

УДК : 633.171 : 58.056

ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА УРОЖАЙНІСТЬ ПРОСА В ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**Н. В. Данілова***Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, nataliadanilova0212@gmail.com*

Негативний вплив зміни клімату на урожайність сільськогосподарських культур є встановленим фактом. Переважно пояснюється це підвищенням рівня температур і ростом ймовірності посушливих явищ. Проте в деяких регіонах відзначається збільшення врожайності окремих культур, насамперед, посухостійких, що визначає необхідність проведення досліджень агрокліматичних умов формування урожайності таких культур.

В даній статті представлено результати дослідження агрокліматичних умов формування урожаїв проса, як однієї із найбільш посухостійких сільськогосподарських культур, в Лісостеповій зоні України у зв'язку зі зміною клімату. Розглядаються температурний і радіаційний режими та режим зволоження посівів проса. Дослідження впливу зміни клімату на ріст, розвиток і формування урожаю проса проводяться за сценаріями майбутніх кліматичних змін RCP4.5 і RCP8.5 за тридцятирічний період (2021-2050 рр.) у розрізі трьох десятиріч: 2021–2030 рр., 2031–2040 рр., 2041–2050 рр. Як базовий розглядається період з 1986 по 2005 рр., за який використовуються середні багаторічні агрокліматичні дані в Лісостеповій зоні України. Розрахунки виконувались із застосуванням моделі формування продуктивності сільськогосподарських культур, яка була модифікована та адаптована стосовно до культури проса. Блок-схема моделі формування продуктивності проса включає блоки основних фізіологічних процесів життєдіяльності проса (*Panicum miliaceum* L.): фотосинтезу, дихання, росту, розвитку, а також гідрометеорологічний блок. Припускається, що середня температура повітря знизиться у всі три десятирічні періоди за обома сценаріями, в порівнянні з прийнятими середніми багаторічними величинами. Результати розрахунків показали, що в усі десятирічні періоди за обома сценаріями, порівняно з середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.), відзначається збільшення урожайності проса. Найвищий урожай формується за сценарієм RCP8.5 в період з 2041 по 2050 рр. і очікується на рівні 29,2 ц/га, що вище від поточного на 19%.

Ключові слова: просо; продовольча безпека; зміна клімату; кліматичні сценарії; урожайність; агрокліматичні показники; моделювання посівів.

1. ВСТУП

Зміна клімату є важливою екологічною, соціальною та економічною проблемою. Клімат суттєво впливає на формування врожаю сільськогосподарських культур. Підвищення температури та зниження кількості опадів призведуть до зменшення врожайності [1].

Зернові культури, насамперед, пшениця і кукурудза, відносять до основних культур, які використовуються для харчування більшості населення в усьому світі. До 2050 року продовольчий попит на зернові має зрости на 70-100%, щоб забезпечити прогнозоване населення світу в 9,8 мільярда чоловік [2]. Ця проблема ще більш ускладнюється різким скороченням кількості родючих і орних земель, доступних для вирощування вказаних культур, які, як очікується, будуть продовжувати зменшуватися в майбутньому через сучасні технології ведення сільського

господарства [3, 4].

Дуже важливо розуміти, що клімат змінюється також і по всій Україні, але ці зміни розрізняються по регіонам. Причина полягає у значній площі України і різноманітності природних умов, які й зумовлюють нерівномірність прояви кліматичних змін.

До негативних наслідків впливу змін клімату на сільське господарство України слід також віднести вірогідність збільшення в період вегетації сільськогосподарських культур посух та поширення цього явища у райони, які традиційно належать до достатньо зволених - Полісся і північні райони Лісостепу [5].

Встановлено, що в Лісостеповій зоні темпи підвищення температури вище, ніж в Степовій зоні [6]. Тому, зважаючи на зростання посушливості в Лісостеповій зоні України, виникає потреба розширення посівів

сільськогосподарських культур, які менш вимогливі до умов зволоження. До таких культур відноситься просо. Тому дослідження метеорологічних умов на розвиток проса в Україні є дуже актуальним.

За даними [7] просо є шостим найважливішим злаком, який вирощується в усьому світі і є традиційною культурою в Центральній, Східній, Південній та Західній Африці, особливо в Сахелі, Індії й Пакистані, та уздовж південного узбережжя Аравійського півострова. Таку сільськогосподарську культуру як просо вирощують в районах, де водні ресурси в дефіциті. Крім того, просо з його високою толерантністю до біотичних та абіотичних стресів, в т.ч., високим рівнем максимальних температур і потенціалом формувати врожай в таких умовах, можна вирощувати в напівпосушливих і посушливих районах на низькоякісних землях з мінімальним вкладенням. Просо можна вирощувати на бідних піщаних ґрунтах і воно добре підходить для сухого клімату завдяки своїй здатності ефективно використовувати вологу – його транспіраційний коефіцієнт значно нижчий, ніж у кукурудзи і майже вдвічі менший, порівняно з озимою пшеницею та ярим ячменем. Все відзначене свідчить про необхідність розширення посівних площ цієї культури за рахунок скорочення культур з більш високим транспіраційним коефіцієнтом. Тому, метою представленого дослідження є визначення особливостей агрокліматичних умов у зв'язку зі зміною та їх вплив на урожайність проса в Лісостеповій зоні України.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Аграрний сектор є надзвичайно важливим для України. У зв'язку з цим для забезпечення стійкого розвитку економіки України підвищення уваги до кліматичного фактору у досягненні стабільності врожайності сільськогосподарських культур у сучасних кліматичних умовах є необхідним і своєчасним. Тому необхідно приділяти більше уваги дослідженням в області адаптації та пом'якшення наслідків, нарощування потенціалу, змін в політиці, національному або регіональному співробітництву та підтримки фондів адаптації та інших ресурсів для зведення до мінімуму несприятливих наслідків [8, 9].

Так, наприклад, Неверовим А. А. вперше розроблено математичні моделі зв'язку тренду врожайності проса з кліматичними факторами і врожайності з погодними умовами в

Оренбурзькій області [10].

