

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ В ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

А. М. Польовий, доктор географічних наук, професор

ORCID ID: 0000-0001-8395-0068

Т. К. Костюкевич, кандидат географічних наук

ORCID ID: 0000-0002-1952-8839

А. В. Толмачова, кандидат географічних наук

ORCID ID: 0000-0002-9340-5028

О. Л. Жигайло, кандидат географічних наук, доцент

ORCID ID: 0000-0002-3552-327X

Одеський державний екологічний університет

У статті представлено результати оцінки впливу кліматичних змін на формування продуктивності кукурудзи в Західному Лісостепу України. Для дослідження було використано сценарій можливих змін клімату RCP 6.0 на період до 2050 року. Як апарат досліджень використовувалася динамічна модель продуктивності посівів сільськогосподарських культур, розроблена А. М. Польовим.

Ключові слова: кукурудза, зміна клімату, продуктивність посівів, сценарій RCP 6.0.

Постановка проблеми. На сьогодні швидкі темпи глобального потепління вже позначаються на ситуації в секторах сільського господарства в багатьох частинах земної кулі, і в найближчі роки та десятиліття його наслідки будуть тільки посилюватися. На переважання негативних результатів цього впливу вказують численні факти: підвищення температури і посилення її мінливості, зміна кількості і частоти опадів, почастищення посушливих періодів і засух, збільшення інтенсивності екстремальних погодних явищ, засолення орних земель і прісної води.

Надійне забезпечення населення країни продовольством має стратегічне значення в умовах глобальної світової, фінансової та економічної кризи. У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря в Північній півкулі продовольча безпека України значною мірою буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату.

У вирішенні проблеми продовольчої безпеки особлива роль належить зерну кукурудзи як найважливішому та соціально значущому продукту. Кукурудза є основною фуражною культурою у світі, оскільки вважається одним з кращих видів зерна для виробництва концентрованих кормів для годівлі у тваринництві. Потреба в кукурудзі і сфери її

застосування не обмежуються тільки харчовими цілями, продукти її переробки активно використовуються в промисловості, тваринництві та медицині. Сьогодні кукурудза також є основним джерелом сировини для заводів з виробництва біогазу в Європі. Це обумовлено її високою врожайністю і відсутністю значних проблем у вирощуванні [1, 2]. У світі за останні десятиліття кукурудза характеризується найбільш високими темпами зростання врожайності серед зернових культур. Останніми роками намітилася тенденція збільшення площ, відведених під обробіток кукурудзи.

Адаптація сільського господарства до сучасних та майбутніх змін клімату сьогодні має вирішальне значення – ефективне планування і реалізація адаптаційних заходів на різних рівнях державних установ може допомогти в реалізації цього питання. Тому оцінка майбутніх кліматичних змін сьогодні є дуже важливою, й не тільки для сільського господарства.

Аналіз актуальних досліджень. На сьогодні вже не виникає сумнівів, що зміна кліматичних умов призводить до значної мінливості врожайності багатьох сільськогосподарських культур, у тому числі й кукурудзи [3-5]. До певного рівня підвищення температури може сприяти зростанню врожайності деяких культур в більш «прохолодних» частинах земної кулі, але якщо вона перевищує оптимальний для даної

культури рівень або виникає дефіцит вологи і поживних речовин, то врожайність може зменшитися. Підвищення частоти екстремальних явищ, особливо повеней і засух, також завдає шкоди сільськогосподарським культурам і знижує їх урожайність [6, 7].

Підвищення температури, вологості і рівня вмісту вуглекислого газу (CO₂) в атмосфері сприяє поширенню багатьох бур'янів, шкідників і хвороб. Екстремальні температури в поєднанні зі зменшенням кількості опадів гальмують розвиток сільськогосподарських культур, але більшість досліджень вказують на те, що ці наслідки будуть змінюватися з часом і варіюватися залежно від того, де вони відбуваються [8, 9].

