

УДК 633.31:  
631.5:504 (477.7)  
© 2025

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗЕЛЕНОЇ МАСИ ЛЮЦЕРНИ НА НЕПОЛИВНИХ І ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН**

*Р.А. Вожегова<sup>1</sup>, Т.С. Жигайло<sup>2</sup>, О.Л. Жигайло<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН*

*<sup>2</sup>кандидат сільськогосподарських наук*

*<sup>3</sup>кандидат географічних наук*

*<sup>1,2</sup>Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства*

*Національної академії аграрних наук України*

*вул. Маяцька дорога, 24, с-ще Хлібодарське*

*Одеського р-ну Одеської обл., 67667, Україна*

*<sup>3</sup>Одеський національний університет імені І.І. Мечникова*

*Міністерства освіти і науки України*

*вул. Всеволода Змієнка, 2, Одеса, 65082, Україна*

*e-mail: <sup>1</sup>icsanaas@ukr.net, <sup>2</sup>Fanenger@gmail.com, <sup>3</sup>elenajigaylo@gmail.com*

*ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-3895-5633, <sup>2</sup>0000-0002-9580-5922, <sup>3</sup>0000-0002-3552-327X*

Надійшла 24.04.2025

**Мета.** Оцінити результати математичного моделювання продуктивності посівів і врожайності зеленої маси люцерни на чорноземах південних важкосуглинкових за сценарієм кліматичних змін RCP8.5 у неполивних і поливних умовах Південного Степу України. **Методи.** Сценарій змін клімату RCP8.5 — для прогнозування водно-теплогового режиму, математичне моделювання — для проведення чисельних розрахунків та аналізу отриманих результатів досліджень. **Результати.** Очікуємо, що в період досліджень у 2031 – 2050 рр. на неполивних землях Південного Степу в I міжукісний період будуть хороші агрокліматичні умови, які сприятимуть формуванню врожайності зеленої маси на рівні 27,9 т/га. У II міжукісний період через збільшення температури повітря (середня максимальна температура — 30,3 проти 21,8 °С) та зменшення кількості опадів (65 проти 113 мм) урожайність становитиме 16,4 т/га. Дуже спекотні умови (збільшення середньої максимальної температури до 34,6 °С, зменшення кількості опадів до 20 мм) III міжукісного періоду сприятимуть отриманню врожайності на рівні лише 2,3 т/га. На поливних землях, за підтримки запасів продуктивної вологи на рівні 75% НВ в шарі ґрунту товщиною 0 – 100 см, урожайність у всі 3 періоди зростатиме: 1-го укосу — до 30,0 т/га, 2-го — до 32,8 т/га, 3-го — до 10,6 т/га. **Висновки.** В Південному Степу України на чорноземах південних за реалізації сценарію змін клімату RCP8.5 в агрокліматичних умовах весняно-літнього періоду вегетації люцерни на неполивних землях спостерігатимуться втрати врожаю зеленої маси через сильну посуху

**у II міжукісному періоді й дуже сильну посуху в III міжукісному періоді (50 і 78% відповідно). Вирощування люцерни на поливних землях сприятиме підвищенню в 1,5 раза врожаю зеленої маси, загалом за вегетацію він становитиме 73,4 т/га.**

**Ключові слова:** люцерна, врожайність зеленої маси, сценарій змін клімату, агрокліматичні умови, зрошування.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202509-04>

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Люцерна посівна — одна з найбільш продуктивних і цінних кормових культур, яка здатна в більшості регіонів допомогти розв'язати проблеми усунення дефіциту рослинного білка в раціоні тварин. За якістю білка й умістом незамінних амінокислот вона перевищує більшість кормових культур. Люцерна як бобова культура має велике екологічне значення, оскільки завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями здатна накопичувати біологічний азот з атмосфери, що істотно збільшує вміст органічної речовини в ґрунті, покращує його водно-фізичні й агрохімічні властивості [1, 2].

