

## МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО КОНСТРУЮВАННЯ АГРОЕКОСИСТЕМ

*Враховуючи, що підтримання балансу гумусу в ґрунтах є визначальним фактором при використанні сировини сільськогосподарського походження на енергетичні потреби, обґрунтовано підходи до представлення агроєкосистеми у вигляді природно-техногенної агросистеми, що є складною багатопараметричною ієрархічною структурою та складається з окремих об'єктів, які наслідують характеристику основної системи*

**Ключові слова:** агроєкосистема, баланс, гумус, енергетика, ефективність, структура, опис, модель

### Постановка проблеми

Класичне визначення агроєкосистеми таке: під сільськогосподарською екологічною системою (агроєкосистемою) розуміють природний комплекс, змінений (трансформований) сільськогосподарською діяльністю людини [1]. Проте таке визначення не дозволяє дати відповідь на те, який вплив на ефективність агроєкосистеми здійснюють параметри машин та обладнання, а також техніко-економічні показники технологій, що здійснюються в межах агроєкосистеми.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Агроєкосистеми необхідно представляти у вигляді природно-техногенних агросистем (ПТАС), кожна з яких є складною багатопараметричною ієрархічною структурою [17, 18], що складається з окремих об'єктів, які за визначеного рівня декомпозиції можуть вважатися за елементарні, такі що не підлягають подальшій їх структуризації, причому така структура визначена наявністю та щільністю енергії зв'язків поміж окремими її об'єктами. Крім того, така агроєкосистема в процесі взаємодії з зовнішнім середовищем здатна до самоорганізації і розвитку, реагує на зовнішні впливи та зберігає стабільність у визначених просторово-часових межах.

Агроєкосистема в цілому так і її підсистеми, зокрема, повинні відповідати умовам існування: наявністю матеріальних об'єктів системи – матеріальна умова; енергетичною щільністю зв'язків поміж об'єктами системи – енергетична умова; обміном впорядкованою інформацією поміж об'єктами системи – ідеологічна умова.

Розглядаючи впливи на елементи агроєкосистеми, необхідно уникати таких, що призводять до порушення визначених діапазонів варіювання матеріальних,

енергетичних та інформаційних властивостей системи, знижують її стабільність і можуть вважатися зовнішніми «забруднювачами» [17, 18].

За подання агроєкосистеми у вигляді складної структури, необхідно щоб її функціонування відповідало узагальнюючим системним теоремам [4–6, 9, 16, 17]: агроєкосистема є більш стабільною, чим більше елементів та в'язей її складають (Барталанфі-Комонер); у конкуренції з іншими агроєкосистемами виживає та з них, яка найкращим чином сприяє надходженню до неї зовнішньої енергії на найефективніше використовує максимальну кількість енергії, що надійшла (Лотка-Одум-Моїсеєв); агроєкосистема не може бути описаною одним параметром, вона завжди є суттєво багатопараметричною (Мітчерліх); сталість агроєкосистеми визначається найслабшою ланкою в ланцюгу її потреб (Лібіх); агроєкосистема не може спонтанно підвищити ступінь своєї симетрії (Кюр'є); з найбільшою ефективністю агроєкосистема функціонує у визначених просторово-часових межах; агроєкосистема завжди протидіє зовнішнім впливам, які прагнуть змінити її стабільний стан (ле Шательє-Браун); агроєкосистема з одного стабільного стану може перейти в інший стабільний стан лише через стан хаосу (Чернявський); агроєкосистему не можливо пояснити перебуваючи в її межах (Гьодель).

