СТРАТЕГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЛУЧНИХ АГРОЕКОСИСТЕМ У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМИ РОСЛИННОГО БІЛКА

УДК 633.2:631.559:662.6

БАГАТОРІЧНІ ТРАВОСТОЇ ЯК БІОЕНЕРГЕТИЧНИЙ РЕСУРС ДЛЯ СТАЛОЇ РОДЮЧОСТІ СТЕПОВИХ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ

С.О. Заєць, Р.М. Василенко, Ю.А. Векленко, Н.Я. Гетман, В.І. Циганський

DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo2025100-11

Мета. Визначити продуктивність, біоенергетичну ефективність та здатність багаторічних травостоїв різного видового складу активізувати біологічні процеси в степових ґрунтах України. **Методи.** Багаторічні польові дослідження проведено на чорноземах південних і звичайних малогумусних середньо- та важкосуглинкових у Бериславському (Херсонська обл.) та Нікопольському (Дніпропетровська обл.) районах. Вивчено три типи агроценозів: злаковий (З) (стоколос безостий, грястиця збірна, житняк ширококолосий), бобово-злаковий (БЗ) (50% люцерни + 50% злаки) та бобовий (Б) (люцерна посівна) за двох режимів зволоження: природного та зрошення (350-400 мм). Параметри продуктивності, хімічного складу, накопичення азоту, фосфору й калію в над- і підземній біомасі визначали методами агрохімічного аналізу та енергетичного балансу без застосування добрив. **Результати.** Встановлено, що Б травостої формують від 3,05 т/га (богар) до 8,01 т/га (зрошення) СР, що у 2,4-6,4 разу перевищує З. Вміст СП в Б агроценозі становив 23,3% (у 2,1 разу вище, ніж у злаковому), а забезпеченість к. од. ПП – 125-138 г. Підземна біомаса БЗ травостоїв при зрошенні сягала 10,4 т/га, що забезпечило накопичення 171 кг/га азоту, 53 кг/га P_2O_5 та 76 кг/га K_2O у шарі 0-50 см. Симбіотичний азот становив 65-73% від загального в Б і 38-43% у БЗ варіантах. $E_{коеф}$ знижується з 9,3 (Б, богар) до 4,6 (Б, зрошення), що свідчить про необхідність оптимізації водозабезпечення. **Висновки.** Б та БЗ травостої за рівня підземної біомаси ≥ 9 т/га забезпечують достатній рівень активізації біологічних процесів та відновлення родючості степових ґрунтів без азотних добрив. Запропоновано використовувати їх як основний біоенергетичний ресурс у системах сталого кормовиробництва.

Ключові слова: *багаторічні трави, агроценози, біомаса, симбіотична азотфіксація, родючість ґрунту, енергетична ефективність, зрошення.*

Заєць Сергій Олександрович, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач відділу кліматично орієнтованих технологій, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, 67667, смт. Хліодарське, Одеський район, Одеська область, Україна, https://orcid.org/0000-0001-7853-7922

Василенко Руслан Миколайович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, докторант відділу кліматично орієнтованих технологій, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, 67667, смт. Хліодарське, Одеський район, Одеська область, Україна, https://orcid.org/0009-0000-1903-4444

Векленко Юрій Анатолійович, кандидат с.-г. наук, с.н.с., завідувач відділу польових кормових культур сіножатей та пасовищ, Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, проспект Юності, 16, м. Вінниця, Україна, 21100, Xhttps://orcid.org/0000-0003-0560-261X

Гетман Надія Яківна, доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник, старший викладач кафедри рослинництва та садівництва факультету агрономії, садівництва та захисту рослин навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування, Вінницький національний аграрний університет, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008,

https://orcid.org/0000-0002-0334-2044
Циганський В'ячеслав Іванович, кандидат с.-г. наук, доцент, доцент кафедри рослинництва та садівництва факультету агрономії, садівництва та захисту рослин навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування, Вінницький національний аграрний університет, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, https://orcid.org/0000-0001-5157-9807

Вступ. Постановка проблеми. Сучасні агроекосистеми південного Степу України зазнають значного антропогенного впливу, що призводить до деградації ґрунтового покриву, зниження вмісту гумусу та дефіциту біологічно фіксованого азоту [4, 6]. Багаторічні травостої, зокрема злакові, бобово-злакові та бобові агроценози, є важливим інструментом біологізації землеробства, оскільки забезпечують виробництво високобілкової кормової сировини та відновлення родючості ґрунту [3, 5]. Накопичення біомаси цими культурами сприяє активізації мікробних процесів, підвищенню вмісту органічної речовини та формуванню резерву симбіотичного азоту, що компенсує втрати поживних елементів внаслідок інтенсивного обробітку [1, 8].

Вожегова Р.А. та співавтори [4] підкреслюють, що використання багаторічних трав у південному Степу України сприяє відтворенню родючості деградованих земель за рахунок накопичення органічної речовини. Аналогічно, Гальченко Н.М. та співавтори [5] зазначають, що високопродуктивні кормові агрофітоценози підвищують вміст поживних елементів у ґрунті. Петриченко В.Ф. та співавтори [9] акцентують на ролі природних екосистем у забезпеченні кормових ресурсів і стабілізації ґрунтових процесів, що підтверджує необхідність вивчення бобових трав. Векленко Ю.А. та Золотар В.С. [2] встановили, що лучні травостої на схилових землях Лісостепу сприяють агроекологічній стабільності, що узгоджується з нашими цілями щодо оцінки продуктивності агроценозів.

