

А. М. ПОЛЬОВИЙ¹, д-р. геогр. наук, проф., А. О. ІЛЬІНА¹

¹Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна

e-mail: apolevoy@te.net.ua
ilina_ann@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8395-0068>
<https://orcid.org/0000-0003-4108-3239>

ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВІВСА В СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

Мета. Оцінка впливу змін клімату на продуктивність вівса в Степовій зоні України.

Методи. Статистичні, математичне моделювання.

Результати. Встановлено, що строки сівби культури і появи сходів змістяться на більш ранні терміни. Очікуються більш сприятливі умови для формування сходів, зростання і розвитку рослин в період «сходи - викидання волоті». Знижений фон температур призведе до зниження величини сумарного випаровування і зниження потреби у волозі на 47-58 мм. Вологозабезпеченість першого періоду вегетації буде значно вище, ніж в середні багаторічні роки. Агрокліматичні умови другої половини вегетаційного періоду вівса будуть складатися при зниженій температурі і нерівномірному зволоженні по території. Потреба у волозі повсюдно зросте на 12-28 мм. Знизиться забезпеченість вологою. За допомогою моделі формування врожаю сільськогосподарських культур проведена оцінка впливу змін агрокліматичних умов періодів вегетації на показники фотосинтетичної продуктивності посівів вівса і формування врожаю.

Висновки. Можливе підвищення врожайності вівса в Степовій зоні України при реалізації кліматичних сценаріїв і ранніх строках сівби. Запропоновано картосхеми очікуваної врожайності вівса в Степовій зоні України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: овес, зміна клімату, фази розвитку, строки сівби, площу листя, урожай

Polevoy A. N.¹, Ilina A. A.¹

¹Odessa State Environmental University, Lvivska Str., 15, Odessa, 65016, Ukraine

THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON OAT PRODUCTIVITY IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE.

Purpose. To assess the impact of climate change on oat productivity in the steppe zone of Ukraine.

Methods. Statistical, mathematical modeling.

Results. It is established that the seed sowing and of seedling emergence will be postponed to an earlier date. More favorable conditions are expected for the formation of seedling emergence, growth and development of plants during the period of "seedling - heading". Reduced background temperature will lead to a decrease in the value of total evaporation and a decrease in moisture demand by 47–58 mm. The moisture content of the first vegetation period will be significantly higher than in the middle perennial years. Agroclimatic conditions of the second half of the vegetation period of oats will develop at low temperatures and uneven moisture across the territory. The demand for moisture will increase everywhere by 12–28 mm. The supply of moisture will decrease. Using the model of the formation of the yield of agricultural crops, the influence of changes in the agro-climatic conditions of the growing season on the indicators of photosynthetic productivity of oat crops and the formation of the yield was assessed.

Conclusions. It was concluded that a possible increase in the yield of oats in the Steppe zone of Ukraine under the implementation of climatic scenarios and early sowing terms. Changes in agroclimatic conditions in the implementation of climatic scenarios will lead to changes in the photosynthetic activity of oat crops: the relative leaf area will increase, the increase in total plant mass will increase, the photosynthetic potential of crops will grow during the growing season. Proposed cartographic schemes of the expected yield of oats in the Steppe zone of Ukraine.

KEYWORDS: oats, climate change, stages of growth, sowing dates, leaf area, harvest

Полевой А. Н.¹, Ильина А. А.¹

¹ Одеський державний екологічний університет, ул. Львовская, 15, г. Одесса, 65016, Україна

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ОВСА В СТЕПНОЙ ЗОНЕ УКРАИНЫ

Цель. Оценка влияния изменений климата на продуктивность овса в степной зоне Украины.

Методы. Статистические, математическое моделирование.

Результаты. Установлено, что сроки сева культуры и появления всходов сдвинутся на более ранние сроки. Ожидаются более благоприятные условия для формирования всходов, роста и развития растений в период «всходы – выметывание метелки». Пониженный фон температур приведет к снижению величины суммарного испарения и снижению потребности во влаге на 47–58 мм. Влагообеспеченность первого периода вегетации будет значительно выше, чем в средние многолетние годы. Агроклиматические условия второй половины вегетационного периода овса будут складываться при пониженной температуре и неравномерном увлажнении по территории. Потребность во влаге повсеместно возрастет на 12–28 мм. Снизится обеспеченность влагой. С помощью модели формирования урожая сельскохозяйственных культур проведена оценка влияния изменений агроклиматических условий периодов вегетации на показатели фотосинтетической продуктивности посевов овса и формирование урожая.

Выводы. Возможно повышение урожайности овса в Степной зоне Украины при реализации климатических сценариев и ранних сроках сева. Предложены картосхемы ожидаемой урожайности овса в Степной зоне Украины.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: овес, изменение климата, фазы развития, сроки сева, площадь листьев, урожай

Вступ

Зміни клімату, що відбуваються, викликали зміни в термінах настання природних сезонів та в їх температурному і вологісному режимах. Відбувається зміна агрокліматичних ресурсів регіонів і відповідно зміна агрокліматичних умов зростання і розвитку сільськогосподарських культур.

Різні аспекти оцінки впливу змін клімату на умови формування урожаю сільськогосподарських культур широко розглядаються відповідно до великого набору культурних рослин в різних ґрунтово-кліматичних умовах. У меншій мірі це відноситься до оцінки реакції культури вівса на кліматичні зміни.

