

УДК 633.11 «324» : 551.58

А.М. Польовий, *д.геогр.н.*, **Л.Ю.Божко**, *к.геогр.н.*, **О.О. Дронова** *к. геогр. н.*,
Г.О. Боровська, *к.геогр. н.*

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІНИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В УКРАЇНСЬКІЙ ЧАСТИНІ СУББАСЕЙНУ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Оцінюються зміни агрокліматичних ресурсів в українській частині суббасейну дельти Дунаю в 2011 – 2030 рр. та 2031 – 2050 рр. у зв'язку зі змінами клімату в порівнянні з базовим періодом 1986 – 2005 рр.

Для оцінки змін використано сценарій зміни клімату в Україні – сценарій А1В, регіональну кліматичну модель MPI-M-REMO, глобальну модель – ECHAM5-r3 як найбільш вірогідні на період до 2050 року. Надана оцінка тепло- та вологозабезпеченості вегетаційного періоду. Наводиться оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці у зв'язку зі зміною клімату.

Ключові слова: *клімат, температура повітря, опади, озима пшениця, фотосинтез, біомаса, продуктивність, урожай.*

Вступ. Зміна клімату на планеті співпадає з періодом наростання продовольчого дефіциту в світовій спільноті. Дві нові обставини посилюють і раніше існуючу проблему із забезпеченням населення продовольством. Перша – помітне підвищення рівня платоспроможного попиту на продукти в багатонаселених країнах світу. Друга – розширення практики використання сільськогосподарських земель для виробництва біопалива. Ці дві важливі обставини в умовах скорочення світових запасів земельних угідь і невідновлюваних джерел енергії при раціональному регулюванні посівних площ ріпаку та соняшника (яке сьогодні, на жаль, недостатньо регулюється) створюють для України можливість стати одним із найбільших виробників сільськогосподарської продукції. В цих умовах важливим чинником підвищення ефективності сільського господарства України в умовах зміни клімату є науково обґрунтоване розміщення посівних площ сільськогосподарських культур з врахуванням кліматичних змін, адаптація рослинництва до цих змін, що дозволить найбільш ефективно використовувати природні ресурси в нових кліматичних умовах, добитися стійкого зростання величини і якості урожаю, підвищити віддачу сировинних, енергетичних і трудових ресурсів.

Важливою ланкою проблеми зміни глобального клімату є оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур та впливу цих змін на їхню продуктивність. У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря Північної півкулі продовольча безпека України значною мірою буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур.

Матеріали і методи досліджень. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано сценарій зміни клімату в Україні – сценарій А1В, регіональну кліматичну модель MPI-M-REMO, глобальну модель – ECHAM5-r3 [2,10] як найбільш вірогідні на період до 2050 року.

Кліматична модель MPI-M-REMO була розроблена в Інституті метеорології Макса-Планка (м. Гамбург) [2,3,4]. В цій моделі використовується повернута сферична система координат, коли екватор проходить через центр області моделювання для

зменшення впливу кривизни Землі на прямокутність координатної сітки, і, так звана, гібридна вертикальна координата, яка є комбінацією ізобаричної та σ вертикальної координати, тобто вертикальні рівні розташовані вздовж підстильної поверхні поблизу землі і з висотою перетворюються на паралельні ізобаричним за спеціальним співвідношенням.

В останні роки REMO досить успішно застосовувалась для моделювання минулого і майбутнього регіонального клімату не тільки Німеччини, але й інших країн Європи, а також Індії, Аргентини та інших країн світу [2, 3, 4]. REMO була однією з провідних в проекті оцінки водного балансу басейну Балтійського моря [2] та в звіті IPCC-2007 [7].

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів були використані розроблені А.М. Польовим моделі продуктивного процесу сільськогосподарських культур: модель формування продуктивності агроєкосистеми [5] та модель фотосинтезу зеленого листка рослин при зміні концентрації CO_2 в атмосфері [6].

Ідентифікація моделі формування урожайності озимої пшениці виконана на основі матеріалів агрометеорологічних спостережень метеорологічних станцій Болград, Ізмаїл, Вилкове та даних середньої районної урожайності.

Розглядалось формування урожайності озимої пшениці в умовах зміни клімату в Болградському, Ренійському, Ізмаїльському та Кілійському районах Одеської області.

Слід підкреслити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності озимої пшениці розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів сільськогосподарської культури в припущенні, що вони суттєво не зміняться.

Аналіз тенденції зміни клімату виконано шляхом порівняння даних за кліматичним сценарієм та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників за три часових періоди: 1986 – 2005 рр. (базовий період), 2011 – 2030 рр. (I-й сценарний період), 2031 – 2050 рр. (II-й сценарний період).

Для сільськогосподарських культур на фоні зміни кліматичних умов за I-й та II-й періоди нами розглядалися такі варіанти: кліматичні умови періоду; кліматичні умови періоду + збільшення CO_2 в атмосфері (для I-го періоду з 380 до 470 ppm, для II-го періоду з 380 до 520 ppm); кліматичні умови періоду+збільшення CO_2 +внесення добрив в дозах N_{75} (озима пшениця); кліматичні умови періоду+збільшення CO_2 +внесення добрив в дозах N_{125} (озима пшениця).

Результати досліджень. Основними кліматичними та агрокліматичними характеристиками температурного режиму вегетаційного періоду є:

- дати стійкого переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15°C навесні та восени;
- тривалість періоду з температурами повітря вище 0, 5, 10, 15°C;
- суми позитивних температур повітря за період з температурами вище 0, 5, 10, 15 °C;
- середня температура повітря січня, липня та їхня амплітуда;
- дати останнього навесні та першого восени заморозку на висоті 2 м та на поверхні ґрунту;
- тривалість беззаморозкового періоду в повітрі на висоті 2 м та на поверхні ґрунту.

Температурний режим. За початок весни, зазвичай, береться дата стійкого переходу температури повітря через 0 °C в бік підвищення температури повітря, а за початок осені – дата стійкого переходу температури повітря через 0 °C в бік від'ємних температур. Аналіз даних показав, що і в I-й (2011 – 2030 рр.) і в II-й (2031 – 2050 рр.)

періоди очікується, що період з позитивними температурами буде тривати весь рік, він збільшиться на 62 дні (табл. 1).

Перехід температури через 5 °С відбуватиметься в I-й період раніше від базового періоду на 8 днів, а в II-й період раніше на 36 днів, восени відбудеться відповідно на 19 та 23 дні пізніше. Як наслідок в I-й період тривалість вегетаційного періоду вегетації збільшиться на 34 дні, а в II-й період – на 75 днів і становитиме відповідно 280 та 321 дні.

Початок активної вегетації сільськогосподарських культур, тобто стійкий перехід температури повітря через 10 °С, наставатиме в більш раніші терміни: для I-го періоду на 6 днів і наставатиме 5 квітня, а для II-го періоду - на 14 днів (28 березня). Восени закінчення активної вегетації (перехід через 10 °С) буде відбуватися на 19 – 21 день пізніше від базового періоду (12 – 14 листопада). В зв'язку з цим очікується збільшення вегетаційного періоду до 221 – 231 дня порівняно з базовим (196 днів).

Перехід температури повітря через 15 °С весною і в I-й період (до 2030 року) і в II-й період (до 2050 року) відбуватиметься раніше на 7 – 13 днів, а восени в I-й період цей перехід очікується на 25 днів пізніше від базового, що відповідно призведе до збільшення цього періоду до 166 днів.