Антонів С.Ф. та співавтори [1] наголошують на інноваційних методах агробіологічного контролю для підвищення продуктивності трав, що підкреслює важливість технологічних підходів. Кургак В.Г. та співавтори [7] вказують на залежність продуктивності злакових трав від удобрення, тоді як Оліфірович В.О. та співавтори [8] відзначають вплив технологічних прийомів на видовий склад люцерно-злакових агроценозів. Векленко Ю.А. та співавтори [3] підкреслюють значення бобових трав для виробництва високобілкової сировини, що відповідає нашим спостереженням щодо їхньої ролі у підвищенні якості біомаси. Спринчук Н.А. та співавтори [10] звертають увагу на кліматичну кризу, яка ускладнює модернізацію кормовиробництва, що вимагає адаптивних технологій, таких, як зрошення. Голобородько С.П. та Димов О.М. [6] зазначають, що сучасний стан ґрунтів південного Степу потребує комплексних заходів для підвищення їхньої родючості, включаючи використання бобових компонентів.

Мета дослідження полягає у визначенні критичних запасів рослинної сировини багаторічних трав, які забезпечують активацію біологічних процесів,

відновлення та збереження родючості степових ґрунтів, а також у проведенні енергетичної оцінки технологій вирощування злакових, бобово-злакових та бобових агроценозів в умовах півдня України. Завдання включають аналіз продуктивності, накопичення біофільних елементів, симбіотичної азотфіксації та енергетичних показників за різних режимів зволоження.

Матеріали і методи. Фундаментальна частина польових досліджень проведена відділом агротехнологій Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН на дослідних ділянках Бериславського району Херсонської області та Нікопольського району Дніпропетровської області. Об'єкти дослідження розміщені на чорноземах південних і звичайних малогумусних середньо- та важкосуглинкових ґрунтах, що характеризуються такими агрохімічними параметрами: вміст гумусу – 1,9-2,3% (за Тюріним); рухомі форми фосфору – 2,5-3,0 мг/100 г; обмінного калію – 25-30 мг/100 г (за Мачигіним). Факторний експеримент передбачав два режими зволоження: 1. Природне зволоження (богарні умови); 2. Зрошення (норма поливу – 350-400 мм за сезон). Предметом досліджень були три типи багаторічних агроценозів:

1. Злаковий – стоколос безостий (*Bromus inermis* L.), грястиця збірна (*Dactylis glomerata* L.), житняк ширококолосий (*Agropyron cristatum* L.);

2. Бобово-злаковий – складені з 50% люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) та 50% злакової суміші;

3. Бобовий – люцерна посівна у чистому посіві.

Для визначення здатності агроценозів накопичувати органічну речовину та поживні елементи всі варіанти вирощували без внесення добрив на фоні природної родючості. Додаткові спостереження з відтворення лучної рослинності проводили на ділянках, виведених з орного обробітку щонайменше за два роки до початку експерименту. У кожному варіанті вивчали продуктивність (над- та підземна біомаса); вміст азоту, фосфору, калію в рослинних залишках; енергетичні затрати та енергетичні коефіцієнти; параметри симбіотичної азотфіксації (у бобових компонентах) згідно загальноприйнятих методик. Дані оброблено методами дисперсійного аналізу.

Результати досліджень і обговорення. На основі багаторічних досліджень продуктивності агроценозів багаторічних трав за умов зрошення та природного зволоження встановлено залежність накопичення загальної біомаси від ґрунтово-кліматичних умов, видового та біохімічного складу травосумішок. Отримані результати дозволяють оцінити вплив агроекологічних умов і видового складу на продуктивність травостоїв та родючість ґрунту, що підтверджує важливість біологізації землеробства через використання бобових компонентів у травосумішках.

Дослідження показали, що за умов природної родючості злакові трави характеризуються низьким вмістом сирого протеїну (10,9-11,6%), кальцію та калію в сухій речовині зеленої маси. Проведення зрошення сприяло подовженню вегетаційного періоду, що підвищило вміст сирого протеїну до 11,6%. Включення бобового компоненту, зокрема люцерни, до складу

агрофітоценозів забезпечило кращі умови для росту й розвитку рослин, що призвело до підвищення продуктивності та якості травостоїв порівняно зі злаковими. Завдяки здатності бобових фіксувати атмосферний азот, ці сумішки менше залежали від природної родючості ґрунту, сприяючи його збагаченню поживними речовинами та покращенню структури. У сухій речовині бобових травосумішок вміст сирого протеїну досягав 23,3%, що в 2,1 разу вище, ніж у злакових. Концентрація калію та кальцію зростала в 1,7-2,7 разу, тоді як фосфору – дещо менше.

Зрошення, хоча й підвищувало обводненість рослин, сприяло збереженню високого вмісту зольних елементів, що покращувало поживність рослинної сировини. Забезпеченість однієї кормової одиниці перетравним протеїном становила 125-138 г, що перевищувало зоотехнічну норму. Продуктивність багаторічних трав значною мірою залежала від умов зволоження та видового складу агроценозів (табл. 1).