Таким чином під час створення нової агроєкосистеми необхідно чітко розуміти, на які цілі слід використати ресурси агроєкосистеми та враховувати, що ґрунти є одночасно умовою і результатом сільськогосподарської діяльності, що пов'язують у просторі і часі природні й економічні межі агроєкосистем. Тому, опис агроєкосистеми – це модель, яка дозволяє передбачити зміну взаємозв'язків між елементами системи, зміну самих елементів у визначеному діапазоні умов. Дослідження агроєкосистеми необхідно виконувати із встановленням залежності «вплив – результат». Функціональний опис агроєкосистеми може бути заданий, як [18]:

$$S_{\phi} = \{T, x, C, Q, y, Y, \phi, \eta\}; \quad (1)$$

де  $T$  – множина моментів часу;

$x$  – множина миттєвих значень вхідних впливів (параметри машин та обладнання, що входять до складу агроєкосистеми, показники, що описують процеси їх роботи);

$C = \{c : T \rightarrow x\}$  – множина допустимих вхідних впливів (конструкційні та технологічні обмеження);

$Q$  – множина станів агроєкосистеми;

$y$  – множина значень вихідних величин (економічний ефект, баланс гумусу, енергетична ефективність);

$Y = \{u : T \rightarrow y\}$  – множина вихідних величин;

$\varphi = \{T \cdot T \cdot T \cdot c \rightarrow Q\}$  – перехідна функція стану

$\eta = \{T \cdot Q \rightarrow y\}$  – вихідне відображення;

$c$  – приріст вхідного впливу;

$n$  – приріст вихідної величини.

Приведений опис охоплює широкий діапазон властивостей. Проте його складно інтерпретувати для практичного застосування. Крім того, функціональний опис повинен відображати процес та ієрархію агросистеми.

Морфологічний опис агроєкосистеми можна виразити наступним чином [18]:

$$S_M = \{\Sigma, V, \sigma, K\}; \quad (2)$$

де  $\Sigma = \{\Sigma_i\}$  – множина елементів та їх властивостей (склад – гомогенний, гетерогенний, мішаний, невизначений; властивості елементів – інформаційні, енергетичні, матеріальні, нейтральні, невизначені);

$V = \{V_j\}$  – множина зв'язків (інформаційні, енергетичі, матеріальні, зворотні, прями, нейтральні);

$\sigma$  – структура (детермінована, ймовірнісна);

$K$  – композиція (слабкість, сила, наявність підсистем, тип підсистем).

Морфологічний опис агроєкосистеми необхідно будувати за ієрархічним принципом, шляхом послідовної декомпозиції системи та її підсистем.

Інформаційний опис агроєкосистеми повинен бути спрямований на ідентифікацію її апріорної мети та опис методології реалізації цієї мети, таким чином виражати ідеологію системи. Тобто, такий опис повинен відображати передбачуваність властивостей системи в часі.

Необхідно зазначити, що мета – економічна ефективність, є головною властивістю агроєкосистеми в цілому, тому мета повинна визначатися не лише в межах інформаційного наповнення системи, але й зумовлена інформацією про оточуюче середовище. Таким чином, інформаційний опис системи має включати опис зовнішніх інформаційних потоків, що беруть участь у реалізації функцій та мети агроєкосистеми. Необхідно також розглянути рівень впливу інформації на досягнення мети агроєкосистеми, оцінивши його рангом інформації. Загалом інформаційний опис агроєкосистеми має такий вигляд [18]:

$$S_I = \{G, m_G, I, W\}; \quad (3)$$

де  $G$  – апріорна мета агроєкосистеми;

$m_G$  – методологія реалізації апріорної мети за певного рівня її ідентифікації;

$I = \{i: T \rightarrow I_{\pm i}\}$  – множина ранжованої інформації;

$T$  – множина моментів часу;

$\pm i$  – ранг інформації;

$W = \left\{ w: I_{\pm i} \xrightarrow{H_w} m_G \right\}$  – множина внутрішніх та зовнішніх каналів інформації;

$H_w$  – ефективність обміну інформацією.

Інформаційний опис агроєкосистеми визначає вплив морфологічних та функціональних властивостей системи на ступінь досягнення мети від якості інформації всередині агроєкосистеми та такої, що надходить ззовні.

