

УДК 519.8

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕГІОНУ: ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ

© О. О. Ємець, О. О. Черненко

Полтавський університет економіки і торгівлі  
вул. Ковалю, 3, м. Полтава, 36014, Україна  
E-MAIL: yemetsli@mail.ru, oksanachernenko7@gmail.com

**Abstract.** The problem of the ecological safety of production on regional level is considered in the article. The model of functioning of a region is built taking into account the technogenic loading on an environment and the rational use of natural resources.

### Вступ

*Постановка задачі в загальному вигляді.* Проблема запобігання природно-техногенним надзвичайним ситуаціям, зменшення їх впливу на населення, природу й економіку має пріоритетне загальнодержавне значення.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Велика кількість публікацій, особливо в останні роки, присвячена проблемі збалансування економіки та екології (див., наприклад, [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]). Зокрема, в [4] розглядається проблема забезпечення екологічної безпеки в умовах трансформації економіки України, а також удосконалення державного регулювання регіональної екологічної безпеки; в [5] розкрито еколого-економічне регулювання природокористування в системі глобальних стратегій розвитку.

*Невирішені раніше задачі загальної проблеми.* Дана проблема є предметом вивчення низки науковців, однак при цьому задача моделювання функціонування регіону, що мінімізує техногенне навантаження на довкілля, в літературі не розглядалася.

Отже, актуальним є питання про таку модель розвитку галузей промисловості та сільського господарства, яка б забезпечувала економічне зростання і водночас враховувала потенціал навколишнього середовища з точки зору можливостей його використання.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглянемо функціонування регіону протягом року для оцінки його екологічної безпеки та побудуємо модель.

Система критеріїв оцінки екологічної безпеки промислового виробництва регіону орієнтована на оцінку екологічної безпеки окремих промислових об'єктів. Під промисловим об'єктом розуміється окремо розташований проммайданчик підприємства,

промислове підприємство або група промислових підприємств, які можуть розглядатися, як єдине джерело техногенного впливу [4].

Вважаємо, що в регіоні зосереджені промислові підприємства (заводи, фабрики), розвинутий гірничо-металургійний комплекс (добування корисних копалин), а також сільське господарство, зокрема, рослинництво та тваринництво.

В результаті діяльності промислових агломерацій, відбувається забруднення літосфери, гідросфери, атмосфери та наноситься шкода біосфері. Крім того, функціонування регіону в цілому потребує і використання природних та добутих ресурсів. В роботі забруднення визначається як використання, зокрема, якщо забруднено один куб. метр повітря, то він рахується як використаний.

Для аналізу функціонування промислового регіону введемо такі позначення:  $x_i$  — обсяг виготовленої  $i$ -ої продукції в регіоні (тонн),  $X$  — множина виготовленої продукції;  $y_i$  — кількість добутої  $i$ -ої корисної копалини (тонн),  $Y$  — множина усіх копалин;  $z_i$  — обсяг  $i$ -ої вирощеної культури (тонн),  $Z$  — множина всіх культур;  $v_i$  — обсяг вигодуваного  $i$ -ого виду худоби (тонн),  $V$  — множина всіх тварин.  $J_1$  — множина забруднюючих речовин, що дає промисловий сектор (підприємства та гірничодобувний комплекс);  $J_6$  — множина забруднюючих речовин, що дає с/г виробництво;  $I_1$  — кількість промислових підприємств;  $I_2$  — кількість майданчиків добування корисних копалин.

В роботі вважається, що одне підприємство може спеціалізуватися на випуску різної продукції, а одна і та ж продукція випускається різними підприємствами.

Аналогічне припущення має місце і для сільського господарства, зокрема, для тваринництва. Для рослинництва вважаємо, що на одному полі може бути посіяна одна культура і одна і та ж культура може бути посіяна на різних полях.

