

УДК 631.811:631.86

## ОЦІНЮВАННЯ УДОБРЕНЬ СОЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ЇЇ ВИРОЩУВАННЯ ЗА АДАПТИВНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ\*

П.М. Душко

*Інститут агроекології і природокористування НААН*

*Проведено оцінку рівня антропогенного навантаження в агроценозах за різних систем удобрення сої в Правобережному Ліссестепі, а саме: приорування соломи попередника, зеленої маси сидерата, мінеральних добрив на фоні застосування інокуляції насіння бульбочковими бактеріями та без неї. Встановлено, що застосування в інтенсивній технології органо-мінеральної системи удобрення та інокуляції насіння сої дає можливість значно знизити антропогенне навантаження з боку хімічно синтезованих забруднювальних речовинах в агроecosистемі сої.*

**Ключові слова:** соя, система удобрення, інокуляція насіння, урожайність, рослинна біомаса, енергетична ефективність, антропогенне навантаження.

---

Одним із головних критеріїв оцінки продуктивного і адаптивного потенціалів агроecosистем є вміст органічної речовини в ґрунті. Основним джерелом підвищення цього індикатора родючості є надходження в ґрунт рослинної біомаси — кореневих та поживних решток, побічної продукції врожаю сільськогосподарських культур, зелених добрив тощо.

Особливо зросла роль цих органічних добрив за нинішніх умов, коли обсяги виробництва гною різко зменшились через значне скорочення поголів'я в тваринництві. Зауважимо, що нині на 1 га посівів сільськогосподарських культур вноситься лише 0,5 т гною, що в 15 разів менше порівняно з дореформним періодом розвитку аграрного сектора країни. За таких умов рослинна біомаса є, без перебільшення, основним джерелом надходження органічної речовини в ґрунт. Так, Е.Г. Дегодюк вважає [1], що завдяки використанню сидератів і побічної продукції врожаю в тех-

нологіях відновлювального землеробства можна забезпечувати близько 70% потреб сільськогосподарських культур в елементах живлення.

Окрім того, собівартість поживних речовин у зелених добривах, а ще більше в рослинній біомасі, яка залишається в полі після збирання основної продукції, є значно нижчою від інших видів добрив. Завдяки цьому забезпечуються не тільки сприятливі екологічні умови функціонування агроecosистем, але й помітно скорочуються витрати виробничих ресурсів на 1 га посівів культури. Тому в системі оцінювання ефективності різних моделей технології виробництва сої показник обсягів надходження рослинної біомаси в ґрунт за період технологічного циклу вирощування культури є одним із найважливіших. Він також виконує функцію важливого індикатора біологізації технології, що є одним із визначальних чинників екологічно безпечного функціонування агроценозу культури.

Мета дослідження — оцінка рівня антропогенного навантаження в агроценозах за різних систем удобрення сої в Правобережному Ліссестепі.

---

\* Науковий керівник — д-р с.-г. наук М.Г. Василенко.

**МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Польові досліді були закладені на сірих лісових ґрунтах дослідного господарства «Чабани» ННЦ «Інститут землеробства». Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту така: вміст гумусу за Тюрнім — 1,08–1,15% рН<sub>сол.</sub> — 5,4–5,6, вміст гідролізованого азоту — 79–81 мг/кг за Корнфільдом, рухомого фосфору за Чиріковим — 114–126 та калію — 80–90 мг/кг ґрунту.

Обсяги надходження в ґрунт рослинної біомаси за варіантами досліді визначали згідно з методикою, розробленою в ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського» [2], за період технологічного циклу вирощування сої. У розрахунок обсягів надходження включали біомасу побічної продукції попередника та сидерата, а також рослинні рештки, що надійшли в ґрунт під час вегетації сої. Маса сухої речовини рослинних решток

(коріння, поверхневих решток, побічної продукції) визначали за відповідними коефіцієнтами і рівнянням регресії згідно з вказаною методикою, а сидеральної культури — шляхом відбору проб зеленої маси на облікових ділянках з наступним переведенням у суху речовину [3–5].

**РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Найнижчий рівень надходження рослинної біомаси (4,04–5,10 т/га) був у варіантах досліді — без добрив і за внесення одинарної дози мінеральних добрив, що властиво для умов ведення землеробства, де побічну продукцію врожаю відчужують за межі агроєкосистеми (табл. 1).