Сукупність функціонального, морфологічного та інформаційного описів агроєкосистеми відображає зміни та їх ефективність у часі. Очевидно, що ефективність агроєкосистеми буде залежати від ефективності складових елементів агроєкосистеми. Тому, опис та подальше конструювання елементів агроєкосистеми необхідно проводити із наслідуванням властивостей структури агроєкосистеми, використовуючи при цьому принцип поліморфізму [8] та базуючись на твердженні про те, що ґрунтове середовище є одночасно умовою і результатом антропогенної сільськогосподарської діяльності, а також про те, що ґрунтове середовище та антропогенна діяльність, виражена через вплив сільськогосподарських машин та обладнання на множини станів агроєкосистеми та вихідних величин (1), пов'язують за територією та часом природні й економічні межі агроєкосистеми [15].

### **Мета, завдання та методика досліджень**

Метою дослідження є встановлення принципових підходів до конструювання агроєкосистем з огляду на створення стійкої природно-техногенної конструкції, а об'єктом досліджень є динаміка балансу гумусу агроєкосистеми.

Задачею дослідження є встановлення чинників що впливають на баланс гумусу в агроєкосистемі з врахування інформаційного, морфологічного та функціонального описів системи.

Для вирішення поставленої задачі необхідно скористатися методикою конструювання елементів агроєкосистеми із наслідуванням властивостей структури агроєкосистеми, використовуючи при цьому принцип поліморфізму [8] та базуючись на твердженні про те, що ґрунтове середовище є одночасно умовою і результатом антропогенної сільськогосподарської діяльності, а також про те, що ґрунтове середовище та антропогенна діяльність, виражена через вплив сільськогосподарських машин та обладнання на множини станів агроєкосистеми та вихідних величин (1), пов'язуючи за територією та часом природні й економічні межі агроєкосистеми.

## Результати досліджень

Основною метою конструювання агроєкосистеми є створення стійкої природно-техногенної конструкції [12], що є часткою біосфери Землі і її розвиток не повинен деградувати під впливом техногенних навантажень. Тому необхідно, встановити чітку морфологічну структуру природно-техногенної агросистеми, із чіткою оцінкою впливу техногенних об'єктів, що дозволить стежити за змінами в агросистемі, прогнозувати її розвиток та керувати її станом [2, 3].

Типова агросистема передбачає вирощування культур у відповідній сівозміні [14]: виробництво основної продукції рослинництва та тваринництва; виробництво кормів для тваринництва та птахівництва; виробництво тепла та енергії із біогазу отриманого в результаті зброджування продуктів життєдіяльності тварин та птиці; підготовку та використання деякої частки незернової частини урожаю на теплові потреби у вигляді генераторного газу, пеллет [13], брикетів, тюків або січки; виробництво компосту, з використанням біологічної конверсії органічної сировини; виробництво рідких біопалив – дизельного палива та етанолу [10, 11].

Для морфологічного опису нової природно-техногенної агроєкосистеми необхідно виділити її елементарні блоки (ЕБА): рослинництво, тваринництво та птахівництво, переробку та зберігання сільськогосподарської продукції, виробництво біопалива. Які також, матимуть у своєму складі елементарні блоки – машини та обладнання, що забезпечують технологічний процес у відповідних елементарних блоках агроєкосистеми. Крім того кожен ЕБА, наприклад виробництво біопалива можна представити в свою чергу, як окрему природно-техногенну систему, також розділивши її на елементарні блоки: виробництво твердого палива (пелети, брикети, пряме спалювання), виробництво рідкого палива (біодизель, біоетанол), виробництво газоподібного палива (біогаз, генераторний газ), з яких також можна виділити в окремі підсистеми – технологічні процеси виробництва, використання біопалив, та при подальшій декомпозиції перейти до параметрів машин, обладнання що забезпечують дані процеси. Заходи спрямовані на відновлення органічних речовин у ґрунті, тобто підтримання позитивного балансу гумусу необхідно також виокремити в ЕБА – підтримання балансу гумусу. В блоці – підтримання балансу гумусу необхідно виділити підсистеми: внесення мінеральних та органічних речовин (в тому числі отриманих у результаті виробництва і використання біопалива), обробіток ґрунту, використання компостів, використання сидератів; з подальшою декомпозицією до параметрів машин та обладнання, що використовується в технологічних процесах даного ЕБА