У південному регіоні країни на другий рік життя люцерни проводять 3 укоси. Для отримання стабільного врожаю необхідно, щоб вологість у прикореневому шарі ґрунту була в межах 75% НВ. У посушливих умовах Південного Степу завжди спостерігається дефіцит вологи в ґрунті, тому важливішим заходом щодо її накопичення є зрошування, яке дає змогу підтримувати вологість ґрунту на потрібному для люцерни оптимальному рівні й цим створює сприятливі умови для нормального росту та розвитку рослин [3–5]. Сучасні дослідження вчених указують на те, що в майбутньому частота екстремальних погодних умов, а саме посух, збільшуватиметься. Іде пошук адаптивних методів ведення землеробства в умовах кліматичних змін [6–10].

Застосування математичного моделювання для оцінювання впливу клі-

матичних змін на продукційні процеси, які відбуваються в сільськогосподарських культурах, стає невід'ємною частиною сучасних наукових досліджень. Цей підхід забезпечує глибоке розуміння взаємозв'язку між погодними умовами та врожайністю, що дає змогу формувати ефективні стратегії адаптації агровиробництва до мінливих кліматичних чинників. Розвиток методів моделювання в аграрній науці відкриває нові можливості для всебічного аналізу процесів росту й розвитку рослин, а також сприяє отриманню більш точних прогнозів продуктивності культур. Особливо це актуально в разі використання багатofакторних моделей, що враховують широкий спектр екологічних та агротехнічних параметрів, які впливають на розвиток агро-екосистем. Навіть базові інструменти прогнозування врожаю сприяють покращенню управлінських рішень у сільському господарстві, надаючи точнішу оцінку майбутньої продуктивності культур. Високоточні імітаційні моделі не лише оптимізують агротехнології, а й уможливають ефективніше управління ризиками, що сприяє підвищенню стійкості та прибутковості аграрного сектору в умовах кліматичних викликів [11–14].

**Мета досліджень** — оцінити результати математичного моделювання продуктивності посівів і врожайності зеленої маси люцерни на чорноземах південних важкосуглинкових за сценарієм кліматичних змін RCP8.5 у неполивних і поливних умовах Південного Степу України.

**Матеріали та методи досліджень.** Проведено дослідження формування продуктивності та врожайності зеленої маси люцерни за допомогою математичної моделі «Формування продуктивності сільськогосподарських культур в умовах зрошення», модифікованої для культури люцерни посівної. Структура моделі визначається з урахуванням закономірностей формування гідрометеорологічного режиму в системі «грунт — рослина — атмосфера» та біологічних уявлень про ріст і розвиток сільськогосподарських культур під впливом чинників зовнішнього природного середовища. В основі моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового й водного балансів, балансу біомаси в рослинному покриві. Основні концептуальні положення такі: за генотипом і чинниками зовнішнього природного середовища визначають ріст і розвиток рослин, далі ріст рослин (накопичення сухої біомаси) моделюють завдяки розподілу продуктів фотосинтезу й поглинутих елементів мінерального живлення з урахуванням потреб для росту рослин, а також радіаційний, тепловий і водний режими системи «грунт — рослина — атмосфера» та мінеральне живлення рослин. Структура моделі складається із 7 блоків: вхідної інформації, радіаційного та теплового режимів, водного режиму, мінерального живлення, фотосинтезу, дихання, росту й розподілу асимілятів.

Для моделювання й аналізу змін водно-теплового режиму в разі можливих змін клімату використовують сучасний сценарій сімейства RCP (Representative Concentration Pathways — Репрезентативні траєкторії концентрацій) — RCP8.5, що належить до сценарію високих рівнів викидів парникових газів. За математичною моделлю MODSOL-6, алгоритм якої описано в монографії [15], проведено чисельні розрахунки продуктивності посівів і врожайності зеленої маси люцерни у 3 міжукісних

періодах у 1986–2005 рр., що є базою, а у 2031–2050 рр. виконуватимуть за сценарієм RCP8.5 з урахуванням достовірності розрахунків фактичної та прогнозованої продуктивності й індексу листової поверхні люцерни. Використано такі агрокліматичні показники: середню температуру повітря, середню максимальну температуру повітря, суму опадів, середню тривалість сонячного сяйва, середній дефіцит насичення повітря водяною парою, найменшу вологоємність продуктивної вологи в ґрунті, запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту (чорнозем південний важкосуглинковий), фази розвитку люцерни (відновлення вегетації навесні та після укосів, бутонізацію, цвітіння).