Варіанти технології, що передбачають використання на добриво побічну продукцію попередньої культури — пшениці озимої, забезпечують істотне збільшення надходження біомаси в ґрунт. Так, у фоновому варіанті, із приорюванням побічної

Таблиця 1

**Надходження у ґрунт сухої рослинної біомаси за різних систем удобрення сої (за період технологічного циклу вирощування), т/га**

Система удобрення	Надійшло в ґрунт, всього	Біомаса сої, у т.ч:			Біомаса попередника і сидерата
		побічна продукція	кореневі рештки	поверхневі рештки	
<i>Без інокуляції</i>					
Контроль (без добрив)	4,04	1,73	1,50	0,81	0,0
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,84	2,25	1,68	0,91	0,0
Побічна продукція (фон)	8,81	1,91	1,56	0,84	4,50
Фон + N <sub>15</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + сидерат	14,48	2,43	1,75	0,95	9,35
Фон + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	9,64	2,44	1,75	0,95	4,50
Фон + N <sub>45</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	9,64	2,44	1,75	0,95	4,50
<i>З інокуляцією</i>					
Контроль (без добрив)	4,24	1,86	1,55	0,83	0,0
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,10	2,41	1,74	0,95	0,0
Побічна продукція (фон)	9,03	2,05	1,61	0,87	4,50
Фон + N <sub>15</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + сидерат	14,79	2,63	1,82	0,99	9,35
Фон + N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	9,87	2,59	1,80	0,98	4,50
Фон + N <sub>45</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	9,69	2,47	1,76	0,96	4,50

продукції, в агроєкосистемі впродовж технологічного циклу вирощування сої надійшло в 2,1–2,2 рази більше рослинної біомаси, ніж на контролі. Це надало змогу підвищити врожайність культури більше ніж на 10%.

Найбільше рослинної біомаси надійшло в ґрунт у тих варіантах системи удобрення сої, де вирощувалась поживна сидеральна культура — гірчиця біла. Приорювання зеленої маси сидерата сприяло збільшенню надходження сухої біомаси у ґрунт на 4,85 т/га. У підсумку, завдяки усім переліченим джерелам надходження добрив ця система органічного удобрення сої надала змогу довести обсяги внесення сухої біомаси в агроєкосистемі за технологічний цикл вирощування культури до 14,5–14,8 т/га, що еквівалентно 50 т/га напівперепрілого підстилкового гною.

Важливим критерієм оцінки екологічної безпеки, а також рівнів біологізації та адаптивності технологій вирощування сільськогосподарських культур є антропогенне навантаження на агроєнози. Одним із узагальнюючих показників антропогенного навантаження є сукупні витрати невідновлюваної енергії засобів виробництва за період технологічного циклу вирощування культури. Істотним також є оцінювання негативного впливу антропогенного навантаження за обсягами введення в агроєкосистемі чужорідних хімічно синтезованих речовин, які, як правило, є екологічно небезпечними і деструктивно впливають на розвиток її біоти.

Більшість вчених, які досліджували та аналізували наукові дані щодо впливу антропогенного навантаження в агроєкосистемах, погоджуються, що екологічно безпечним його рівнем у технологіях вирощування сільськогосподарських культур є сукупні енерговитрати в обсязі до 15 Дж/га [6]. За такого рівня антропогенного навантаження досягається найвищий коефіцієнт корисної дії сумарного енергонавантаження в агроєкосистемі.

Однак слід наголосити, що низькі енерговитрати, як правило, є властивими для екстенсивного типу технологій, які не за-

безпечують високої врожайності культур. Тому високі коефіцієнти енергетичної ефективності виробництва досягаються, в основному, завдяки мінімізації енерговитрат. Поряд із тим у сучасних умовах розвитку землеробства домінуючим є інтенсивний тип технології, що передбачає значне підвищення продуктивності агроєнозів завдяки збільшенню обсягів використання виробничих ресурсів. За таких умов, незважаючи на значне збільшення виробництва, коефіцієнт його енергетичної ефективності буде знижуватись.

Тому в сучасних умовах найбільшими перевагами в досягненні високої енергетичної ефективності виробництва характеризуються ресурсозберігаючі варіанти інтенсивних технологій, які забезпечують доволі високу продуктивність агроєнозів за помірних витрат енергетичних ресурсів. У цих технологічних системах вказаний ефект досягається завдяки значному зростанню рівня біологізації і адаптивності технології, що передбачає використання більш продуктивних і стійких до несприятливих чинників навколишнього природного середовища сортів і гібридів, збільшення органічного удобрення культур, широке впровадження біологічних препаратів у системах удобрення і захисту рослин.

