

УДК 631.4: 574.4 (075.8)

ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ СІВОЗМІНИ ПОЛІССЯ

І. В. Шудренко

Державний агроекологічний університет (м. Житомир)

Розглянуті деякі аспекти енергетичного оцінювання технологій вирощування сільськогосподарських культур в польовій сівозміні Полісся. Запропонований оптимальний варіант методики визначення коефіцієнта енергетичної ефективності й виходу корисної енергії з урахуванням зміни екологічного стану ґрунту.

Постановка проблеми

Енергетичний аналіз та оцінювання технологій виробництва продукції рослинництва є важливою умовою оптимізації природокористування та визначення першочергових заходів охорони навколишнього середовища. Пояснити це можна кількома причинами. Теоретичною основою природокористування й охорони навколишнього середовища, які мають важливу соціально-економічну складову, є екологія. Енергія є універсальною природно-науковою

категорією, і енергетичний підхід дозволяє пов'язати в єдине ціле прояви хімічного, біологічного та соціального життя, екологічні й економічні поняття [9]. Видатний радянський вчений О.Є. Ферсман зазначав: "...Енергетичний підхід до аналізу процесів природи є кінцевою метою наших пошуків. Ми маємо перейти на єдине мірило визначення ходу процесів, причому таким може бути або калорія, або кіловат". Відомий американський еколог Ю.Одум назвав енергію "екологічною валютою".

Витрати енергії на виробництво одиниці сільськогосподарської продукції постійно зростають, що відповідно позначається на її собівартості. Ця тенденція є проявом *закону зниження енергетичної ефективності природокористування*. Упродовж ХХ століття питомі витрати енергії на виробництво продовольчої продукції зросли у 8–10 разів, а частка цих енерговитрат в загальному енергобалансі багатьох країн досягає 10 %. Енерговитрати на виробництво 1 ц зернових одиниць в Україні більші, ніж у Німеччині, в 1,5 рази, у Франції – в 1,8, у Великобританії – в 1,9, у США – в 2 рази [8]. Розробка заходів, які забезпечили б раціональне використання непоновлюваної енергії та підвищення економічної ефективності сільськогосподарського виробництва, повинна проводитись із застосуванням енергетичного аналізу технологій, який є більш коректним і екологічним, ніж методика зведених грошових витрат [5].

Зростання обсягу використання непоновлюваної енергії призводить до погіршення стану довкілля. Можливості екосистем щодо трансформування енергії без порушення їх основних властивостей обмежені, і за певного рівня енергетичного потоку починається зниження родючості ґрунту, забруднення вод і повітря, погіршення здоров'я людей. Вчені вважають, що в агроекосистемі без шкідливих наслідків для неї може щорічно вноситись 15-20 ГДж/га, однак цей рівень часто перевищується.

Енергетичне оцінювання технологій вирощування сільськогосподарських культур традиційно здійснюють за *коефіцієнтом енергетичної ефективності* ($K_{e.e}$), тобто співвідношенням енергії, акумульованої в урожаї (в основній або господарсько цінній - основній та побічній - продукції (E_y)), і сукупних витрат *антропогенної енергії* (E_a) на його отримання [6,7]. Основними складовими її витрат є прямі витрати (електричної, теплової енергії та пального) безпосередньо в технологічному процесі, опосередковані витрати (на предмети і засоби праці, за допомогою яких здійснюється виробничий процес, - техніка, будівлі, добрива, пестициди тощо) та витрати енергії праці. Розрахунок величини E_a здійснюють поопераційно за всією технологічною картою, що дає можливість як оцінити загальні витрати, так і провести енергетичний аналіз технології за кожною технологічною операцією.

Така методика оцінювання енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва через свою відносну простоту отримала значне поширення, однак вчені привертають увагу до необхідності її удосконалення і переходу до енергетичного оцінювання ефективності землеробства. Вони вважають, що цю проблему треба поділити на дві частини - оцінювання *ефективності виробництва продукції* й *ефективності функціонування агроекосистеми* [2]. Наведена вище методика дозволяє вирішити лише *перше завдання*, до того ж лише частково, оскільки вона не враховує такі важливі складові біоенергетичного процесу, як сонячна енергія та *енергопотенціал ґрунту* на вході та його зміна на виході [3]. Вважають, що витрати на отримання кінцевої продукції повинні включати витрати на приведення системи у вихідний стан, і пропонують визначати *енерговіддачу* – відношення накопиченої в продукції енергії до сукупних енерговитрат, тобто витрат антропогенної енергії на виробництво продукції та відновлення родючості ґрунту [2].