Баланс гумусу в сівозміні визначається як різниця між кількістю мінералізованого гумусу та його надходженням за рахунок гуміфікації кореневих

решток, поживних залишок, біомаси бур'янів та сидератів, а також внесеного підстилкового гною та інших органічних речовин.

Вихідними параметрами (даними) для розрахунку балансу гумусу сівозміни є комплекс статистичних, агрономічних та агрозоотехнічних показників. Серед них мінералізація гумусу культурами сівозміни, вихід сухої маси кореневих решток та сухої біомаси польових культур є такими, що залежать від урожайності польових культур і у широких межах [8]. Це дає можливість розробити лише наближений алгоритм розрахунку балансу гумусу в межах функціонального опису системи.

Виділення підтримання балансу гумусу, в окремий елементарний блок агроєкосистеми, дозволяє змодельовати динаміку балансу гумусу під впливом зовнішніх факторів, таким чином головною залежною координатою осі ординат (x) буде баланс гумусу:

$$\begin{aligned}
 BG = & \sum_{i=1}^n s_i u_i (k_{kp}^{i2} k_{kp}^{i6} + k_{nn}^{i2} k_{nn}^{i6}) + k_{ze} k_{by} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_e^j + m_g^j + m_n^j) \\
 & + k_{kz} \left( \sum_{i=1}^n s_i u_i k_{\kappa}^i + k_{\varepsilon\kappa} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_e^j + m_g^j + m_n^j) \right) + s_c u_c k_{zc} - \sum_{i=1}^n k
 \end{aligned} \quad (4)$$

де  $BG$  – баланс гумусу сівозміни, кг;

$n$  – кількість культур у сівозміні;

$s_i$  – площа виділена під вирощування  $i$ -ї культури, га;

$u_i$  – урожайність  $i$ -ї культури, ц/га;

$k_{kp}^{i2}; k_{nn}^{i2}$  – коефіцієнти гуміфікації кореневих решток та побічної продукції  $i$ -ї культури;

$k_{kp}^{i6}; k_{nn}^{i6}$  – коефіцієнти що враховують обсяг кореневої системи та побічної продукції, що залишається на полі після збирання  $i$ -ї культури;

$k_{ze}$  – коефіцієнт гуміфікації зброженого гною;

$k_{by}$  – коефіцієнт використання гною в біогазових установках;

$m$  – кількість груп тварин, що отримують корми із сівозміни;

$N_j$  – поголів'я тварин та птиці  $j$ -го виду;

$T_j$  – стійловий період поголів'я тварин та птиці  $j$ -го виду, дів;

$m_e^j$  – маса екскрементів  $j$ -го виду тварин та птиці, кг/голову за добу;

$m_e^j$  – маса вологи, що надходить в екскременти  $j$ -го виду тварин та птиці, кг/голову за добу;

$m_n^j$  – маса підстилки для  $j$ -го виду тварин та птиці, кг/голову за добу;

$k_{кз}$  – коефіцієнт гуміфікації компостів;

$k_{к}^i$  – коефіцієнт надходження побічної продукції на компостування;

$k_{ск}$  – коефіцієнт надходження гною на компостування;

$s_c$  – площа виділена під сидерати, га;

$u_c$  – урожайність сидератів, ц/га;

$k_{сх}$  – коефіцієнт гуміфікації сидератів;

$k_m^i$  – коефіцієнт мінералізації гумусу  $i$ -ю культурою.

