

## ЕКОЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

А.О. Мельничук<sup>1</sup>, М.Ю. Тараріко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут сільського господарства Полісся НААН

<sup>2</sup> Інститут агроєкології і природокористування НААН

*В умовах Житомирського Полісся на дерново-підзолистому ґрунті визначено вплив різних систем удобрення в зерно-просапній сівозміні на гумусний стан, поживний режим, фізико-хімічні властивості ґрунту та врожайність культур. Визначено агроєкономічну та енергетичну ефективність систем удобрення. Доведено, що за відсутності гною для відтворення родючості ґрунтів доцільно використовувати як добриво побічну продукцію культур сівозміни разом з біомасою сидератів та мінеральними добривами. Доведено, що альтернативні системи удобрення є економічно, енергетично і екологічно рівнозначними. Встановлено, що для зменшення надходження в рослини радіонуклідів потрібно забезпечити ретельний контроль як за фізико-хімічними властивостями, так і оптимальним вмістом фосфору і калію в ґрунті.*

**Ключові слова:** ґрунт, родючість, добрива, енергія, сівозміна, солома, сидерат, урожай.

Родючість ґрунтів обумовлює екологічний стан агроєкосистеми, економічну та енергетичну ефективність технологій вирощування сільськогосподарських культур. З погіршенням агроєкологічного стану ґрунтового покриву не тільки знижується біопродуктивність агроєкосистем, але й скорочується його енергетичний потенціал. Унаслідок цього зростають відкладені затрати антропогенної енергії на відновлення енергетичного стану ґрунтів. Доведено, що агроєкологічне оцінювання використання ґрунтів повинне включати не тільки фізико-хімічні показники, але й їх енергетичний потенціал [1].

За сучасних умов ведення аграрного виробництва родючість ґрунтів має сталу тенденцію до погіршення, що насамперед зумовлено їх дегуміфікацією, а також зниженням вмісту біогенних елементів. Слід зауважити, що збитки від зниження родючості ґрунтів доволі часто є подібними, а в деякі роки навіть вищими, ніж прибуток від реалізації сільськогосподарської продукції [2]. Актуальним і не менш важливим

питанням у цьому аспекті є стан родючості ґрунтів, що внаслідок високого рівня радіоактивного забруднення доволі значний проміжок часу не використовувались для вирощування сільськогосподарських культур.

Також необхідно врахувати, що землеробство на нинішньому етапі характеризується звуженням спеціалізації, переважно рослинницької, впровадженням короткоротаційних сівозмін з концентрацією інтенсивних культур, зниженням обсягів внесення мінеральних добрив та залученням (за відсутності гною) як органічного добрива побічної продукції рослинництва.

З огляду на це, виник комплекс актуальних питань щодо екологічної, енергетичної і економічної ефективності різних систем удобрення, зокрема щодо оцінювання доцільності повернення радіоактивно забруднених ґрунтів у сільськогосподарське виробництво.

Одним з важливих чинників управління родючістю ґрунтів на територіях, що перебували під консервацією внаслідок їх високого забруднення радіонуклідами, безумовно, є органічні і мінеральні добрива.

ва та їх використання в найбільш оптимальних співвідношеннях. З іншого боку, потрібно враховувати, що затрати енергії хіміко-техногенних ресурсів більше ніж 15 ГДж/га в екологічному вимірі є граничними, оскільки супроводжуються реальним забрудненням довкілля [1].

Мета досліджень – визначення агро-економічної та енергетичної ефективності традиційної та альтернативних органо-мінеральних систем удобрення, що базується на використанні як органічного добрива біомаси сидератів, вторинної продукції рослинництва та невисоких доз мінеральних добрив з урахуванням специфіки забруднення радіонуклідами.

**МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Дослідження проводили в стаціонарному польовому досліді, закладеному в 2004 р. на дослідному полі Інституту сільського господарства Полісся (с. Грозіно Коростенського р-ну Житомирської обл.) в умовах радіоактивного забруднення. Ґрунт – дерново-підзолистий супіщаний, що в орному шарі під час закладки досліді мав таку характеристику: вміст загального гумусу – 1,27%, фосфору – 8,4 і обмінного калію – 10,2 мг/100 г ґрунту, рН<sub>сол.</sub> 5,0, Нг – 2,25 мг-екв/100 г ґрунту. Сівозміна – чотирирічна: люпин, тритикале озиме, картопля, овес. Схему досліді наведено в таблиці 1. Енергетичну ефективність традиційної і альтернативної систем удобрення оцінювали за методичними рекомендаціями [4], рентабельність систем удобрення визначали за загальновідомою методикою [9].