Критерієм ґрунтовнішого оцінювання енергетичної ефективності виробництва продукції може бути кількість енергії урожаю в розрахунку на одиницю *сукупного енергетичного ресурсу агроекосистеми* (енергії ФАР, органічної речовини ґрунту, антропогенної енергії, вологи)[3], *біологічний коефіцієнт використання енергії* – відношення енергії, акумульованої в урожаї, до сумарної енергії ФАР і антропогенної енергії [5].

Друге завдання – оцінювання ефективності функціонування агроекосистеми – пропонує вирішувати визначенням відношення енергії, накопиченої в продукції, до *агротехногенного навантаження* – кількості енергії, яка надійшла в ґрунт. Її величина характеризує реальний потік енергії, який надходить в агроекосистему, і не тотожний витратам антропогенної енергії, які розраховують з економічних міркувань [2].

Враховуючи складність завдання, розглянемо один із його аспектів – визначення оптимальної методики енергетичного оцінювання ефективності виробництва продукції рослинництва у сівозміні Полісся.

Результати досліджень

Визначення коефіцієнта енергетичної ефективності за співвідношенням $K_{e.e} = \frac{E_y}{E_a}$ не враховує зміну енергетичного стану агроєкосистеми, який практично можна визначати за енергопотенціалом ґрунту (E_e), а саме за кількістю енергії органічної речовини й мінеральних елементів живлення, зосередженої в ґрунтовому профілі. За однакового співвідношення $\frac{E_y}{E_a}$, але різної величини $\Delta E_e = E_{e2} - E_{e1}$, тобто різниці між енергопотенціалом ґрунту на виході (E_{e2}) і на вході (E_{e1}) в агроєкосистему, висновок про енергетичну ефективність виробництва продукції буде однаковий, хоча насправді це не так.

За врахування витрат антропогенної енергії на відновлення енергопотенціалу ґрунту (E_a^*) коефіцієнт енергетичної ефективності визначають як $K_{e.e}^* = \frac{E_y}{E_a + E_a^*}$. Така методика теж має ряд недоліків.

1. Витрати антропогенної енергії на відновлення родючості ґрунту і вирощування культури недоцільно, а часто й складно розділити, оскільки технологічні заходи мають комплексний вплив на енергопотенціал ґрунту.

2. Зміна енергопотенціалу ґрунту і витрати енергії на його відновлення – різні поняття, і їх величини відрізняються. Величина витрат антропогенної енергії (E_a^*) залежить від способу відновлення родючості ґрунту, і тому за однакових зниження енергопотенціалу ґрунту й енергетичній ефективності вирощування культури $K_{e.e}^*$ може бути різним. Таким чином, E_a^* характеризує не саму технологію, а спосіб відновлення родючості ґрунту.

3. Підвищення енергопотенціалу ґрунту, наприклад, при вирощуванні багаторічних трав, неможливо врахувати при енергетичному оцінюванні ефективності виробництва продукції рослинництва за такою методикою.

Ці недоліки можна усунути, якщо визначати коефіцієнт енергетичної ефективності за співвідношенням $K_{e.e}^{**} = \frac{E_y + \Delta E_e}{E_a}$. У чисельнику врахований приріст запасу енергії в

агроєкосистемі, або сумарно в урожаї та ґрунті. Це відповідає теоретичному положенню, згідно з яким коефіцієнт енергетичної ефективності – це відношення виробленої енергії до високоякісної енергії, поверненої в процес виробництва [9]. В агроєкосистемі головні накопичувачі енергії – рослини та ґрунт. Енергія біомаси рослин, яка не використовується людиною і не враховується при визначенні коефіцієнта енергетичної ефективності (кореневі та поверхневі рештки тощо) трансформується в енергію високомолекулярних сполук гумусу ґрунту, в якому зосереджується близько 25 % вихідної кількості енергії [1]. Таким чином, вироблена енергія складається з двох основних частин – акумульованої в урожаї і в прирості запасу енергії органічної речовини ґрунту, переважно гумусу; крім того, треба враховувати і збільшення запасу енергії за рахунок накопичення мінеральних елементів живлення, не пов'язаних з гумусом. В свою чергу, при мінералізації гумусу, зменшенні запасу мінеральних елементів живлення енергія вивільняється й використовується для потреб агроєкосистеми або втрачається. Якщо інтенсивність мінералізації гумусу вища за інтенсивність гуміфікації, енергопотенціал ґрунту знижується, енергоресурс агроєкосистеми виснажується, що знижує енергетичну ефективність виробництва, і повинно враховуватись при обчисленні $K_{e.e}$. Це важливо ще й тому, що рівень продуктивності агроєкосистеми реалізується в залежності від екологічної ємності ґрунту – кількості енергії органічної речовини та мінеральних елементів живлення, здатної до трансформації в процесі функціонування агроєкосистеми, стратегія розвитку якої – створення і підтримання максимального рівня енергоємності, в тім числі за рахунок легкодоступних до трансформації джерел енергії (поверхневих рослинних решток, коренів)[3]. Це один із шляхів використання енергії для забезпечення подальшого зростання [9]. Враховуючи зміну енергопотенціалу ґрунту,