Спеціальна доповідь Міжурядової групи експертів зі зміни клімату [10] щодо питань про сценарії викидів прогнозує можливість регіональних відмінностей у глобальному виробництві, які можуть призвести до ризиків голоду більше 5 мільйонів людей до 2100 року [7]. За даними [10], прогнозоване підвищення глобального потепління до 1,5°C, ймовірно, призведе до зниження врожайності основних зернових культур, включаючи кукурудзу, в Африці на південь від Сахари, Південно-Східній Азії, а також в Центральній і Південній Америці.

Для забезпечення сьогоdnішнього рівня продовольчої безпеки й в найближчі десятиліття, були зроблені зусилля зі створення імітаційних моделей для кукурудзи, спрямованих на прогнозування зростання, розвитку та потенціалу врожайності сільськогосподарських культур у певних умовах навколишнього середовища. За даними [3, 11-13], головною проблемою, що впливає на ріст та розвиток кукурудзи є зміна погодних умов, які призводять до внутрішньосезонної мінливості врожайності.

Вплив зміни клімату на умови вирощування кукурудзи на території Північно-Східного Китаю було розглянуто вченими з Інституту географічних наук і досліджень природних ресурсів Китайської академії наук [13]. Для моделювання врожайності кукурудзи в майбутньому була використана модель синтезу ресурсів культури та навколишнього середовища CERES-Maize v4.5 в поєднанні з даними для сценаріїв репрезентативних траєкторій концентрації (RCP)-RCP4.5 і RCP8.5. Результати дослідження вказують на тенденцію до тривалого зниження врожайності кукурудзи для обох сценаріїв змін клімату. Так, при реалізації кліматичного сценарію RCP 4.5 середня врожайність кукурудзи знизиться до 2020 року на 2,1%, до 2050 року на 12,9% та до 2080 року на 22,7%. Більш того, очікується

скорочення на 6,3, 18,4 і 47,5% у відповідні періоди в рамках сценарію RCP8.5 без урахування впливу CO₂. В свою чергу, вплив CO₂, за розрахунками вчених, буде занадто незначним, щоб компенсувати негативні наслідки зміни клімату.

Для оцінки впливу кліматичних змін на вирощування кукурудзи на території Західної Африки Парксом та іншими [14] була використана модель GLAM. За результатами дослідження очікується зниження врожайності кукурудзи на 5,95% при підвищенні температури на 2°C, а за умов збільшення температури на 4°C очікується зниження врожайності на 37%. Відзначається, що значні недобори врожаю, які раніше відбувалися тільки один раз на 19,7 років, будуть спостерігатися кожні 2,5 роки.

Дослідження впливу сучасного клімату Ефіопії на врожайність кукурудзи було проведено з використанням моделей APSIM-maize та DSSAT CSM-CERES-maize [15]. Розглядалися кліматичні періоди найближчого майбутнього (2010-2039 рр.), середини (2040-2069 рр.) і кінця 21 століття (2070-2099 рр.). Моделювання клімату проводили з використанням 20 моделей загальної циркуляції (GCM) і двох репрезентативних траєкторій концентрації (RCP4.5 і RCP8.5). Результати дослідження показали, що за сценаріями очікується незначне збільшення врожайності кукурудзи (на 1,7-4,2%).

Для території України вплив кліматичних змін на умови формування продуктивності кукурудзи було досліджено Костюкевич Т. К та Адаменко Т. І. [16]. Проведена порівняльна характеристика за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A2 і A1B показала, що найкращі умови для формування продуктивності кукурудзи спостерігатимуться на території Полісся, найгірші – на території Південного Степу. Для Західного Лісостепу при реалізації сценарію зміни клімату A2 очікується зниження врожайності на 4-8%, за кліматичними умовами сценарію A1B очікується більш значне зниження врожайності – до 20%.

Більшість розглянутих робіт зосереджено на прогнозуванні впливу зміни клімату на виробництво кукурудзи в порівнянні з адаптацією і придатністю території для вирощування кукурудзи. Моделі на основі процесів, які використовуються при моделюванні кукурудзи, відрізняються за своєю складністю, але мають загальні порівнянні вхідні параметри, які включають фенологію культури, особливості рослинного покриву та розвитку біомаси. Порівняність вхідних параметрів в

моделях актуальна для досліджень зміни клімату, результати яких можуть використовуватися для прийняття рішень і визначення напрямку політики подальшого розвитку сільського господарства.