В умовах Фінляндії [1] зміна клімату відкриває нові можливості для виробництва польових культур, яке в даний час обмежене коротким вегетаційним періодом. Тепліший клімат продовжить тепловий вегетаційний період і його фізіологічно ефективну частину. Очікується, що на широті 60 ° північної широти рівень урожайності вівса підвищиться від 4,4 т/га у 1985 році до 6,4–6,5 т/га у 2025 році та до 2055 року буде дорівнювати 8,2–8,8 т/га. У виконаному [1] дослідженні вивчалася реакція процесу розвитку рослин ячменю і вівса на підвищені температури повітря.

У роботі [2] досліджується вплив змін клімату на полягання вівса в Ірландії і

Великобританії. Крім цього, аналізуються кліматичні дані на наступні шість десятиліть на Британських островах, отримані за допомогою прогнозів зміни клімату Великобританії.

Оцінка зміни термінів основних фенологічних фаз розвитку ярих зернових культур в Північній і Центральній Європі в умовах зміни клімату виконана в роботі [3].

В роботі [4] розглядається вплив вологотемпературного режиму Північних рівнин США і Канади на формування врожаю ранніх ярих культур. Очікується, що підвищення температури і зміни кількості опадів вплинуть на формування продуктивності таких культур як ярий ячмінь і овес. Мінливість клімату мала значний вплив на врожайність вівса на п'яти ділянках. Теплі передпосівні температури підвищили врожайність на більш прохолодних ділянках, в той час як високі температури в кінці вегетаційного періоду знизили врожайність на всіх ділянках.

Оцінка реакції культури вівса на зміни клімату була проведена і в Україні [5]. За допомогою моделі продуктивності культури і сценарію зміни клімату отримані оцінки очікуваної урожайності на період до 2040 року.

Метою дослідження є оцінка впливу змін клімату на продуктивність вівса в Степній зоні України.

Матеріали і методика досліджень

Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів та агрокліматичних умов формування продуктивності культури вівса розглядалися за проміжок часу 2021-2050 рр. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату були використані прогностичні дані метеорологічних елементів [6] за двома кліматичними сценаріями, а саме RCP4.5 і RCP8.5 – Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways - RCP).

У процесі аналізу тенденції зміни клімату порівнювалися дані за кліматичними сценаріями і дані базових величин, отримані за період 1986-2015 рр. [7]. Розглядалися агрокліматичні умови формування урожаю культури вівса, розраховані за даними кліматичних сценаріїв, і дані, що характеризують середні багаторічні умови зростання, розвитку і формування продуктивності вівса за два періоди: 1986-2015 рр. (Базовий період) і 2021-2050 рр. (Сценарні періоди за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5).

В якості теоретичної основи для оцінки реакції культури вівса на зміну агрокліматичних умов формування урожаю у зв'язку зі зміною клімату нами застосовувалася адаптована до біологічних особливостей культури вівса модель формування урожаю озимої пшениці в весняно-літній період [8]. В основі цієї моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового та водного балансів і балансу біомаси (вуглеводів і азоту) в рослинному покриві.

Моделюється: радіаційний, тепловий та водний режими системи «грунт - рослина - атмосфера», режим мінерального живлення рослин і вплив цих режимів на процеси фотосинтезу, дихання рослин, поглинання вологи і елементів мінерального живлення рослинами, зростання і розвитку, фотосинтетичну продуктивність досліджуваної культури.

Основою біологічної частини моделі є моделювання приросту біомаси рослин. Він розглядається як баланс вуглеводів (продуктів фотосинтезу і розпаду старіючих тканин, витрат на дихання) і білків (поглинання

азоту з ґрунту, продуктів розпаду тканин, витрат на оновлення життєздатних структур тканин) на кожному часовому кроці:

$$\frac{dm}{dt} = \Phi + C_{hydr} - R + N_{abs} + N_{hydr} - N_{sen}, \quad (1)$$

де $\frac{dm}{dt}$ – приріст біомаси рослин;

Φ – сумарний фотосинтез рослин;

C_{hydr} – маса вуглеводів, що утворюються при розпаді старіючих тканин;

R – витрати вуглеводів на дихання;

N_{abs} – кількість поглиненого з ґрунту азоту;

N_{hydr} – кількість азоту, що утворюється при розпаді білків;

N_{sen} – витрати на оновлення білків.

Процес фотосинтезу листя описується формулою [9; 10], в якій враховується вплив на фотосинтез рівня мінерального живлення, фаз розвитку рослин, температурного режиму і вологозабезпеченості рослин [11]. Витрати на дихання росту і дихання підтримки моделюються з використанням концепції [11] з урахуванням зміни інтенсивності дихання в онтогенезі [11] і під впливом температури повітря [13].

Моделюється, що процес поглинання азоту рослиною з ґрунту йде активним шляхом і пасивним - виносом азоту з транспіраційним струмом. Процеси розпаду тканин при стресових умовах і старінні рослин описуються рівняннями кінетики ферментативного аналізу.

Ідентифікація параметрів моделі стосовно до культури вівса проведена на основі матеріалів польового експерименту, який проводився в 2013, 2014 і 2018 роках на спостережних ділянках навчальної агрометеорологічної лабораторії Одеського державного екологічного університету [14]. Перевірка адекватності моделі показала цілком задовільні результати. Середня помилка розрахунку площі листя в період максимального розвитку складає 14,7%, а біомаси волоті вівса – 15,8%.