Оцінювання агротехнологій за їх енергетичною ефективністю здійснювали за коефіцієнтом ефективності (К<sub>еє</sub>), що визначали за співвідношенням енергоємності врожаю і витратами антропогенної енергії на його отримання з урахуванням змін енергопотенціалу ґрунту.

Гумус є основним індикатором родючості ґрунту, акумулятором сонячної енергії та джерелом енергії як для живої речовини ґрунту, так і рослинності. У гумусі сконцентровано 95–98% азоту, 80 – сірки,

Таблиця 1

**Урожайність культур та продуктивність зерно-картопляної сівозміни залежно від системи удобрення (2012–2014 рр.)**

Варіант	Система удобрення		Люпин		Тритикале		Картопля		Овес		Продуктивність, код.	
	т/га	± до К, %	т/га	± до К, %	т/га	± до К, %	т/га	± до К, %	т/га	± до К, %	т/га	± до К, %
1	Контроль – без добрив (К)		1,26	-	1,91	-	14,1	-	1,36	-	10,58	-
2	Ігній 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>36</sub> K <sub>66</sub> (Ігн + NPK)		1,85	47	3,81	99	27,7	96	2,07	52	19,49	84
8	Солома + сидераг + N <sub>50</sub> P <sub>36</sub> K <sub>66</sub> (Сл + Сд + NPK)		1,81	44	4,15	117	26,1	89	2,22	63	19,36	83
11	Ігній 10 т/га + N <sub>80</sub> P <sub>82</sub> K <sub>102</sub> (Ігн + 1,5 NPK)		2,04	62	4,21	120	27,5	95	2,30	69	20,00	89

близько 60% – фосфору, значна кількість кальцію, калію, магнію та інших життєво важливих елементів для рослин [3].

Утворення гумусу в ґрунті визначається, в основному, обсягом надходження в орний шар свіжої органічної речовини, а також співвідношенням у біомасі органічного вуглецю ( $C_{орг}$ ) і азоту –  $C:N$ . На контролі, без добрив (К), та за органо-мінеральних систем удобрення – гній (Гн) + NPK; солома (Сл) + сидерат (Сд) + NPK; Гн + 1,5 NPK у середньому за ротацію сівозміни в ґрунт надійшло  $C_{орг}$  – 0,96, 2,50, 3,50, 2,56 т/га, а співвідношення  $C:N$  у біомасі наведених систем удобрення становило 1:22, 1:31 та 1:18 відповідно.

Унаслідок цього впродовж 10 років ведення дослід у шарі ґрунту 0–40 см відзначено істотне підвищення запасів загального гумусу. Так, порівняно з контролем за традиційних та альтернативної систем удобрення – Гн + NPK; Сл + Сд + NPK; Гн + 1,5 NPK додатково накопичилося відповідно – 16,7, 21,9 та 19,6 т/га гумусових речовин (табл. 2). Використання побічної продукції на добриво на фоні мінеральної системи удобрення порівняно з Гн + NPK забезпечило збільшення запасу гумусу на 7%. За поєданого застосування Гн + 1,5 NPK ця перевага була значно меншою.

Позитивний вплив застосування побічної продукції і біомаси сидератів на гумусний стан ґрунту обумовлено надходженням у ґрунт більшої кількості свіжої органічної речовини і сприятливим для циклу вуглецю співвідношенням  $C:N$ , що варіює у межах 1:30–40 [4].

Запаси сполуч гідролізованого азоту (Nг), що є найбільш подібним резервом мінерального азоту в ґрунті, у варіантах Гн + NPK та

Таблиця 2

Вплив систем удобрення на родючість дерново-підзолистого ґрунту (2013–2014 рр.)

Варіант	Шар ґрунту, см	Гумус		Nг, кг/га		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		Nг мг-екв/100 г	рН <sub>KCl</sub>
		%	т/га	за Кірсановим		мг/100 г	кг/га	мг/100 г	кг/га		
				мг/100 г	кг/га						
Контроль (без добрив)	0–20	1,32	39,13	8,28	245	7,62	226	5,59	165	1,54	5,07
	20–40	0,70	20,83	5,37	160	3,57	104	2,59	77	1,49	5,25
	0–40	–	59,96	–	405	–	–	326	–	242	1,51
Гн + NPK	0–20	1,67	49,60	10,0	299	11,42	340	6,58	195	2,00	5,01
	20–40	0,91	27,07	6,9	204	4,94	147	3,13	93	2,10	4,81
	0–40	–	76,67	–	503	–	–	487	–	288	2,05
Сл + Сд + NPK	0–20	1,70	59,31	9,83	291	11,00	328	6,45	191	2,26	4,86
	20–40	1,07	31,57	7,58	226	5,22	156	2,96	88	2,14	4,73
	0–40	–	81,88	–	516	–	–	484	–	279	2,20
Гн + 1,5 NPK	0–20	1,76	52,28	10,1	300	11,83	353	7,91	234	2,29	4,82
	20–40	0,92	27,23	8,1	240	5,55	164	3,00	89	2,27	4,82
	0–40	–	79,51	–	540	–	–	517	–	2,00	4,83