## 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ

*Оцінка діяльності промислових підприємств по використанню (забрудненню) природних ресурсів.*

1) Забруднення повітря. Концентрація  $C_{jk}^n$  забруднюючої речовини  $j$  в повітрі за напрямом вітру (швидкість вітру  $U$ , м/с) на віддалі  $b$  від  $k$ -ої промислової агломерації розраховується за формулою [8]:

$$C_{jk}^n = \frac{\sum_{i \in X} m_{ji}^1 x_i}{\left[ \left( \frac{b^n}{2} + b \right) 2tg(5, 5U^{-0,4}) + h_k^n \right] HU}, \quad (1)$$

де  $m_{ji}^1$  — інтенсивність викидів  $j$ -ої речовини для виробництва одиниці  $i$ -ої продукції за одиницю часу,  $l_k^n, h_k^n$  — довжина і ширина зони викидів  $k$ -ого промислового підприємства;  $H$  — висота шару приземної атмосферної циркуляції. Формула (1) дозволяє розрахувати концентрацію окремої забруднюючої речовини  $j$ , що випускає окреме підприємство.  $\sum_{i \in X} m_{ji}^1 x_i$  — сума викидів  $j$ -ої речовини по всім продукціям, що випускає деяке підприємство, можливо по частині продукції з  $X$ .

**Зауваження 1.** Тут і далі будемо вважати залежність інтенсивності викиду забруднюючих речовин від обсягу виготовлення лінійною.

**Зауваження 2.** Забруднення повітря промисловим сектором оцінюється через порівняння розрахованої концентрації з гранично допустимою (ГДК), яка є документально затвердженою для кожного окремого підприємства та гірничодобувного комплексу. Аналогічне припущення має місце і для оцінки забруднення води. Як наслідок, сума ГДК  $j$ -ої речовини від усіх промислових об'єктів не перевищує ГДК  $j$ -ої речовини в повітрі.

**Зауваження 3.** Для оцінки забруднення повітря та води розглядається той момент часу, коли викиди поширились так, що їх можна вважати сталими в часі та просторі.

Порівнюємо  $C_{jk}^n$  розрахованою за (1) з  $C_{jk}^{\text{ГДК}}$  для  $j$ -ої речовини для кожного підприємства регіону. Виділяємо  $J_2$  — множину забруднюючих речовин промислових підприємств, концентрація яких в повітрі перевищує норму. Запишемо функцію у вартісному співвідношенні, що визначає штраф:

$$\sum_{j \in J_2} k_j^1 \left( C_{jk}^m - C_{jk}^{\text{ГДК}} \right), \quad (2)$$

де  $k_j^1$  — коефіцієнт штрафу за перевищення ГДК забруднюючих речовин у повітрі. Співвідношення (2) має місце для кожного підприємства. Враховуючи весь промисловий комплекс регіону, (2) записується так:

$$\sum_{k \in I_1} \sum_{j \in J_2} k_j^1 \left( C_{jk}^m - C_{jk}^{\text{ГДК}} \right) \rightarrow \min. \quad (3)$$

З іншого боку, просумуємо концентрації всіх забруднюючих речовин  $j \in J_1$  для кожного підприємства і порівняємо їх з  $C_{jk}^{\text{ГДК}}$ :

$$\sum_{j \in J_1} C_{jk}^m \leq \sum_{j \in J_1} C_{jk}^{\text{ГДК}} \quad \forall k \in I_1. \quad (4)$$

Для тих підприємств  $k \in I_1$ , для яких (4) не виконується, рахуємо кількість використаного (забрудненого) повітря, а саме:

$$\sum_{k \in I_1} l_k^n h_k^n H \quad (5)$$

використане (забруднене) повітря для  $\forall k \in I_1$ , т. що (4) не виконується.