Для II-го періоду очікується ще більш пізній перехід температури через 15 °С восени (21 жовтня проти базового терміну – 28 вересня), що відповідно збільшить тривалість періоду з цими температурами до 176 днів (табл. 1).

Основними показниками забезпеченості рослин теплом є суми температур за різні періоди вегетації. За сумами температур вище 0°С можна оцінювати характер весни, вище 5°С – теплові ресурси вегетаційного періоду холодостійких культур, вище 10°С – забезпеченість теплом активної вегетації теплолюбних культур, вище 15°С – дуже теплолюбних культур.

Сума температур за відповідні періоди залежить від тривалості відповідного періоду і термічного режиму в ці періоди. Так, і в I-й (до 2030 року), і в II-й (до 2050 року) періоди очікується збільшення сум температур, але особливо значним це збільшення буде для періоду до 2050 року (табл.2).

Для I-го періоду суми температур вище 5°С збільшаться на 811°С, значно більшим буде зростання сум температур для II-го періоду – на 1318°С. Відбудеться значне зростання сум температур вище 10°С: для I-го періоду вони зростуть на 721°С.

Для II-го періоду суми температур вище 10°С зростуть на 907°С, що відкриває можливості для вирощування більш урожайних теплолюбних культур та пізньостиглих сортів і гібридів сільськогосподарських культур, а також нових нетрадиційних для цього регіону культур. Також у I та II-й періоди значно зростуть суми температур вище 15°С – на 832 – 936°С.

За кліматичним сценарієм відбудеться підвищення середньої температури січня та середньої температури липня. В період до 2030 року середня температура січня підвищиться на 2,5°С, а середня температура липня підвищиться на 1,7°С, в період до 2050 року відбудеться ще більш суттєве підвищення температури січня – на 4,1°С, а липня на 3,1°С. Відбудеться деяке зменшення річної амплітуди на 0,8 – 1,0°С, що трохи зменшить континентальність клімату.

Потепління клімату змінить режим настання весняних та осінніх заморозків. Дата останнього заморозку навесні на висоті 2 м буде спостерігатись на 6 днів (у I-й період) і на 16 днів (у II-й період) раніше в порівнянні з базовою. Строки настання останнього заморозку на поверхні ґрунту будуть спостерігатись на 10–13 днів раніше. Відбудеться також більш значне зміщення дати першого заморозку восени, відповідно на 22–26 днів на висоті 2 м та на 21–24 дні на поверхні ґрунту. Через це значно зміниться тривалість беззаморозкового періоду у повітрі на висоті 2 м: для I-го періоду на 30 днів, а для II-го періоду – на 43 дні. Також на 31–37 днів збільшиться тривалість беззаморозкового періоду на поверхні ґрунту.

Таблиця 1 - Дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 0, 5, 10, 15 °С та тривалість періодів з цими температурами

Період, роки	Дати переходу температури повітря через межі								Кількість днів з температурою повітря рівною або вищою за			
	Навесні				Восени							
	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	15 °С	10 °С	5 °С	0 °С	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С
1986 – 2005	12.II	13.III	11.IV	11.V	28.IX	24.X	14.XI	11.XII	303	246	196	141
2011 – 2030	–	5.III	5.IV	4.V	17.X	12.XI	10.XII	–	365	280	221	166
Різниця	–	–8	–6	–7	+19	+19	+26	–	+62	+34	+25	+25
2031 – 2050	–	5.II	28.III	28.IV	21.X	14.XI	23.XII	–	365	321	231	176
Різниця	–	–36	–14	–13	+23	+21	+39	–	+62	+75	+35	+35

Таблиця 2 - Комплексні характеристики температурного режиму

Період, роки	Сума активних температур вище				Температура повітря, °С			Дата останнього заморозку весною		Дата першого заморозку восени		Тривалість без-заморозкового періоду, дні	
	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	січень	липень	амплітуда	на висоті 2м	на поверхні ґрунту	на висоті 2 м	на поверхні ґрунту	у повітрі	на поверхні ґрунту
	1986–2005	4090	3910	3550	2820	–1,0	22,9	23,0	6 IV	26 IV	19 X	15 X	196
2011–2030	4988	4721	4271	3652	2,4	24,6	22,2	30 III	16 IV	11 XI	5 XI	226	203
Різниця	+898	+811	+721	+832	+2,5	+1,7	–0,8	–6	–10	+23	+21	+30	+31
2031–2050	5354	5228	4457	3806	4,0	26,0	22,0	20 III	13 IV	14 XI	8 XI	239	209
Різниця	+1264	+1318	+907	+986	+4,1	+3,1	–1,0	–16	–13	+26	+24	+43	+37

Вологозабезпеченість. Опادي є основним джерелом зволоження земної поверхні і з цієї точки зору вони визначають стан багатьох природних ресурсів. Тому поняття просторово-часової мінливості структури поля опадів сучасності та їхні майбутні зміни відіграють важливу роль в прогнозах кліматично-зумовлених природних ресурсів (табл.3).

При цьому розглядалися такі показники:

- сума опадів за періоди: зима, весна, літо, осінь, рік;
- сума опадів за періоди з температурами повітря вище 5 і 10 °С;
- сумарне випаровування, випаровуваність, дефіцит випаровування;
- коефіцієнт зволоження (гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова (ГТК)) за період травень -серпень.

Таблиця 3 - Режим зволоження

Період	Кількість опадів за періоди, мм						Сумар-не ви-паровування, мм	Випарова-ність, мм	Дефіцит випа-ровування, мм	
	з температу-рою повітря вище		зима	весна	літо	осінь				рік
	5 °С	10 °С								
1986 – 2005	360	325	92	117	172	124	505	503	934	431
2011 – 2030	308	206	117	112	87	94	410	502	1259	757
Зміна,%	-14	-36	+27	-4	-49	-24	-19	0	+35	+76
2031 – 2050	343	219	117	97	79	104	397	505	1358	853
Зміна,%	-4	-32	+27	-17	-54	-16	-21	0	+45	+98

У відповідності з кліматичним сценарієм річна кількість опадів зменшиться в I-й період (до 2030 року) на 19 % (до 410 мм), а в II-й період (до 2050 року) – на 21 % (до 397 мм) порівняно з кількістю опадів базового періоду (505 мм).

Зміни режиму опадів будуть нерівномірно розподілені за порами року. Значно зросте кількість опадів у зимовий період. В I та II-й – періоди на 27 % (з 92 мм до 117мм). В інші пори року відбудеться зменшення кількості опадів. Навесні: в I-й період на 4 %, а в II-й період на 17 %. Влітку очікується зменшення кількості опадів удвічі, що буде становити відповідно 87 та 79 мм порівняно з 172 мм базового періоду.

За рахунок такого сезонного перерозподілу опадів за період з температурою вище 5°С кількість опадів для I-го (до 2030 року) та II-го (до 2050 року) періодів зменшиться до 308–343 мм порівняно з 360 мм в базовий період, тобто зменшиться на 4–14 %. В період активної вегетації (період з температурами повітря вище 10°С) кількість опадів для I-го та II-го періодів зменшиться ще більше - до 206 – 219 мм відповідно порівняно з базовим періодом (325 мм).

Сумарне випаровування за рік майже не зміниться, а випаровуваність зросте на 35–45 %, що призведе до значного зростання річного дефіциту випаровування – до 757мм в I-й період і до 853 мм у II-й період порівняно з базовим (431 мм). Це збільшення становитиме відповідно для періодів 76 і 98 % від базового періоду.