**Результати досліджень.** *Агрокліматичні умови вирощування люцерни.* Аналіз агрокліматичних умов I міжукісного періоду вегетації люцерни показав, що температурний режим за сценарієм змін клімату RCP8.5 майже не відрізнятиметься від базового. Середня температура повітря очікується на 0,5 °C нижчою за базову, а максимальна температура буде на 0,4 °C вищою. За період від відновлення вегетації навесні до масової бутонізації сума ефективних температур становитиме 434 °C (табл. 1).

Згідно з показниками суми опадів і сумою середніх дефіцитів насичення повітря водяною парою, за сценарієм, сума опадів очікуватиметься більшою за базову (126%), а дефіцит вологості повітря буде меншим за базовий і становитиме 85%. Тобто температурний режим I міжукісного періоду на Півдні України очікується на рівні базового, умови зволоження покращаться.

Показники теплового режиму II міжукісного періоду порівняно з I зростають. У базовому періоді середня температура повітря підвищується на 5,8 °C, а середня максимальна — на 9,1 °C. Від відростання після 1-го укосу до початку цвітіння сума ефективних температур

**1. Агрокліматичні показники водно-теплого режиму за весняно-літній період вегетації люцерни (2-й рік життя)**

Кліматичний період, рр.	Показники водно-теплого режиму					Номер укусу
	$T_{\text{сєр.}}$ , °C	$T_{\text{мак.}}$ , °C	$\Sigma T_{\text{єф.}}$ , °C	$\Sigma R$ , мм	$\Sigma d$ , мм	
1986–2005	12,3	21,4	436	90	42	1
2031–2050	11,8	21,8	434	113	36	
1986–2005	18,1	30,5	628	78	48	2
2031–2050	17,3	30,3	633	65	46	
1986–2005	17,3	33,1	761	56	64	3
2031–2050	19,0	34,6	755	20	82	

Примітка:  $T_{\text{сєр.}}$ , °C — середня температура повітря,  $T_{\text{мак.}}$ , °C — середня максимальна температура повітря,  $\Sigma T_{\text{єф.}}$ , °C — сума ефективних температур,  $\Sigma R$ , мм — сума опадів,  $\Sigma d$ , мм — сума середніх дефіцитів вологи повітря.

збільшується на 192 °C. Режим зволоження стає більш посушливим, зростає сума середніх дефіцитів вологості повітря. Температурний режим II міжукісного періоду, за сценарієм, очікується зниженням порівняно з базовим. Середня температура повітря буде на 1,2 °C меншою за базову. Спостерігатиметься зменшення кількості опадів (65 проти 78 мм). У III міжукісний період сума ефективних температур за період відростання після 2-го укусу до масової бутонізації порівняно із сумою I міжукісного періоду збільшується на 325 °C, II — на 133 °C. У цей період середня максимальна температура на 11,7 °C вища за температуру I міжукісного періоду та на 2,6 °C — ніж у II міжукісному періоді. Через високі максимальні температури в цей період дефіцит вологості повітря порівняно з попередніми зростає в 1,5 раза. Сума опадів зменшується, відповідно, на 38 і 28%.