Таблиця 1

Продуктивність багаторічних трав залежно від умов зволоження

Умови зволоження (А)	Типи агроценозів (В)	Зелена маса, т/га	Суха речовина, т/га	Кормові одиниці, т/га	Перетравний протеїн, т/га	ОЕ, МДж	Рослинні залишки коренів у ґрунті 0-50 см, т/га
Природне	Бобовий	15,8	3,05	2,53	0,55	29095	3,5
Зрошення		45,2	8,01	7,20	1,44	80640	9,3
Природне	Бобово-злаковий	13,2	2,88	2,64	0,33	29568	3,8
Зрошення		38,3	7,89	7,65	0,84	86655	10,4
Природне	Злаковий	5,2	1,25	0,96	0,08	10944	1,8
Зрошення		20,2	4,66	3,63	0,27	42108	6,8
$НІР_{05}$	А	0,69	0,12				
	В	0,74	0,15				

Бобові травостої виявилися найпродуктивнішими, забезпечуючи вихід сухої речовини 3,05 т/га за природного зволоження та 8,01 т/га за зрошення. Бобово-злакові сумішки, що містили 50% бобового компоненту, також демонстрували високу продуктивність – 2,88 т/га та 7,89 т/га відповідно. Злакові травосумішки мали найнижчі показники – 1,25 т/га та 4,66 т/га.

Накопичення підземної біомаси залежало від рівня вологозабезпечення та видового складу. Найменша кількість сухої речовини (1,8-3,8 т/га) спостерігалася за природного зволоження, тоді як зрошення підвищувало ці показники до 6,8-10,4 т/га. Люцерна, як бобовий компонент, сприяла накопиченню підземної біомаси до 9,3-10,4 т/га, що підтверджує її ґрунтополіпшувальні властивості. Злакові трави, завдяки мичкуватій кореневій системі, формували потужну дернину на глибині 0-20 см, що також сприяло збагаченню ґрунту органічною речовиною.

Накопичення біофільних елементів (азоту, фосфору, калію) залежало від типу травостою та умов зволоження (табл. 2). Бобові трави накопичували найбільшу кількість азоту – 64 кг/га за природного зволоження та 171 кг/га за зрошення. У надземній масі бобових трав концентрація азоту досягала 114 кг/га,

з яких 79 кг/га припадало на симбіотичний азот. Бобово-злакові сумішки накопичували менше азоту (81 кг/га в надземній масі, з них 35 кг/га симбіотичного), що в 1,6-1,7 разу нижче порівняно з бобовими. Злакові травостої мали найнижчі показники – 18 кг/га азоту за природного зволоження та 69 кг/га за зрошення.

Таблиця 2

Накопичення біофільних елементів багаторічними травами, кг/га

Умови зволоження	Агроценоз	В надземній масі			В рослинних рештках та коренів у ґрунті 0-50 см		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Природне	Бобовий	114	13	101	64	20	29
Зрошення		332	37	296	171	53	76
Природне	Бобово-злаковий	81	13	63	52	22	34
Зрошення		208	39	174	143	59	94
Природне	Злаковий	22	7	24	18	8	20
Зрошення		87	26	88	69	29	74
$НІР_{05}$		107	12,9	93,5	55,9	19,1	29,3

Зрошення сприяло зростанню вмісту біофільних елементів у 2,3-3,8 разу, що пояснюється підвищенням врожайності та накопиченням кореневої маси. Бобово-злакові травосумішки перевершували бобові за кількістю кореневих решток, але поступалися за концентрацією азоту. Накопичення загального та симбіотичного азоту залежало від типу травостою та умов зростання (табл. 3).

Таблиця 3

Накопичення загального й симбіотичного азоту багаторічними агроценозами, кг/га

Умови зволоження	Агроценоз	Всього в рослинах		У тому числі			
				в надземній масі		у рослинних залишках та коренях	
		загальний	симбіотичний	загальний	симбіотичний	загальний	симбіотичний
Природне	Бобовий	178	116	114	79	64	42
Зрошення		503	357	332	236	171	121
Природне	Бобово - злаковий	133	55	81	35	52	20
Зрошення		351	177	208	116	143	61
Природне	Злаковий	40	-	22	-	18	-
Зрошення		156	-	87	-	69	-
$НІР_{05}$		162	130	107	86	56	44

У бобових трав загальний азот у надземній масі становив 114 кг/га (з них 79 кг/га симбіотичного), у коренях – 64 кг/га (42 кг/га симбіотичного). На зрошенні ці показники зростали у 2,3-3,2 разу. Бобово-злакові травосумішки накопичували менше симбіотичного азоту – 43% у надземній масі та 38% у коренях, що в 1,6-1,7 разу нижче порівняно з бобовими. Злакові травостої не фіксували симбіотичний азот, а їх накопичення азоту обмежувалося перерозподілом мінерального азоту з ґрунту.

Проведені дослідження підтверджують, що включення бобових компонентів, зокрема люцерни, до агроценозів багаторічних трав значно

підвищує їх продуктивність, якість біомаси та сприяє біологізації ґрунту, що узгоджується з результатами інших авторів. Тараріко Ю.О. [11] встановив, що зрошувані біоенергетичні агроекосистеми в Лісостепу України забезпечують високу продуктивність завдяки бобовим культурам, які фіксують атмосферний азот, зменшуючи залежність від мінеральних добрив. Аналогічно, наші результати показали, що бобові травостої накопичують до 171 кг/га азоту за зрошення, що сприяє збагаченню ґрунту органічною речовиною.

