ha), corn – 11 % (4.14 and 4.59 t/ha), sunflower – 30 % (1.86 and 2.42 t/ha). The probability of forming the optimal yield level of steam winter, spring barley, corn and sunflower (≥ 4.44 ; ≥ 2.40 ; ≥ 4.32 ; ≥ 2.15 t/ha, respectively, for crops) in the post base period reaches 56–76 % whereas in 1961–1990 it was 25–43 %.

Keywords: *thermal resources, sum of temperatures, field crops, yield dynamics, adaptive properties.*