Виходячи із позитивного балансу гумусу, можна встановити, координати по осі ординат ( $y$ ) для елементарних блоків природно-техногенної агроєкосистеми виробництва біопалив.

Так, для твердого біопалива ординатою буде потенціал сировини рослинницького походження:

$$CE = \sum_{i=1}^n s_i u_i \left( k_{mn}^i - (k_{mn}^{ie} + k_{к}^i) - \sum_{j=1}^m N_j T_j m_n^j \right) \rightarrow \max; \quad (5)$$

де  $CE$  – вихід із сівозміни біомаси (соломи) придатної для енергетичних потреб, кг;

$k_{mn}^i$  – коефіцієнт виходу побічної продукції  $i$ -ї культури.

Ордината для біогазу:

$$BE = k_{е2} k_{бy} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_e^j + m_e^j + m_n^j) \rightarrow \max; \quad (6)$$

де  $BE$  – вихід біогазу, м<sup>3</sup>;

$k_{е2}$  – коефіцієнт виходу газу в біогазових установках, м<sup>3</sup>/кг;

Ордината для генераторного газу:

$$GE = \sum_{i=1}^n k_{е22}^i s_i u_i \left( k_{mn}^i - (k_{mn}^{ie} + k_{к}^i) - \sum_{j=1}^m N_j T_j m_n^j \right) \rightarrow \max; \quad (7)$$

де  $GE$  – вихід генераторного газу, м<sup>3</sup>;

$k_{е22}^i$  – коефіцієнт виходу генераторного газу  $i$ -ї культури.

Ординати для біодизелю та біоетанолу можна задати виходячи із питомих витрат відповідних видів палива на 1 га ріллі.

$$DE = N_{\partial} \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{m=1}^n s_{mo} u_{mo} k_{вк\partial}^m k_{\partial}^m; \quad (8)$$

де  $DE$  – потреба в біодизельному пальному, кг;

$N_{\partial}$  – норма витрат біодизельного пального, кг/га;

$s_{mo}$  – площа виділена під  $m$ -у олійну культуру, га;

$u_{mo}$  – урожайність  $m$ -ту олійної культури, ц/га;

$k_{вк\partial}^m$  – коефіцієнт використання олійної культури для виробництва біодизельного пального;

$k_{\partial}^m$  – коефіцієнт виходу біодизельного пального.

$$EE = N_e \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{k=1}^n s_{ke} u_{ke} k_{вкe}^k k_{ee}^k; \quad (9)$$

де  $EE$  – потреба в біоетанолі, кг;

$N_e$  – норма витрат біоетанолу, кг/га;

$s_{ke}$  – площа виділена під  $k$ -у культуру придатну для виробництва біоетанолу, га;

$u_{ke}$  – урожайність  $k$ -ту культури придатної для виробництва біоетанолу, ц/га;

$k_{вкe}^k$  – коефіцієнт використання культури для виробництва біоетанолу.

$k_{ee}^k$  – коефіцієнт виходу біоетанолу.

Незалежними змінними (х) в рівняннях 4–9 будуть: запрограмовані:  $n$  – кількість культур у сівозміні;  $s_i$  – площа виділена під вирощування  $i$ -ї культури, га;  $m$  – кількість груп тварин, що отримують корми із сівозміні;  $N_j$  – поголів'я тварин та птиці  $j$ -го виду;  $s_c$  – площа виділена під сидерати, га;  $s_{mo}$  – площа виділена під  $m$ -у олійну культуру, га;  $s_{ke}$  – площа виділена під  $k$ -у культуру придатну для виробництва біоетанолу, га;  $k_{\partial}$  – коефіцієнт використання гною в біогазових установках (коефіцієнт збродження гною);  $k_{\kappa}^i$  – коефіцієнт надходження побічної продукції на компостування;  $k_{\kappa}$  – коефіцієнт