Як видно із табл. 4 посушливість періоду вегетації значно зросте в умовах зміни клімату. Якщо в базовий період для календарного періоду квітень–вересень було характерним 9 декад з помірною посухою, то для I-го (до 2030 року) періоду очікується тільки 3 декади з помірною посухою, 1 декада з середньою посухою та 12 декад з

Таблиця 4 - Характеристика посушливості періоду вегетації по декадах

Місяць	Декада	Період					
		1986 – 2005 рр.		2011 – 2030 рр.		2031 – 2050 рр.	
		ГТК	Оцінка посушливості, декади	ГТК	Оцінка посушливості, декади	ГТК	Оцінка посушливості декади
IV	1					1,09	
	2	1,57		0,92		0,94	
	3	0,90	помірна посуха	0,81	помірна посуха	0,86	помірна посуха
V	1	0,67	помірна посуха	0,77	помірна посуха	0,56	середня посуха
	2	0,65	помірна посуха	0,71	помірна посуха	0,52	середня посуха
	3	1,25		0,57	середня посуха	0,47	сильна посуха
VI	1	1,36		0,49	сильна посуха	0,43	сильна посуха
	2	0,77	помірна посуха	0,46	сильна посуха	0,41	сильна посуха
	3	1,0		0,39	сильна посуха	0,38	сильна посуха
VII	1	0,79	помірна посуха	0,38	сильна посуха	0,36	сильна посуха
	2	0,94		0,37	сильна посуха	0,35	сильна посуха
	3	0,67	помірна посуха	0,33	сильна посуха	0,35	сильна посуха
VIII	1	0,77	помірна посуха	0,41	сильна посуха	0,31	сильна посуха
	2	0,62	помірна посуха	0,40	сильна посуха	0,31	сильна посуха
	3	0,92		0,42	сильна посуха	0,30	сильна посуха
IX	1	1,07		0,35	сильна посуха	0,51	середня посуха
	2	0,82	помірна посуха	0,39	сильна посуха	0,55	середня посуха
	3	1,05		0,46	сильна посуха	0,63	помірна посуха

сильною посухою.

У II-му періоді (до 2050 року) буде спостерігатись 2 декади з помірною посухою, 4 декади з середньою посухою та 10 декад з сильною посухою.

У зв'язку зі зміною агрокліматичних умов осіння вегетація озимої пшениці буде відбуватися в дещо пізніші терміни.

Так, сівба буде проводитись у першій та другій декадах жовтня, що порівняно з базовим пізніше на 20 днів у I-й період (до 2030 року) і на 27 днів у II-й період (до 2050 року). Відповідно змістяться і терміни появи сходів. Припинення вегетації також буде відбуватися пізніше відповідно на 14 і 24 дні, тобто 10 та 20 грудня.

При таких термінах сівби осіння вегетація озимої пшениці буде відбуватися в період до 2030 року при дещо завищеному (на 0,9°C) температурному режимі порівняно з базовим періодом, а в період до 2050 року температура повітря буде знаходитись практично на рівні базового. Сума активних температур за ці періоди буде складати відповідно 650 і 653°C, що дозволить сформувати оптимальну кущистість (3–6 пагонів на одну рослину).

Розрахунки показують, що при збереженні традиційних термінів сівби на рівні базових (19 вересня) і не врахуванні змін температурного режиму восени суми температур за період сівба – припинення вегетації становитимуть у I-й період 1039°C, а в II-й період – 1147°C, що призведе до формування дуже перерослих посівів. Перерослі рослини озимої пшениці будуть мати висоту більше 25 см, більше 5–6 бокових пагонів, більшу довжину конусу наростання. Зимостійкість таких посівів озимої пшениці буде

знижуватись внаслідок інтенсивного росту рослин восени і як наслідок цього призведе до зниження урожаю на 15–20%.

Кількість опадів за період осінньої вегетації в I-й період зменшиться і складатиме 74 мм (табл. 5), що на 11% менше кількості опадів в базовий період. У другий період кількість опадів залишиться на рівні базової кількості.

У зв'язку з підвищенням температури повітря в зимовий період така характеристика суворості зими як сума від'ємних температур відпадає. Середня температура найбільш холодної декади підвищиться в I-й період (до 2030 року) на 3,6°C, а в II-й період (до 2050 року) – на 4,9 °C.

Мінімальна температура на глибині залягання вузла кушіння значно підвищиться: до 0,5 °C в I-й період і до 1,4 °C в II-й період.

При відсутності інших причин пошкодження, зимівля озимих культур буде проходити добре. Середній процент загибелі рослин озимої пшениці буде становити не більше 3–6%.

Кількість опадів за період перезимівлі в I-й період зменшиться на 17%, у II-й період – на 61%, що пояснюється скороченням періоду перезимівлі.

Початок відновлення вегетації озимої пшениці зміститься на дещо раніші строки. Розвиток озимої пшениці в міжфазний період відновлення вегетації-колосіння проходитиме на фоні зижених температур повітря: в I-й період температура повітря буде нижчою за базову на 0,5 °C, а в II-й період – на 2,2 °C .

Таблиця 5 - Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в осінньо-зимовий період

Період	Період посів – припинення вегетації				Період перезимівлі			
	Сума температур від 19 IX °C	сума температур від дати посіву, °C	середня температура, °C	сума опадів, мм	сума від'ємних температур, °C	середня температура найхолоднішої декади, °C	мін тем-ра ґрунту на глибині вузла кушіння, °C	сума опадів, мм
1986-2005	654	654	9,6	83	-55	-1,3	-4,4	108
2011-2030	1039	650	10,5	74	0	2,3	0,5	90
Різниця	+385	-4	+0,9	-11%	+55	+3,6	+4,9	-17%
2031-2050	1147	653	10,0	83	0	3,6	1,4	42
Різниця	+493	-1	+0,4	0%	+55	+4,9	+5,8	-61%

Для міжфазного періоду колосіння-воскова стиглість температурний режим в I-й період зменшиться на 0,3 °C, а в II-й період температура повітря знизиться на 2,1 °C.

Порівняння динаміки середньої за декаду температури повітря в умовах зміни клімату з динамікою цього показника в базовий період (рис.1) показує, що за рахунок зміщення початку вегетації на раніші строки вегетація озимої пшениці буде проходити при нижчому температурному режимі, тобто в більш сприятливих умовах формування стеблостою та колосу.

В період відновлення вегетації-колосіння кількість опадів в I-й період збільшиться на 16% в порівнянні з базовим періодом (табл. 6). Для II-го періоду буде характерним суттєве збільшення кількості опадів за період відновлення вегетації-

колосіння (на 30%). В період колосіння-воскова стиглість для обох періодів кількість опадів зменшиться на 44-46%.

Випаровуваність за весняно-літній період вегетації в I-й період майже не збільшиться і становитиме від 361 мм у базовий період до 373 мм у I-й період. Для II-го періоду збільшення буде більш суттєвим (на 12 %), також зросте величина сумарного випаровування.

Таблиця 6 – Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в весняно-літній період

Період, роки	Період відновлення вегетації-колосіння			Період колосіння-воскова стиглість			Період відновлення вегетації-воскова стиглість		
	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм
1986 – 2005	10,1	716	81	19,3	732	78	13,3	1448	159
2011 – 2030	9,6	724	94	19,0	743	43	12,9	1467	137
Різниця	-0,5	+8	+16%	-0,3	+11	-44%	-0,4	+19	-14%
2031 – 2050	7,9	717	105	7,2	738	42	10,8	1455	147
Різниця	-2,2	+1	+30%	-2,1	+6	-46%	-2,5	+7	-8%

Збільшаться витрати вологи на транспірацію: в базовий період вони склали 128мм, а очікуватимуться в I-й період – 143мм, у II-й – 170мм. Зросте вологозабезпеченість міжфазного періоду відновлення вегетації-колосіння и незначно зменшиться вологозабезпеченість періоду колосіння-воскова стиглість.