Чорнолата Л.П. та співавтори [12] підкреслюють високу кормову та біологічну цінність люцерни через її вуглеводно-лігніновий комплекс, що підтверджує наші дані про зростання вмісту сирого протеїну до 23,3% у бобових травосумішках. Мурму К. та Тарінді П.В.М. та ін. [22] зазначають, що багаторічні кормові культури, включаючи бобово-злакові сумішки, підвищують біорізноманіття та екосистемні послуги на деградованих землях, що відповідає нашим висновкам про ґрунтополіпшувальні властивості бобових трав. Станчу А. [28] також підтверджує, що міжвидове вирощування бобових і злакових трав сприяє сталому підвищенню врожайності на деградованих пасовищах, що узгоджується з нашими даними про продуктивність бобово-злакових агроценозів (7,89 т/га сухої речовини за зрошення).

Дослідження Мирон А. та ін. [21] і Скордія Д. та ін. [24] підкреслюють потенціал багаторічних трав як джерела біомаси для енергетичних і кормових цілей, що підтверджує наші результати щодо високої енергетичної цінності бобових трав (до 80640 МДж/га). Йоргенсен У. та Лерке П.Е. [18] акцентують на сталому виробництві білка за допомогою багаторічних трав у Європі, що відповідає нашим висновкам про перевищення зоотехнічної норми перетравним протеїном (125-138 г на кормову одиницю). Фернандо А.Л. та ін. [14] наголошують на екологічній стійкості багаторічних культур, що узгоджується з нашими даними про накопичення органічної речовини та зменшення винесення поживних елементів.

Дослідження Гамаюнова В. та ін. [17] і Шебанін В. та ін. [26] підкреслюють важливість бобових для відновлення родючості ґрунтів у південному Степу України, що підтверджує наші висновки про накопичення біофільних елементів (азоту, фосфору, калію) у ґрунті. Сімич А. [27] і Гетьман Н. та ін. [23] вказують на роль люцерни у підвищенні біологічного потенціалу ґрунтів, що відповідає нашим даним про накопичення до 10,4 т/га підземної біомаси за зрошення. Калетнік Г. та ін. [19] підкреслюють адаптивність бобових до різних умов вирощування, що узгоджується з нашими результатами щодо меншої залежності бобових трав від природної родючості ґрунту.

Сан К. та ін. [29] і Чен Дж. та ін. [14] встановили, що управління травостоями впливає на трансформацію фосфору та різноманітність ґрунтових грибів, що частково пояснює наші дані про зростання вмісту фосфору в бобово-злакових травосумішках. Фута Б. та ін. [16] акцентують на інноваційних стратегіях управління ґрунтом для сталого землеробства, що підтверджує ефективність бобових у збагаченні ґрунту органічною речовиною. Павленко М.

та Коваленко В. [23] зазначають, що вміст люцерни в травосумішках підвищує їхню продуктивність залежно від погодних умов, що узгоджується з нашими результатами щодо впливу зрошення. Нарешті, Лі Т. та ін. [20] підкреслюють взаємозв'язок між різноманітністю рослин і вмістом вуглецю в ґрунті, що підтверджує наші висновки про ґрунтополіпшувальну роль бобово-злакових агроценозів.

Таким чином, наші результати узгоджуються з даними інших дослідників, підтверджуючи ключову роль бобових трав у підвищенні продуктивності агроценозів, збагаченні ґрунту біофільними елементами та забезпеченні сталого землеробства. Водночас подальші дослідження необхідні для оцінки впливу кліматичних змін на ефективність азотфіксації та довгострокову родючість ґрунтів.

Висновки.

1. Встановлено, що видовий склад багаторічних травостоїв є ключовим чинником, який визначає інтенсивність активації біологічних процесів у степових ґрунтах. Бобові агроценози (люцерна посівна) забезпечують найвищий рівень симбіотичної азотфіксації – до 171 кг/га N при зрошенні та 64 кг/га N у богарних умовах, що дозволяє тимчасово компенсувати дефіцит азоту та стабілізувати родючість ґрунту.

2. Доведено ефективність змішаних бобово-злакових травостоїв, які за продуктивністю поступаються чистим бобовим лише на 3-5%, але перевершують їх за обсягом підземної біомаси (10,4 т/га при зрошенні) та забезпечують оптимальне співвідношення NPK у кореневих рештках.

3. Встановлено, що зрошення підвищує надземну та підземну біомасу всіх типів травостоїв у 2,3-3,2 разу, однак супроводжується зниженням енергетичної ефективності технології (з 9,3 до 4,6), що потребує оптимізації водозабезпечення та мінерального живлення.

4. Визначено критичний поріг підземної біомаси (≥ 9 т/га сухої речовини), за якого забезпечується достатній рівень активізації біологічних процесів для відновлення родючості степових ґрунтів без застосування азотних добрив.

5. Обґрунтовано доцільність використання бобових і бобово-злакових травостоїв як основного біоенергетичного ресурсу для формування сталих екосистем у зоні південного Степу України.

Список бібліографічних посилань

1. *Антонів С.Ф., Колісник С.І., Запрута О.А., Коновальчук В.В.* Інноваційні способи агробіологічного контролю технології виробництва насіння багаторічних трав. *Корми і кормовиробництво*, 2023. № 95. С. 53-64. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-04.

2. *Векленко Ю., Золотар В.* Агроекологічна оцінка та продукційний потенціал лучних травостоїв за різних способів залуження схилових земель правобережного Лісостепу. *Корми і кормовиробництво*, 2021. № 91. С.103-115. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202191-09.