Результати та обговорення

Порівняння фаз розвитку рослин вівса в різних кліматичних умовах показало, що при реалізації сценарних умов вегетація вівса буде проходити в більш ранні терміни з

деяким зміщенням за часом в сторону ранньої весни. Цей зсув становитиме для Північної підзони 15-16 днів (табл.1), для Центральної підзони – 5-6 днів і для Південної

підзони – 3-4 дні. Відбудеться зміщення термінів появи сходів вівса посівного. Великим воно буде для Північної підзони (14-15 днів), незначним (2-3 дні) для Центральної підзони і помірно (на 7-6 днів) змістяться терміни сходів в Південній підзоні. Фаза викидання волоті в Північній і Південній підзоні

настане практично в звичайні терміни, в Центральній підзоні - на 5-6 днів пізніше багаторічних термінів. Тривалість всього періоду вегетації (сходи – воскова стиглість) на території всіх підзон Степової зони України збільшиться.

Таблиця 1

Дати настання фаз розвитку вівса посівного в Степовій зоні України (усереднені дані)

| Підзона | Періоди, роки | Дата сівби | Дати настання фаз розвитку | | | Тривалість вегетаційного періоду, дні |
|------------|--------------------|------------|----------------------------|------------------|-------------------|---------------------------------------|
| | | | сходи | викидання волоті | воскова стиглість | |
| Північна | 1986 – 2015 | 07.04 | 21.04 | 09.06 | 07.07 | 78 |
| | RCP4.5 (2021-2050) | 22.03 | 6.04 | 09.06 | 07.07 | 93 |
| | Різниця | -16 | -15 | 0 | 0 | +25 |
| | RCP8.5, 2021-2050 | 21.03 | 05.04 | 08.06 | 06.07 | 92 |
| | Різниця | -15 | -14 | -1 | -1 | +14 |
| Центральна | 1986–2015 | 29.03 | 13.04 | 03.06 | 01.07 | 79 |
| | RCP4.5, 2021-2050 | 23.03 | 11.04 | 09.06 | 08.07 | 88 |
| | Різниця | -6 | -2 | +6 | +7 | +9 |
| | RCP8.5, 2021-2050 | 24.03 | 10.04 | 08.06 | 07.07 | 88 |
| | Різниця | -5 | -3 | +5 | +6 | +9 |
| Південна | 1986 – 2015 | 23.03 | 11.04 | 03.06 | 29.06 | 98 |
| | RCP4.5, 2021-2050 | 19.03 | 04.04 | 02.06 | 04.07 | 91 |
| | Різниця | -4 | -7 | -1 | +5 | -7 |
| | RCP8.5, 2021-2050 | 20.03 | 05.04 | 04.06 | 06.07 | 92 |
| | Різниця | -3 | -8 | +1 | +7 | -6 |

Так як терміни вегетації змістилися, то період вегетації вівса буде проходити на фоні знижених температур (табл. 2), в особливості, в період сходи – викидання волоті: температура повітря в цей період в Північній і Південній підзоні буде нижче багаторічної на 2,8-3,3 °С, в Центральній підзоні – на 1,4-1,7 °С. Кількість опадів у Північній і Південній підзонах зменшиться до 85-89% від багаторічної, в Центральній підзоні їх кількість буде дорівнювати 108-130% від середнього багаторічного значення. Знижений фон температур призведе до зниження величини сумарного випаровування (за винятком Центральної підзони) і зниження потреби у волозі на 47-58 мм. Вологозабезпеченість першого періоду вегетації буде значно вище, ніж в середні багаторічні роки. Особливо високою вона буде в Центральній підзоні (на 29-52%), меншою вона буде в Північній і Південній підзоні (вище багаторічної на 6-15%).

Для періоду викидання волоті - воскова стиглість (табл.2) буде також характерний знижений температурний режим (на 1,3-1,9 °С). Кількість опадів буде нерівномірною

по території Степової зони: менше їх буде в Північній і Південній підзоні (72-84% від багаторічного значення), більше в Центральній підзоні (108-115% від багаторічного значення). Відповідно до цього зміниться і величина сумарного випаровування. Тільки в Центральній підзоні вона перевищить багаторічне значення. Потреба у волозі повсюдно зросте на 12-28 мм. Забезпеченість вологою знизиться до 66-70% в Північній і Південній підзоні і до 91-96% - в Центральній підзоні (табл. 2).

Така зміна умов вегетації вівса в зв'язку зі зміною клімату призведе до зміни фотосинтетичної діяльності посівів, що виразиться в зміні динаміки відносної площі листя, інтенсивності фотосинтезу, приростах рослинної маси і формування маси врожаю (табл. 3).