Для території Індії Jena P. R. та Kalli R. [11] запропоновано регресійна модель для виявлення причинно-наслідкового зв'язку між змінами врожаю та клімату (кількість опадів та температура).

В країнах Африки на південь від Сахари (SSA) [12] оцінюється вплив зміни клімату на врожайність для чотирьох найбільш поширених культур - просо, кукурудза, сорго та маніоку. Модель містить блоки з даними про температуру повітря й опади за середньобагаторічний період 1961-2002 рр. Урожайність до 2100 року прогнозується шляхом порівняння оцінок середньобагаторічних даних з прогнозами майбутніх змін клімату (в країнах Африки на південь від Сахари (GCM).

У роботі [13] досліджено тенденції та залежності між опадами та сільським господарством у провінції Кассала Східного Судану з 1960 по 1990 рік. Були побудовані часові ряди за даними щорічних опадів і врожайності сорго, проса та кунжуту.

Метою досліджень [14] було оцінити вплив зміни клімату на просо для напівпосушливої Африки. Майбутні кліматичні сценарії, отримані з кліматичних моделей СМІР5, були побудовані із застосуванням прогнозованих змін температури і кількості опадів в Сенегалі. Усі поширені кліматичні моделі прогнозують підвищення температури в майбутньому, а прогнозована кількість опадів може як збільшуватися, так і зменшуватися, в залежності від моделі. З метою зменшення невизначеності в кліматичних прогнозах, були об'єднані різні прогнози опадів на 1985, 2050 або 2080 за гіпотезою радіаційного впливу (RCP8.5 або RCP2.6). Модель культури CELSIUS була спеціально розроблена для імітації культури проса, вирощеної в умовах суворих і помірних обмежень за поживними речовинами.

Використовуючи трирічні експериментальні дані по кукурудзі і просу на півдні Малі в Судано-Сахеліанській зоні Західної Африки, дослідники [15] протестували модель симулятора сільськогосподарських виробничих систем (APSIM). Зміни майбутніх опадів, максимальної і мінімальної температури та їх вплив на врожайність кукурудзи і проса були проаналізовані за допомогою п'яти моделей циркуляції (GCM) для сценаріїв радіаційного впливу RCP4.5 та RCP8.5.

У дослідженнях [16] оцінювався вплив температури, підвищеної на 1,5 °C і 2,0 °C за двома моделями на врожайність кукурудзи, проса та сорго в Західноафриканській савані Судану. До-

слідження проводились як для рівня поточного використання добрив, так і для випадку інтенсифікації.

В Україні дослідження щодо культури проса почали проводитись в 60-і роки. Здебільшого вони були присвячені вивчення агротехнічних умов вирощування проса. В останні десятиріччя збільшилась кількість досліджень, в яких розглядаються в основному сортовий склад проса, агротехніка його вирощування, в т.ч., внесення добрив та способів посіву. На жаль, детальних досліджень агрометеорологічних умов вирощування проса по різних природним зонам України не проводилось.

В дослідженнях Рудник-Іващенко О. І. та Григоращенко Л. В. [17] для території України визначено райони біологічно можливого й економічно виправданого вирощування проса за термічним фактором. Встановлено оптимальні умови розвитку цієї культури за водним і температурним режимами. Визначено залежність ознак урожайності від кліматичних умов за міжфазні періоди розвитку сортів.

Полторецьким С. П. [18] удосконалено елементи технології вирощування високоякісного насіння проса шляхом оптимізації строків і способів сівби, спрямованих на підвищення врожайності і поліпшення його насінневих якостей в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу.

В роботі Комі Джіджону Аттіла та Бука А. Я. [19] вперше для чорноземів опідзолених важко-суглинкових лівобережного Лісостепу України розроблена ресурсозберігаюча технологія допосівного локального застосування мінеральних добрив сіялками СЗ-3,6 під просо, яка дозволяє одержувати стабільні врожаї високоякісного зерна за найвищої (15,7 кг/кг NPK) окупності приростами врожаїв одиниці внесених туків.

Уперше для умов південного Степу України Шевель В. І. розроблені елементи технології вирощування проса, які забезпечують формування продуктивності культури на основі нових вітчизняних високопродуктивних сортів, адаптованих до посушливих умов, зменшення витрат за рахунок мінімізації хімічного навантаження із застосуванням розрахункової дози добрив та оптимального строку сівби [20].

Полторецьким С. П. та Карпенко В. П. [21] було вдосконалено технології вирощування високоякісного насіння проса шляхом оптимізації рівня азотного живлення на фосфорно-калійному фоні, для забезпечення підвищення врожайності і поліпшення посівних якостей на-

сіння різних сортів в умовах нестійкого зволоження південної частини Правобережного Лісостепу.

Холод С. Г. [22] проводились дослідження на базі Устимівської дослідної станції рослинництва (Полтавська обл.), було встановлено величину впливу погодно-кліматичних умов за міжфазні періоди на ступінь реалізації генетичного потенціалу продуктивності різних зразків проса.

В роботі Данілової Н. В. [23] розглядалися зміни агрокліматичних ресурсів та агрокліматичних умов формування продуктивності проса за різні проміжки часу в південних областях України. Проведена порівняльна характеристика урожайності проса в умовах зміни клімату за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 і А1В (2011-2030 рр. та 2031-2050 рр.).

3. ОПИС МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вихідними матеріалами для проведення досліджень були дані середніх багаторічних агрокліматичних показників за період 1986 – 2005 рр. [24]. Для розрахунку впливу зміни клімату на умови розвитку формування врожаю проса були використані сценарії RCP4.5 та RCP8.5, які характеризують відповідно збільшення і зменшення викидів CO₂. [25]. Тридцятирічний сценарний період розбивався на три десятирічних з метою оцінки динаміки зміни кліматичних умов: 2021 – 2030 рр. (I-й сценарний період), 2031 – 2040 рр. (II-й сценарний період), 2041 – 2050 рр. (III-й сценарний період).