2) Забруднення води. З одного боку, позначивши  $\eta_i$  — кількість використаної води для виробництва одиниці  $i$ -ої продукції, об'єм використаної води в промисловому секторі регіону дорівнює:

$$\sum_{i \in X} \eta_i x_i. \quad (6)$$

З іншого, позначивши  $D_{jk}^{x_i}$  — об'єм викиду  $j$ -ої речовини у воду при виробництві одиниці  $i$ -ої продукції, отримуємо об'єм забрудненої води в результаті функціонування  $k$ -ого підприємства,  $k \in I_1$ :

$$\sum_{i \in X} D_{jk}^{x_i} x_i = D_{jk}^n. \quad (7)$$

Порівнюємо (7) з  $D_{jk}^{x_i}$  — ГДК  $j$ -ої речовини у воді. Виділяємо  $J_3$  — множину забруднюючих речовин промислових підприємств, концентрація яких у воді перевищує норму. Функція у вартісному співвідношенні, що визначає штраф, запишеться так:

$$\sum_{j \in J_3} k_j^2 \left( D_{jk}^n - D_{jk}^{\text{ГДК}} \right), \quad (8)$$

де  $k_j^2$  - коефіцієнт штрафу за перевищення ГДК забруднюючих речовин у воді. Враховуючи весь промисловий комплекс регіону, (8) запишеться так:

$$\sum_{k \in I_1} \sum_{j \in J_3} k_j^2 \left( D_{jk}^n - D_{jk}^{\text{ГДК}} \right) \rightarrow \min. \quad (9)$$

3) Використана енергія обчислюється за формулою:

$$\sum_{i \in X} p_i x_i, \quad (10)$$

де  $p_i$  — кількість використаної енергії для виробництва одиниці  $i$ -ої продукції. Отже, модель функціонування промислових підприємств регіону набуде вигляду:

$$\sum_{i \in X} m_i x_i - \sum_{k \in I_1} \sum_{j \in J_2} k_j^1 \left( C_{jk}^m - C_{jk}^{\text{ГДК}} \right) - \sum_{k \in I_1} \sum_{j \in J_3} k_j^2 \left( D_{jk}^n - D_{jk}^{\text{ГДК}} \right) \rightarrow \max \quad (11)$$

за обмежень

$$a_i \leq x_i \quad \forall i \in X, \quad (12)$$

де  $m_i$  — прибуток з виробництва одиниці  $i$ -ої продукції,  $a_i$  — потреба в  $i$ -ій продукції.

*Використання природних ресурсів гірничодобувною галуззю.*

1) Забруднення повітря. Міркування аналогічні до попередніх приводять до співвідношення:

$$\sum_{k \in I_2} \sum_{j \in J_4} k_j^1 (C_{jk}^r - C_{jk}^{\Gamma\text{ДК}}) \rightarrow \min, \quad (13)$$

де  $C_{jk}^r$  — концентрація  $j$ -ої забруднюючої речовини в повітрі від діяльності  $k$ -ого гірничодобувного комплексу,  $J_4$  — множина забруднюючих речовин діяльності гірничодобувного комплексу, концентрація яких в повітрі перевищує норму. З іншого боку, просумуємо концентрації всіх забруднюючих речовин  $j \in J_1$  для кожного промислового майданчика і порівняємо їх з  $C_{jk}^{\Gamma\text{ДК}}$ :

$$\sum_{j \in J_1} C_{jk}^r \leq \sum_{j \in J_1} C_{jk}^{\Gamma\text{ДК}} \quad \forall k \in I_2. \quad (14)$$

Для тих гірничодобувних комплексів  $k \in I_2$ , для яких (14) не виконується, обчислюємо кількість використаного повітря

$$\sum_{k \in I_2} l_k^r h_k^r H. \quad (15)$$

2) Забруднення води обчислюється за формулою:

$$\sum_{i \in Y} \beta_i y_i, \quad (16)$$

де  $\beta_i$  — кількість використаної (забрудненої) води для добування одиниці обсягу  $i$ -ої корисної копалини. З іншого боку, запишемо функцію у вартісному співвідношенні, що визначає штраф

$$\sum_{k \in I_2} \sum_{j \in J_5} k_j^2 (D_{jk}^r - D_{jk}^{\Gamma\text{ДК}}) \rightarrow \min, \quad (17)$$

де  $D_{jk}^r = \sum_{i \in Y} D_{jk}^{y_i} y_i$  — об'єм забрудненої води в результаті функціонування  $k$ -ого гірничого комплексу,  $J_5$  — множина забруднюючих речовин діяльності гірничодобувного комплексу, концентрація яких у воді перевищує норму.