При більш ранніх за кліматичними сценаріями строках сівби в порівнянні з середніми багаторічними на території всіх підзон Степової зони формується велика відносна площа листя. Вона перевищить розміри площі листя при середніх багаторічних

Таблиця 2

Агрокліматичні умови вегетації вівса посівного в Степовій зоні України в умовах зміни клімату (усереднені дані)

| Підзона | Періоди, роки | Період сходи – викидання волоті | | | | | Період викидання волоті – воскова стиглість | | | | |
|------------|---------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|---|-----------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|
| | | Середня температура, °С | Сума опадів, мм | Сумарне випаровування, мм | Потреба у волозі, мм | Вологозабезпеченість, відн. од. | Середня температура, °С | Сума опадів, мм | Сумарне випаровування, мм | Потреба у волозі, мм | Вологозабезпеченість, відн. од. |
| Північна | 1986–2015 | 14,9 | 75 | 92 | 202 | 0,46 | 20,9 | 81 | 102 | 168 | 0,61 |
| | RCP4.5 2021–2050 | 11,6 | 64 | 70 | 144 | 0,49 | 19,0 | 68 | 82 | 192 | 0,43 |
| | Різниця | -3,3 | -11 | -22 | -58 | +0,03 | -1,9 | -13 | -20 | +24 | -0,18 |
| | RCP8.5 2021–2050 | 12,1 | 67 | 76 | 144 | 0,53 | 19,0 | 58 | 79 | 196 | 0,40 |
| | Різниця | -2,8 | -8 | -16 | -58 | +0,07 | -1,9 | -23 | -23 | +28 | -0,21 |
| Центральна | 1986–2015 | 14,4 | 64 | 80 | 192 | 0,42 | 20,6 | 61 | 83 | 154 | 0,54 |
| | RCP4.5 2021–2050 | 12,7 | 69 | 79 | 145 | 0,54 | 19,3 | 66 | 90 | 182 | 0,49 |
| | Різниця | -1,7 | +5 | -1 | -47 | +0,12 | -1,3 | +5 | +7 | +28 | -0,05 |
| | RCP8.5 2021–2050 | 13,0 | 83 | 89 | 136 | 0,64 | 19,0 | 68 | 87 | 166 | 0,52 |
| | Різниця | -1,4 | +19 | +9 | -56 | +0,22 | -1,6 | +7 | +4 | +12 | -0,02 |
| Південна | 1986–2015 | 14,9 | 75 | 92 | 202 | 0,46 | 20,9 | 81 | 102 | 168 | 0,61 |
| | RCP4.5 2021–2050 | 11,6 | 64 | 70 | 144 | 0,49 | 19,0 | 68 | 82 | 192 | 0,43 |
| | Різниця | -3,3 | -11 | -22 | -58 | +0,03 | -1,9 | -13 | -20 | +24 | -0,18 |
| | RCP8.5 2021–2050 | 12,1 | 67 | 76 | 144 | 0,53 | 19,0 | 58 | 79 | 196 | 0,40 |
| | Різниця | -2,8 | -8 | -16 | -58 | +0,07 | -1,9 | -23 | -23 | +28 | -0,21 |

Таблиця 3

Фотосинтетична продуктивність вівса в Степовій зоні України

| Підзона | Період, роки | Період максимального росту | | Фотосинтетичний потенціал посівів м ² /м ² за вегетаційний період | Урожай, ц/га |
|-----------------------|--------------------|---|--|---|--------------|
| | | площа листової поверхні, м ² /м ² | приріст загальної сухої біомаси, г/м ² ·за день | | |
| Північна (Дніпро) | 1986 – 2015 | 1,70 | 8,95 | 63,6 | 17,9 |
| | RCP4.5 (2021–2050) | 2,78 | 14,39 | 108,4 | 23,6 |
| | RCP8.5 (2021–2050) | 2,81 | 14,88 | 115,3 | 22,2 |
| Центральна (Миколаїв) | 1986 – 2015 | 1,64 | 9,0 | 65,8 | 14,8 |
| | RCP4.5 (2021–2050) | 2,31 | 11,43 | 96,2 | 19,5 |
| | RCP8.5 (2021–2050) | 2,53 | 13,71 | 97,7 | 18,7 |
| Південна (Херсон) | 1986 – 2015 | 1,53 | 8,63 | 61,6 | 14,0 |
| | RCP4.5 (2021–2050) | 2,25 | 11,22 | 94,9 | 18,5 |
| | RCP8.5 (2021–2050) | 2,57 | 13,58 | 93,0 | 18,0 |

умовах в Північній підзоні (на прикладі Дніпра) в 1,63-1,65 разів, в Центральній підзоні – в 1,41-1,54 рази і в Південній підзоні – в 1,47- 1,68 рази. Відносна площа листя буде становити від 2,25 до 2,81 м²/м². Такий рівень розвитку асиміляційної поверхні забезпечить високий в порівнянні з багаторічним рівень приростів рослинної маси (від 11,22 до 14,88 г сухої маси/м² за добу).

Завдяки значним приростам загальної сухої маси і розвитку площі листя при реалізації кліматичних сценаріїв сформується значний у порівнянні із середнім багаторічним фотосинтетичний потенціал посівів за вегетаційний період. Він буде дорівнювати для Північної підзони 108,4-115,3 м²/м² за вегетаційний період. Дещо меншим він буде для Центральної та Південної підзон (93,0-

97,7 м²/м² за вегетаційний період), що майже в 1,5 рази перевищує рівень фотосинтетичного потенціалу посівів при середніх багаторічних умовах.

Як наслідок значних відмінностей у показниках фотосинтетичної діяльності посівів вівса в сценарних умовах в порівнянні із середнім багаторічними умовами сформується і відмінності в урожаї зерна. При реалізації кліматичних сценаріїв урожай зерна буде в 1,26-1,32 рази вище, ніж отриманий при середніх багаторічних умовах (табл.3).