Далі розрахунки виконувались із застосуванням моделі формування урожайності сільськогосподарських культур, розробленої А. М. Польового [26]. Ця модель була нами модифікована та адаптована стосовно до культури проса. Основними блоками моделі є:

- блок вхідної інформації;
 - блок показників сонячної радіації і вологотемпературного режиму з урахуванням експозиції поля;
 - блок функцій впливу фази розвитку та метеорологічних факторів на продукційний процес рослин;
 - блок родючості ґрунту та забезпеченості рослин мінеральним живленням;
 - блок агроекологічних категорій урожайності.
- Враховуючи біологічні особливості культури проса, дозрівання якої проходить трьома етапами, нами моделюються три фази дозрівання зер-

на проса у волоті;

-- блок узагальнюючих оціночних характеристик.

Блок вхідної інформації містить дані стандартних метеорологічних і агрометеорологічних спостережень та усі необхідні для виконання розрахунків характеристики. Вони поділяються на три групи:

Перша група – запаси продуктивної вологи у ґрунті, середньодекадна температура повітря, середня за декаду кількість годин сонячного сяйва, сума опадів за декаду, середній за декаду дефіцит насичення повітря, кількість днів у розрахунковій декаді.

Друга група – інформація про внесення доз азотних, фосфорних і калійних добрив, дані про оптимальні дози цих добрив, дані про внесення органічних добрив та їхній оптимальній дозі, рік внесення органічних добрив, бал ґрунтового бонітету.

Третя група – інформація про експозицію та крутість схилу, на якому розташоване поле, характеристика типу схилу і місця розташування поля на схилі.

Блок агроекологічних категорій урожайності містить різні розрахункові показники продуктивності проса. Приріст потенційної урожайності за декаду визначається в залежності від інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ΦAP) і біологічних особливостей культури, які описуються онтогенетичною кривою, $KKД$ та калорійність. Приріст метеорологічно можливої урожайності являє собою приріст потенційної урожайності, який буде обмежений впливом волого-температурного режиму.

Функція впливу волого-температурного режиму визначається через розгляд функції впливу температури повітря і функції впливу вологозабезпеченості.

Формування дійсно можливої урожайності обмежується рівнем природної родючості ґрунту. Одержання рівня господарської урожайності обмежується реально існуючим рівнем культури землеробства й ефективністю внесених мінеральних і органічних добрив.

Функція ефективності внесення добрив розглядається за принципом Лібиха як мінімальне з функції впливу органічних добрив і кожного з мінеральних добрив, що вносяться: азотних, фосфорних і калійних.

Для розрахунків різних агроекологічних категорій урожаю зерна за його стандартній 14 %-вої вологості використаний показник $K_{госп}$, який характеризує частку зерна в загальній масі урожаю. Узагальнюючі характеристики розрахо-

вують на основі співвідношень агроекологічних категорій урожайності.

Адаптація моделі полягала в уточненні параметрів моделі. До їх числа входить визначення онтогенетичної кривої фотосинтезу, в якій параметр Σt_1 характеризує період, коли спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу культури.

При розрахунку функції впливу температури повітря на продукційний процес рослин використовуються два параметри, які характеризують нижню (T_{opt1}) (11,2–13,8 °C) та верхню межу (T_{opt2}) (22,8–22,7 °C) температурного оптимуму для фотосинтезу. Ці оптимальні величини мають вегетаційний хід і відмінні для різних ґрунтово-кліматичних зон.

Для оцінки впливу вологості ґрунту на фотосинтез використовуються показники нижньої (W_{opt1}) (62–102 мм) та верхньої (W_{opt2}) (111–126 мм) межі оптимальних значень вологості ґрунту. Відповідно біологічним особливостям культури проса, як нижня межа оптимальної вологості приймається величина, яка дорівнює 60% від НВ, а за верхню межу приймається величина НВ. Ці величини визначені за даними агрогідрологічних обстежень гідрометеорологічних станцій України.

За оптимальне значення вмісту гумусу в ґрунті було прийнято величину 5%, яка використовується у розрахунках впливу родючості ґрунту на формування урожаю.

В моделі враховуються оптимальні дози внесення азотних, фосфорних та калійних добрив, а також оптимальна норма внесення органічних добрив. Як оптимальні дози мінеральних добрив прийняті рекомендовані значення, які складають: для азотних добрив – 50-70 кг/га; для фосфорних – 30-70 кг/га; для калійних – 30-70 кг/га.

При розрахунку приростів потенційної урожайності загальної біомаси використовуються величини: $KKД$ посіву та калорійність, які дорівнюють відповідно 1% та 3 кал/кг.

Для розрахунку рівня господарської урожайності використовується величина коефіцієнту, що характеризує рівень культури землеробства і господарської діяльності. Цей коефіцієнт було знайдено як відношення рівня господарської урожайності до урожайності і в середньому він дорівнює 0,7.

Розрахунок урожайності зерна проса виконується з врахуванням особливостей дозрівання, яке проходить у цієї культури в три етапи. У зв'язку з цим введена величина коефіцієнту $k_{дозр}^j$, який характеризує долю дозрішого зерна в волоті в кожному із трьох фаз

дозрівання. Величина цього коефіцієнту за трьома фазами оцінюється відповідно як 0,4; 0,35; 0,25.

Визначені параметри моделі стосовно до культури проса дозволяють провести перевірку її адекватності та використовувати в подальшому для агрокліматичних розрахунків.

Перевірка адекватності моделі велась шляхом співставлення розрахованої величини господарської урожайності.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В процесі моделювання були отримані показники агрокліматичних умов за вегетаційний період проса та показники його продуктивності за середньобаторічними величинами показників світла, тепла і вологи за базовий період з 1986 по 2005 рр. та за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

Надходження фотосинтетично активної радіації (ΦAP) за період сходи – повна стиглість за сценарієм RCP4.5 в І-е й ІІ-е десятиріччя зросте до 153,6 та 150,9 кДж/см², що складає 118 та 116% від середнього багаторічного. В ІІІ-е десятиріччя ΦAP зросте до 158,1 кДж/см² і складатиме 122% (табл. 1). Потенційний урожай ($ПУ$) всієї сухої маси залежить від ΦAP . В І-у та ІІ-у десятиріччя $ПУ$ зросте до 1711 та 1681 г/м²дек, тобто до 118 та 116% від базового періоду (1447 г/м²дек) (табл. 2). У зв'язку із найбільшою ΦAP в ІІІ-е десятиріччя відзначається найвищий рівень $ПУ$ - до 1832 кДж/см², що складає 126%.