3. *Векленко Ю.А., Козленко О.М., Бадюк М.М.* Наукове обґрунтування технологічних аспектів виробництва високобілкової кормової рослинної сировини із багаторічних бобових трав. *Корми і кормовиробництво*, 2023. № 95. С. 138-148. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-12.

4. *Вожегова Р.А., Голобородько С.П. Димов О.М.* Агробіологічні основи відтворення родючості деградованих земель у південному Степу України: монографія. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС,

2021. 282 с.

5. *Гальченко Н.М., Князєв О.В., Левенець Т.П.* Агробіологічні основи створення високопродуктивних кормових агрофітоценозів у зоні Південного Степу: науково-методичні рекомендації. Херсон: Грінь Д.С., 2015. 45 с.

6. *Голобородько С.П., Димов О.М.* Сучасний стан та шляхи підвищення родючості ґрунтів південно-степової зони України. *Вісник аграрної науки*, 2021. № 4(817). С. 12-19. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202104-02.

7. *Кургак В.Г., Карбівська У.М., Гмир А.О.* Особливості формування продуктивності різностиглих багаторічних злакових трав за укосами залежно від удобрення. *Корми і кормовиробництво*, 2023. (95). С. 149-160. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-13.

8. *Оліфірович В.О., Векленко Ю.А., Чинчик О.С.* Динаміка видового складу люцерно-злакового агрофітоценозу залежно від технологічних прийомів вирощування. *Корми і кормовиробництво*, 2022. (94). С. 67-74. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-07.

9. *Петриченко В. та ін.* Кормові ресурси природних екосистем: монографія / ред.: В. Петриченко, О. Корнійчук. Київ: Аграрна наука, 2023. 408 с. https://doi.org/10.31073/978-966-540-585-6.

10. *Спринчук Н.А., Воронецька І.С., Корнійчук О.О., Петриченко І.І.* Кліматична криза та особливості модернізації польового кормовиробництва в розвинених країнах світу. *Корми і кормовиробництво*, 2022. (94). С. 105-115. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-11.

11. *Тараріко Ю.О. та ін.* Формування біоенергетичних зрошуваних агроекосистем у Лісостепу: монографія / ред.: акад. НААН Ю.О. Тараріко. Київ: Аграрна наука, 2023. 128 с. https://doi.org/10.31073/978-966-540-575-7.

12. *Чорнолата Л.П., Новаківська В.Ю., Здор Л.П., Лихач С.М.* Кормова та біологічна цінність вуглеводно-лігнінового комплексу зеленої маси люцерни посівної. *Корми і кормовиробництво*, 2022. (94). С. 85-93. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-09.

13. *Awale R., Emeson M., Machado S.* Soil organic carbon pools as early indicators for soil organic matter stock changes under different tillage practices in Inland Pacific Northwest. *Front. Ecol. Evol*., 2017. V. 5. Article 96. https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00096.

14. *Chen, J., Chen, X., Nan, L.I.* Responses of soil fertility indicators and fungi community diversity to fertilization strategies in legume-grass mixtures. *Frontiers in Plant Science*, 2025. Volume 16. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1579011.

15. Fernando A.L., Rettenmaier N., Soldatos, P., Panoutsou, C. Sustainability of Perennial Crops Production for Bioenergy and Bioproducts. *Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts*. Elsevier, 2018. Pp. 245-283. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812900-5.00008-4.

16. *Futa B, Gmitrowicz-Iwan J, Skersienė A, Šlepetienė A, Parašotas I.* Innovative Soil Management Strategies for Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 2024. 16(21). 9481. https://doi.org/10.3390/su16219481.

17. *Gamayunova, V., Honenko, L., Baklanova, T., Pylypenko, T.* Changes in soil fertility in the southern steppe zone of Ukraine. *Ecological Engineering Environmental Technology*, 2025. 26(4). Pp. 229-236. https://doi.org/10.12912/27197050/201190.

18. Jørgensen, U., Lærke, P.E. Perennial Grasses for Sustainable European Protein Production. *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World*. Springer International Publishing, 2016. Pp. 33-41. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44530-4_3.

19. *Kaletnik, G., Kulyk, M., Pryshliak, N., D'omin, D.* Adaptive properties of plants and yield of energy crops under different growing conditions: A case study from Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 2025. Vol. 26. Issue 7. Pp. 67-76. https://doi.org/10.12911/22998993/203134.

20. *Li T., Chang S., Wang Z., et al.* Interactive effects of grassland utilization and climatic factors govern the plant diversity-soil C relationship in steppe of North China. *Science of the Total Environment*, 2024. 922. 171171. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171171.

21. *Miron A., Ţiţei, V., Ababii Al., et al.* Grasslands as fodder for animals and renewable source of energy biomass. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 2023. Vol. 66. No. 1. Pp. 772-779. ISSN 2285-5785.

22. *Murmu, K., Murmu, S., Sarkar, A., Moulick, D.* Perennial Forage Cropping System and Bioenergy Production. *In R. K. Singhal, Indu, A. El Sabagh, K.K. Dwivedi (Eds.).* Forage Crops in the Bioenergy Revolution: From Fields to Fuel. *Springer Nature Singapore*. 2025. Pp. 67-80. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2536-9_4.