Наявність сценаріїв зміни клімату (RCP4.5 і RCP8.5) і динамічної моделі формування врожаю вівса дозволило побудувати картосхеми очікуваної урожайності культури вівса в Степовій зоні України.

Як видно з рис.1, ізолінії рівних значень

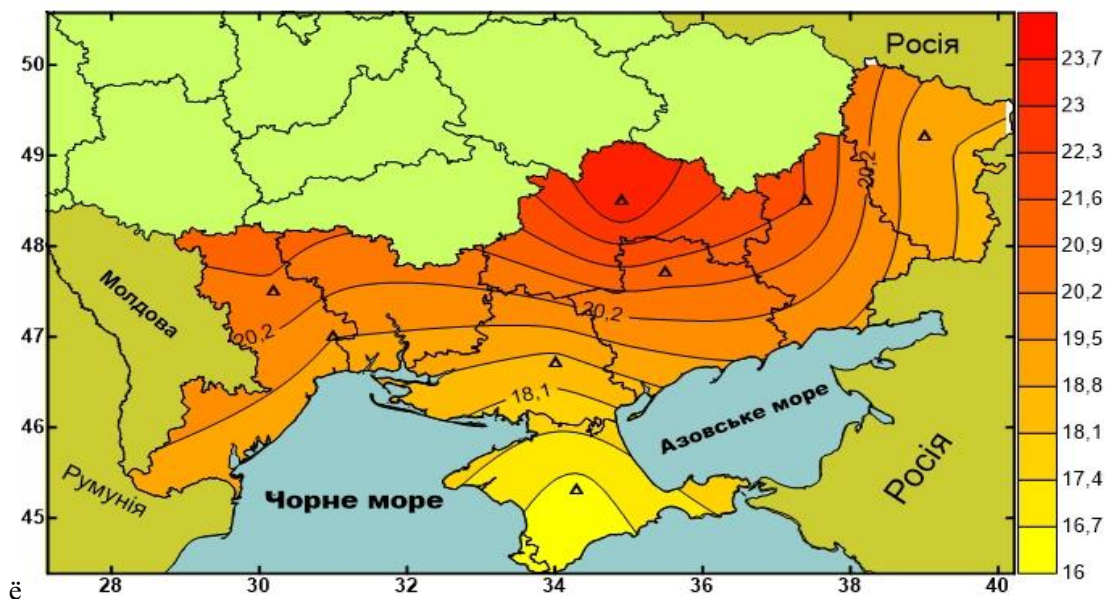


Рис. 1 – Очікувана урожайність вівса (ц/га) в Степовій зоні України за сценарієм RCP4.5
урожайності змінюються переважно в широтному напрямку і тільки в східній частині Степової зони їх напрямок змінюється на меридіональне, зі зменшенням урожаю в східному напрямку. При реалізації сценарію RCP4.5 максимальні урожаї (22,3-23,7 ц/га) очікуються в північній частині степової зони, в центральній частині вони будуть коливатися в межах 19,5-20,2 ц/га, а в південній частині складуть від 16,7 до 18,8 ц/га.

На рис. 2 показано, який рівень урожаю очікується при реалізації кліматичного сценарію RCP8.5. Розташування ізоліній рівних значень урожайності дуже близьке до показаних на рис.1, але рівень урожайності буде нижче. Максимальні значення урожаю будуть спостерігатися на півночі Степової зони і складуть 20,9-22,1 ц/га. Дещо нижчим

буде рівень урожаю в центральній частині Степової зони, в південній частині він також буде нижчим і складатиме 15,5-17,9 ц/га.

Отримані результати показують, що при реалізації кліматичних сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 і ранніх (в порівнянні з багаторічними) строках сівби культури очікується зміщення термінів появи сходів і збільшення тривалості всього вегетаційного періоду, а також підвищення рівня урожайності. Зіставлення отриманих результатів з результатами інших авторів буде дещо складним. Це пояснюється тією обставиною, що при оцінці впливу кліматичних змін на процес формування урожаю використовуються різні кліматичні сценарії і різні моделі, що відрізняються як повнотою опису процесів, так використанням різної вхідної інформації.