Дія цих чинників, своєю чергою, дає змогу значно підвищити екологічну стійкість агроєкосистем, тому величина нормативу екологічно безпечного енергонавантаження в агроєкосистемах може помітно зростати. Так, основоположник адаптивного рослинництва академік О.О. Жученко на основі аналізу даних багатьох наукових досліджень визначив екологічно допустимий рівень антропогенного навантаження в агроєкосистемах — до 20 ГДж/га витрат невідновлюваної енергії [7]. Перевищення цього рівня до 30 ГДж/га може значно послаблювати дію компенсаторних механізмів деградаційних процесів у агроєкосистемі, що спричинить зниження її адаптивного та продукційного потенціалів. На сьогодні більшість вчених, які досліджують проблеми антропогенного навантаження в агроєкосистемах, вважають, що екологічно

небезпечна його межа перевищує 30 ГДж сумарних енерговитрат на 1 га [6, 8].

Проведений аналіз рівня антропогенного навантаження в агроценозах сої залежно від систем удобрення за показником сукупних енерговитрат на 1 га посіву свідчить, що екологічно безпечний рівень витрат невідновлюваної енергії засобів виробництва досягається лише в екстенсивних варіантах технології (табл. 2).

На контролі та у варіанті з побічною продукцією фактичні енерговитрати на 15% є нижчими від екологічно безпечного їх рівня, всі інші можливі варіанти технології помітно його перевищували. Особливо значне перевищення цього нормативу спостерігалось у варіантах з мінеральною

системою удобрення. За одинарної дози  $N_{30}P_{60}K_{60}$  збільшення енерговитрат становило 31%, а за полуторної  $N_{45}P_{90}K_{90}$  було більше ніж у 1,5 раза. У технології з органічно-мінеральною системою удобрення завдяки зменшенню дози мінеральних добрив до  $N_{15}P_{30}K_{30}$  витрати непоновлюваної енергії істотно зменшуються, що дає змогу знизити темпи зростання енерговитрат порівняно з одинарною дозою добрив майже вдвічі, а з полуторною — більше ніж утричі.

Порівняно з екологічно допустимим значенням показника енерговитрат, усі варіанти системи удобрення, за винятком  $N_{45}P_{90}K_{90}$ , не перевищують значення нормативу 20 ГДж. Разом із тим слід зауважити, що варіанти технології із засто-

Таблиця 2

## Рівень антропогенного навантаження в агроценозах сої за різних систем удобрення

Система удобрення	Енерговитрати, МДж/га	Фактичні енерговитрати, у % до:		Хімічно синтезовані чужорідні речовини, що вводяться в агросистему	
		екологічно безпечного рівня*	екологічно допустимого рівня**	всього, МДж/га	у % до загальних енерговитрат
<i>Без інокуляції</i>					
Контроль (без добрив)	12772	85,1	63,9	1497	11,7
$N_{30}P_{60}K_{60}$	19662	131,1	98,3	7689	39,1
Побічна продукція (фон)	12790	85,3	64,0	1497	11,7
Фон + $N_{15}P_{30}K_{30}$ + сидерат	17440	116,3	87,2	4593	26,3
Фон + $N_{30}P_{60}K_{60}$	19677	131,2	98,4	7689	39,1
Фон + $N_{45}P_{90}K_{90}$	22778	151,9	113,9	10785	47,3
<i>З інокуляцією</i>					
Контроль (без добрив)	12797	85,3	64,0	1497	11,7
$N_{30}P_{60}K_{60}$	19742	131,6	98,7	7689	38,9
Побічна продукція (фон)	12815	85,4	64,1	1497	11,7
Фон + $N_{15}P_{30}K_{30}$ + сидерат	17521	116,8	87,6	4593	26,2
Фон + $N_{30}P_{60}K_{60}$	19759	131,7	98,8	7689	38,9
Фон + $N_{45}P_{90}K_{90}$	22844	152,3	114,2	10785	47,2

Примітка: \* — екологічно безпечний рівень антропогенного навантаження не перевищує 15 ГДж/га; \*\* — 20 ГДж/га.

суванням одинарної дози мінеральних добрив  $N_{30}P_{60}K_{60}$  виявились за показником сукупних витрат енергії майже на екологічно допустимому рівні, що свідчить про доволі значний рівень екологічного ризику за критерієм антропогенного навантаження в агросистемах. Так, у варіантах технології із внесенням полуторної дози мінеральних добрив перевищення екологічно допустимого рівня за показником енерговитрат на 1 га посіву становило лише 98,3–98,8% від його величини, або 0,2–0,3 ГДж/га.