Як видно з даних рис.2, щодакдний хід вологозабезпеченості в умовах зміни клімату буде близький до вологозабезпеченості базового періоду, що в поєднанні з більш сприятливим зниженим температурним режимом створює сприятливі умови для формування урожаю озимої пшениці в цих умовах.

Зміна агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці спричинила зміни показників фотосинтетичної продуктивності і, як наслідок, урожаю зерна. На фоні зміни кліматичних умов у I-му (до 2030 року) та II - му (до 2050 року) періодах нами розглядались такі варіанти:

- кліматичні умови періоду;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ в атмосфері (для I-го періоду з 380 до 470 ppm , для II періоду з 380 до 520 ppm);
- кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ + внесення добрив N₇₅;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ + внесення добрив N₁₂₅.

Слід зазначити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності озимої пшениці розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів культури.

Детальний аналіз динаміки показників фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці в умовах зміни клімату проводився на прикладі Болградського району. Площа листя (рис.3 та рис.4) наростатиме від початку вегетації до 7-8-ої декади тобто до настання фенологічних фаз колосіння-цвітіння.

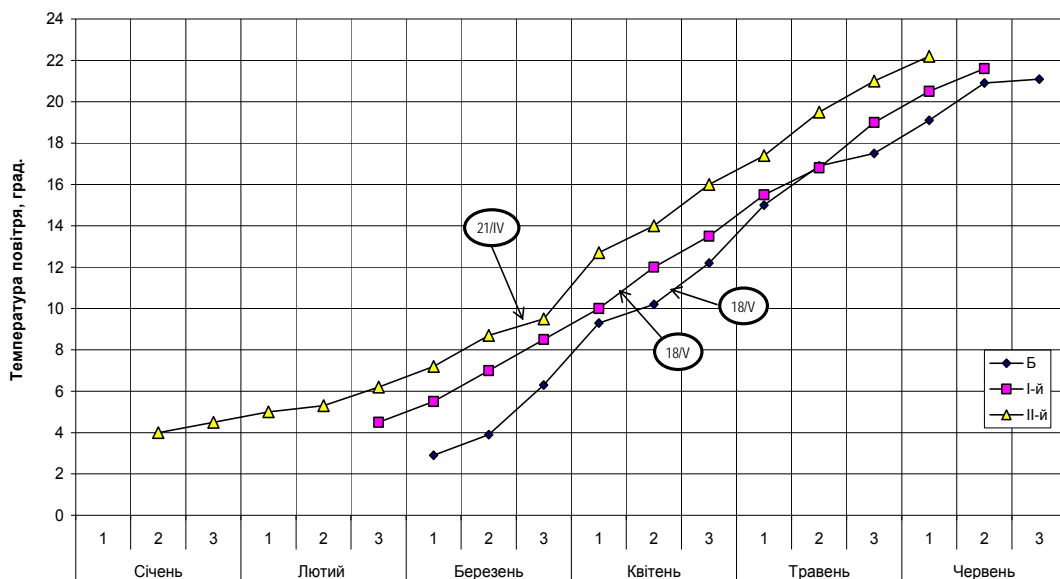


Рис.1 – Динаміка середньої за декаду температури повітря за період весняно-літньої вегетації озимої пшениці в умовах зміни клімату:
 Б – базовий період; I-й період – 2011-2030рр.; II-й – 2031 – 2050рр.
 ○ → – дата колосіння

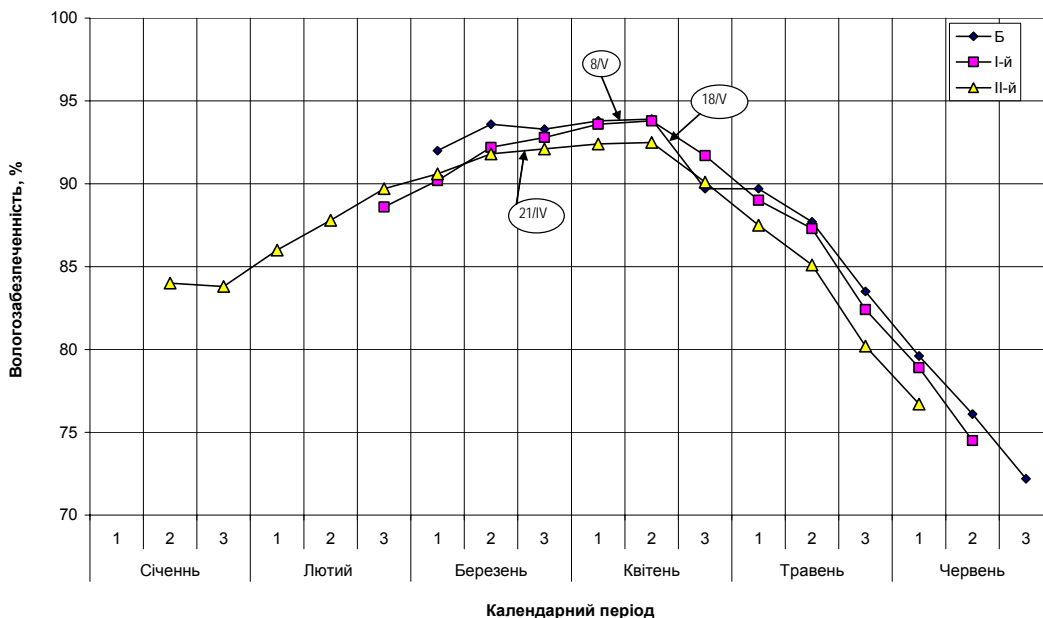


Рис.2 – Динаміка вологозабезпеченості озимої пшениці в умовах зміни клімату:
 Б – базовий період; I-й період – 2011-2031рр.; II-й – 2031-2050рр.
 ○ → – дата колосіння

В I-й період найбільш інтенсивне зростання площі асимілюючої поверхні (рис.3) відбуватиметься з 3-ої по 6-у декади, коли її збільшення за рахунок тільки зміни кліматичних умов складало до $0,4 - 0,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$ за декаду.

При зростанні вмісту CO_2 в атмосфері від 380 до 470 ppm наростання площі листя відбуватиметься більш прискореними темпами, а внесення азотних добрив в дозі 75 кг (д.р.)/га призведе до збільшення темпу наростання площі листя до $0,7-0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$ за декаду в період максимального росту. При внесенні азотних добрив в дозі 125 кг(д.р.)/га максимальна площа листя досягатиме $3,02 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Фотосинтетичний потенціал посівів збільшиться при внесенні добрив на 45-60 % у порівнянні з базовим періодом (табл. 7).

Для II-го періоду також буде характерним швидке формування асимілюючої поверхні посівів (рис.4), в порівнянні з базовим періодом максимальна площа листя сформується на 3-4 декади раніше. Підвищення вмісту CO_2 в атмосфері до 520 ppm особливо при внесенні азотних добрив приведе до стрімкого наростання площі листя, яке в період максимальних значень досягне $3,40-3,80 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Збільшення фотосинтетичного потенціалу при внесенні добрив становитиме 100-122% у порівнянні з базовим періодом (табл. 8). Інтенсивність фотосинтезу буде підвищуватись з початку вегетації до 6-7-ої декад, потім поступово буде знижуватись (рис. 5 та рис. 6).