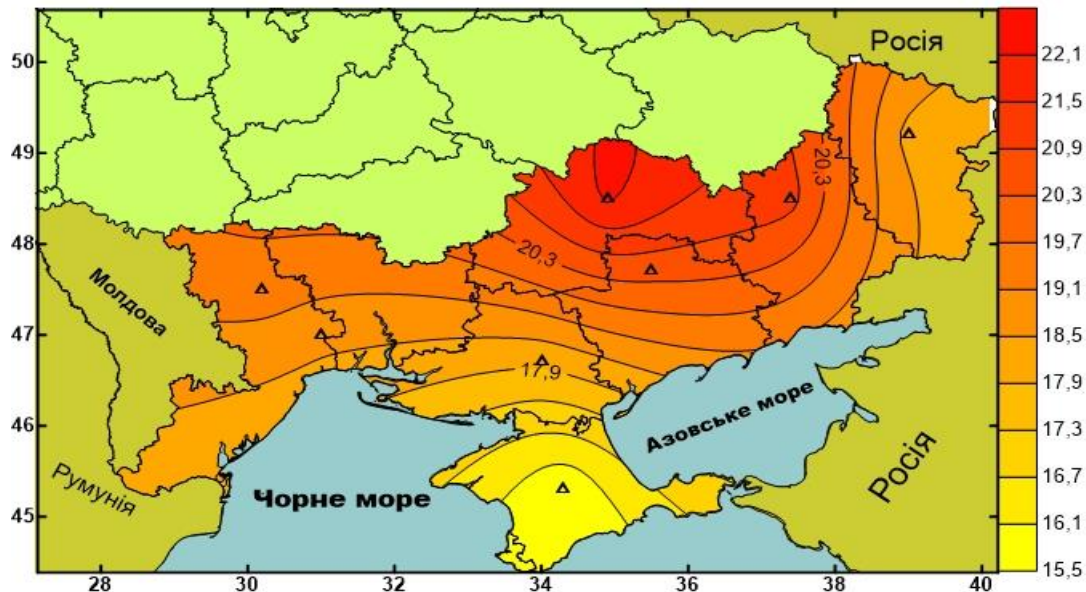


Рис. 2 – Очікувана урожайність вівса (ц/га) в Степовій зоні України за сценарієм RCP8.5

Для умов України було виконано таке дослідження [5] стосовно до культури вівса. Використана при цьому динамічна модель формування урожаю вівса була близька за структурою до тієї, яка використовується нами, однак, в якості кліматичного сценарію було взято сценарій GFDL, 30% (модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США), який звісно різниться від кліматичних сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5. Разом з тим зазначалося, що найменше збільшення врожаїв відбудеться в Одеській, Миколаївській та Херсонській областях, що узгоджується з нашими результатами. Зазначалося, що більше підвищення врожайності відбудеться в центральній і східній частині Степу. Част-

ково, в якісному відношенні це збігається з нашими результатами. При цьому розглядався період 2030-2040 рр.

В роботі [3] вивчалася оцінка зміни термінів основних фенологічних фаз ярих зернових культур в Північній і Центральній Європі в умовах зміни клімату з використанням статистичної моделі, заснованої на ЕСНАМ5 - кліматична модель за сценарієм викидів А1В для 2031-2050 рр. Дані по вівсу охоплюють широти від 46 до 64 ° північної широти. Зміни термінів настання фаз розвитку злаків до 2040 року були оцінені для двох прогнозів кліматичних моделей відповідно з визначеними залежностями від температури і тривалості світлового дня, які

спостерігаються. Термін посіву ярих зернових оцінювали по пороговій температурі повітря за 10 днів до посіву. Середні розрахункові порогові значення температури для посіву становили 6,1; 7,1 і 10,1 °С для вівса, пшениці і кукурудзи відповідно. Для ярого вівса і пшениці температурний поріг збільшувався з широтою. Результати показали збільшення строків сівби ярих зернових на 1-3 тижні в залежності від кліматичної моделі і регіону в Європі. Зміни були найбільшими в Північній Європі. Фази цвітіння і дозрівання були збільшені на 1-3 тижні.

Отримані в наших розрахунках результати добре узгоджуються з цими даними [3]. Отримані оцінки свідчать про збільшення тривалості вегетаційного періоду на 14-15 днів для північної частині степової зони України і 6-9 днів для решти. Ці ж результати добре узгоджуються і з даними, отриманими в умовах Фінляндії [15], де в зв'язку зі зміною клімату очікується подовження вегетаційного періоду і на широті 60° північної широти рівень врожайності вівса підвищиться від 4,4 т/га 1985 року до 6,4-6,5 т/га в 2025 і до 8,2-8,8 т/га до 2055 року.

Велика частина досліджень, присвячених оцінці впливу кліматичних змін на формування врожаю ярих зернових культур відноситься до ярої пшениці, ярому ячменю,

кукурудзи. Показано, що зміна клімату і прогнозоване підвищення температури роблять значний вплив на сільськогосподарське виробництво і фенологію сільськогосподарських культур [12; 19].

У виконаному [15] дослідженні стосовно культур ячменю і вівса встановлена негативна реакція на високі температури на ранніх і середніх етапах розвитку рослин.

В роботі [18] встановлено, що відбувається скорочення періоду наливу зерна ячменю і вівса при підвищених температурах повітря. Температура надавала найсильніший вплив на тривалість наливу зерна.

У дослідженні [19] встановлено, що для пшениці (в умовах Монтани, США) більш високі температури в березні (що призводять до більш ранніх строків сівби) сприяли підвищенню врожайності пшениці, але більш високі температури в липні знижували врожайність.

Отримані нами результати в якісному відношенні узгоджуються з даними, що відносяться до таких культур як яра пшениця та ярий ячмінь. Як показано в табл.2, при підвищених температурах (середньобагаторічні варіанти) урожайність вівса знижується, а при ранніх строках сівби складаються більш сприятливі умови для зростання і розвитку рослин.

Висновки

Агрокліматичні умови формування культури вівса в Степовій зоні України при реалізації кліматичних сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 і ранніх (в порівнянні з багаторічними) строках сівби будуть сприятливими для вирощування вівса.

Строки сівби культури і появи сходів змістяться на більш ранні терміни, що дозволить більш ефективно використовувати накопичену за зимовий період вологу.