Оптимальне співвідношення продуктивності агросистеми і обсягів енерговитрат на 1 га було зафіксоване у варіанті органо-мінеральної системи удобрення, за якої вноситься половина доза мінеральних добрив, а необхідний фон живлення сої забезпечується, в основному, завдяки внесенню біомаси соломи і сидерата та обробленню насіння препаратом бульбочкових бактерій. Так, за найвишого, серед досліджуваних моделей технології, енергетичного прибутку цей варіант системи удобрення сої мав відносно невисокий рівень антропогенного навантаження в агроєкосистемі. Енерговитрати на 1 га посіву були нижчими порівняно з екологічно допустимим їх рівнем на 2,51 ГДж, або 13%.

Також важливим індикатором екологічно безпечного функціонування агроєкосистем і створення сприятливих умов розвитку ґрунтової біоти є обсяги застосування в агроценозах неприродних хімічно синтезованих чужорідних речовин — мінеральних добрив, засобів захисту і регулювання росту рослин тощо. Використання цих речовин здійснюється відповідно до технологічних регламентів вирощування сільськогосподарських культур з метою підвищення врожайності і якості продукції, зменшення витрат ресурсів і досягнення максимальної прибутковості виробництва.

Незважаючи на те, що доцільність застосування в технологіях вирощування сільськогосподарських культур цілої низки хімічно синтезованих речовин для досягнення високої прибутковості виробництва не викликає сумніву, багато з них доволі деструктивно впливають на розвиток біоти

в агроєкосистемах, забруднюють ґрунти, воду та повітря [9–11]. Часто і суспільні втрати від погіршення стану екологічного середовища внаслідок застосування цих речовин перевищують економічні ефекти від реалізації додатково отримуваної продукції. Тому визначення обсягів надходження в агросистему неприродних, хімічно синтезованих речовин у досліджуваних варіантах технології вирощування сої дає змогу об'єктивніше оцінювати рівень антропогенного навантаження та екологічної безпеки в агроценозах цієї культури.

Дози застосування різних агрохімікатів часто відрізняються у сотні разів узагальнюючим показником обсягів внесення гектарної норми певних добрив чи препаратів. Це зумовлено тим, що під час розроблення енергетичних еквівалентів одиниці маси різних агрохімікатів уже було враховано різницю витрат енергії на їх виробництво. Наприклад, на виготовлення 1 кг (у діючій речовині) фосфорних добрив необхідно витратити 12,6 МДж енергії, а 1 кг гербіцидів — 419,6 МДж.

## ВИСНОВКИ

В умовах застосування екстенсивних моделей технології у контрольному і фоновому варіантах, що не передбачають внесення мінеральних добрив, антропогенне навантаження агроєкосистеми хімічно-синтезованими речовинами обмежується засобами захисту рослин і становить 1,5 ГДж/га, або близько 12% від сукупних енерговитрат.

Найбільше екологічно небезпечних речовин вводиться в агроценоз сої у варіантах технології із застосуванням мінеральних добрив. У структурі сукупних енерговитрат питома вага хімічно синтезованих речовин досягає 39% за одинарної дози добрив і 47% — за полуторної.