Метою дослідження є оцінка можливого впливу змін клімату на продуктивність посівів кукурудзи (середньостиглих сортів та гібридів) в умовах Західного Лісостепу України.

Матеріали і методи дослідження. Одним із найпростіших методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-якої метеорологічної величини є порівняння з минулими даними, зокрема середніми багаторічними величинами за базовий період. У даному дослідженні за базовий береться період з 1991 по 2010 роки. Для оцінки можливих змін клімату нами було використано сценарій RCP 6.0 (репрезентативні траєкторії концентрації), який є сценарієм стабілізації та на сьогодні вважається найбільш реалістичною можливістю [17] та сценарій RCP 6.0+CO₂, що враховує збільшення CO₂ на 30%.

Оцінка впливу змін клімату на продуктивність кукурудзи виконана на основі динамічної моделі продуктивності посівів сільськогосподарських культур А.М. Польового [18]. В основу моделі покладено систему рівнянь радіаційного, теплового, водного балансів і балансу біомаси (вуглеводів і азоту) у рослинному покриві в системі "середовище - рослина". Система "середовище - рослина" розглядається як складна динамічна система, що розвивається під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. У цій системі виділяються процес росту, розвитку і формування продуктивності рослин у їхній складній взаємодії. Моделювання процесу росту і розвитку рослин містить кількісний опис процесів фотосинтезу, дихання, росту і розвитку рослин. Ідентифікацію параметрів моделі проведено на основі даних спостережень на мережі гідрометеорологічних станцій Гідрометеорологічної Служби України Державної служби із надзвичайних ситуацій України [19].

Для характеристики показників фотосинтетичної продуктивності кукурудзи та агрокліматичних умов вирощування за різними кліматичними умовами були розраховані: дати настання фаз розвитку кукурудзи, суми позитивних температур повітря та сума опадів за міжфазні періоди, відносна площа листя

кукурудзи, чиста продуктивність фотосинтезу, фотосинтетичний потенціал та приріст загальної сухої біомаси в період максимального розвитку.

Слід підкреслити, що вплив змін клімату на формування продуктивності посівів кукурудзи розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів культури в припущенні, що вони суттєво не зміняться.

Результати дослідження та їх обговорення.

Можливість використання кукурудзи як найважливішого об'єкту землеробської культури в різних ґрунтово-кліматичних умовах свідчить про її високу лабільність, здатність успішно адаптуватися до значних коливань і різних сполучень життєвих факторів. Разом з тим умови, необхідні для зростання і розвитку кукурудзи, не можуть бути нескінченно варіабельними. Параметри цих умов визначаються перш за все екологічними особливостями рослин, що склалися в ході тривалої еволюції виду під впливом природних факторів і свідомої діяльності багатьох поколінь землеробів. Ці особливості визначаються реакцією рослини на вплив таких чинників, як волога, температура ґрунту і повітря, кислотність ґрунту і забезпеченість її необхідними запасами доступних рослині елементів мінерального живлення, світла, взаємодії між рослинами кукурудзи та іншими рослинами в посіві. Кукурудза може нормально розвиватися й накопичувати значну кількість органічної речовини при оптимальному поєднанні всіх зазначених факторів.

Кукурудза – монокарпічна однорічна рослина ярового типу розвитку. Тривалість життєвого циклу кукурудзи, залежно від умов її зростання і сортових особливостей, варіює дуже сильно. У кукурудзи розрізняють такі найбільш значущі фази формування рослини: сходи, п'ятий лист, сьомий-восьмий лист (період інтенсивного росту), викидання волоті, цвітіння волоті і качана, молочна, воскова та повна стиглість. Наступ та тривалість кожної з них залежить від комплексу агрометеорологічних умов.

На території західної частини Лісостепу кукурудзу сіють наприкінці другої декади квітня (17 квітня). Під впливом кліматичних змін терміни сівби очікуються на п'ять днів раніше – 12 квітня. За сценарними розрахунками поява сходів очікується 8 травня, що на три дні раніше, ніж за багаторічними даними (11 травня) (табл. 1).