Температурний режим за сценарієм RCP4.5 буде дещо зниженим і становитиме в І-е та ІІ-е десятиріччя 15,8 та 15,9 °С, а в ІІІ-е десятиріччя температура знизиться до 16,2 °С, в порівнянні з середньою багаторічною в 17,3 °С (табл. 1).

Кількість опадів в базовий період (1986-2005рр.) дорівнює 323 мм. В І-е та ІІІ-е десятиріччя сума опадів знизиться до 231 та 277 мм. Сумарне випаровування знизиться в ці десятиріччя відповідно до 312 та 329 мм, в порівнянні з базовим періодом в 401 мм. Відповідно зменшиться і випаровуваність до 480 та 525 мм від 552 мм в базовий період. За середніми багаторічними даними відносна вологозабезпеченість посівів (E/E_0) складає 0,73 відн.од. Із-за зменшення кількості опадів в виділені десятирічні періоди очікуються гірші умови вологозабезпеченості. У І-е та ІІІ-е десятиріччя відзначається зменшення E/E_0 до 0,65 та 0,63 відн.од. в порівнянні з базовим.

В ІІ-е десятиріччя сума опадів зросте до 301 мм, в порівнянні з І-м та ІІІ-м десятиріччя-

ми, але меншою, ніж за базовий період (табл. 1). Сумарне випаровування в ІІ-е десятиріччя складатиме 312 мм, а випаровуваність 437 мм. В ІІ-й десятирічний період спостерігається підвищення суми опадів, порівняно з І-м та ІІІ-м періодами, що зумовить кращі умови вологозабезпеченості посівів проса– 0,71 відн.од. (табл. 1).

Із рис. 1 видно, що за сценарієм RCP4.5 рівень динаміки площі листя за вказані десятирічні періоди буде нижчим, порівняно з базовим періодом. Площа листової поверхні в період її максимального розвитку зменшиться з 4,94 м²/м² до 4,7 м²/м² в І-е десятиріччя, до 4,69 м²/м² - в ІІ-е десятиріччя до 4,63 м²/м² в ІІІ-е десятиріччя.

Фотосинтетичний потенціал ($\Phi П$) (табл. 2) за всі розрахункові десятиріччя набуває максимального значення в кінці вегетаційного періоду. За середньо багаторічними даними (1986-2005рр.) $\Phi П$ складає 297,7 м²/м². За вказані десятирічні періоди відзначається зниження $\Phi П$ до 296,7 м²/м² в І-е десятиріччя, до 296,6 м²/м² - в ІІ-е і до 289,6 м²/м² - в ІІІ-е.

За умовами реалізації сценарію RCP4.5 метеорологічно можливий урожай ($ММУ$) в І-е та ІІ-е десятиріччя зросте до 957 та 959 г/м²дек, що складає 107% від базового періоду (897 г/м²дек). Із-за кращих умов тепло- та вологозабезпеченості в ІІ-е десятиріччя зросте і $ММУ$ до 1003 г/м²дек, що складає 112% від базового періоду (табл. 2).

З урахуванням природної родючості ґрунту рівень дійсно можливий урожай ($ДМУ$) всієї сухої маси проса також зросте до 574 г/м²дек (107%) та 575 г/м²дек (107%) в І-е і ІІІ-е десятиріччя в порівнянні з базовим періодом - 538 г/м²дек. В ІІ-е десятиріччя $ММУ$ зросте до 602 г/м²дек, що складає 112% від середньо багаторічного.

За умовами сценарію RCP4.5 урожай проса за 14%-ї вологості в базовий період становить 24,5 ц/га. В І-й та ІІІ-й розрахункові десятиріччя він зросте до 26,2 ц/га і складатиме 107%, а в ІІ-е - до 27,4 ц/га і складатиме 112% від середнього багаторічного (табл. 2).

Баланс гумусу під посівами проса складатиме в І-е та ІІІ-е десятиріччя зросте до 108%, а в ІІ-у - до 112%, в порівнянні з середньо багаторічним (табл. 2).

За сценарієм RCP8.5 середня температура повітря в період сходи – повна стиглість в І-у й ІІ-у десятиріччя складає 15,7 та 15,5 °С, що на 1,6 та 1,8 °С нижче в порівнянні з середньобаторічним значенням. А в ІІІ-е десятиріччя температура повітря буде складати 15,4 °С, що нижче від середньо багаторічної на 1,9 °С.

Таблиця 1 – Характеристика показників агрокліматичних умов за період вегетації проса в базовий період (1986-2005 рр.) та за розрахункові періоди за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 в Лісостепу (період сходи – повна стиглість).

Період, сценарій	Середня температура повітря за період, °С	Сума опадів за період, мм	Сумарне випаровування за період (E), мм	Випаровуваність за період, (E ₀), мм	Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), відн.од.	Сума ФАР, кДж/см ² за період
1986-2005	17,3	323	401	552	0,73	129,9
RCP4.5:						
2021–2030	15,9	231	312	480	0,65	153,6
2031–2040	15,8	301	312	438	0,71	150,9
2041–2050	16,2	277	329	525	0,63	158,1
RCP8.5:						
2021–2030	15,7	303	329	508	0,65	163,7
2031–2040	15,5	285	349	527	0,66	156,6
2041–2050	15,4	378	357	477	0,77	166,0

Таблиця 2 – Характеристика урожайності проса за базовий період (1986-200 рр.) та за розрахункові десятиріччя за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 в Лісостепу