Застосування в інтенсивній технології органо-мінеральної системи удобрення дає змогу значно знизити антропогенне навантаження з боку хімічно синтезованих забруднювальних речовин в агроєкосистемах сої завдяки зменшенню дози мінеральних добрив удвічі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Застосування побічної продукції рослинництва і сидератів у відновлювальному землеробстві України: наук.-практ. рекомендації / за наук. ред. Е.Г. Дегодюка. — Х.: Аграрна наука, 2014. — 60 с.
2. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління / С.А. Балюк, В.О. Греков, М.В. Лісовий, А.В. Комариста. — Х.: КП «Міська друкарня», 2011. — 30 с.
3. Довбан К.И. Зеленое удобрение / К.И. Довбан. — М.: Агропромиздат. — 1990. — 208 с.
4. Зелене добриво — важливий захід підвищення родючості ґрунту та урожайності культур в умовах біологізації землеробства: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / уклад. М.С. Чернілевський. — Житомир, 2008. — 135 с.
5. Чернявський Д.А. Ґрунтозахисне землеробство / Д.А. Чернявський. — Чернівці: Прут, 1994. — 220 с.
6. Кириченко В.В. Енергетична оцінка виробництва соняшнику / В.В. Кириченко, В.М. Тимчук, С.І. Святченко // Наук.-техн. бюлетень Інституту олійних культур НААН. — 2014. — № 21. — С. 154–171.
7. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства / А.А. Жученко, А.Д. Урсул. — Кишинев: Штиница, 1983. — 304 с.
8. Миленко О.Г. Особенности энергосбережения в технологии выращивания сои / О.Г. Миленко // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: сборник науч. тр. [под ред. Н.В. Бышова]. — Вып. 12. — Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. — С. 112–114.
9. Біологічний азот / В.П. Патики, С.Я. Коць, В.В. Волкогон та ін.; за ред. В.П. Патики. — К.: Світ, 2003. — 424 с.
10. Екологічні проблеми землеробства / І.Д. Примак, Ю.П. Манько, Н.М. Рідей та ін.; за ред. І.Д. Примака. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — 456 с.
11. Надточій П.П. Екологія ґрунту та його забруднення / П.П. Надточій, Ф.В. Вольвач, В.Г. Гермашенко. — К.: Аграр. наука, 1998. — 286 с.

## REFERENSES

1. Dehodyuk, E.H. (2014). *Zastosuvannya pobichnoyi produktiyi roslinnytstva i syderativ u vidnovlyval'nomu zemlerobstvi Ukrayiny [The use of by-products of crops and green manures in agriculture recovery Ukraine]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
2. Balyuk, S.A., Hrekov, V.O., Lisovsky, M.V. and Komarysta, A.V. (2011). *Rozrakhunok balansu humusu i pozhyvnykh rechovyu u zemlerobstvi Ukrayiny na riznykh rivnyakh upravlinnya [The calculation of the balance of humus and nutrients in agriculture Ukraine at different levels of government]*. Kharkiv: Mis'ka drukarnya [in Ukrainian].
3. Dovban, K.I. (1990). *Zelenoe udobrenie [Green manure]*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
4. Chernilev's'kyi, M.S. (Eds.). (2008). *Zelene dobrovo — vazhlyvyi zakhid pidvyshchennya rodyuchosti ґruntu ta urozhaynosti kul'tur v umovakh biolohizatsiyi zemlerobstva [Green manure — an important measure increasing soil fertility and yield of crops in the agriculture biologization]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
5. Chernyavs'kyi, D.A. (1994). *Gruntozakhysne zemlerobstvo [Erosion control]*. Chernivtsi: Prut [in Ukrainian].
6. Kyrychenko, V.V., Tymchuk, V.M. and Svyatchenko, S.I. (2014). *Energhetychna ocinka vyrobnytstva sonjashnyku [Energy assessment of sunflower seed]*. *Nauk.-tekhn. byuleten' Instytutu oliynykh kul'tur NAAN — Nauk.-Tech. Bulletin of the Institute of NAAS oilseeds*, Vol. 21, 154–171 [in Ukrainian].
7. Zhuchenko, A.A. and Ursul, A.D. (1983). *Strategiya adaptivnoyi intensyfikatsiyi sel'skohozyajstvennogo proizvodstva [The strategy of adaptive intensification of agricultural production]*. Kishinev: Shtinica [in Russian].
8. Milenko, O.G. (2016). *Osobennosti energosberezhennia v tekhnologii vyrashchivannia soi [Features of energy saving in soybean growing technology]*. *Sovremennye jenergo- i resursosberegajushhie jekologicheski ustojchivye tehnologii i sistemy sel'skohozyajstvennogo proizvodstva [Modern energy and resource-saving environmentally sustainable technologies and agricultural production systems]*. N.V. Byshov (Ed.). (Vol. 12). Kyiv: Centr uchbovohoji literatury [in Russian].
9. Patyka, V.P., Kots', S.Ya. and Volkohon, V.V. (2003). *Biolohichnyy azot [Biological nitrogen]*. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
10. Prymak, I.D., Man'ko, Yu.P. and Ridey, N.M. (2010). *Ekolohichni problemy zemlerobstva [Environmental problems of agriculture]*. Kyiv: Centr uchbovohoji literatury [in Ukrainian].
11. Nadtochiy, P.P., Vol'vach, F.V. and Hermashenko, V.H. (1998). *Ekolohiya ґruntu ta yoho zabrudnennya [Ecology of soil and its pollution]*. Kyiv: Agricultural science [in Ukrainian].