За сценарієм RCP8.5 III міжукісний період очікується дуже спекотним. Середня температура повітря збільшуватиметься порівняно з температурою I міжукісного періоду на 7,2 °C, а II — на 1,7 °C, що призведе до критичного зростання дефіциту вологи в повітрі. Кількість опадів порівняно з попередніми періодами становитиме 18 і 31%

відповідно. Порівняно з кліматичними умовами базового періоду, за сценарієм, III міжукісний період має бути більш спекотним. Температурний режим буде підвищеним на 1,7 та 1,5 °C відповідно. Дефіцит вологи в повітрі зростатиме (82 проти 64 мм). Кількість опадів зменшиться у 2,5 раза порівняно з базовою.

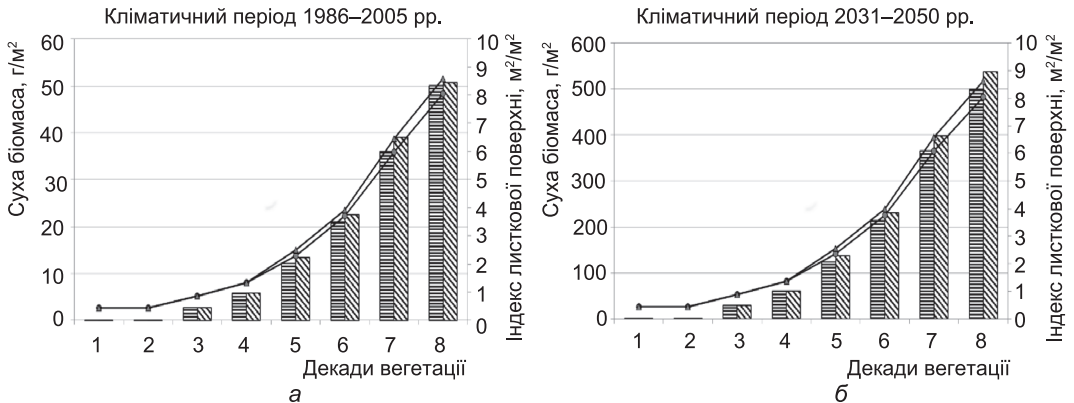
*Аналіз продуктивності посівів люцерни посівної.* Нами проведено чисельні розрахунки продуктивності люцерни посівної, яка вирощується на неполивних і зрошуваних землях. Розглядали такі варіанти:

Для I міжукісного періоду: варіант IA — без зрошування, варіант IIA — 1 вегетаційний полив у фазі початку росту стебла нормою 600 м<sup>3</sup>/га.

Для II міжукісного періоду: варіант IB — без зрошування, варіант IIB — 2 вегетаційних поливи: 1-й — після першого укусу; 2-й — за 10 днів до бутонізації нормою 500 м<sup>3</sup>/га.

Для III міжукісного періоду: варіант IB — без зрошування, варіант IIB — 3 вегетаційних поливи: 1-й — після 2-го укусу; 2-й — через 10 днів після 1-го поливу; 3-й — через 10 днів після 2-го поливу нормою 600 м<sup>3</sup>/га.

Залежно від агрокліматичних умов і меліоративних заходів за час вегетації, від її відновлення навесні до 3-го укусу,



**Рис. 1.** Динаміка показників продуктивності люцерни I міжукісного періоду в агрокліматичних умовах: а – базовий період, б – сценарій RCP8.5; ▒ – біомаса (без зрошування), ▨ – біомаса (зрошування), → – площа листя (без зрошування), ▲ – площа листя (зрошування) для рис. 1–3

рослини люцерни формують різну продуктивність. У період від відновлення вегетації до бутонізації на неполивних землях на момент 1-го укосу індекс листкової поверхні становив 8 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> (рис. 1, а), а суха біомаса — 499,9 г/м<sup>2</sup>. Найбільші прирости біомаси приходилися на 8-му та 9-ту декади вегетації. За сценарієм змін клімату RCP8.5 (рис. 1, б), завдяки більш сприятливим умовам водно-теплового режиму на початку росту рослини нарощуватимуть більшу біомасу, але на момент укосу індекс листкової поверхні не буде істотно відрізнятися від показника в I кліматичному періоді, максимуми біомаси на час укосу та в базовий період майже не відрізнятимуться (498,97 проти 499,9 г/м<sup>2</sup>).