Очікуються сприятливіші умови для формування сходів, зростання і розвитку рослин в період сходи – викидання волоті. Вологозабезпеченість першого періоду вегетації буде значно вище, ніж в середні багаторічні роки.

Розрахунки показують, що агрокліматичні умови другої половини вегетаційного періоду вівса будуть складатися із низькою

температурою і нерівномірному зволоженні по території. Забезпеченість вологою знизиться до 66-70% в Північній і Південній підзоні і до 91-96% - в Центральній підзоні.

Зміна агрокліматичних умов при реалізації кліматичних сценаріїв призведе до зміни показників фотосинтетичної діяльності посівів вівса: зросте відносна площа листя, збільшаться прирости загальної рослинної маси, виросте фотосинтетичний потенціал посівів за вегетаційний період.

Встановлено, що рівень очікуваної урожайності вівса в Степовій зоні України при реалізації кліматичних сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 і ранніх строках сівби буде вище, ніж одержуваний при середніх багаторічних умовах.

Побудовано картосхеми очікуваної врожайності вівса в Степовій зоні України.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Література

1. Peltonen-Sainio, Jauhiainen L., Hakala K. and Ojanen H. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science*. 2009. Vol. 18: 171–190. URL: <https://journal.fi/afs/article/view/5948>
2. Mohammadreza Mohammadi, John Finnan, Chris Baker, Mark Sterling. The Potential Impact of Climate Change on Oat Lodging in the UK and Republic of Ireland. *Advances in Meteorology*. 2020. 16 p. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/4138469>
3. Olesen J.E., Børgesen C.D., Elsgaard L., Palosuo T., Rötter R.P., Skjelvåg A.O., Peltonen-Sainio P., Börjesson T., Trnka M., Ewert F. and Siebert S. Changes in time of sowing, sowing and maturity of cereals in Europe under climate change. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2012. Vol.29. No 10. P. 1527-1542. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19440049.2012.712060>
4. Katherine Klink, Jochum J. Wiersma, Christopher J. Crawford, Deon D. Stuthman.. Impacts of temperature and precipitation variability in the Northern Plains of the United States and Canada on the productivity of spring barley and oat. *International Journal of Climatology*. 2013. URL: <https://doi.org/10.1002/joc.3877>
5. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: монографія. За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: «Екологія», 2011. 696 с. URL: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/otsinka-applyvu-klimatichnih-zmin-close.pdf>
6. Степаненко С.М., Польовий А.М. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія. За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: «ТЕС», 2018. 548 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/337656542_Klimaticni_riziki_funkcionuvanna_galuzej_ekonomiki_Ukraini_v_umovah_zmini_klimatu
7. Адаменко Т.І., Кульбіда М.І., Прокопенко А.Л. Агрокліматичний довідник по території України. За ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіди, А. Л. Прокопенко. Житомир: «Полісся», 2019. 82 с.
8. Полевой А.Н., Кульбида Н.И. Моделирование формирования урожая озимой пшеницы в период весенне-летней вегетации в Украине. *Метеорология, климатология и гидрология*. 2001. № 43. С. 127-135.
9. Менжулин Г.В. Методы расчета фотосинтеза растительных сообществ при достаточном увлажнении. *Труды ГГО*. 1986. Вып. 229. С. 81-103.
10. Росс Ю.К., Бихеле З.Н. Расчет фотосинтеза растительного покрова. В кн.: Фотосинтез и продуктивность растительного покрова. Тарту: Изд. ИФА АН ЭССР. 1968. С. 46-74.
11. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 318 с.
12. McCree K. J. Anequation for the rate of respiration of white clover plants growth under controlled condition. In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity. Wageningen, Pudoc. 1970. P. 221-229.
13. Curry R. B. 1971. Dynamic simulation of plant growth. 1.Development of a model. *Trans. ASAE*, Vol. 14, №5. P. 946-959. URL: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=38428&CID=t1971&v=14&i=5&T=1>
14. Льбіна А.О. Морфологічні особливості формування пагону вівса посівного (*Avena Sativa*) в умовах Півдня України. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 60-74 URL: Retrieved from http://eprints.library.odeku.edu.ua/7172/1/uhmj_25_2020_74.pdf
15. Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Hakala K. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *J. Agric. Sci.* 2011. Vol. 148. P. 49 – 62. URL: https://www.researchgate.net/publication/231928517_Crop_responses_to_temperature_and_precipitation_according_to_long-term_multi-location_trials_at_high-latitude_conditions
16. Marcinkowski P. Piniewski M.. Effect of climate change on sowing and harvest dates of spring barley and maize in Poland. *International Agrophys.* 2018. Vol. 32 No 2. P. 265–271. URL: https://www.researchgate.net/publication/324751900_Effect_of_climate_change_on_sowing_and_harvest_dates_of_spring_barley_and_maize_in_Poland
17. Sulek A. Influence of sowing and harvest date on grain yield and protein content in grain of spring wheat cv. Nawra (in Polish). *Fragm. Agron.* 2009. Vol. 26. No 2. P. 138-14.
18. Schelling K, Born K, Weissteiner C, Kühbauch W. Relationships between yield and quality parameters of malting barley (*Hordeum vulgare* L.) and phenological and meteorological data. *J. Agron. Crop Sci.* 2003. Vol.189.P. 113– 122. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1439-037X.2003.00011.x>
19. Lanning S.P., Kephart K., Carlson G.R., Eckhoff J.E., Stougaard R.N., Wichman D.M., Martin J.M., Talbert L.E. Climatic change and agronomic performance of hard red spring wheat from 1950 to 2007. *Crop. Sci.* 2010. Vol.50. P. 835-841. URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2009.06.0314>