23. *Hetman N., Karbivska U., Tkachuk O., et al.* The role of *Medicago sativa* L. in the ecologization of agricultural production. *Ecological Engineering Environmental Technology*, 2025. 26(8). Pp. 342-349. https://doi.org/10.12912/27197050/208367.

24. *Pavlenko M.; Kovalenko V.* Analysis of the productivity of sown legume-grass stands depending on alfalfa content, biostimulant application and weather conditions. *Plant & Soil Science,* 2025. V. 16. No. 2. P. 48. https://doi.org/10.31548/plant2.2025.48.

25. *Scordia D., Test, G., van Dam J.E.G., van den Berg D.* Suitability of Perennial Grasses for Energy and Nonenergy Products. *Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts*. Elsevier, 2018. Pp. 217-244. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812900-5.00007-2.

26. *Shebanin V., Gamajunova V., Karpenko M., Babych O*. Restoration of war-damaged soil fertility to ensure sustainable agricultural production, food security and global recognition of Ukraine. *Scientific Horizons*, 2024. 27(6). Pp. 129-140. https://doi.org/10.48077/scihor6.2024.129.

27. *Simić A.* Influence of Organic Fertilizers on the Restoration of the Biological Resource Potential of Natural Degraded Pastures in the Steppe Zone of Northern Kazakhstan. *OnLine Journal of Biological Sciences Publications*, 2024. 24(4). https://doi.org/10.3844/ojbsci.2024.848.857.

28. *Stanci, A.* Sustainable forage yield improvement through perennial grass-legume intercropping in degraded grasslands. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2025. 49 (2). Pp. 215-241. https://doi.org/10.55730/1300-011X.3261.

29. *Sun Q., Jia R., Qin J. et al.* Grassland management regimes regulate soil phosphorus fractions and conversion between phosphorus pools in semiarid steppe ecosystems. *Biogeochemistry*, 2023. 163. Pp. 33-48. https://doi.org/10.1007/s10533-023-01019-w.

30. Perennial Forage Crops: Biodiversity and Ecosystems Service in Barren Land / P.W.M. Tharindi et al. *Forage Crops in the Bioenergy Revolution: From Fields to Fuel* / R.K. Singha et al. Springer Nature Singapore, 2025. P. 123-155. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-96-2536-9_7.

References

1. Antoniv S.F., Kolisnyk S.I., Zapruta O.A., Konovalchuk V.V. Innovatsiini sposoby ahrobiolohichnoho kontroliu tekhnolohii vyrobnytstva nasinnia bahatorichnykh trav [Innovative methods of agrobiological control of the technology of seed production of perennial grasses]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and feed production], 2023, no. 95, pp. 53-64. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-04 [in Ukrainian].

2. Veklenko Yu., Zolotar V. Ahroekolohichna otsinka ta produktsiinyi potentsial luchnykh travostoiv za riznykh sposobiv zaluzhennia skhylovykh zemel pravoberezhnoho Lisostepu [Agroecological assessment and production potential of meadow grass stands under different methods of grazing of slope lands of the right-bank forest-steppe]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and feed production], 2021, no. 91, pp.103-115. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202191-09 [in Ukrainian].

3. Veklenko Yu.A., Kozlenko O.M., Badiuk M.M. Naukove obgruntuvannia tekhnolohichnykh aspektiv vyrobnytstva vysokobilkovoi kormovoi roslynnoi syrovyny iz bahatorichnykh bobovykh trav [Scientific substantiation of technological aspects of the production of high-protein feed plant raw materials from perennial leguminous grasses]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and feed production], 2023, no. 95, pp. 138-148. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-12 [in Ukrainian].

4. Vozhehova R.A., Holoborodko S.P. Dymov O.M. (2021). Ahrobiolohichni osnovy vidtvorennia rodiuchosti dehradovanykh zemel u pivdennomu Stepu Ukrainy: monohrafiia [Agrobiological foundations of the restoration of the fertility of degraded lands in the southern Steppe of Ukraine: monograph]. Kherson, OLDI-PLIuS, 282 p. [in Ukrainian].

5. Halchenko N.M., Kniaziev O.V., Levenets T.P. (2015). Ahrobiolohichni osnovy stvorennia vysokoproduktyvnykh kormovykh ahrofitotsenoziv u zoni Pivdennoho Stepu: naukovo-metodychni rekomendatsii [Agrobiological foundations of the creation of highly productive forage agrophytocenoses in the Southern Steppe zone: scientific and methodological recommendations]. Kherson, Hrin D.S., 45 p. [in Ukrainian].

6. Holoborodko S.P., Dymov O.M. Suchasnyi stan ta shliakhy pidvyshchennia rodiuchosti gruntiv pivdenno-stepovoi zony Ukrainy [Current state and ways to increase soil fertility in the southern steppe zone of Ukraine]. Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science], 2021, no. 4(817), pp. 12-19. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202104-02 [in Ukrainian].

7. Kurhak V.H., Karbivska U.M., Hmyr A.O. Osoblyvosti formuvannia produktyvnosti

riznostyhlykh bahatorichnykh zlakovykh trav za ukosamy zalezhno vid udobrennia [Features of formation of productivity of variegated perennial cereal grasses on slopes depending on fertilization]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and feed production], 2023, no. (95), pp. 149-160. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-13 [in Ukrainian].