надходження гною на компостування;  $N_d$  – норма витрат біодизельного пального, кг/га;  $k_{вкд}^m$  – коефіцієнт використання олійної культури для виробництва біодизельного пального;  $N_e$  – норма витрат біоетанолу, кг/га;  $k_{вке}^k$  – коефіцієнт використання культури для виробництва біоетанолу. Та ті, що мають випадковий характер:  $u_i$  – урожайність  $i$ -ї культури, ц/га;  $u_c$  – урожайність сидератів, ц/га;  $u_{mо}$  – урожайність  $m$ -ту олійної культури, ц/га.  $u_{ке}$  – урожайність  $k$ -ту культури придатної для виробництва біоетанолу, ц/га. Варіюючи запрограмованими координатами, та правильно оцінивши випадкові можна досягти максимального виходу біоенергетичних компонентів із збереженням позитивного балансу гумусу без зниження виходу основної продукції сільськогосподарського виробництва – харчової.

Подальша декомпозиція елементарних блоків агроєкосистеми, призводить до їх поділу на машини, що використовуються для функціонування таких блоків, які забезпечують перетікання потоків енергії та інформації між елементарними блоками агроєкосистеми.

Тому, необхідно враховувати, що значний вплив на оптимізацію залежних координат агроєкосистеми чинять параметри робочих органів машин і обладнання, які в рівняннях 4–9 впливають на значення коефіцієнтів, що також можна розділити на дві групи:

– параметри, що визначають показники роботи обладнання для виробництва біопалива:  $k_{зс}$  – коефіцієнт гуміфікації збродженого гною;  $k_{оу}$  – коефіцієнт використання гною в біогазових установках;  $k_{ег}$  – коефіцієнт виходу газу в біогазових установках, м<sup>3</sup>/кг;  $k_{егг}^i$  – коефіцієнт виходу генераторного газу  $i$ -ї культури;  $k_{ео}^m$  – коефіцієнт виходу біодизельного пального;  $k_{ее}^k$  – коефіцієнт виходу біоетанолу.

– параметри, що визначають агротехнічні показники роботи сільськогосподарських машин під час вирощування та збирання сільськогосподарських культур та утримання тварин і птиці:  $k_{кр}^{i2}$ ;  $k_{nn}^{i2}$  – коефіцієнти гуміфікації корневих решток та побічної продукції  $i$ -ї культури;  $k_{кр}^{i6}$ ;  $k_{nn}^{i6}$  – коефіцієнти що враховують обсяг кореневої системи та побічної продукції, що залишається на полі після збирання  $i$ -ї культури;  $k_{зс}$  – коефіцієнт

гуміфікації сидератів;  $k_m^i$  – коефіцієнт мінералізації гумусу  $i$ -ю культурою;  $k_{m_i}^i$  – коефіцієнт виходу побічної продукції  $i$ -ї культури.

Такі коефіцієнти чинять вагомий вплив на зв'язки між елементарними блоками агросистеми.

### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

Очевидно, що ефективність агроєкосистеми буде залежати від ефективності складових елементів агроєкосистеми. Тому, опис та подальше конструювання елементів агроєкосистеми необхідно проводити із наслідуванням властивостей структури агроєкосистеми, використовуючи при цьому принцип поліморфізму та базуючись на твердженні про те, що ґрунтове середовище є одночасно умовою і результатом антропогенної сільськогосподарської діяльності, а також про те, що ґрунтове середовище і антропогенна діяльність, виражена через вплив сільськогосподарських машин і обладнання на множини станів агроєкосистеми та вихідних величин (економічний ефект, баланс гумусу, енергетична ефективність), пов'язують за територією та в часі природні й економічні межі агроєкосистеми.