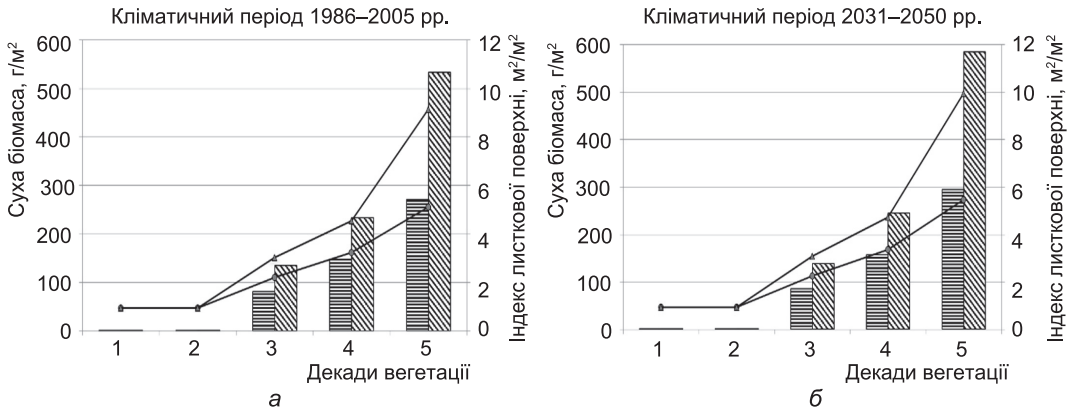
На зрошуваних землях в агрокліматичних умовах базового періоду продуктивність посівів є більшою (507,2 проти 499,9 г/м<sup>2</sup>). За сценарієм, за зрошування тією самою нормою і в ті самі терміни продуктивність буде вищою і за базову на поливних землях (537,31 проти 507,21 г/м<sup>2</sup>), і за сценарну на неполивних (537,31 проти 498,97 г/м<sup>2</sup>).

За сценарієм RCP8.5, у 2031–2050 рр. у період від відростання після 1-го укосу до початку цвітіння (рис. 2, б)

завдяки більш сприятливим агрокліматичним умовам, ніж у базовий період (1985–2005 рр.), очікуватиметься формування більшої площі листя, більшим буде також обсяг біомаси. На момент 2-го укосу індекс листкової поверхні дорівнюватиме 5,48 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, суха біомаса становитиме 294,41 г/м<sup>2</sup>.

На поливних землях у II міжукісний період як у базовий кліматичний період (рис. 2, а), так і в прогнозованій (рис. 2, б) продуктивність посівів значно зростає, майже у 2 рази порівняно з неполивними умовами. На час укосу індекс листкової поверхні в першому випадку дорівнює 9,15 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, у другому — 9,94 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Суха біомаса рослин збільшується, відповідно, з 271,47 до 533,39 г/м<sup>2</sup> та з 294,41 до 584,75 г/м<sup>2</sup>. III міжукісний період люцерни припадає на самий спекотний час (кінець липня — середину серпня). В цей період у Південному Степу рослини відчувають дефіцит вологи, що істотно впливає на їх продуктивність.

В агрокліматичних умовах базового кліматичного періоду з моменту відростання після 2-го укосу до масової бутонізації рослин максимальні прирости біомаси становлять 22–28 г/м<sup>2</sup>, на час укосу продуктивність посівів є низькою, індекс листкової поверхні дорівнює 2,17 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> (рис. 3, а),