В I-й період (до 2030 року) за рахунок зміни кліматичних умов відбудеться підвищення фотосинтезу на $1,5-2,0 \text{ мгCO}_2 /(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$ (рис. 5). За умов збільшення CO_2 різниця інтенсивності фотосинтезу збільшиться до $0,3-0,4 \text{ мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$, а внесення добрив приведе до подальшого підвищення рівня інтенсивності фотосинтезу посівів на $0,5-0,8 \text{ мгCO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$. Як видно з даних рис. 5, зміна кліматичних умов, збільшення вмісту CO_2 та внесення добрив призведе до підвищення інтенсивності фотосинтезу посівів в декаду з його максимальними значеннями з $8,8$ до $10,4 \text{ мгCO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$.

Більш раннє формування площі листя в II-й період при зниженому температурному режимі спричинить нижчі рівні інтенсивності фотосинтезу від початку вегетації до колосіння-цвітіння (рис. 6) порівняно з базовим періодом. В умовах збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 ppm підвищиться рівень інтенсивності фотосинтезу посівів в декаду з його максимальними значеннями до $8,5 \text{ мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$, а при внесенні добрив – до $8,9-9,1 \text{ мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$.

Такий хід наростання площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу зумовив і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів озимої пшениці (рис. 7 та рис. 8).

При кліматичних умовах I-го періоду накопичення загальної біомаси відбуватиметься досить швидкими темпами (рис.7). Найвищі прирости загальної біомаси будуть спостерігатися в 7-9 -ій декадах вегетації.

За рахунок змін кліматичних умов максимальний приріст збільшиться від $12,6$ до $12,8 \text{ г/м}^2$ за добу. З врахуванням зміни вмісту CO_2 в атмосфері до 470 ppm це зростання буде ще більшим (на 15%).

Внесення добрив збільшить максимальні прирости біомаси до $18,5-21,1 \text{ г/м}^2$ за добу (табл. 7). Вони сягатимуть 147-167 % в порівнянні з базовим періодом. Зміна кліматичних умов у II-й період спричинить збільшення приростів біомаси порівняно з базовим періодом (рис. 8).

Підвищення вмісту CO_2 в атмосфері до 520 ppm збільшить рівень приростів загальної біомаси, особливо в декади перед колосінням-цвітінням. Прирости збільшаться з $12,6$ до $16,3 \text{ г/м}^2$ за добу (на 29 %). При внесенні добрив максимальний приріст загальної біомаси досягатиме $20,4-23,0 \text{ г/м}^2$ за добу (на 62 – 82 %).

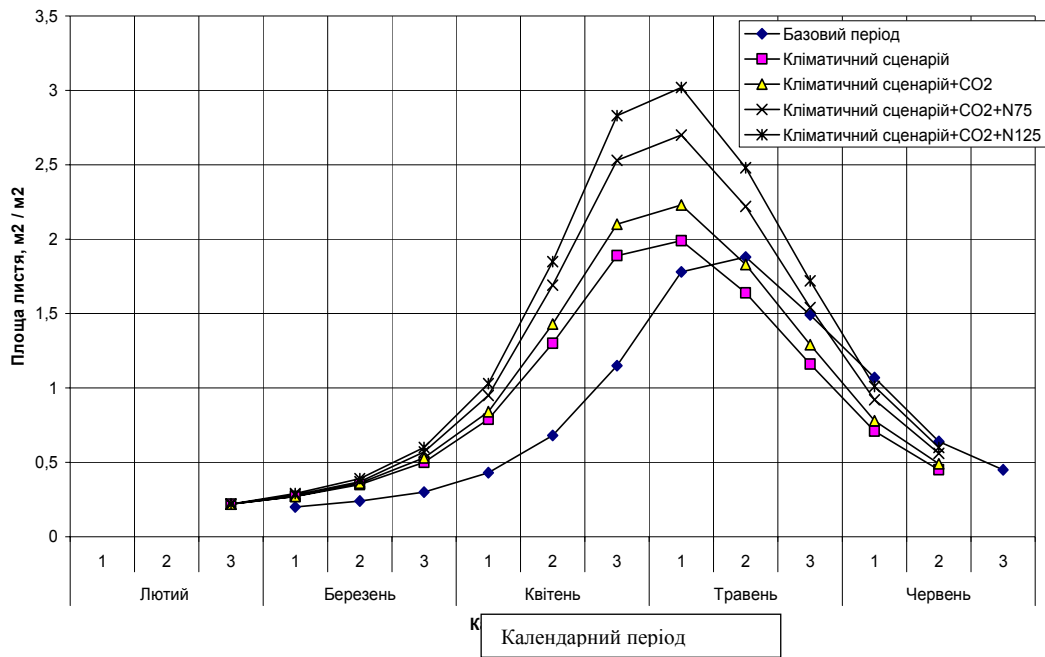


Рис. 3 – Динаміка відносної площі листкової поверхні озимої пшениці в умовах зміни клімату за сценарієм на 2011-2030 роки в порівнянні з періодом 1986-2005рр. (базовий період)

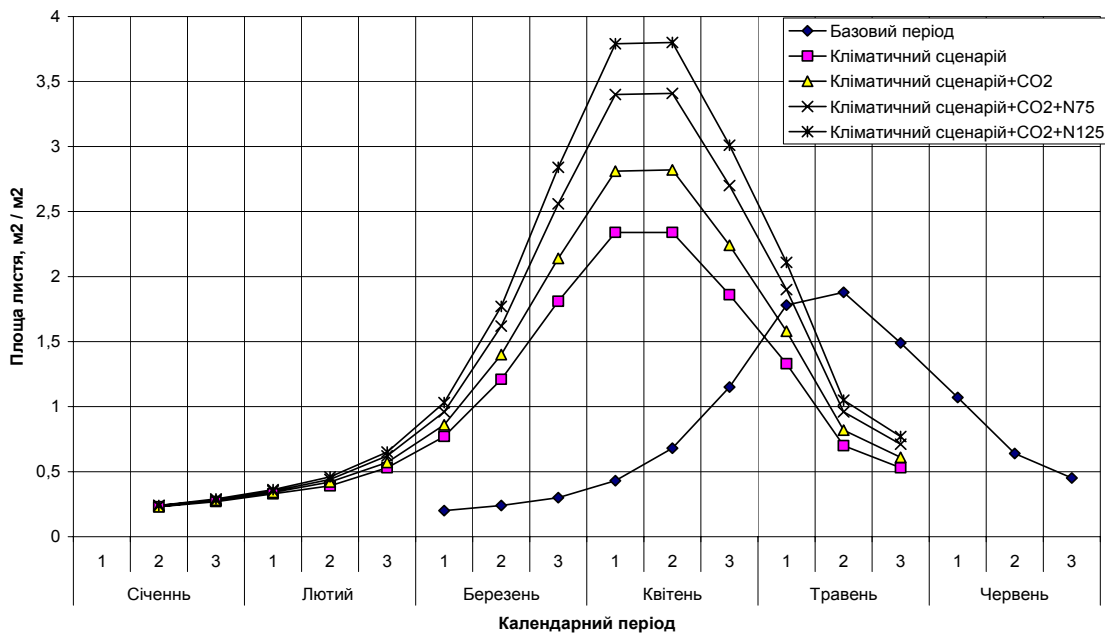


Рис. 4 – Динаміка відносної площі листкової поверхні озимої пшениці в умовах зміни клімату за сценарієм на 2031- 2050роки в порівнянні з періодом 1986 – 2005 роки (базовий період)