Період, Сценарій	Вся суха маса, г/м ² дек			Фотосинтетичний птеціал, м ² /м ² за період	Баланс гумусу, т/га	Урожай проса при вологості 14 %, ц/га
	потенційного урожаю	метеорологічно можливою урожаю	дійсно можливого урожаю			
1986-2005	1447	897	538	240,2	0,075	24,5
RCP4.5:						
2021–2030	1711	957	574	312,9	0,051	26,2
2031–2040	1681	1003	602	292,3	0,053	27,4
2041–2050	1829	959	575	326,0	0,051	26,2
RCP8.5:						
2021–2030	1823	1025	615	358,0	0,054	28,1
2031–2040	1803	990	594	311,0	0,053	27,1
2041–2050	1849	1067	640	353,0	0,057	29,2

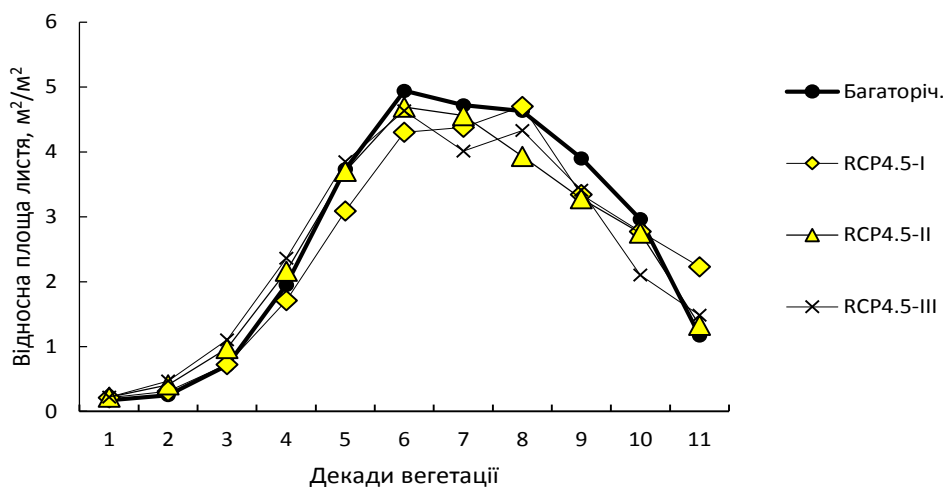


Рис. 1 - Динаміка площі листя проса за вегетаційний період в порівнянні середніх багаторічних та сценарних розрахункових даних за сценарієм RCP4.5 в Лісостепу

Треба відмітити, що за сценарієм RCP8.5 температурний режим буде нижчим не тільки від середньо багаторічної температури, а й за сценарієм RCP4.5.

За I-й та II-й розрахункові періоди сума опадів знизиться на 20 й 38 мм і тільки в III-й період зросте на 146 мм, порівняно з середнім багаторічним.

Сумарне випаровування в I-й та в II-й періоди зменшиться з 401 мм до 329 та 349 мм, а в III-й період - до 357 мм. Випаровуваність зменшиться з 552 мм в I-й та II-й періоди до 508 й 527 мм, а в III-й період - до 477 мм. Мала кількість опадів в I-й та II-й періоди погіршить і умови вологозабезпеченості посівів проса до 89 та 90%. В III-й період збільшення кількості опадів зумовить покращення умов вологозабезпеченості проса до 102% (табл. 1).

Площа листя (рис. 2), за умов реалізації сценарію RCP8.5, буде нижчою, порівняно з базовим періодом. Так, в I-й та II-й розрахункові періоди площа листової поверхні в період її максимального розвитку зменшиться з 4,94 м²/м² до 4,56 та 4,72 м²/м². В III-й період через кращих умов вологозабезпеченості очікується ріст листової поверхні до 4,81 м²/м².

ФП, за умовами реалізації сценарію RCP8.5, буде вищим, в порівнянні з базовим періодом та за сценарієм RCP4.5, і складатиме в I-й період 314,8 м²/м², в II-й період - 300,4 м²/м², а в III-й період - 315,7 м²/м² (табл. 2).

За умови реалізації сценарію RCP8.5 в порівнянні з базовим періодом спостерігається ріст

ММУ. В I-у та II-у десятиріччя ММУ зросте до 1025 та 990 г/м²дек, що складатиме 114 та 110% від ММУ в базовий період. В III-ю десятиріччя у зв'язку з покращенням умов вологозабезпеченості, буде спостерігатись найвищий ММУ – 1067 г/м²дек, що складатиме 119% від базових (табл. 2).

ДМУ в I-й та II-й періоди очікується на рівні 114 та 110%, а в III-й період зросте до 119% від середнього багаторічного.

За сценарієм RCP8.5 урожай проса за 14%-ї вологості в I-й та II-й періоди складатиме 28,1 та 27,1 ц/га, що становить 115 та 111% від середньо багаторічного. В III-є десятиріччя урожай проса зросте до 29,2 ц/га, тобто до 119% від середньо багаторічного. З розрахунків видно, що урожай проса за сценарієм RCP8.5 буде вищим від середньо багаторічного та від урожаю за сценарієм RCP4.5 (табл. 2).

Баланс гумусу під посівами проса складатиме в I-й та II-й періоди 115 та 111%, а в III-й період – 120% (табл. 2).

Отримані результати свідчать, що у всі розрахункові десятиріччя, порівняно з базовим періодом (1986-2005 рр.), очікується зниження середньої температури повітря до оптимальної, що призведе до підвищення урожайності. Найвищий урожай проса відзначається за сценарієм RCP8.5 в період з 2041 по 2050 рр. при оптимальній температурі повітря і достатній вологозабезпеченості й складає 29,2 ц/га, що вище урожаю за базовий період на 19%.