**Рис. 2. Динаміка показників продуктивності люцерни II міжукісного періоду в агрокліматичних умовах**

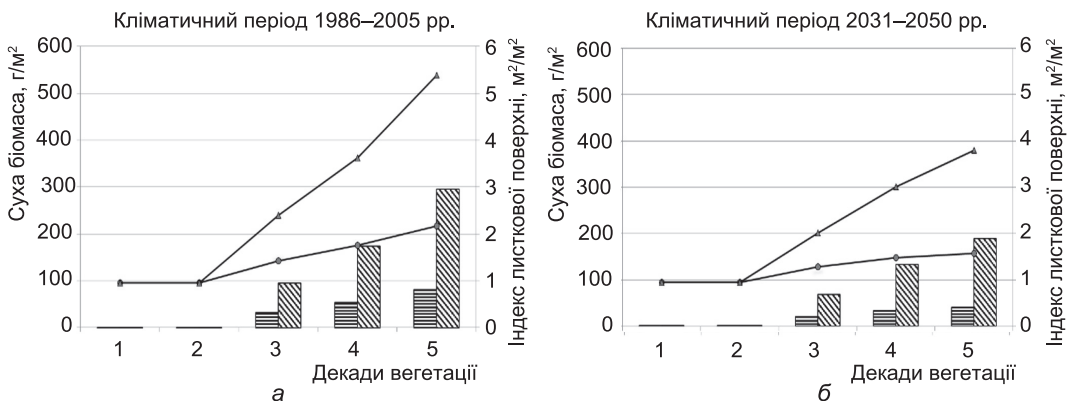
суха біомаса становить 81,21 г/м². За сценарними агрокліматичними умовами цей період очікується ще більш спекотним і сухим, що сприятиме зниженню продуктивності посівів майже у 2 рази за базову. Індекс листкової поверхні дорівнюватиме 1,57 м²/м², суха біомаса становитиме лише 40,66 г/м² (рис. 3, б).

У цей період для оптимального вологозабезпечення посівів та ефективного росту й розвитку рослин необхідне зрошування. В поливних умовах базового кліматичного періоду індекс листкової поверхні зростає більш як у 2 рази. На час укусу він дорівнює 5,39 м²/м², а за сценарієм збільшуватиметься до 3,8 проти 1,57 м²/м². Відповідно, зростає

(259,48 г/м²) та зростатиме (189,15 г/м²) обсяг сухої біомаси.

Аналіз урожайності зеленої маси люцерни. В агрокліматичних умовах, що очікуються за сценарієм змін клімату RCP8.5, урожай зеленої маси люцерни 1-го укусу на неполивних землях (варіант ІА) становитиме 27,9 т/га, тобто майже дорівнюватиме врожайності, що отримують у кліматичних умовах базового періоду (табл. 2).

За моделювання підтримання запасів вологи в метровому шарі ґрунту на рівні 75% НВ у варіанті ІІА з поливом отримано врожайність 30 т/га. На неполивних землях в очікуваних умовах підвищення температурного режиму та зменшення



**Рис. 3. Динаміка показників продуктивності люцерни III міжукісного періоду в агрокліматичних умовах**

## 2. Урожайність зеленої маси люцерни 2-го року життя на неполивних і поливних землях (за 3 укоси)

Кліматичний період, рр.	Урожай зеленої маси, т/га					
	1-й укос		2-й укос		3-й укос	
	Меліоративні умови					
	ВІА	ВІІА	ВІБ	ВІІБ	ВІВ	ВІІВ
1986–2005 (базовий)	28,0	28,4	15,2	29,9	4,6	16,6
2031–2050 (за сценарієм RCP8.5)	27,9	30,0	16,4	32,8	2,3	10,6

Примітка: ґрунт — чернозем південний важкосуглинковий.

кількості опадів урожайність зеленої маси 2-го укоси становитиме 16,4 т/га (ВІВ), що на 11,5 т/га менше за врожайність 1-го укоси. На поливних землях (ВІІВ) урожайність зеленої маси збільшуватиметься у 2 рази й має бути більшою за врожайність 1-го укоси (32,8 проти 30,0 т/га). Формування врожаю зеленої маси люцерни 3-го укоси очікується в умовах дуже високих температур

і дуже низької кількості опадів, що викликати зростання дефіциту вологи як у повітрі, так і в ґрунті, тобто буде надзвичайно сильна посуха. Врожай становитиме лише 2,3 т/га (ВІВ), що менше у 12 разів за врожай 1-го укоси та в 7 разів — 2-го укоси. В разі усунення ґрунтової посухи завдяки зрошуванню (ВІІВ) можна буде отримати майже в 5 разів вищий урожай люцерни.