References

1. Peltonen-Sainio, Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. (2009). Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science*, 18, 171–190. Retrieved from <https://journal.fi/afs/article/view/5948>

2. Mohammadreza Mohammadi, John Finnan, Chris Baker & Mark Sterling. (2020). The Potential Impact of Climate Change on Oat Lodging in the UK and Republic of Ireland. *Advances in Meteorology*. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2020/4138469>
3. Olesen, J.E., Børgesen, C.D., Elsgaard, L., Palosuo, T., Rötter, R.P., Skjelvåg, A.O., Peltonen-Sainio, P., Börjesson, T., Trnka, M., Ewert, F. & Siebert, S. (2012). Changes in time of sowing, sowing and maturity of cereals in Europe under climate change. *Food Additives Contaminants, Part A*, 29(10), 1527-1542. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19440049.2012.712060>
4. Katherine Klink, Jochum J. Wiersma, Christopher J. Crawford, Deon D. Stuthman. (2013). Impacts of temperature and precipitation variability in the Northern Plains of the United States and Canada on the productivity of spring barley and oat. *International Journal of Climatolgy*. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/joc.3877>
5. Stepanenko, S.M. & Polevoy, A.M. (2011). *Assessment of the flow of climatic changes on the galuzy of the economy of Ukraine*. Odessa: " Ecology " Retrieved from <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/otsinka-vplyvu-klimatichnih-zmin-close.pdf> (in Ukrainian).
6. Stepanenko, S.M. & Polevoy, A.M. (2018). *Climatic risks of functioning of branches of economy of Ukraine in the conditions of climate change: monograph*. Odessa: "TEC" (in Ukrainian). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/337656542_Klimaticni_riziki_funkcionuvanna_galuzej_ekonomik_i_Ukraini_v_umovah_zmini_klimatu
7. Adamenko, T.I., Kulbida, M.I. & Prokopenko, A.L. (2019). *Agroclimatic assistant on the territory of Ukraine*. Zhytomyr: "Polisya" (In Ukrainian).
8. Polevoy, A.N. & Kulbida, N.I. (2001). Modeling the formation of winter wheat yield during the spring-summer growing season in Ukraine. *Meteorology, climatology and hydrology.*, 43, 127-135. (in Russian).
9. Menzhulin, G.V. (1986). Methods for calculating photosynthesis of plant communities with sufficient moisture. *Proceedings of MGO*, (229), 81-103. (in Russian).
10. Ross, J.K. & Bihele, Z.N. (1968). *Calculation of plant cover photosynthesis*. In: Photosynthesis and productivity of plant cover. (pp. 46-74). Tartu: ИФА АН ЭССР. (in Russian).
11. Polevoy, A.N. (1988). *Applied modeling and forecasting of crop productivity*. L.: Hydrometeoizdat (in Russian).
12. McCree, K. J. (1970). Anequation for the rate of respiration of white clover plants growth under controlled condition. In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity. (pp.221-22). Wageningen, Pudoc.
13. Curry, R. B. (1971). Dynamic simulation of plant growth. 1. Development of a model. *Trans. ASAE*, 14(5), 946-959. Retrieved from <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=38428&CID=t1971&v=14&i=5&T=1>
14. Ilina, A.O. (2020). Morphological features of shoot formation of sowing oats (*Avena Sativa*) in the conditions of the South of Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (25), 60-74. Retrieved from http://eprints.library.odeku.edu.ua/7172/1/uhmj_25_2020_74.pdf (In Ukrainian).
15. Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hakala, K. (2011). Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *J. Agric. Sci*, 148, 49–62. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/231928517_Crop_responses_to_temperature_and_precipitation_according_to_long-term_multi-location_trials_at_high-latitude_conditions
16. Marcinkowski, P. & Piniewski, M. (2018). Effect of climate change on sowing and harvest dates of spring barley and maize in Poland. *International Agrophys*, 32(2), 265–271. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/324751900_Effect_of_climate_change_on_sowing_and_harvest_dates_of_spring_barley_and_maize_in_Poland
17. Sulek, A., (2009). Influence of sowing and harvest date on grain yield and protein content in grain of spring wheat cv. Nawra. *Fragm. Agron.*, 26(2), 138-14. (in Polish).
18. Schelling, K., Born, K., Weissteiner, C. & Kühbauch W. (2003). Relationships between yield and quality parameters of malting barley (*Hordeum vulgare* L.) and phenological and meteorological data. *J. Agron. Crop Sci.*, 189, 113–122. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1439-037X.2003.00011.x>
19. Lanning, S.P., Kephart, K., Carlson, G.R., Eckhoff, J.E., Stougaard, R.N., Wichman, D.M., Martin, J.M. & Talbert L.E. (2010). Climatic change and agronomic performance of hard red spring wheat from 1950 to 2007. *Crop. Sci.*, 50, 835-841. Retrieved from <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2009.06.0314>

Надійшла: 16.10.2020

Прийнято: 27.11.2020