3) Використання енергії обчислимо за формулою:

$$\sum_{i \in Y} \gamma_i y_i, \quad (18)$$

де  $\gamma_i$  — кількість використаної енергії для добування 1 тонни  $i$ -ої корисної копалини. Отже, функціонування гірничого комплексу регіону може бути представлено моделлю:

$$\sum_{i \in Y} n_i y_i - \left( \sum_{k \in I_2} \sum_{j \in J_4} k_j^1 (C_{jk}^r - C_{jk}^{\Gamma\text{ДК}}) + \sum_{k \in I_2} \sum_{j \in J_5} k_j^2 (D_{jk}^r - D_{jk}^{\Gamma\text{ДК}}) \right) \rightarrow \max \quad (19)$$

за обмежень:

$$b_i \leq y_i \leq B_i, \quad i \in Y, \quad (20)$$

де  $b_i$  — кількісна потреба в  $i$ -ій корисній копалині;  $B_i$  — максимально можлива кількість добування  $i$ -ої корисної копалини;  $n_i$  — прибуток з добування одиниці  $i$ -ої корисної копалини.

*Аналіз та оцінка використання природних ресурсів рослинною галуззю сільськогосподарства.*

1) Забруднення повітря обчислюється за формулою:

$$\sum_{i \in Z} \delta_i z_i, \quad (21)$$

де  $\delta_i$  — сумарна кількість використаного повітря для вирощування одиниці  $i$ -ої культури (розпилювання міндобрив, випаровування, робота техніки).

З іншого боку,  $C_{ji}^p z_i \leq C_j^{\Gamma\text{ДК}}$ ,  $j \in J_6$ , де  $C_j^p$  — об'єм викиду  $j$ -ої забруднюючої речовини в повітря при вирощуванні одиниці  $i$ -ої культури. Міркуючи аналогічно побудові оцінки діяльності промислового сектора регіону, запишемо обмеження по всім забруднюючим речовинам, які надходять у повітря, в результаті посіву та вирощування культур:

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in J_6} C_{ji}^p z_i \leq \sum_{j \in J_6} C_j^{\Gamma\text{ДК}}. \quad (22)$$

Права частина (22) — ГДК забруднення повітря рослинною галуззю сільськогосподарства (може бути розрахована від величини  $C_j^{\Gamma\text{ДК}}$  в повітрі як відсоток техногенного навантаження рослинною галуззю сільськогосподарства на навколишнє середовище).

2) Забруднення води розраховуємо за формулою:

$$\sum_{i \in Z} \phi_i z_i, \quad (23)$$

де  $\phi_i$  — кількість використаної води для вирощування одиниці  $i$ -ої культури (зрошення і т. д.). З іншого боку,  $D_j^p z_i \leq D_j$ , де  $D_j^p$  — обсяг викиду (надходження)  $j$ -ої забруднюючої речовини у воду при вирощуванні одиниці  $i$ -ої культури. Для регіону оцінка забруднення водних ресурсів в результаті вирощування зернових культур запишеться співвідношенням:

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in J_6} D_j^p z_i \leq \sum_{j \in J_6} D_j^{\Gamma\text{ДК}}. \quad (24)$$

3) Використання енергії розрахуємо так:

$$\sum_{i \in Z} \varphi_i z_i, \quad (25)$$

де  $\varphi_i$  - кількість використаної енергії для вирощування одиниці  $i$ -ої культури. Отже, вирощування культур може бути описане моделлю:

$$\sum_{i \in Z} k_i z_i \rightarrow \max, \quad (26)$$

де  $k_i$  — прибуток з вирощеної 1 тонни  $i$ -ої культури, за обмежень

$$z_i \geq c_i, \quad \forall i \in Z, \quad (27)$$

$$\sum_{i \in Z} s_i^p z_i \leq S_{\max}^p \quad (28)$$

та за обмежень (22), (24), де  $c_i$  — кількісна потреба в  $i$ -ій культурі;  $s_i^p$  — площа необхідна для вирощування одиниці  $i$ -ої культури,  $S_{\max}^p$  — максимальна площа, що відводиться під посів.