### Висновки

У Південному Степу України за реалізації сценарію змін клімату RCP8.5, у 2031–2050 рр. на неполивних землях в період від відновлення вегетації люцерни навесні до масової бутонізації очікуються хороші агрокліматичні умови, які дадуть змогу отримувати врожай зеленої маси 1-го укоси на рівні 27,9 т/га. У період від відновлення вегетації після 1-го укоси до початку цвітіння через збільшення температури повітря (середня максимальна температура — 30,3 °С проти 21,8 °С) і зменшення кількості опадів (65 проти 113 мм) урожайність 2-го укоси становитиме 16,4 т/га. Дуже спекотні умови очікуватимуться від моменту відновлення вегетації після 2-го укоси до масової бутонізації в III міжукісному періоді (збільшення середньої максимальної температури до 34,6 °С, зменшення

кількості опадів до 20 мм), тому врожайність становитиме лише 2,3 т/га.

На поливних землях, за підтримки продуктивної вологи в шарі ґрунту товщиною 100 см на рівні 75% НВ, урожайність зеленої маси люцерни в усі 3 періоди вегетації зростатиме: 1-го укоси — до 30,0 т/га, 2-го — до 32,8 т/га, 3-го — до 10,6 т/га. У Південному Степу України за реалізації сценарію змін клімату RCP8.5 в агрокліматичних умовах весняно-літнього періоду вегетації люцерни на неполивних землях спостерігатимуться втрати врожаю зеленої маси люцерни через сильну посуху у II та III міжукісних періодах (50 і 78% відповідно). Вирощування люцерни на поливних землях сприятиме підвищенню в 1,5 раза врожаю зеленої маси, а за вегетацію він становитиме 73,4 т/га.

Voznehova R.<sup>1</sup>, Zhyghailo T.<sup>2</sup>, Zhyghailo O.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>, <sup>2</sup>*Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS, 24 Maiatska doroha Str., vil. Khlibodarske, Odesa district, Odesa oblast, 67667, Ukraine;* <sup>3</sup>*Odesa I.I. Mechnikov National University, 2 Vsevolod Zmiienko Str., Odesa, 65082, Ukraine;* e-mail: <sup>1</sup>*icsanaas@ukr.net,* <sup>2</sup>*Fanenger@gmail.com,* <sup>3</sup>*elenajigaylo@gmail.com;* ORCID: <sup>1</sup>*0000-0002-3895-5633,* <sup>2</sup>*0000-0002-9580-5922,* <sup>3</sup>*0000-0002-3552-327X*

### **Simulation of lucerne green mass productivity on non-irrigated and irrigated lands under climatic changes**

**Goal.** To evaluate the results of mathematical modeling of the productivity of crops and yield of green mass of lucerne on southern heavy-clay chomozem according to the RCP8.5 scenario of climatic changes in non-irrigated and irrigated conditions of the Southern Steppe of Ukraine.

**Methods.** The RCP8.5 scenario of climate change — to predict the water-thermal regime, mathematical modeling — to conduct numerical calculations, and analysis of the research results.

**Results.** They expect that during the research period in 2031–2050 on non-irrigated lands of the Southern Steppe in the I hay crop period, there will be good agro-climatic conditions that will contribute to the formation of green mass yields at the level of 27.9 t/ha. In the II hay crop

period, due to an increase in air temperature (average maximum temperature — 30.3 versus 21.8 °C), and a decrease in precipitation (65 versus 113 mm), the yield will be 16.4 tons/ha. Very hot conditions (an increase in the average maximum temperature to 34.6 °C, a decrease in precipitation to 20 mm) of the III hay crop period will contribute to a yield of only 2.3 tons/ha. On irrigated lands, with the maintenance of productive moisture reserves at the level of 75% of NV in the soil layer of 0–100 cm thick, the yield in all 3 periods will increase: 1st hay crop — up to 30.0 t/ha, 2nd — up to 32.8 t/ha, 3rd — up to 10.6 t/ha.