ми дбаємо про підвищення енергетичної ефективності виробництва на перспективу, тоді як врахування виходу лише енергії урожаю не дає реальної картини в цьому питанні.

Енергетичне оцінювання ефективності виробництва продукції рослинництва повинно передбачати визначення не тільки коефіцієнта енергетичної ефективності, а й *виходу корисної енергії*, під якою розуміють різницю між виробленою енергією та витратами енергії на її отримання [9], з одиниці площі:

$$E_{\text{корис}} = \frac{E_y + \Delta E_z - E_a}{S}, \text{ де } S - \text{ площа, га.}$$

Витрати антропогенної енергії в даному випадку є умовною величиною і не тотожні, як зазначалося вище, реальному потоку енергії в агроecosystemу. Зміну енергопотенціалу ґрунту спрощено можна визначати за річним балансом гумусу та мінеральних елементів живлення. Враховуючи складність їх точного визначення, доцільно використовувати розрахунковий метод, який досить добре розроблений (наприклад, [4]), тим більше, що порівняльне оцінювання технологій, сівозмін треба проводити ще на етапі їх розробки.

Порівняння різних підходів до енергетичного оцінювання ефективності виробництва продукції рослинництва проведемо на прикладі сівозміни Полісся, яка характеризується такою продуктивністю культур та балансом гумусу (табл. 1).

Таблиця 1. **Продуктивність культур та баланс гумусу в сівозміні Полісся**

| Культури, основна продукція | Урожайність, т/га | | Енерговміст урожаю (E_y), ГДж/га | | Маса поверх- невих та кореневих рослинних решток, т/га | Енерго- вміст рослинних решток, ГДж/га | Зміна енергопо- тенціалу ґрунту (ΔE_z), ГДж/га |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------|--|--|---|
| | основної продукції | побічної продукції | основної продукції | побічної продукції | | | |
| Конюшина (зелена маса) | 25,0 | - | 80,0 | - | 7,5 | 103,5 | 22,0 |
| Озиме жито | 3,0 | 5,5 | 45,6 | 80,8 | 4,4 | 64,7 | -10,0 |
| Картопля | 18,0 | 2,4 | 68,4 | 9,6 | 2,6 | 27,5 | -18,0 |
| Горох | 2,2 | 2,9 | 33,2 | 40,3 | 2,6 | 36,1 | 0 |
| Озима пшениця | 3,0 | 4,9 | 45,6 | 69,6 | 4,3 | 61,1 | -10,0 |
| Льон- довгунець (солома) | 4,0 | 0,5 | 52,0 | 10,7 | 2,0 | 27,0 | -14,0 |
| Ячмінь з підсі- вом конюшини | 2,5 | 3,0 | 37,8 | 44,1 | 3,3 | 48,6 | -8,0 |
| Середнє по сівозміні | | | 51,8 | 36,4 | | 52,6 | -5,4 |

Згідно з даними таблиці, коефіцієнт енергетичної ефективності, розрахований з урахуванням зміни енергопотенціалу ґрунту ($K_{e,e}^*$), нижчий, ніж розрахований за традиційною методикою ($K_{e,e}$), для озимих пшениці і жита, ячменю, льону-довгунця, картоплі, при вирощуванні яких відбувається зниження родючості ґрунту. Для картоплі він нижчий за одиницю навіть з урахуванням побічної продукції, що свідчить про неефективність її вирощування за енергетичними критеріями. Конюшина, навпаки, енергетично вигідна культура, особливо якщо врахувати її вплив на енергопотенціал ґрунту. Різниця за величиною між $K_{e,e}^{**}$ і $K_{e,e}$, розрахованих з урахуванням як основної, так і господарсько цінної продукції, коливається від -0,66 для льону-довгунця до 2,56 для конюшини.