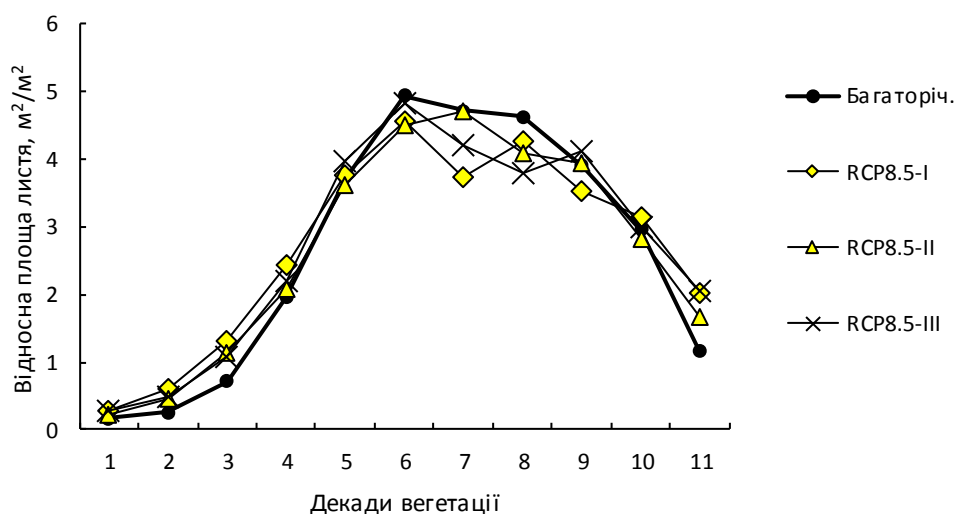


Рис. 2 - Динаміка площі листя проса за вегетаційний період в порівнянні середніх багаторічних та сценарних розрахункових даних за сценарієм RCP8.5 в Лісостепу

Таким чином, за нашими результатами встановлено, що на відміну від Бузулуцького району Оренбургської області [10], країн Африки [12-16], південного штату Індії [11] на території України очікується підвищення врожайності проса, що також відповідає результатам, представленим в [19, 20, 22].

5. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень із використанням сценаріїв зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5 та методу моделювання формування продуктивності проса для Лісостепу України отримано нові дані, які вказують на зміну ресурсів світла, тепла і вологи за вегетаційний період. Виявлено різницю в кількісних величинах як агрокліматичних умов, так і показників продуктивності проса за вказаними сценаріями в базовий період (1986-2005 рр.) і в найближчі десятиріччя (2021-2030, 2031-2040, 2041-2050 рр.). За обома сценаріями зміни клімату встановлено тенденцію підвищення врожайності проса на 19%.

Дослідження у цьому напрямку і отримані результати можуть використовуватися при перегляді видового й сортового складу сільського подарських культур та оптимізації їх розміщення на конкретних територіях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Marcos A. Orellana. Climate Change and the Millennium Development Goals. *International journal on human rights*. 2010. 12. Pp. 145-172. URL: http://www.undp.org/climatechange/cc_mdgs.shtml (Accessed: 25 october 2019)
- Godfray H. C. J. et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 2010. 327. Pp. 812-818. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1185383>.
- Hawkesford M. J. et. al. Prospects of doubling global wheat yields. *Food Energy Secur.* 2013. 2. Pp. 34-48. <https://doi.org/10.1002/fes3.15>.
- Asseng S., Foster I., Turner N. C. The impact of temperature variability on wheat yields. *Glob. Chang. Biol.* 2011. 17. Pp. 997-1012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x>.
- Стефановська Т. Р., Підліснюк В. В. Оцінка вразливості до змін клімату сільського господарства України. *Екологічна безпека*. 2010. №9. С. 62-66.
- Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ: ТОВ «РІА»БЛІЦ. 2014. 18 с.
- The World Sorghum and Millet Economies: Facts, Trends, and Outlook. *A joint study by the Basic Foodstuffs Service FAO Commodities and Trade Division and the Socio-economics and Policy Division International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*. 1996. 68 с.
- Mall R. K, Gupta A., Sonkar G. Effect of Climate Change on Agricultural Crops. *J. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. 2017. 2. Pp. 23-46.
- Muthamilarasan M., Prasad M. Advances in Setaria genomics for genetic improvement of cereals and bioenergy grasses. *Theor. Appl. Genet.* 2015. 128. Pp. 1-14.
- Неверов А. А. Компьютерное моделирование связи урожая проса с погодно-климатическими условиями западной зоны Оренбургской области. *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал)*. 2017. №1. С. 10.
- Jena P. R., Kalli R. Measuring the Impact of Climate Variability on Rice and Finger Millet: Empirical Evidence from a Drought Prone Region of India. *J. Agricultural Economists*. July 28 – august 2. 2018. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.275970>.
- Elodie Blanc. The Impact of Climate Change on Crop Yields in Sub-Saharan Africa. *American Journal of Climate Change*. 2012. 1(1). Article ID:18072,13 Pp. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2012.11001>.
- Larsson H. Relationships between Rainfall and Sorghum, Millet and Sesame in the Kassala Province, Eastern Sudan. *Journal of Arid Environments*. 1996. 32(2). Pp. 211-223. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0018>.
- Rising nutrient availability may have much more impact than climate change on pearl millet in Senegal. / Garcia Leo at al. *Agriculture and Climate Change "Climate ready resource use-efficient crops to sustain food and nutritional security": Elsevier conference, 26/28 March. Sitges, Espagne, 2017.*
- Traore Bouba Sidi et al. Modelling cereal crops to assess future climate risk for family food self-sufficiency in southern Mali. *Field Crops Research*. 2017. 201. Pp. 133-145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.002>
- Babacar Faye et al. Impacts of 1.5 versus 2.0 °C on cereal yields in the West African Sudan Savanna. *Environ. Res. Lett.* 2018. 13. <https://doi.org/article/10.1088/1748-9326/aaab40>.
- Рудник-Іващенко О. І., Григоращенко Л. В. Залежність ознак урожайності проса від впливу кліматичних умов за фазами розвитку. *Селекція і насінництво*. 2010. № 98. С. 244-256.
- Полторецький С. П. Особливості формування густоти насінницьких посівів сортів проса залежно від строку і способу сівби в умовах правобережного Лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2013. № 82. С. 29-37.
- Коми Джиджону Аттила, Бука А. Я. Усовершенствование технологии применения минеральных удобрений под просо на черноземе оподзоленном левобережной Лесостепи Украины. *Наук. зб. Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. вип. до V з'їзду УТГА (6-10 липня 1998 р., м. Рівне). Ґрунти-екологія-продовольство. Частина друга*. Харків, 1998. С. 146-147.
- Шевель В.І. Оцінка фотосинтетичної діяльності проса в умовах південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2016. №96. С. 129-134.
- Полторецький С. П., Карпенко В. П. Посівні якості та врожайні властивості насіння проса за різного рівня азотного живлення. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. Ч.І. Агрономія*. 2012. №80. С. 159-169.
- Холод С. Г. Залежність урожайності проса та її елементів від агрокліматичних умов зони вирощування. *Вісник Центру наукового забезпечення агропромислового виробництва Харківської області*. 2016. №20. С. 75-83.