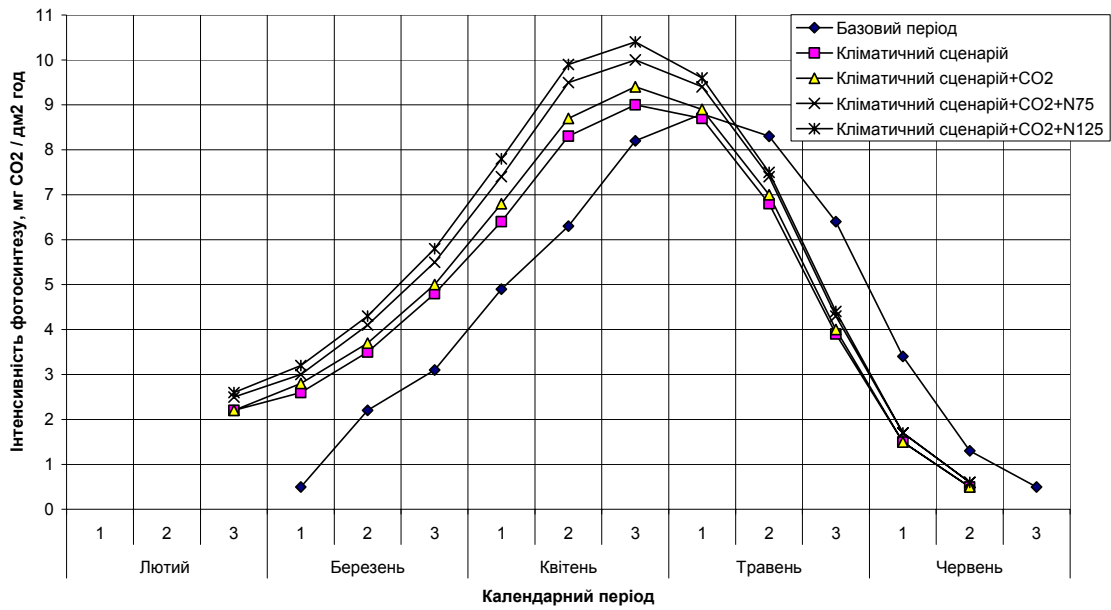


Рис. 5 – Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу в умовах зміни клімату за сценарієм на 2011-2030 роки в порівнянні з періодом 1986-2005 роки (базовий період)

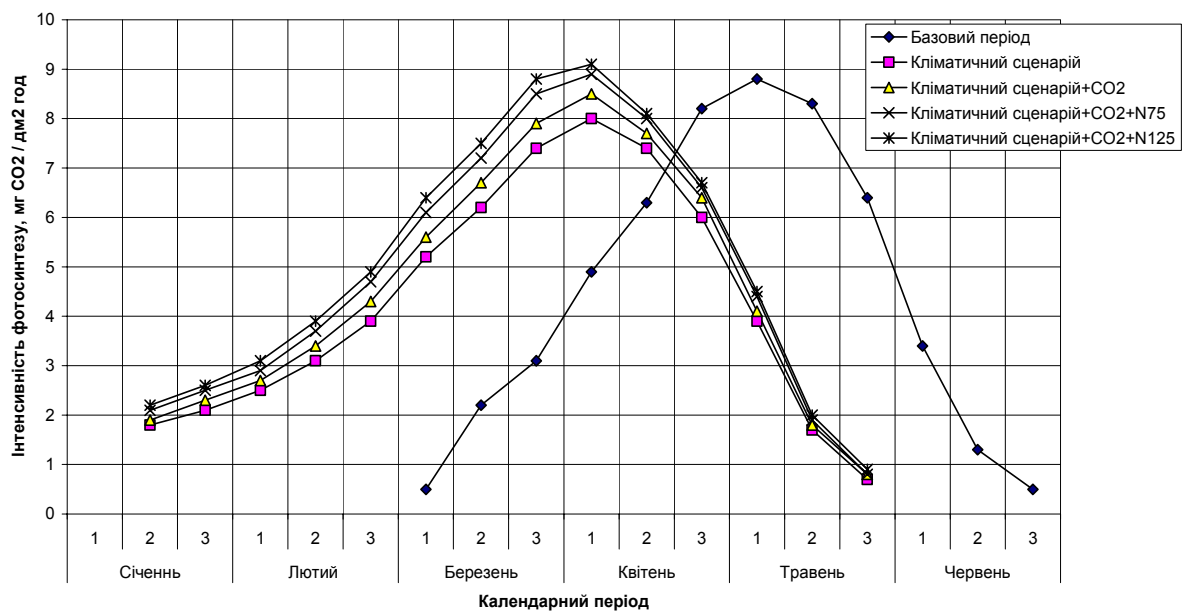


Рис. 6 – Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу озимої пшениці в умовах зміни клімату за сценарієм на 2031-2050 роки в порівнянні з періодом 1986-2005 роки (базовий період)

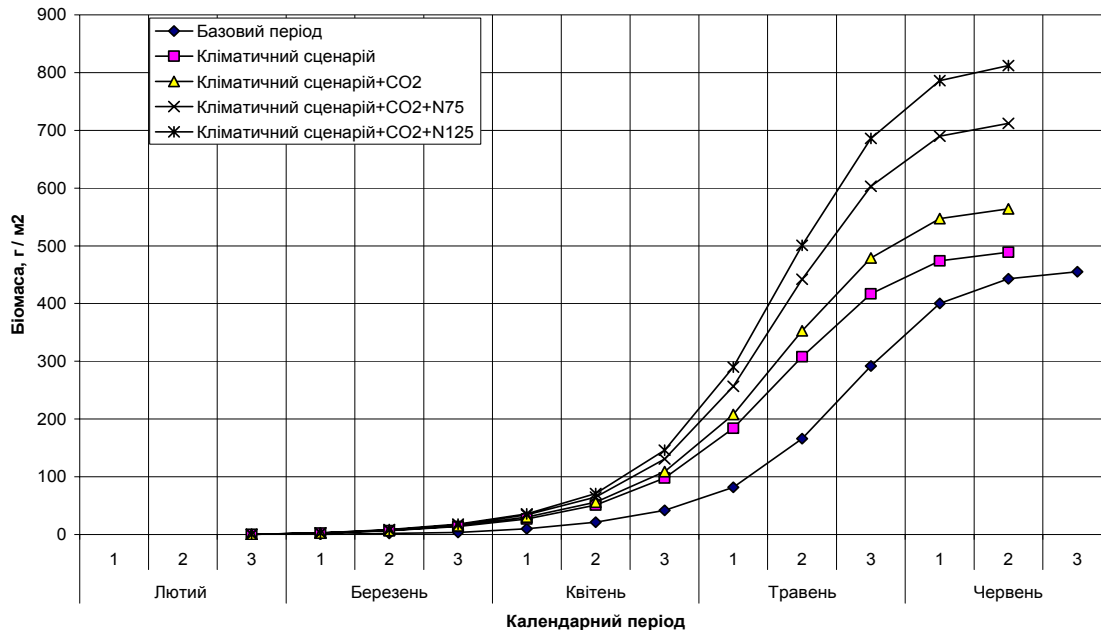


Рис. 7 – Динаміка загальної сухої біомаси озимої пшениці в умовах зміни клімату за сценарієм на 2011-2030 роки в порівнянні з періодом 1986-2005 роки (базовий період)