8. Olifirovych V.O., Veklenko Yu.A., Chynchyk O.S. Dynamika vydovoho skladu liutserno-zlakovoho ahrofitotsenozu zalezhno vid tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia [Dynamics of the species composition of alfalfa-cereal agrophytocenosis depending on the technological methods of cultivation]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and feed production], 2022, no. (94), pp. 67-74. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-07 [in Ukrainian].

9. Petrychenko V. et al. (2023). Kormovi resursy pryrodnykh ekosystem: monohrafiia [Feed resources of natural ecosystems: monograph]. Kyiv, Ahrarna nauka, 408 p. https://doi.org/10.31073/978-966-540-585-6 [in Ukrainian].

10. Sprynchuk N.A., Voronetska I.S., Korniichuk O.O., Petrychenko I.I. Klimatychna kryza ta osoblyvosti modernizatsii polovoho kormovyrobnytstva v rozvynenykh krainakh svitu [Climate crisis and features of modernization of field fodder production in developed countries of the world]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and feed production], 2022, no. (94), pp. 105-115. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-11 [in Ukrainian].

11. Tarariko Yu.O. et al. (2023). Formuvannia bioenerhetychnykh zroshuvanykh ahroekosystem u Lisostepu: monohrafiia [Formation of bioenergetic irrigated agroecosystems in the Forest-Steppe: monograph]. Kyiv, Ahrarna nauka, 128 p. https://doi.org/10.31073/978-966-540-575-7 [in Ukrainian].

12. Chornolata L.P., Novakivska V.Iu., Zdor L.P., Lykhach S.M. Kormova ta biolohichna tsinnist vuhlevodno-lihninovoho kompleksu zelenoi masy liutserny posivnoi [Feed and biological value of the carbohydrate-lignin complex of the green mass of alfalfa]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and feed production], 2022, no. (94), pp. 85-93. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-09 [in Ukrainian].

13. Awale R., Emeson M., Machado S. Soil organic carbon pools as early indicators for soil organic matter stock changes under different tillage practices in Inland Pacific Northwest. Front. Ecol. Evol., 2017, vol. 5, article 96. https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00096.

14. Chen, J., Chen, X., Nan, L.I. Responses of soil fertility indicators and fungi community diversity to fertilization strategies in legume-grass mixtures. Frontiers in Plant Science, 2025, vol. 16. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1579011.

15. Fernando A.L., Rettenmaier N., Soldatos P., Panoutsou C. Sustainability of Perennial Crops Production for Bioenergy and Bioproducts. Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts. Elsevier, 2018, pp. 245-283. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812900-5.00008-4.

16. Futa B, Gmitrowicz-Iwan J, Skersienė A, Šlepetienė A, Parašotas I. Innovative Soil Management Strategies for Sustainable Agriculture. Sustainability, 2024, no. 16(21), p. 9481. https://doi.org/10.3390/su16219481.

17. Gamayunova, V., Honenko, L., Baklanova, T., Pylypenko, T. Changes in soil fertility in the southern steppe zone of Ukraine. Ecological Engineering Environmental Technology, 2025, no. 26(4), pp. 229-236. https://doi.org/10.12912/27197050/201190.

18. Jørgensen, U., Lærke, P.E. Perennial Grasses for Sustainable European Protein Production. Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World. Springer International Publishing, 2016, pp. 33-41. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44530-4_3.

19. Kaletni, G., Kulyk M., Pryshliak N., D'omin D. Adaptive properties of plants and yield of energy crops under different growing conditions: A case study from Ukraine. Journal of Ecological Engineering, 2025, vol. 26, issue 7, pp. 67-76. https://doi.org/10.12911/22998993/203134.

20. Li T., Chang S., Wang Z., Cheng Y., et al. Interactive effects of grassland utilization and climatic factors govern the plant diversity-soil C relationship in steppe of North China. Science of the Total Environment, 2024, no. 922, p. 171171. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171171.

21. Miron A., Ţiţei, V., Ababii Al., et al. Grasslands as fodder for animals and renewable source of energy biomass. Scientific Papers, series A. Agronomy, 2023, vol. 66, no. 1, pp. 772-779. ISSN 2285-5785.

22. Murmu, K., Murmu, S., Sarkar, A., Moulick, D. Perennial Forage Cropping System and Bioenergy Production. In R. K. Singhal, Indu, A. El Sabagh, K.K. Dwivedi (Eds.). Forage Crops in the Bioenergy Revolution: From Fields to Fuel. Springer Nature Singapore, 2025, pp. 67-80. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2536-9_4.

23. Hetman N., Karbivska U., Tkachuk O., et al. The role of Medicago sativa L. in the ecologization of agricultural production. Ecological Engineering Environmental Technology, 2025, no. 26(8), pp. 342-349. https://doi.org/10.12912/27197050/208367.

24. Pavlenko M.; Kovalenko. Analysis of the productivity of sown legume-grass stands depending on alfalfa content, biostimulant application and weather conditions. Plant & Soil Science, 2025, vol. 16, no. 2, p. 48. https://doi.org/10.31548/plant2.2025.48.

25. Scordia, D., Testa, G., van Dam, J.E.G., van den Berg, D. Suitability of Perennial Grasses for Energy and Nonenergy Products. Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts. Elsevier, 2018, pp. 217-244. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812900-5.00007-2.

26. Shebanin, V., Gamajunova, V., Karpenko, M., Babych, O. Restoration of war-damaged soil fertility to ensure sustainable agricultural production, food security and global recognition of Ukraine. Scientific Horizons, 2024, no. 27(6), pp. 129-140. https://doi.org/10.48077/scihor6.2024.129.