*Використання природних ресурсів тваринницькою галуззю сільського господарства.*

1) Забруднення повітря обчислюється за формулою:

$$\sum_{i \in V} \alpha_i v_i, \quad (29)$$

де  $\alpha_i$  — сумарна кількість використаного повітря для однотонного приросту маси тварини  $i$ -го виду (робота техніки, випаровування стоків).

2) Забруднення води розраховуємо за формулою:

$$\sum_{i \in V} \mu_i v_i, \quad (30)$$

де  $\mu_i$  — кількість використаної води для однотонного приросту маси тварини  $i$ -го виду (стоки тваринницьких комплексів).

3) Використання енергії обчислимо так:

$$\sum_{i \in V} \sigma_i v_i, \quad (31)$$

де  $\sigma_i$  — кількість використаної енергії для однотонного приросту маси тварини  $i$ -го виду,  $i \in V$ .

4) використання рослинництва як корму

$$\sum_{i \in Z_1} z_i \geq \sum_{j \in V} r_j v_j, \quad (32)$$

де  $r_j$  — об'єм культур необхідних для вирощування тонни тварини  $i$ -го виду,  $Z_1$  — множина кормових культур. Отже, функціонування тваринницького сектора може

бути описане моделлю:

$$\sum_{i \in V} p_i v_i \rightarrow \max, \quad (33)$$

де  $p_i$  — прибуток від вирощування одиниці маси  $i$ -ого виду тварин, за обмежень

$$d_i \leq v_i, \quad \forall i \in V, \quad (34)$$

$$\sum_{i \in V} s_i^m v_i \leq S_{\max}^m \quad (35)$$

та за обмежень (32), де  $d_i$  — кількісна потреба в  $i$ -ому виді тварин;  $s_i^m$  — площа необхідна для одиниці маси  $i$ -ого виду тварин,  $S_{\max}^m$  — максимальна площа, що відводиться під тваринницький сектор.

*Інтегральна оцінка екологічного стану території регіону.*

В цілому по регіону запишемо обмеження на використання ресурсів (повітря, вода, енергія) у вигляді

$$H_{\phi}^r \leq K^r, \quad (36)$$

де  $H_{\phi}^r$  — показник фактичного стану  $r$ -ої компоненти природного середовища (його використання),  $K^r$  — показник критичного стану (норма). Зокрема, маємо такі обмеження: а) на використання повітря

$$\sum_{k \in I_1} l_k^n h_k^n H + \sum_{k \in I_2} l_k^r h_k^r H + \sum_{i \in Z} \delta_i z_i + \sum_{i \in V} \alpha_i v_i + A^{\text{н.в.}} \leq A, \quad (37)$$

де  $A^{\text{н.в.}}$  — непромислове використання повітря (населення, транспорт і т. і.);  $A$  — константа, що визначає можливість відновлення повітря (визначається з к-ті насаджень; встановлених очисних споруд і т. і.); б) на використання води

$$\sum_{i \in X} \eta_i x_i + \sum_{i \in Y} \beta_i y_i + \sum_{i \in Z} \phi_i z_i + \sum_{i \in V} \mu_i v_i + W^{\text{н.в.}} \leq W, \quad (38)$$

де  $W^{\text{н.в.}}$  — непромислове використання води,  $W$  — кількісна константа можливої до використання води в регіоні; в) на використання енергії

$$\sum_{i \in X} p_i x_i + \sum_{i \in Y} \gamma_i y_i + \sum_{i \in Z} \varphi_i z_i + \sum_{i \in V} \sigma_i v_i + E^{\text{н.в.}} \leq E, \quad (39)$$

$E^{\text{н.в.}}$  — непромислове використання енергії,  $E$  — кількісна константа можливої до використання енергії в регіоні.