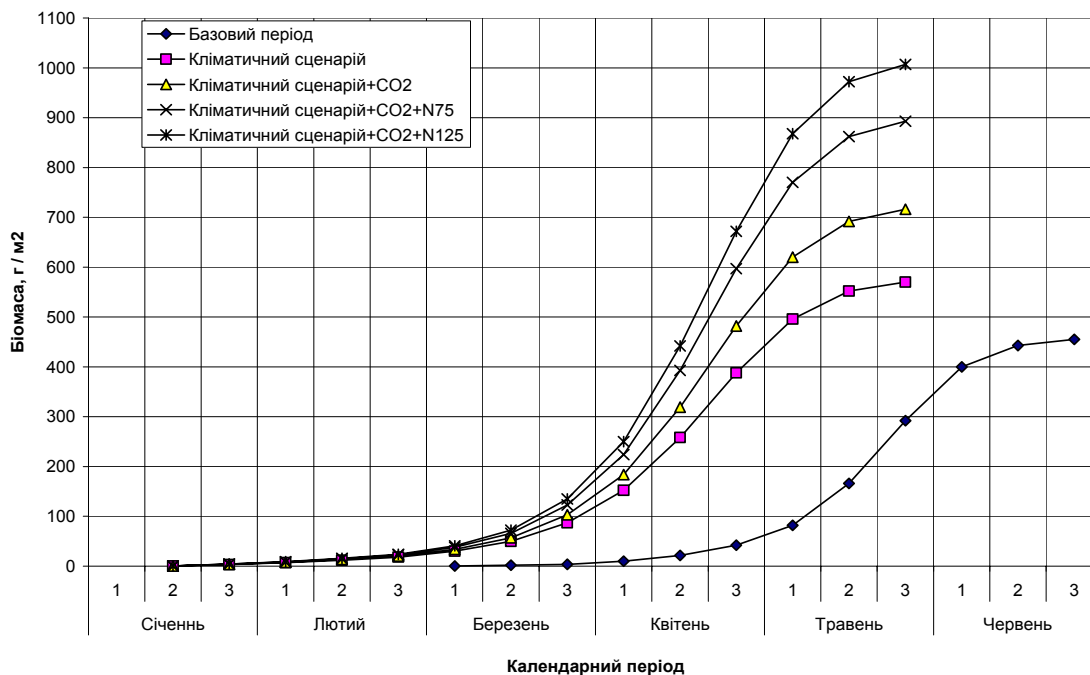


Рис. 8 – Динаміка загальної сухої біомаси озимої пшениці в умовах зміни клімату за сценарієм на 2031-2050 роки в порівнянні з періодом 1986-2005 роки (базовий період)

Зростання рівня показників фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці в умовах зміни клімату за рахунок підвищення рівня інтенсивності фотосинтезу та більшої величини фотосинтетичного потенціалу посівів зумовить і збільшення урожаю зерна (табл. 7, рис. 9), особливо при внесенні добрив.

У I-й період урожай зерна зросте з 26,5 до 28,5 ц/га (на 7,5%). Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері зумовить зростання рівня урожаю зерна на 24,9%. Внесення добрив в дозі N₇₅ (75 кг (д.р.)/га) підвищить цей ефект зростання урожаю на 59 %, а при внесенні дози N₁₂₅ (125 кг(д.р.)/га) дозволить отримати урожай зерна на 81,5 % вищий в порівнянні з базовим періодом.

Для II-го періоду за рахунок тільки зміни кліматичних умов буде також характерним збільшення урожаю зерна до 32,8 ц/га (на 23,7 %).

При збільшенні вмісту CO₂ в атмосфері від 380 до 520 ppm відбудеться збільшення урожаю зерна до 41,5 ц/га (на 56,6 %). У цей період внесення добрив на фоні зміни кліматичних умов та суттєвого збільшення вмісту CO₂ в атмосфері дасть ще більший ефект, ніж у I-му періоді.

Залежно від дози внесених добрив (N₇₅ і N₁₂₅) урожай зерна складатиме при внесенні добрив в дозі N₇₅ – 52,0 ц/га, а при дозі N₁₂₅ – 58,8 ц/га, що відповідно на 96,2 та 121,9 % вище в порівнянні з базовим періодом.

Аналогічний характер має тенденція зміни показників фотосинтетичної продуктивності в умовах зміни клімату у всіх адміністративних районах дельти Дунаю (табл. 7).

Як видно з даних табл. 7, у всіх адміністративних районах дельти Дунаю збільшення рівня урожайності за рахунок зміни кліматичних умов буде спостерігатись і в I-й (на 6-10 %), і в II-й (на 20-24 %) періоди. Зростання вмісту CO₂ в атмосфері спричинить підвищення урожайності відповідно на 23-27 та 52-57 %. Максимальний ефект буде отримано при поєднанні змін клімату, зростання вмісту CO₂ в атмосфері та внесенні високої дози мінеральних добрив.

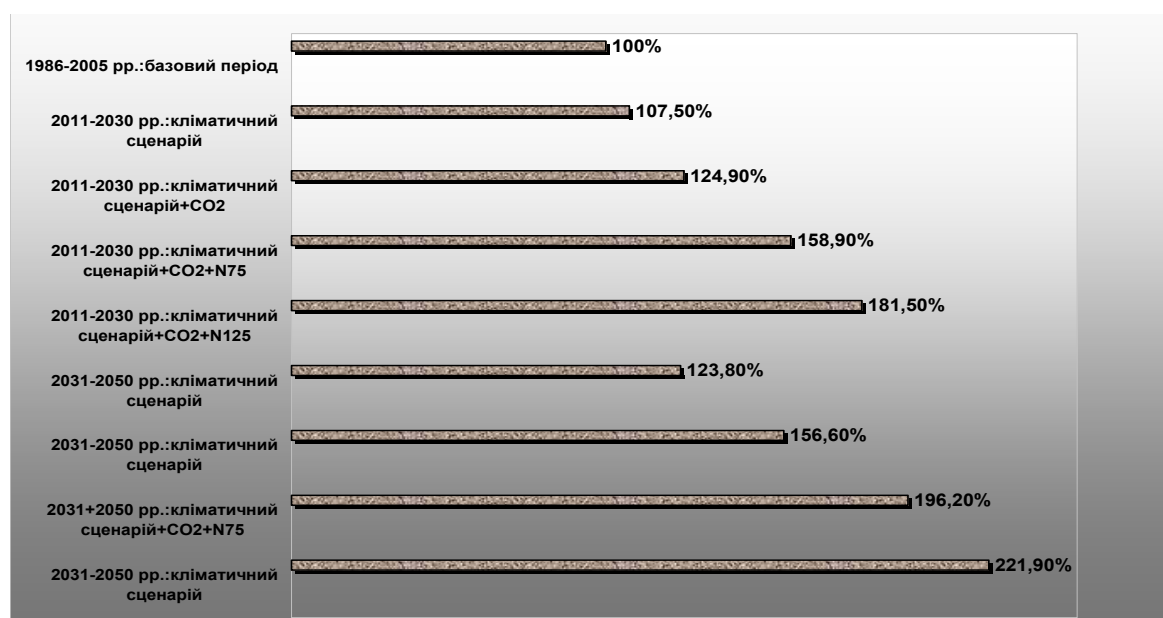


Рис. 9 – Зміна урожайності озимої пшениці в залежності від кліматичних змін у 2011-2030 роках та 2031-2050 роках в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 роки) (Болградський район)