Фази розвитку кукурудзи за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0

Період, роки	Сівба	Сходи	Викидання волоті	Молочна стиглість	Воскова стиглість	Тривалість періоду, дні
1991-2010	17.04	11.05	26.06	20.07	16.08	121
2021-2050, RCP 6.0	12.04	8.05	20.06	17.07	2.08	112
Різниця	-5	-3	-6	-3	-12	-9

Оцінку агрометеорологічних умов вирощування кукурудзи в період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0 проводили за міжфазними періодами. Для кожного періоду була визначена середня температура повітря, сума активних температур, сума опадів та тривалість періоду (табл. 2).

Сума активних температур, що накопичилася за період сівба-сходи за середніми багаторічними даними становить 300°C, за сценарними даними очікується трохи більш – 328°C, але й тривалість періоду за сценарними даними очікується на два дні довше. Показник середньої температури повітря за сценарними даними очікується на рівні багаторічних. Значні зміни будуть спостерігатися за сумами опадів – на 41% вище, ніж за багаторічними умовами (табл. 1 та табл. 2).

Фаза викидання волоті за багаторічних умов у середньому відбувається наприкінці червня (26 червня) при накопиченні суми активних температур близько 820°C, за умов кліматичних змін ця фаза очікується на шість днів раніше, тривалість періоду в цілому зменшиться на чотири дні, а сума активних температур буде близько 804°C. За умов кліматичних змін середня температура повітря за міжфазний період сходи-викидання волоті очікується на рівні 19,1°C, що на 1,3°C вище, ніж за базових умов. За сумами опадів значних змін не очікується.

Після фази викидання волоті у кукурудзи настає фаза молочної стиглості. За багаторічними даними вона відбувається при накопиченні суми активних температур близько 505°C наприкінці липня (20 липня), за умовами кліматичних змін наступ цієї фази очікується на три дні раніше (в цілому тривалість періоду зменшиться на два дні) при накопиченні суми активних температур близько 498°C.

За сценарними умовами середня температура повітря за міжфазний період викидання волоті – молочно стиглість очікується на рівні 22,6°C, що на 1,6°C вище, ніж за базових умов. За сумами опадів

також передбачається різниця – за сценарієм зменшення кількості опадів становить 12% (табл. 2).

За фазою молочної стиглості слідує воскова. За багаторічних умов вона відбувається при накопиченні суми активних температур близько 564°C у середині серпня (16 серпня), за умовами кліматичних змін очікується 2 серпня при накопиченні суми активних температур близько 483°C. У цілому за умовами сценарію очікується скорочення тривалості періоду на шість днів. За умов кліматичних змін середня температура повітря за період молочно – воскова стиглість очікується на рівні 23,0°C, що на 2,1°C вище, ніж за базових умов. За кількістю опадів також очікується значна різниця – за кліматичних змін кількість опадів за період зменшиться на 24%.

За період вегетації значних змін не очікується, але є перерозподіл, іноді дуже значний. Так, за всіма періодами за сценарними даними, крім періоду сівба-сходи, очікується зниження кількості опадів. Аналогічна ситуація спостерігається й з іншими показниками. Також за умовами кліматичних змін очікується скорочення тривалості міжфазних періодів, це пов'язано зі збільшенням середньої температури повітря, що в свою чергу викликає пришвидшення настання фаз розвитку культури.

Вивчення впливу окремих технологічних прийомів на ріст і розвиток сільськогосподарських культур, як правило, супроводжується спостереженнями за особливостями фотосинтетичної діяльності в посівах. Це питання є надзвичайно важливим, оскільки зміна умов зростання рослин неминуче, прямо або побічно, впливає на продукційний процес, а відповідно – й на формування врожаю. Численні дослідження [20, 21] свідчать, що продуктивність рослин тісно пов'язана з ростом і фотосинтезом – двома кардинальними фізіологічними процесами. Створення фотосинтетичного апарату високої активності є першою умовою для отримання значної продуктивності посіву. Друга, не менш важлива умова – це створення фотосинтетичного апарату, достатнього за розміром, тобто отримання оптимальної площі листя.