Вихід корисної енергії дає змогу уточнити висновок про енергетичну ефективність вирощування культур. Для картоплі, льону-довгунця, гороху величина цього показника в цілому узгоджується зі значенням коефіцієнта енергетичної ефективності. Вирощування озимої пшениці забезпечує вищий вихід корисної енергії (84,4 і 74,4 ГДж/га в залежності від методики визначення), ніж вирощування ячменю, тоді як коефіцієнт енергетичної ефективності для озимої пшениці нижчий, ніж для ячменю (наприклад, $K_{e,e2}$ відповідно 3,77 і 4,38, $K_{e,e2}^{**}$ - 3,45 і 3,95).

Озиме жито забезпечує однаковий або навіть вищий вихід корисної енергії у порівнянні з конюшиною, хоча $K_{e.e}$ для нього суттєво нижчий.

Результати енергетичного оцінювання наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Енергетична ефективність вирощування культур в сівозміні Полісся

| Культури, продукція | Витрати антропогенної енергії (E_a), ГДж/га | Коефіцієнт енергетичної ефективності | | | | Вихід корисної енергії ($E_{корис}$), ГДж/га | |
|----------------------------|---|--------------------------------------|------------|----------------------------|-----------------|--|--------------------------|
| | | без урахування ΔE_z | | з урахуванням ΔE_z | | $E_y - E_a$ | $E_y + \Delta E_z - E_a$ |
| | | $K_{e.e1}$ | $K_{e.e2}$ | $K_{e.e1}^{**}$ | $K_{e.e2}^{**}$ | | |
| Конюшина (зелена маса) | 8,6 | 9,30 | 9,30 | 11,86 | 11,86 | 71,4 | 93,4 |
| Озиме жито | 24,6 | 1,85 | 5,14 | 1,45 | 4,73 | 101,8 | 91,8 |
| Картопля | 71,5 | 0,96 | 1,09 | 0,70 | 0,84 | 6,5 | -11,5 |
| Горох | 21,4 | 1,55 | 3,43 | 1,55 | 3,43 | 52,1 | 52,1 |
| Озима пшениця | 30,8 | 1,48 | 3,77 | 1,16 | 45 | 84,4 | 74,4 |
| Льон-довгунець (солома) | 21,2 | 2,45 | 2,96 | 1,79 | 2,30 | 41,5 | 27,5 |
| Ячмінь з підсівом конюшини | 18,7 | 2,02 | 4,38 | 1,59 | 3,95 | 63,2 | 55,2 |
| Середнє по сівозміні | 28,1 | | | | | 60,1 | 54,7 |

Примітка. $K_{e.e1}$ і $K_{e.e2}$ – з урахуванням відповідно основної і господарсько цінної (основної і побічної) продукції.

Висновки

Енергетичне оцінювання технологій виробництва продукції рослинництва в польовій сівозміні Полісся доцільно проводити за коефіцієнтом енергетичної ефективності та за виходом корисної енергії з одиниці площі, визначеними з урахуванням зміни енергопотенціалу ґрунту. Це сприятиме більш глибокому аналізу використання антропогенної енергії в землеробстві, раціональнішому природокористуванню й охороні навколишнього середовища.

Література

1. Алиев С.А. Энергетика почвообразования: Лекция. – Новосибирск, 1985. – 27 с.
2. Булаткин Г.А., Ларионов В.В. Энергетическая эффективность земледелия и агросистем: взаимосвязи и противоречия // Агрехимия. – 1997. - № 3. – С. 63-68.
3. Володин В.М. Агробиоэнергетика – новое научное направление // Земледелие. – 1992. - № 9-10. – С. 2-4; № 11-12. – С. 2-5.
4. Воспроизводство гумуса и хозяйственно-биологический круговорот органического вещества в земледелии (рекомендации). – М.: Агропромиздат, 1989. – 65 с.
5. Мартиненко О. Биоэнергетична концепція рослинництва в замкнених екосистемах // Натураліс. – 1998. - № 1. – С. 14-17.
6. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. – К.: Урожай, 1988. – 208 с.
7. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве / ВИМ. – М., 1989. – 59 с.
8. Огінський А. Основні напрями оптимізації енергоспоживання в сільському господарстві України // Економіка України. – 1998. - № 4. – С. 72-77.
9. Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы / Пер. с англ.; Под ред. А.П. Огурцова. – М.: Прогресс, 1978. – 380 с.