Таблиця 7 - Фотосинтетична продуктивність озимої пшениці по адміністративних районах дельти Дунаю

Період, роки	Варіант	Період максимального росту		Урожай	
		площа листової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за день	ц/га	в % від базового періоду
Болградський район					
1986–2005	Базовий	1,88	12,6	26,5	100
2011–2030	Клімат	1,99	12,8	28,5	107,5
	Клімат + CO ₂	2,23	14,5	33,1	124,9
	Клімат + CO ₂ +N ₇₅	2,7	18,5	42,1	158,9
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₅	3,0	21,1	48,1	181,5
2031–2050	Клімат	2,34	12,9	32,8	123,8
	Клімат + CO ₂	2,82	16,3	41,5	156,6
	Клімат + CO ₂ +N ₇₅	3,41	20,4	52,0	196,2
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₅	3,8	23,0	58,8	221,9
Ренійський район					
1986–2005	Базовий	1,93	13,2	27,4	100
2011–2030	Клімат	2,04	13,0	30,1	109,8
	Клімат + CO ₂	2,29	15,2	34,9	127,4
	Клімат + CO ₂ +N ₇₅	2,8	19,5	44,0	160,6
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₅	3,1	22,3	51,3	187,2
2031–2050	Клімат	2,41	13,1	33,8	123,4
	Клімат + CO ₂	2,9	16,7	42,9	156,6
	Клімат + CO ₂ +N ₇₅	3,5	21,0	54,2	197,8
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₅	4,0	23,8	61,6	224,8
Ізмаїльський район					
1986–2005	Базовий	2,0	14,2	29,4	100
2011–2030	Клімат	2,2	13,9	32,1	109,2
	Клімат + CO ₂	2,4	16,2	37,2	126,5
	Клімат + CO ₂ +N ₇₅	2,9	20,5	47,1	160,2
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₅	3,3	23,3	53,6	182,3
2031–2050	Клімат	2,5	13,9	35,8	121,8
	Клімат + CO ₂	3,0	17,6	45,2	153,7
	Клімат + CO ₂ +N ₇₅	3,7	21,7	56,3	191,5
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₅	4,1	24,3	63,4	215,6
Кілійський район					
1986–2005	Базовий	2,2	15,4	32,5	100
2011–2030	Клімат	2,3	15,0	34,5	106,2
	Клімат + CO ₂	2,6	17,5	40,1	123,4
Продовження табл. 7					
	Клімат + CO ₂ +N ₇₅	3,1	22,3	51,2	157,5
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₅	3,5	25,5	58,6	180,3
2031–2050	Клімат	2,7	15,2	39,0	120,0
	Клімат + CO ₂	3,3	19,3	49,4	152,0
	Клімат + CO ₂ +N ₇₅	4,0	24,0	62,1	191,1
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₅	4,4	27,0	70,2	216,0

Висновки. Зміна клімату регіону дельти Дунаю зумовить зміни агрокліматичних умов вегетації озимої пшениці, що спричинить необхідність адаптації до цих змін. Зміна клімату восени зумовить необхідність перегляду оптимальних за агрокліматичними умовами термінів сівби цієї культури. Вони повинні зсунутись на 20-25 днів на більш пізні строки (9-16 X). Оптимальні умови розвитку озимої пшениці в осінній період будуть складатися, якщо її сівба буде проводитись в терміни, які забезпечать рослинам в подальшому накопичення достатньої кількості тепла – від сівби до припинення вегетації 500-600°C, що дозволить створити 3-6 пагонів кущіння на рослину.

При зміні клімату очікуватимуться умови, за яких буде спостерігатися часткова або повна відсутність снігового покриву, глибокі довготривалі відлиги, значне скорочення періоду зимівлі. Такі умови перезимівлі потребують впровадження або створення нових сортів озимої пшениці, які характеризуються меншим (30-40 днів) спокоєм при зимівлі, здатні продовжувати вегетацію при знижених температурах та витримувати можливі на фоні позитивних температур різкі раптові зниження температури ґрунту на глибині вузла кущіння.

Список літератури

1. *Агрокліматичний довідник по Одеській області* (1986 – 2005 рр.). – Одеса: 2012. – 215 с.
2. *Краковская С.В., Паламарчук Л.В., Дюкель Г.А.* Региональная модель (РЕМО) в изучении сильных осадков в Карпатах. //Міжрегіональний збірник Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – № 50. – С. 75-80.
3. *Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шедеменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В.* Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (РЕМО) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961-1990 рр. //Наук. праці УкрНДІГМІ. – 2008. – № 257. – С. 42-60.
4. *Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шедеменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В.* Моделі загальної циркуляції атмосфери та океанів у прогнозуванні змін регіонального клімату України в ХХІ ст. //Геофизический журнал. – 2011.– № 6. – Т. 33. – С. 68-81.
5. *Польовий А.М.* Моделювання продуктивності агроєкосистем. //Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2005. – Вип. 1. – С. 79-86.
6. *Полевой А.Н.* Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа C₃ и C₄ при изменении концентрации CO₂ в атмосфере. – //В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – М.:ИГКЭ. – 2010. – Том XXIII – С. 297-315.
7. *Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton.* Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)].* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 2007. – 94 pp.
8. *Jacob, D., B.J.J.M. Van den Hurk, U. Andre, G. Elgered, C. Fortelius, L.P. Graham, S.D. Jackson, U. Karstens, Chr. Kopken, R. Lindau, R. Podzun, B. Rockel, F. Rubel, B.H. Sass, R.N.B. Smith, X. Yang:* A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period. //Meteor. Atm., 2001. – No. 77. – P.61-73.
9. *Nakićenović, N., and R. Swart* (eds.), 2000: Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US – 599 pp.
10. *Roeckner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, M. Cristoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, U. Schlese, U. Schulzweida.* The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate // Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report.– 1996. – No. 218.

Основные тенденции изменения агроклиматических условий выращивания озимой пшеницы в украинской части суббассейна дельты Дуная. Полевой А.Н., Божко Л.Е., Дронова Е.А., Боровская Г.А.

Оцениваются изменения агроклиматических ресурсов в украинской части суббассейна дельты Дуная у 2011 – 2030 гг и 2030 – 2050 гг в связи с изменениями климата в сравнении с базовым периодом 1986 – 2005 гг Для оценки изменений климата в Украине применялся сценарий A1B, региональная климатическая модель MPI-M-REMO, глобальная модель – ECHAM5-r3. Выполнена оценка тепло и влагообеспеченности вегетационного периода, а также оценка изменений агроклиматических условий выращивания озимой пшеницы в связи с изменениями климата.

Ключевые слова: климат, температура воздуха, осадки, озимая пшеница, фотосинтез, биомасса, продуктивность, урожай.

Major trends in agro-climatic conditions of winter wheat growing in the Ukrainian part of the sub-basin of the Danube Delta. Polevoy A., Bozko L., Dronova E., Borovskaya G.

They are estimated the change of agro climatic resources in the Ukrainian part of the Danube Delta sub-basin in 2011 - 2030 years and 2030 - 2050 years due to climate change, in a compared with the base period 1986 - 2005 years. For the assessment of climate change in Ukraine A1B scenario, the regional climate model MPI-M-REMO, a global model - CHAM5-r3 have been used. The evaluation of the heat and humidity of the growing season, and evaluation of the changes of agro-climatic conditions of winter wheat in relation to climate change has been done.

Keywords: climate, air temperature, precipitation, winter wheat, photosynthesis, biomass, productivity, harvest