27. Simić, A. Influence of Organic Fertilizers on the Restoration of the Biological Resource Potential of Natural Degraded Pastures in the Steppe Zone of Northern Kazakhstan. OnLine Journal of Biological Sciences Publications, 2024, no. 24(4). https://doi.org/10.3844/ojbsci.2024.848.857.

28. Stanciu, A. Sustainable forage yield improvement through perennial grass-legume intercropping in degraded grasslands. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2025, no. 49 (2), pp. 215-241. https://doi.org/10.55730/1300-011X.3261.

29. Sun, Q., Jia, R., Qin, J. et al. Grassland management regimes regulate soil phosphorus fractions and conversion between phosphorus pools in semiarid steppe ecosystems. Biogeochemistry, 2023, no. 163, pp. 33-48. https://doi.org/10.1007/s10533-023-01019-w.

30. P.W.M. Tharindi et al. Perennial Forage Crops: Biodiversity and Ecosystems Service in Barren Land. Forage Crops in the Bioenergy Revolution: From Fields to Fuel. Springer Nature Singapore, 2025, pp. 123-155. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-96-2536-9_7.

Zayets S.O., Vasylenko R.M., VeklenkoYu.A., Getman N.Ya., Tsyhanskyi V.I. Perenial grass stands as a bioenergy resource for sustainable fertility of the Steppe soils in Ukraine

Purpose. To determine the productivity, bioenergetic efficiency, and ability of perennial grass stands of various species composition to activate biological processes in the steppe soils of Ukraine. **Methods.** Long-term field studies were conducted on southern black soils, ordinary low-humus medium- heavy loams in the Bereslav (Kherson region), and Nikopol (Dnipropetrovsk region) districts. Three types of agrocenoses were studied: grasses (G) (*Bromus inermis* L., *Dactylis glomerata* L., *Agropyron cristatum* L.*)*, legume-grass (LG) (50% alfalfa + 50% grasses), and legume (L) (alfalfa) under two moisture regimes: natural and irrigation (350-400 mm). The parameters of productivity, chemical composition, and accumulation of nitrogen, phosphorus, and potassium in above-ground and below-ground biomass were determined by the agrochemical analysis and energy balance methods without the use of fertilizers. **Results.** It was found that L stands form 3.05 t/ha (rainfed) – 8.01 t/ha (irrigated) of DM, which is 2.4-6.4 times higher than G. The CP content in the L agrocenosis was 23.3% (2.1 times higher than in G) and the DP content per FU was 125-138 g. The underground biomass of LG stands under irrigation reached 10.4 t/ha, which ensured the accumulation of 171 kg/ha of nitrogen, 53 kg/ha of P_2O_5, and 76 kg/ha of K_2O in the 0-50 cm layer. Symbiotic nitrogen accounted for 65-73% of the total in L and 38-43% in LG variants. The E_{coef} decreases from 9.3 (L, dry farming) to 4.6 (L, irrigation), which indicates the need to optimize water supply. **Conclusions.** L and LG grass stands with a ≥ 9 t/ha underground biomass level provide a sufficient level of activation of biological processes and restoration of steppe soil fertility without nitrogen fertilizers. It is proposed to use them as the main bioenergy resource in sustainable feed production systems.

Key words: *perennial grasses, agrocenoses, biomass, symbiotic nitrogen fixation, soil fertility, energy efficiency, irrigation*.

Zayets Serhiy, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Climate-Oriented Technologies. Institute of Climate-Oriented Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences, Khlibodarske vil., Odessa District, Odessa Region, Ukraine, 67667, https://orcid.org/0000-0001-7853-7922

Vasylenko Ruslan, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Doctoral Student,

Department of Climate-Oriented Technologies. Institute of Climate-Oriented Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences, Khlibodarske vil., Odessa District, Odessa Region, Ukraine, 67667, https://orcid.org/0009-0000-1903-4444
Veklenko Yurii, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Field Fodder Crops of Hayfields and Pastures. Institute of Feed Research and Agriculture of Podillia of NAAS, 16 Yunosti Ave., Vinnytsia, Ukraine, 21100, https://orcid.org/0000-0003-0560-261X
Hetman Nadiya, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Senior Lecturer at the Department of Plant Growing and Horticulture, Faculty of Agronomy, Horticulture and Plant Protection, Educational and Scientific Institute of Agricultural Technologies and Nature Management, Vinnytsia National Agrarian University, 3 Soniachna St., Vinnytsia, Ukraine, 21008, https://orcid.org/0000-0002-0334-2044
Tsyhanskyi Vyacheslav, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Growing and Horticulture, Faculty of Agronomy, Horticulture and Plant Protection, Educational and Scientific Institute of Agricultural Technologies and Environmental Management, Vinnytsia National Agrarian University, 3 Soniachna St., Vinnytsia, Ukraine, 21008, https://orcid.org/0000-0001-5157-9807

Стаття надійшла до редакції: 06.08.2025
Фахове рецензування: 08.09.2025

Бібліографічний опис для цитування:
Заєць С.О., Василенко Р.М., Векленко Ю.А., Гетман Н.Я., Циганський В.І. Багаторічні травостої як біоенергетичний ресурс для сталої родючості степових ґрунтів України. Корми і кормовиробництво. 2025. № 100. С. 136-147. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo2025100-11