Використовуючи роботу [9], визначимо інтегральний показник деградації екологічного стану території регіону:

$$P_{ec} = \sum_{r=1}^3 \left( a_r \ln \left( 1 - \frac{H_{\phi}^r - K^r}{K^r} \right) + c_r \right) g_r, \quad (40)$$



де  $a_r$ ,  $c_r$  — коефіцієнти нормувальної функції,  $g_r$  — відповідні вагові коефіцієнти, що обумовлені відносною перевагою і встановленою важливістю для забезпечення стабільності функціонування компонентів природного середовища в цілому,  $\sum_{r=1}^t g_r = 1$ , де  $t$  — кількість компонент середовища [9]. Коефіцієнти  $a_r$ ,  $c_r$ ,  $g_r$  пропонується визначати експертам.

Підставляючи (37)-(39) в (40), отримуємо таку функцію:

$$g_1 \left( a_1 \ln \left( 1 - \frac{H_\phi^n - K^n}{K^n} \right) + c_1 \right) + g_2 \left( a_2 \ln \left( 1 - \frac{H_\phi^b - K^b}{K^b} \right) + c_2 \right) + g_3 \left( a_3 \ln \left( 1 - \frac{H_\phi^e - K^e}{K^e} \right) + c_3 \right) \rightarrow \min. \quad (41)$$

Окремо оцінимо екологічну шкоду регіону від забруднення ґрунту. Для цього скористаємося формулою [10]:

$$T = M T' k_z, \quad (42)$$

де  $T$  — екологічна шкода від забруднення ґрунту,  $M$  — маса викидів у ґрунт (т./рік),  $T'$  — питома шкода від забруднення 1 тонни ґрунту (грн./т.),  $k_z$  — коефіцієнт цінності земельних ресурсів [10]. Розіб'ємо регіон на територіальні одиниці по цінності земельних ресурсів,  $z \in N$ , враховуючи відходи. Співвідношення маси готової продукції та відходів при виробництві визначається експертами. Як приклад, будемо вважати, що відходи промислового комплексу (важка та легка промисловість) складають  $0,5(x_i + y_i)$  [11], с/г виробництва —  $0,7(z_i + v_i)$  [12]. Таким чином, маса відходів складає  $0,5(x_i + y_i) + 0,7(z_i + v_i)$ . Екологічна шкода регіону від забруднення ґрунту запишеться так:

$$\sum_{z \in N} (0,5(x_i + y_i) + 0,7(z_i + v_i)) T' k_z \rightarrow \min. \quad (43)$$

Питома шкода  $T'$  може бути уточнена шляхом врахування ступеня шкідливості викидів на людину та довкілля через введення вагових коефіцієнтів  $\lambda_q$  (визначаються експертами),  $\sum_{q=1}^4 \lambda_q = 1$ , де  $q$  визначає клас небезпеки відходу: надзвичайно небезпечні, високо небезпечні, помірно і мало небезпечні [12]. Оцінимо еколого-економічну ефективність регіонального природокористування за формулою [10]:

$$E_p = \frac{B_e - B_n}{R_n + R_0 K}, \quad (44)$$

де  $E_p$  — ефективність регіонального природокористування;  $B_e$  — вартість екологічно чистої продукції підприємств регіону (безвідходні та маловідходні) технології;  $B_n$  — вартість продукції, що вироблена з порушенням екологічних норм;  $R_n$  — поточні витрати на охорону, відновлення та експлуатацію природних ресурсів;  $K$  — нормативний

коефіцієнт ефективності природоохоронних затрат;  $R_0$  — короткотермінові витрати на охорону та відновлення природного середовища (ресурсів) [10].