Сл + Сд + NPK були майже на одному рівні. Щодо цих систем удобрення, збільшення норми мінеральних добрив (Гн + 1,5 NPK) забезпечило підвищення запасів Nг у шарі ґрунту 0–40 см лише на 37 кг/га.

Позитивний вплив систем удобрення спостерігається і на підвищенні вмісту фосфатів у ґрунті. Однак їх кількість у шарі 0–20 см відповідає середньому рівню забезпечення – 11,0–11,8 мг/100 г, а в шарі 20–40 см уміст фосфору в усіх системах удобрення був доволі низький – 4,9–5,5 мг/100 г ґрунту.

Спостерігається позитивний вплив усіх досліджуваних систем удобрення на вміст у 0–40 см шарі ґрунту обмінного калію. Однак у всіх системах удобрення його кількість відповідає низькому і дуже низькому рівням забезпеченості – 6,6–7,9 мг/100 г ґрунту. Встановлено, що підвищена норма мінеральних добрив (Гн + 1,5 NPK) позитивно впливає на запаси доступних для рослин сполук фосфору і калію в 0–40 см шарі ґрунту. Разом з тим також виявлено, що всі системи удобрення спричиняли значне підвищення кислотності ґрунту порівняно з контролем.

Отже, отримані дані свідчать, що традиційні і альтернативна органо-мінеральні системи удобрення в сівозміні позитивно впливали на гумусний стан ґрунту та істотно збільшення у ньому запасів сполук гідролізованого азоту. Однак за помітного зростання в шарі 0–40 см доступного фосфору і обмінного калію впродовж 10 років ведення дослідів забезпеченість культур цими елементами залишилась невисокою на тлі значного підкислення ґрунтового розчину. У зоні радіоактивного забруднення низька забезпеченість фосфором та калієм, а також висока кислотність ґрунту можуть супроводжуватися підвищенням надходження в сільськогосподарську продукцію радіоактивних  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  [5–8], тобто погіршенням її якісних показників.

Урожайність культур є основним інтегральним критерієм оцінювання впливу систем удобрення в сівозмінах на стан родючості дерново-підзолистого ґрунту. Аналіз впливу 10-річного систематичного

застосування органо-мінеральних систем удобрення на врожайність сівозміни засвідчив, що у системах удобрення Гн + NPK та Сл + Сд + NPK спостерігається фактично однакова врожайність майже всіх культур сівозміни. Лише тритикале більше реагував на фоні мінеральних добрив на пряму дію соломи та люпину, ніж на післядію гною. Збільшення врожайності зерна становило 0,34 т/га, або 9% (табл. 1).

Продуктивність зерно-картопляної сівозміни за одинарної норми мінеральних добрив на фоні 10 т/га гною (Гн + NPK) була на однаковому рівні з використанням на добриво соломи і сидерату на фоні такої самої норми мінеральних добрив (Сл + Сд + NPK). За збільшення норми мінеральних добрив до  $\text{N}_{80}\text{P}_{82}\text{K}_{102}$  (Гн + 1,5 NPK) продуктивність сівозміни підвищувалась порівняно з одинарною на 0,64 т к.од./га, або на 6%.

Під час визначення економічної ефективності досліджуваних агротехнологій за вартість реалізації основної продукції брали середньостатистичну у регіоні за останні 3 роки в умовних одиницях (у.од.) вартість соломи – 10 у.од. за 1 т. Виробничі витрати на вирощування культур сівозміни в середньому становили у варіантах: контроль (без добрив) – 909 у.од./га, Гн + NPK – 1447, Сл + Сд + NPK – 1422 і Гн + 1,5 NPK – 1507 у.од./га; валовий дохід 1156, 2144, 1783 і 2210 у.од./га; прибуток: 247, 697, 361 і 703 у.од./га; рентабельність: 27, 48, 25 і 47% відповідно. Якщо вартість побічної продукції не враховувати, то досліджувані системи удобрення можна вважати економічно рівнозначними.