Основними показниками, що характеризують продукційний процес у посівах, є: відносна площа листя, індекс листової поверхні, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу, суха біомаса.

Висока продуктивність кукурудзи обумовлена ще й тим, що асиміляція вуглецевого газу

відбувається, як і в інших тропічних рослинах, що належить до групи рослин C₄. Фотосинтетична продуктивність на одиницю листової поверхні і на одиницю часу у кукурудзи в 2-3 рази більше, ніж у сільськогосподарських культур з помірної кліматичної зони, в яких асиміляція вуглекислого газу проходить по циклу C₃.

Таблиця 2

Оцінка агрометеорологічних умов вирощування кукурудзи в період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0

Період, роки	Середня температура повітря за період, °C	Сума активних температур за період, °C	Сума опадів за період, %	Тривалість періоду, дні
Сівба - сходи				
1991-2010	12,5	300	100	24
2021-2050 - RCP6.0	12,6	328	141	26
Різниця	+0,1	+28	+41	+2
Сходи – викидання волоті				
1991-2010	17,8	820	100	46
2021-2050 - RCP6.0	19,1	804	98	42
Різниця	+1,3	-16	-2	-4
Викидання волоті – молочна стиглість				
1991-2010	21,0	505	100	24
2021-2050 - RCP6.0	22,6	498	88	22
Різниця	+1,6	-7	-12	-2
Молочна стиглість – воскова стиглість				
1991-2010	20,9	564	100	27
2021-2050 - RCP6.0	23,0	483	76	21
Різниця	+2,1	-81	-24	-6
Сходи – воскова стиглість				
1991-2010	18,1	2189	100	121
2021-2050 - RCP6.0	19,0	2113	96	112
Різниця	+0,9	-76	-4	-9

Розглянемо відмінності в інтенсивності нарощування площі листя у кукурудзи за всіма варіантами. Так, площа листя в період максимального розвитку в середньому за багаторічний період становить 3,8 м²/м² (табл. 3),

за умовами зміни клімату RCP 6.0 очікується збільшення площі листя до 4,3 м²/м², за умовами RCP 6.0+CO₂, також очікується збільшення площі листя кукурудзи у порівнянні за обома попередніми варіантами – до 4,9 м²/м².

Таблиця 3

Показники фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0

Період, роки	Варіант, сценарій	Період максимального росту			Суха біомаса цілої рослини, г/м ²	Урожайність, %
		площа листової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за декаду	чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² за добу		
1991-2010	Базовий	3,7	264,6	8,5	954,8	100
2021-2050	RCP6.0	4,3	249,7	6,8	943,9	89
	RCP6.0+CO ₂	4,9	292,8	7,9	1099,2	98

На рис. 1 представлено динаміку накопичення відносної площі листя посівів кукурудзи в умовах зміни клімату RCP 6.0 та RCP 6.0+CO₂ у порівнянні з базовим періодом. Як бачимо, впродовж вегетаційного періоду динаміка наростання площі листя як за кліматичними

змінами, так і за багаторічними умовами була майже однаковою, але кількісні її показники значно відрізняються. Але у всіх випадках ці значення відповідають міжфазному періоду вегетації викидання волоті – молочна стиглість.