Враховуючи, що підтримання балансу гумусу в ґрунтах є визначальним фактором при використанні сировини сільськогосподарського походження на енергетичні потреби, перспективним є встановлення значення ординат елементарних блоків природно-техногенної агросистеми виробництва біопалива, що дає можливість у подальшому провести дослідження, щодо балансування харчових, сировинних та енергетичних потреб із можливостями агросистем при одночасному акумулюванні сонячної енергії у вигляді гумусу та утриманні й розширенні біологічного різноманіття біоценозів. Також, це дозволить провести дослідження виробництва біопалив у агросистемах та поєднати це виробництво із отриманням високоякісної та екологічно безпечної продукції.

### **Література**

- 
1. Агроєкологія: навч. посібник / *О. Ф. Смаглій, А. Т. Кардашов, П. В. Литвак* [та ін.]. – К. : Урожай, 2004. – 644 с.
  2. *Адаменко О. М.* Наш майбутній дім– Екоєвропа. Роман життя, науки і кохання: – в 4 т. / *О. М. Адаменко.* – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2007. – Т. 4. – 428 с.
  3. *Адаменко О. М.* Екологічне картування / *О. М. Адаменко, Г. І. Рудько, Л. М. Консевич.* – Івано-Франківськ : Полум'я, 2003. – 580 с.
  4. *Банди Б.* Методы оптимизации. Вводный курс: пер. с англ. // *Б. Банди.* – М.: Радио и связь, 1988. – 128с.
  5. *Василенко П. М.* О методике механико-математических изысканий при разработке проблем сельскохозяйственной техники / *П. М. Василенко* – М. : БТИ ГОСНИТИ, 1962. – 231 с.

6. *Воеводин В. В.* Математические модели и методы в параллельных процессах / *В. В. Воеводин.* – М. : Наука, 1986. – 296 с.

7. *Голуб Г. А.* Проблеми використання соломи як палива / *Г. А. Голуб* // Вісн. аграр. науки. – 2010. – № 8. – С. 49–52.

8. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / *Б. Гради, Р. Максимчук,* М. Энгл [и др.]. – М. : Вильямс, 2008. – 720 с.

9. *Казанцев Э. Ф.* Технологии исследования биосистем / *Э. Ф. Казанцев.* – М. : Машиностроение, 1999. – 177 с.

10. *Калетник Г. М.* Розвиток ринку біопалив в Україні: монографія / *Г. М. Калетник.* – К. : Аграр. наука, 2008. – 464 с.

11. *Калетник Г. М.* Формування ринку біосировини для виробництва біопалива / *Г. М. Калетник* // Вісн. аграр. науки. – 2008. – № 7. – С. 64–66.

12. *Рудько Г. І.* Конструктивна геоecологія: наукові основи та практичне втілення / *Г. І. Рудько, О. М. Адаменко;* за ред. *Г. І. Рудька.* – К. : Маклаукт, 2008. – 320 с.

13. *Сарана В. В.* Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур і деревини / *В. В. Сарана, С. М. Кухарець, М. М. Гудзенко* // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 144, ч. 3. – С. 190–197.

14. Сівозміни у землеробстві України / за ред. *В. Ф. Сайка, П. І. Бойка.* – К. : Аграр. наука, 2002. – 147 с.

15. *Сонько С. П.* Агроекосистема як екологічна ніша людини / *С. П. Сонько* // Зб. наук. пр. Уманського ДАУ. – 2009. – Вип. 71. – С. 188–199.

16. *Хакен Г.* Синергетика / *Г. Хакен* – М. : Мир, 1980. – 406 с.

17. *Шелудченко Б. А.* Методологія досліджень екосистеми / *Б. А. Шелудченко.* – Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, 2008. – 110 с.

18. *Шелудченко Б. А.* Інженерна екологія. Ч. 7. Фізична екологія: навч. посібник / *Б. А. Шелудченко, М. І. Бахмат, І. А. Шелудченко* [та ін.]; за ред. *Б. А. Шелудченко.* – Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, 2008. – 124 с.

---

---