**Conclusions.** In the Southern Steppe of Ukraine, on the southern chomozem under the RCP8.5 scenario of climate change in the agro-climatic conditions of the spring-summer growing season of lucerne on non-irrigated lands, there will be losses of the yield of green mass because of severe drought in the II inter-mowing period and very severe drought in the III inter-mowing period (50% and 78% respectively). Growing lucerne on irrigated lands will increase the yield of green mass by 1.5 times; in general, for vegetation, it will be 73.4 tons/ha.

**Key words:** *lucerne, green mass yield, climate change scenario, agro-climatic conditions, irrigation.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202509-04>

## Бібліографія

1. Мельник М.В. Економічна ефективність вирощування люцерни посівної. *Таврійський науковий вісник*. 2020. 112. С. 122–129.

2. Гетман Н.Я., Квітко М.Г., Циганський В.І. Люцерна посівна: моногр. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 428 с.

3. *Агрокліматичний довідник по Херсонській області: (1986–2005 рр.); за ред. С.І. Мельничука, Т.І. Адаменко. Одеса: Астропринт, 2011. 206 с.*

4. Вожегова Р.А., Тищенко А.В., Тищенко О.Д. та ін. Особливості прояву адаптивних ознак у популяції люцерни за кормового використання. *Аграрні інновації*. 2022. 14. С. 135–144. doi: 10.32848/agra.innov.2022.14.20

5. Тищенко О. Люцерна на зрошенні. *The Ukrainian Farmer*. 2019. 12. <https://agrotimes.ua/article/lucerna-nazoshenn/>

6. Писаренко В.М., Писаренко В.В., Писаренко П.В. Управління агротехнологіями за умов посух: моногр. Полтава: ФОП Смірнов А.Л., 2020. 162 с.

7. *Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: моногр.; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: ТЕС, 2018. 548 с.*

8. Петриченко В.Ф., Гетман Н.Я., Векленко Ю.А. Обґрунтування продуктивності люцерни посівної за тривалого використання травостою в умовах зміни клімату. *Вісник аграрної науки*. 2020. 98(3). С. 20–26. doi: 10.31073/agrovisnyk202003-03

9. Xu Q., Liang H., Wei Z. et al. Assessing climate change impacts on crop yields and exploring adaptation strategies in Northeast China. *Earth's Future*. 2024. 12(4). P. 1–22. doi: 10.1029/2023EF004063

10. Polevoy A., Barsukova O., Husieva K. et al. The climate change impact on the development of droughts in Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. 25(6). P. 194–205. doi: 10.12911/22998993/187276

11. Vozhehova R., Kokovikhin S., Lykhover P. et al. Statistical yielding models of some irrigated vegetable crops in dependence on water use and heat supply. *Journal of Water and Land Development*. 2020. 45(IV–VI). P. 190–197. doi: 10.24425/jwld.2020.133494

12. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: підруч. Одеса: Екологія, 2013. 432 с.

13. Miao X., Wang G., Li R. et al. Study on modeling and evaluating alfalfa yield and optimal water use efficiency in the agro-pastoral ecotone of northern China. *Plants*. 2024. 13(2):229 doi: 10.3390/plants13020229

14. Jing Q., Qian B., Belanger G. et al. Simulating alfalfa regrowth and biomass in eastern Canada using the CSM-CROPGRO-perennial forage model. *European Journal of Agronomy*. 2019. 113:125971. doi: 10.1016/j.eja.2019.125971

15. Відновлення природно-ресурсного потенціалу та стійкості екосистем: моногр.; за заг. ред. Т.О. Чайки. Полтава: Видавництво ПП «Астра», 2023. 308 с.