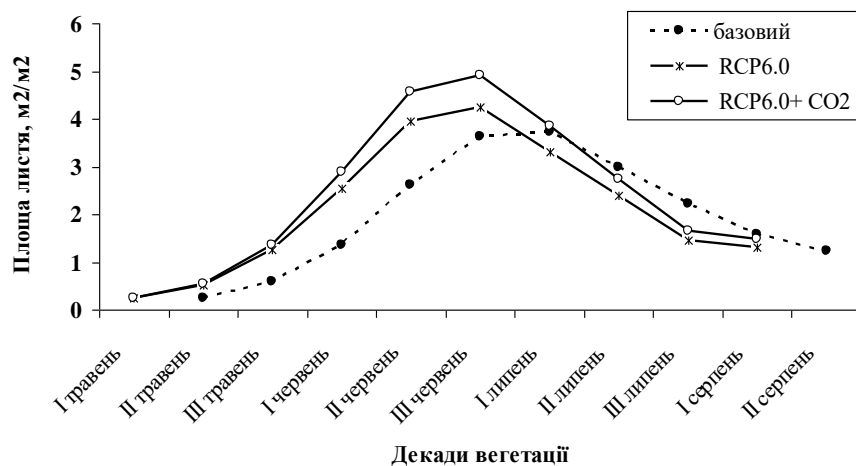


Рис. 1. Динаміка відносної площі листя посівів кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0

Фотосинтез становить основу первинної біологічної продуктивності природних екосистем і визначає формування врожаїв у посівах сільськогосподарських рослин. На інтенсивність процесу фотосинтезу впливають освітленість, температура та інші фактори середовища. Розглянемо графік динаміки середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу посівів кукурудзи в умовах зміни клімату RCP 6.0 та RCP 6.0+CO₂ у порівнянні з базовим періодом (рис. 2). За кліматичним сценарієм RCP 6.0 очікується незначне зменшення максимального значення інтенсивності фотосинтезу за декаду до 30,1 мгСО₂/(дм²*годину) у порівнянні з базовими умовами (31,8 мгСО₂/(дм²*годину)). А у випадку зі сценарієм RCP 6.0+CO₂, навпаки, очікується збільшення значення до 36,2 мгСО₂/(дм²*годину). Але у всіх випадках ці значення відповідають міжфазному періоду вегетації викидання волоті – молочна стиглість.

Взаємозв'язок рослин в агроценозах носить непростий характер, що залежить від багатьох факторів. Головним завданням для отримання високих урожаїв є створення такого посіву, в якому б максимально розкривалися потенційні можливості фотосинтетичної діяльності рослин в агроценозах. Цього можна домогтися при створенні сприятливих умов для зростання і розвитку рослин. Зростання рослини і його біологічна продуктивність є результатом насамперед фотосинтетичної

діяльності, в ході якої утворюється до 95% органічних сполук.

Одним із показників, що характеризують продукційний процес рослин, є чиста продуктивність фотосинтезу. Максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи у середньому за багаторічними умовами становить 8,5 г/м² (табл. 3). За умовами кліматичних змін RCP6.0 значення чистої продуктивності очікується значно зменшеним – 6,8 г/м² за добу, за умовами кліматичних змін RCP 6.0+CO₂ значення чистої продуктивності очікується на рівні 7,9 г/м² за добу. Це пов'язано з реакцією рослин на підвищення СО₂ в повітрі.

Така реакція рослин обумовила і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси кукурудзи та її приростів. Максимальні значення приросту загальної сухої біомаси посівів кукурудзи у середньому за багаторічними умовами становитимуть 264,6 г/м² за декаду (табл. 3). За кліматичним сценарієм RCP 6.0+CO₂ значення приросту очікуються на рівні 292,8 г/м² за декаду, а за умовами кліматичних змін RCP 6.0 – на рівні 249,7 г/м² за декаду.

Максимальне значення загальної сухої біомаси посівів кукурудзи у середньому за багаторічними даними становить 954,8 г/м² (табл. 3). Збільшення сухої біомаси очікується при реалізації кліматичного сценарію RCP 6.0+CO₂ – до 1099,2 г/м², а за умовами кліматичних змін сценарію RCP 6.0 очікується зниження до рівня 943,9 г/м².