Для запропонованої моделі функціонування регіону і враховуючи, що с/г виробництво є маловідходним (великі тваринницькі комплекси відносно до виробництва), отримаємо таку функцію

$$\frac{\sum_{i \in V} p_i x_i + \sum_{i \in Z} k_i z_i - \sum_{i \in X} m_i x_i - \sum_{i \in Y} n_i y_i}{R_n + R_0 K} \rightarrow \max. \quad (45)$$

Таким чином, функціонування регіону протягом року з врахуванням економічного зростання та екологічної безпеки описується моделлю: оптимізувати критерії (11), (19), (26), (33), (41), (43), (45) за обмежень (4), (12), (14), (20), (22), (24), (27), (28), (32), (34), (35). У найпростішому випадку маємо багатокритеріальну задачу лінійного програмування. Враховуючи, що цільові функції мають різну вимірність, необхідно ввести деяке перетворення, що приведе критерії до безрозмірного вигляду та застосувати метод обмежень [13].

## ВИСНОВКИ

*Висновки з даного дослідження.* У роботі розглянуто проблему збалансування економіки та екології і побудовано модель функціонування регіону у вигляді багатокритеріальної задачі лінійного програмування.

*Перспективи.* В подальшому доцільно дослідити побудовану модель та створити програмне забезпечення для розв'язування практичних задач, що зводяться до неї.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Інтегроване управління та поведження з твердими побутовими відходами у Вінницькій області: Монографія / під ред. В. Г. Петрука. — Вінниця: УНІВЕРСУМ. — 2007. — 159 с.
2. Герасимчук З. В. Екологічна безпека регіону: діагностика та механізм забезпечення. Монографія / З. В. Герасимчук, А. О. Олексюк. — Луцьк: Надстир'я. — 2007. — 280 с.
3. Скалецький Ю. М. Реконструкція і верифікація доз опромінювання військових ліквідаторів. Монографія / Ю. М. Скалецький. — К.: Логос, 2007. — 223 с.
4. Хлобистов Є. В. Екологічна безпека трансформаційної економіки / Є. В. Хлобистов. — К.: Чорнобильінтерінформ, 2004. — 336 с.
5. Хвесик М. А. Размещение производительных сил и региональная экономика: Уч. пособ. / М. А. Хвесик, Л. М. Горбач, П. П. Пастушенко. — Изд-во: Кондор, 2009. — 344 с.
6. Гахович Н. Состояние и проблемы экологизации промышленного производства / Н. Гахович // Экономика Украины. — 2008. — № 4. — С. 73-81.
7. Хвесик М. А. Стратегічні пріоритети сталого розвитку легкої промисловості регіонів країни / М. А. Хвесик, О. В. Царенко // Продуктивні сили і регіональна економіка. — 2008. — Ч. 2. — С. 46-53.

8. Шварцман В. М. Підвищення екологічної безпеки шляхом зменшення кислотоутворення в атмосфері на техногенно навантажених територіях гірничо-металургійного комплексу: автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.01 / В. М. Шварцман; Нац. гірн. ун-т. — Д., 2004. — 20 с.
9. Копач П. І. Кількісна оцінка екологічної безпеки гірничодобувних районів // Екологія і природокористування, 2009. Випуск 12. — С. 48–53.
10. Регіональна економіка. Навчально-методичний посібник. — Полтава: РВВ ПУСКУ — 2008. — 185 с.
11. Васюкова Г. Т. Екологія. Підручник / Г. Т. Васюкова, Ярошева О. І. — К.: Кондор, 2009. — 524 с.
12. Черевко Г. В. Економіка природокористування / Г. В. Черевко, М. І. Яцків. — Львів: Світ, 1995. — 208 с.
13. Таха Х. А. Введение в исследование операций. 7-е издание.: Пер. с англ / Таха Х. А. — Москва: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 912 с.

*Статья поступила в редакцию 20.12.2011*