23. Данілова Н. В. Оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування проса в південних областях України в зв'язку зі зміною клімату. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. №17. С. 93-101. <https://doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.11>
24. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіди, А. Л. Прокопенко. Кам'янець-Подільський, 2011. С. 107.
25. The impact of emission and climate change on ozone in the United States under representative concentration pathways (RCPs) / Y. Gao¹, J.S. Fu, J.B. Drake, J.F. Lamarque, Y. Liu. *Atmos. Chem. Phys.* 2013. №13. Pp. 607-621.
26. Польовий А. М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем. Київ: КНТ, 2007. С. 344.
- ## REFERENCES
- Marcos, A. Orellana. (2010). Climate Change and the Millennium Development Goals. *International journal on human rights*, 12, pp. 145-172. Available at: http://www.undp.org/climatechange/cc_mdgs.shtml (Accessed: 25 october 2019)
 - Godfray, H.C.J. et al. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, pp. 812-818. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1185383>.
 - Hawkesford, M.J. et al. (2013). Prospects of doubling global wheat yields. *Food Energy Secur.*, 2, pp. 34-48. <https://doi.org/10.1002/fes3.15>.
 - Asseng, S., Foster, I. & Turner, N.C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Glob. Chang. Biol.*, 17, pp. 997-1012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x>.
 - Stefanovska, T.R. & Pidlisniuk, V.V. (2010). [Assessment of vulnerability to climate change in agriculture of Ukraine]. *Ekolohichna bezpeka [Ecological security]*, 9, pp. 62-66. (in Ukr.).
 - Adamenko, T.I. (2014). *Ahroklimatychnе zonuvannia terytorii Ukrainy z vrakhovanniam zminy klimatu [Agroclimatic zoning of the territory of Ukraine taking into account climate change]*. Kyiv: TOV «RIA»BLITs (in Ukr.).
 - The World Sorghum and Millet Economies: Facts, Trends, and Outlook. (1996). *A joint study by the Basic Foodstuffs Service FAO Commodities and Trade Division and the Socioeconomics and Policy Division International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*.
 - Mall, R.K., Gupta, A. & Sonkar G. (2017). Effect of Climate Change on Agricultural Crops. *J. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 2, pp. 23-46.
 - Muthamilarasan, M. & Prasad, M. (2015). Advances in Setaria genomics for genetic improvement of cereals and bio-energy grasses. *Theor. Appl. Genet.*, 128, pp. 1-14.
 - Neverov, A.A. (2017). [Computer simulation of the connection of millet harvest with weather and climatic conditions of the western zone of the Orenburg region]. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN (elektronnyy zhurnal) [Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (electronic journal)]*, 1, pp. 10
 - Jena, P.R. & Kalli, R. (2018). Measuring the Impact of Climate Variability on Rice and Finger Millet: Empirical Evidence from a Drought Prone Region of India. *J. Agricultural Economists*. July 28 – august 2. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.275970>
 - Elodie Blanc. (2012). The Impact of Climate Change on Crop Yields in Sub-Saharan Africa. *American Journal of Climate Change*, 1(1). Article ID:18072, 13 p. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2012.11001>.
 - Larsson, H. (1996). Relationships between Rainfall and Sorghum, Millet and Sesame in the Kassala Province, Eastern Sudan. *Journal of Arid Environments*, 32(2), pp. 211-223. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0018>.
 - Garcia, Leo et al. (2017). Rising nutrient availability may have much more impact than climate change on pearl millet in Senegal. *Elsevier conference: Agriculture and Climate Change "Climate ready resource use-efficient crops to sustain food and nutritional security"*, 26/28 March. Sitges, Espagne.
 - Traore, Bouba Sidi et al. (2017). Modelling cereal crops to assess future climate risk for family food self-sufficiency in southern Mali. *Field Crops Research*, 201, pp. 133-145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.002>
 - Babacar, Faye et al. (2018). Impacts of 1.5 versus 2.0 °C on cereal yields in the West African Sudan Savanna. *Environ. Res. Lett.*, 13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaab40>.
 - Rudnyk-Ivashchenko, O.I. & Hryhorashchenko, L.V. (2010). [Dependence of signs of millet yield on the influence of climatic conditions by phases of development]. *Selektsiia i nasinnystvo [Breeding and seed production]*, 98, pp. 244-256. (in Ukr.).
 - Poltoretskyi, S.P. (2013). [Features of formation of density of seed crops of grades of millet depending on term and a way of sowing in the conditions of the right-bank Forest-steppe]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho univer-sytetu sadivnystva [Collection of scientific works of Uman National University of Horticulture]*, 82, pp. 29-37. (in Ukr.).
 - Komi Dzhidzhonu, Attila & Buka, A.Ja. (1998). [Improvement of the technology of using mineral fertilizers for millet on chernozem podzolized on the left-bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Nauk.zb. Ahrokhimiia i hruntovnavstvo. Spets.vyp. do V zizdu UTHA (6-10 lypnia 1998 r., m. Rivne). Hrunty-ekolohiia-prodovolstvo. Chastyna druha [Scientific collection. Agrochemistry and soil science. Special issue for the V Congress of UTGA (July 6-10, 1998, Rivne). Soils-ecology-food. Part two]*. Kharkiv, pp. 146-147.
 - Shevel, V.I. (2016). [Estimation of photosynthetic activity of millet in the conditions of the southern steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurian Scientific Bulletin]*, 96, pp. 129-134. (in Ukr.).
 - Poltoretskyi, S.P. & Karpenko, V.P. (2012). [Sowing qualities and yield properties of millet seeds at different levels of nitrogen nutrition]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnystva. Ch.1. Ahronomiia [Collection of scientific works of Uman National University of Horticulture. Part 1. Agronomy]*, 80, pp. 159-169. (in Ukr.).
 - Kholod, S.H. (2016). [Dependence of millet yield and its elements on agro-climatic conditions of the growing zone]. *Visnyk Tsentru naukovooho zabezpechennia ahropromysloвого vyrobnystva Kharkivskoi oblasti [Bulletin of the Center for Scientific Support of Agricultural Production of Kharkiv Region]*, 20, pp. 75-83. (in Ukr.).
 - Danilova, N.V. (2016). [Assessment of changes in agro-climatic conditions of millet cultivation in the southern regions of Ukraine due to climate change]. *Український гідрометеорологічний журнал [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 17, pp. 93-101. <https://doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.11> (in Ukr.).
 - Adamenko, T.I., Kulbida, M.I. & Prokopenko, A.L. (Eds). (2011). *Ahroklimatychni dovidnyk po terytorii Ukrainy*