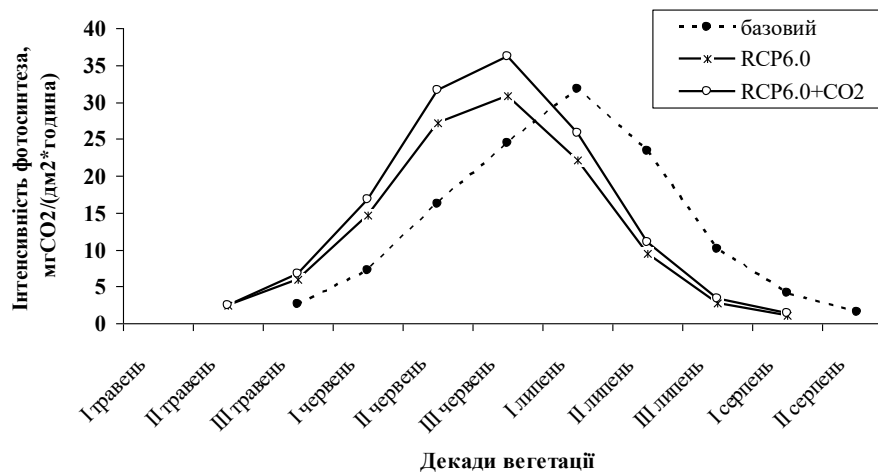


Рис.2. Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу посівів кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценарієм RCP 6.0

Таким чином, за умовами реалізації кліматичних сценаріїв очікується зменшення врожайності кукурудзи: за варіантом RCP 6.0 – на 11%, а за варіантом RCP 6.0+CO₂ – на 2%.

Висновки і перспективи подальших досліджень. На основі сценарію зміни клімату та динамічної моделі формування врожаю кукурудзи оцінено мінливість очікуваного волого-температурного режиму періоду вегетації культури у бік підвищення температури повітря та зменшення кількості опадів у порівнянні з сучасним кліматичним періодом. Встановлено закономірне скорочення міжфазних періодів та періоду вегетації культури в цілому. Виконано оцінку фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи в умовах зміни клімату через її основні

показники: динаміку площі листя, чисту продуктивність фотосинтезу, суху біомасу рослини та врожайність зерна. В порівнянні з сучасними кліматичними умовами очікується зниження врожаю зерна кукурудзи на 2-8% залежно від реалізації одного (RCP 6.0), чи другого (RCP 6.0+CO₂) варіанту сценарію.

Перспективою подальших досліджень є більш детальне врахування просторової та часової мінливості можливих кліматичних змін, проведення досліджень реакції на зміни клімату стосовно інших груп сортів та гібридів кукурудзи, а також розробка рекомендацій стосовно адаптації агротехніки вирощування кукурудзи в умовах кліматичних змін.

Список використаних джерел:

1. Костюкевич Т.К., Толмачова А.В. Оцінка впливу зміни клімату на агрокліматичні умови вирощування кукурудзи в центральній частині України. *Science. Innovation. Quality: 1st International Scientific-Practical Conference SIQ - 2020, December 17-18th, 2020: Book of Papers.* Berdyansk : BSPU, 2020. P. 264-267.
2. Костюкевич Т.К., Толмачова А.В., Бортник М.І. Альтернативні джерела енергії у підвищенні енергоефективності та енергонезалежності сільських територій. *Альтернативні джерела енергії у підвищенні енергоефективності та енергонезалежності сільських територій* : колективна монографія; за ред. І. О. Яснолоб, Т. О. Чайки, О. О. Горба. Полтава : Аструя, 2019. С. 94-101.
3. Basso, B., Cammarano, D., & Carfagna, E. Review of Crop Yield Forecasting Methods and Early Warning Systems. In *Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics.* Rome, 2013. P. 15-31.
4. Deb, P., Shrestha, S., & Babel, M. S. Forecasting Climate Change Impacts and Evaluation of Adaptation Options for Maize Cropping in the Hilly Terrain of Himalayas: Sikkim, India. *Theoretical and Applied Climatology.* 2015. Vol. 121. P. 649-667. URL: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1262-4>
5. FAO (2009). Declaration of the World Summit on Food Security. In *World Summit on Food Security*. Rome: FAO, 2009. P. 1-7.
6. Bassu, S., Brisson, N., Durand, J. L., Boote, K., Lizaso, J., Jones, J. W., Baron, C. et al. (2014). How Do Various Maize Crop Models Vary in Their Responses to Climate Change Factors? *Global Change Biology.* Vol. 20. P. 2301-2320. URL: <https://doi.org/10.1111/gcb.12520>
7. Stocker, T., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Midgley, P. IPCC, 2013: Summary for Policymakers in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press.
8. Ahmed, I., Ur Rahman, M. H., Ahmed, S., Hussain, J., Ullah, A., & Judge, J. Assessing the Impact of Climate Variability on Maize Using Simulation Modeling under Semi-Arid Environment of Punjab, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research.* Vol. 25. P. 28413-28430. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2884-3>

9. Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. Climate Change Impacts on Crop Yield, Crop Water Productivity and Food Security-A Review. *Progress in Natural Science*. 2009. Vol. 19. P. 1665-1674. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2009.08.001>
10. IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf
11. Wang, W., Dong, X., Lu, Y., Liu, X., Zhang, R., Li, M., Pu, X. Soil Water Balance and Water Use Efficiency of Rain-Fed Maize under a Cool Temperate Climate as Modeled by the AquaCrop. *Paper Presented at the MATEC Web of Conferences*. 2018. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824601059>
12. Xiao, D., & Tao, F. (2016). Contributions of Cultivar Shift, Management Practice and Climate Change to Maize Yield in North China Plain in 1981-2009. *International Journal of Biometeorology*. 2016 Vol. 60. P. 1111-1122. URL: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1104-9>
13. Lin, Y., Feng, Z., Wu, W., Yang, Y., Zhou, Y., & Xu, C. (2017). Potential Impacts of Climate Change and Adaptation on Maize in Northeast China. *Agronomy Journal*, 109, 1476-1490. URL: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.05.0275>
14. Parkes, B., Sultan, B., & Ciais, P. The Impact of Future Climate Change and Potential Adaptation Methods on Maize Yields in West Africa. *Climatic Change*. 2018. Vol. 151. P. 205-217. URL: <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2290-3>
15. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K. M., Kisekka, I., & Martorano, L. G. Assessment of Maize Growth and Yield Using Crop Models under Present and Future Climate in Southwestern Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015. Vol. 214. P. 252-265. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.259>
16. Костюкевич Т.К., Адаменко Т.І. Вплив змін клімату на продукційний процес кукурудзи. *Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України* : колективна монографія; за ред. С. М. Степаненко, А.М. Польового. Одеса: ТЕС, 2015. С. 369-380.
17. "Climate change: How do we know?" NASA Global Climate Change and Global Warming: Vital Signs of the Planet, accessed June 13, 2018. <https://climate.nasa.gov/evidence/>
18. Полевой А.Н Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 318с.
19. Агрокліматичний довідник по території України. /За ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенко. Кам'янець-Подільський: ПП Галагодза, 2011. 107 с.
20. Кефели В.И. Фотоморфогенез, фотосинтез и рост, как основа продуктивности растений. Пушино: ОНТИ ПНЦ АН СССР, 1991. 133 с.
21. Куперман Ф. М. Морфофизиологическая изменчивость растений в онтогенезе. М.: Московский университет, 1963. 64 с.

А. Н. Полевой, Т. К. Костюкевич, А. В. Толмачева, Е. Л. Жигайло. Влияние климатических изменений на формирование продуктивности кукурузы в Западной Лесостепи Украины

В статье представлены результаты оценки влияния климатических изменений на формирование продуктивности кукурузы в Западной Лесостепи Украины. Для исследования был использован сценарий возможных изменений климата RCP 6.0 на период до 2050 года. В качестве базовой модели для исследований использовалась динамическая модель продуктивности посевов сельскохозяйственных культур, разработанная А. М. Полевым.

Ключевые слова: кукуруза, изменение климата, продуктивность посевов, сценарий RCP 6.0.

A. Polevoy, T. Kostyukievych, A. Tolmachova, O. Zhygailo. The impact of climatic changes on forming the corn productivity in the western forest-steppe of Ukraine

The article presents the results of assessing the impact of climate changes on the corn productivity formation in the western forest-steppe of Ukraine. For studying the RCP6.0 scenario of possible climate changes for the period up to 2050 was used. A dynamic model of the agricultural crops productivity developed by A.Polevoy was used as a research apparatus.

Keywords: corn, climate change, crop productivity, leaf area, RCP 6.0 scenario.