Коефіцієнт енергетичної ефективності систем удобрення чотирирічної короткочотайної сівозміни з урахуванням їх впливу на родючість ґрунту ( $\text{Kee}_r$ ) у варіантах систем удобрення дослідів становив: контроль (без добрив) – 3,10; солома + сидерат +  $\text{N}_{50}\text{P}_{56}\text{K}_{66}$  – 4,05; гній 10 т/га +  $\text{N}_{50}\text{P}_{56}\text{K}_{66}$  – 4,36; гній 10 т/га +  $\text{N}_{80}\text{P}_{82}\text{K}_{102}$  – 3,80. Дещо вищу енергетичну ефективність ( $\text{Kee} = 4,05$ ) за альтернативної системи удобрення (Сл + Сд + NPK) обумовлено меншими витратами енергії

на збирання врожаю культур, зокрема солами та майже однаковим впливом на родючість ґрунту за системи удобрення Гн + NPK у рекомендованих нормах. Підвищені норми мінеральних добрив (Гн + 1,5 NPK) унаслідок високої їх енергетичної вартості зменшували  $K_{ee}$  до 3,80. За рівнем біологічної акумуляції енергії [4] досліджувані агротехнології характеризуються такими показниками: 4,55, 56, 65 ГДж/га відповідно. За існуючою градацією за коефіцієнтом енергетичної ефективності ( $K_{ee}$ ), а також за показником біологічної акумуляції енергії (БАЕ) агротехнології без добрив (К) характеризуються низьким рівнем енергетичної ефективності, а з органо-мінеральними системами удобрення — середнім.

За рівнем затрат енергії хіміко-техногенних ресурсів усі досліджувані системи удобрення відповідають екологічним обмеженням і у найінтенсивнішому варіанті (Гн + 1,5 NPK) становлять 14 ГДж/га.

### ВИСНОВКИ

В умовах Полісся, щоб зберегти родючість дерново-підзолистого супіщаного ґрунту (за відсутності гною) та для стабілізації продуктивності сівозмін, доцільно використовувати як органічне добриво побічну продукцію разом з біомасою сидеральних культур та з помірними дозами мінеральних добрив. Для зменшення надходження в продукцію рослинництва радіонуклідів за органо-мінеральних систем удобрення необхідно контролювати фізико-хімічні властивості ґрунту, зокрема, його кислотність шляхом вапнування та підтримання вмісту фосфору і калію на оптимальному рівні.

Якщо не враховувати вартість і енергоємність малоцінної частини врожаю, традиційні і альтернативні системи удобрення за економічною і енергетичною ефективністю є рівнозначними. Всі досліджувані агротехнології за рівнем використання енергії хіміко-техногенних ресурсів є екологічно безпечними.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Жученко А.А.* Энергетический анализ в сельском хозяйстве / А.А. Жученко, Э.Ф. Казанцев, В.Н. Афанасьев. — Кишинев: Штиинца, 1983. — 77 с.
2. Баланс поживних речовин в ґрунтах України та його динаміка / В.О. Греков, Н.Д. Дацько, Н.Д. Пошєдів, М.О. Дацько // Охорона родючості ґрунтів — 2008. — Вип. 4. — С. 46–50.
3. *Мазур Г.А.* Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів / Г.А. Мазур. — К.: Аграрна наука. — 2008. — 305 с.
4. Методика біоенергетичного оцінювання систем землеробства / Ю. Тараріко, О. Козаченко, Р. Сайдак та ін. — К.: Аграрна наука, 2013. — 40 с.
5. *Кудьяров В.Н.* Азотно-углеродный баланс в почве / В.Н. Кудьяров // Почвоведение. — 1999. — № 1. — С. 73–82.
6. Контрзаходи в сільському господарстві, водоохоронні контрзаходи / Б.С. Прістер, А.М. Архіпова, Г.О. Богданов, та ін. // Національна доповідь України: 15 років Чорнобильської катастрофи досвід подолання. — К.: МНС України, 2001. — С. 361–363.
7. *Дутов О.І.* Наукові основи формування агроєко-систем на радіоактивно забруднених територіях: автореф. ... д-ра с.-г. наук / О.І. Дутов. — К., 2013. — 41 с.
8. *Ратошнюк В.І.* Стан родючості та застосування агро меліоративних заходів на радіоактивно забруднених землях / В.І. Ратошнюк, Т.М. Ратошнюк // Землеробство. — 2004. — № 76. — С. 57–67.
9. Ціноутворення та нормативні витрати в сільському господарстві: теорія, методологія, практика / За ред. П.Т. Саблука, Ю.Ф. Мельника, М.В. Зубця, В.Я. Месель-Веселяка. — К., 2008. — 698 с.