- [Agroclimatic reference book for territories of Ukraine]. Kamianets-Podilsk. (in Ukr.).
25. Gao1, Y. et al. (2013). The impact of emission and climate change on ozone in the United States under representative concentration pathways (RCPs). *Atmos. Chem. Phys.*, 13, pp. 607-621.
26. Poliovyi, A.M. (2007). *Modeliuvannia hidrometeorologichnoho rezhymu ta produktyvnosti ahroekosystem [Modeling of hydrometeorological regimes and agro-ecosystems' productivity]*. Kyiv: KNT, 344 p.

CLIMATE CHANGE IMPACT ON MILLET PRODUCTIVITY IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF UKRAINE

N. V. Danilova

Odessa State Environmental University
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, nataliadanilova0212@gmail.com

Negative impact of climate change on crop yields is already an established fact. This is mainly due to rising temperatures and increasing likelihood of droughts. However, in some regions there is an increase of certain crops yields, especially the drought-resistant ones and this determines the need for research of agro-climatic conditions for formation of such crops' yield.

This article presents the results of the study of agro-climatic conditions for formation of millet crops, one of the most drought-resistant crops in the forest-steppe zone of Ukraine, affected by climate change. It considers temperature, radiation and humidification regimes of millet crops. The research of the impact of climate change on the growth, development and formation of millet crops is conducted according to the scenarios of future climate change RCP4.5 and RCP8.5 for a thirty-year period (2021-2050) divided into three decades: 2021-2030, 2031-2040 and 2041-2050. The period from 1986 to 2005 is a basic period. The average long-term agroclimatic data for the forest-steppe zone of Ukraine observed in this period are used. The calculations were performed using the model of crop productivity formation which was modified and adapted to millet crop. The block diagram of the model of millet productivity formation includes blocks of main physiological processes of millet (*Panicum miliaceum* L.) vital activity: photosynthesis, respiration, growth, development and also includes a hydrometeorological block. It is assumed that the average air temperature will decrease in all three ten-year periods of both scenarios, compared to the accepted long-term averages. The results of calculations showed that in all ten-year periods of both scenarios there is an increase in millet yield compared with the average long-term data (1986-2005). The highest yield is formed according to the RCP8.5 scenario over the period from 2041 to 2050 and is expected at the level of 29.2 c/ha which is 19% higher than the current one.

Key words: millet, food security, climate change, climate scenarios, yield, agroclimatic indicators, crop modelling.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ПРОСА В ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

Н. В. Данилова

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, nataliadanilova0212@gmail.com

Отрицательное влияние изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур является установленным фактом. Преимущественно объясняется это повышением уровня температур и ростом вероятности засушливых явлений. Однако в некоторых регионах отмечается увеличение урожайности отдельных культур, прежде всего, засухоустойчивых, что определяет необходимость проведения исследований агроклиматических условий формирования урожайности таких культур.

В данной статье представлены результаты исследования агроклиматических условий формирования урожая проса, как одной из наиболее засухоустойчивых сельскохозяйственных культур, в Лесостепной зоне Украины в связи с изменением климата. Рассматриваются температурный и радиационный режимы и режим увлажнения посевов проса. Исследование влияния изменения климата на рост, развитие и формирование урожая проса проводятся по сценариям будущих климатических изменений RCP4.5 и RCP8.5 за тридцатилетний период (2021-2050 гг.) в разрезе трех десятилетий: 2021-2030, 2031-2040 гг., 2041-2050 гг. Как базовый рассматривается период с 1986 по 2005 гг., за который используются средние многолетние агроклиматические данные в Лесостепной зоне Украины. Расчеты выполнялись с применением модели формирования продуктивности сельскохозяйственных культур, которая была модифицирована и адаптирована применительно к культуре проса. Блок-схема модели формирования продуктивности проса включает блоки основных физиологических процессов жизнедеятельности проса (*Panicum miliaceum* L.): фотосинтеза, дыхания, роста, развития, а также гидрометеорологический блок. Предполагается, что средняя температура воздуха снизится во все три десятилетние периоды по обоим сценариям, по сравнению с принятыми средними многолетними величинами. Результаты расчетов показали, что во все десятилетние периоды по обоим сценариям, по сравнению со средними многолетними данными (1986-2005 гг.), отмечается увеличение урожайности проса. Самый высокий урожай формируется по сценарию RCP8.5 в период с 2041 по 2050 гг. и ожидается на уровне 29,2 ц/га, что выше текущего на 19%.

Ключевые слова: просо, продовольственная безопасность, изменение климата, климатические сценарии, урожайность, агроклиматические показатели, моделирование посевов.

Подання до редакції : 07. 11. 2019
Надходження остаточної версії : 01. 06. 2020
Публікація статті : 03. 07. 2020