

УДК 519.8

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2022-1-15>

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РЕГІОНУ У ВИГЛЯДІ МОДЕЛІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ

О. О. ЧЕРНЕНКО, кандидат фізико-математичних наук, доцент;

Т. В. ЧІЛКІНА, кандидат фізико-математичних наук, доцент;

О. П. КОШОВА, кандидат педагогічних наук, доцент;

О. В. ОЛЬХОВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук, доцент;

Ю. Ф. ОЛЕКСІЙЧУК, кандидат фізико-математичних наук, доцент;

О. Г. ОРІХІВСЬКА старший викладач

(Вищий навчальний заклад Укоопспілки

«Полтавський університет економіки і торгівлі»)

Анотація. *Мета статті* полягає в аналізі останніх досліджень та публікацій по управлінню якістю природного середовища; виявленні невирішених раніше питань та задач прогнозування на перспективу. **Методика дослідження.** Потужним засобом для дослідження взаємодії людського суспільства та природного середовища в межах єдиної економіко-екологічної системи виступає математичне моделювання. **Результати.** Для зручності сприйняття матеріалу введено поняття екологічної безпеки, екологічної оцінки та розроблена система критеріїв такої оцінки. В статті зроблені уточнення щодо розуміння понять «забруднення повітря», «спеціалізація промислових підприємств», «спеціалізація сільського господарства». У роботі проведено оцінку функціонування регіону за оцінками діяльності промислового сектора (промисловість, гірничодобувна галузь) та сільського господарства (тваринництво та рослинництво) по використанню (забрудненню) природних та добутих ресурсів. Зокрема, оцінена діяльність регіону по використанню таких ресурсів: повітря, води та енергії. Представлено в цілому по регіону обмеження на використання природних ресурсів. В моделі враховано інтегральний показник деградації стану території регіону та екологічну шкоду регіону від забруднення ґрунту. В рамках постановки задачі та побудованої моделі оцінено еколого-економічну ефективність регіонального природокористування. Побудована модель представляє собою модель задачі багатокритеріальної оптимізації з системою лінійних обмежень. В найпростішому випадку вона може бути розв'язана шляхом зведення критеріїв до безрозмірних величин з використанням методу обмежень.

Практична значущість результатів дослідження. Побудована модель може бути використана для моделювання більш складних, наприклад, еколого-економіко-соціальних систем, чи застосована для потреб практики.

Ключові слова: багатокритеріальна задача, екологічна безпека, екологічна оцінка, регіональний рівень, оптимізаційна модель.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з найважливішими науковими та практичними завданнями. Минуле століття призвело до низки проблем, які торкаються не окремих держав, або регіонів, а й людства в цілому. Надзвичайного загострення набули відносини людини та природи. З одного боку, екстенсивне використання природних ресурсів значною мірою позначилося на якості життя сучасної людини, але економічне зростання, орієнтоване переважно на кількісні показники, та постійне техногенне навантаження на навколишнє середовище, призвели до колосального його забруднення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В останні роки опубліковано досить велику кількість матеріалів [1–12], присвячених проблемі збалансування економіки та екології. Наприклад, у [1] висвітлено роль регіональної геополітики у виробленні концепції сталого розвитку регіону;

у роботі [3] розглядається проблема забезпечення екологічної безпеки за умов трансформації економіки України.

Ця проблема є предметом вивчення фахівців різних галузей, проте завдання моделювання екологічної безпеки функціонування регіону в літературі не розглядалося.

Таким чином, актуальним є завдання щодо побудови моделі розвитку галузей промисловості та сільського господарства на регіональному рівні, яка б забезпечувала економічне зростання і водночас враховувала потенціал довкілля з погляду можливостей її використання.

Постановка завдання. Розглянемо функціонування регіону протягом року з метою оцінки екологічної безпеки.

Екологічна безпека – це досягнення умов і рівня збалансованого співіснування навколишнього природного середовища та господарської

діяльності людини, коли рівень навантаження на середовище не перевищує здатності її до відновлення [9].

Під екологічною оцінкою розумітимемо процес систематичного аналізу та оцінки екологічних наслідків наміченої діяльності, консультацій із зацікавленими сторонами, а також облік результатів цього аналізу та консультацій у плануванні, проектуванні, затвердженні та здійсненні даної діяльності [10]. Система критеріїв оцінки екологічної безпеки регіону орієнтована оцінку екологічної безпеки окремих галузей.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Розглядається наступна задача. В регіоні зосереджені промислові підприємства (заводи, фабрики), розвинутий гірничо-металургійний комплекс (добування корисних копалин), а також сільське господарство, зокрема, рослинництво та тваринництво. Оцінимо екологічну безпеку регіону, враховуючи техногенне навантаження на довкілля.

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; I_3 – кількість полів, що відводиться під посів.

Система критеріїв оцінки екологічної безпеки регіону орієнтована на оцінку екологічної безпеки окремих галузей.

Модель функціонування промислових підприємств регіону запишеться так:

$$\sum_{i \in X} m_i x_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_{k \in I_1} \sum_{j \in J_2} k_j^1 (C_{jk}^{ent} - C_{jk}^{MPC}) + \sum_{k \in I_1} \sum_{j \in J_3} k_j^2 (D_{jk}^{ent} - D_{jk}^{MPC}) \rightarrow \min \quad (2)$$

за умови

$$a_i \leq x_i \quad \forall i \in X, \quad (3)$$

де m_i – прибуток з виробництва одиниці i -ої продукції, a_i – потреба в i -ій продукції; k_j^1, k_j^2 – коефіцієнти штрафу за перевищення граничних допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин відповідно у повітрі та воді, C_{jk}^{ent} та C_{jk}^{MPC} – концентрації j -ої забруднюючої речовини відповідно в повітрі та воді, що є результатом діяльності

k -ого промислового підприємства, C_{jk}^{MPC} та D_{jk}^{MPC} – ГДК j -ої забруднюючої речовини у повітрі та воді відповідно.

Функціонування гірничодобувного комплексу може бути описане моделлю:

$$\sum_{i \in Y} n_i y_i \rightarrow \max, \quad (4)$$

$$\sum_{k \in I_2} \sum_{j \in J_4} k_j^1 (C_{jk}^{mc} - C_{jk}^{MPC}) + \sum_{k \in I_2} \sum_{j \in J_5} k_j^2 (D_{jk}^{mc} - D_{jk}^{MPC}) \rightarrow \min \quad (5)$$

за умови

$$b_i \leq y_i \leq B_i, \quad i \in Y, \quad (6)$$

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. C_{jk}^{mc} та D_{jk}^{mc} – концентрація j -ої забруднюючої речовини відповідно в повітрі та воді, що є результатом діяльності k -ого гірничодобувного комплексу.

Рослинницька галузь сільського господарства може бути описана моделлю:

$$\sum_{i \in Z} k_i z_i \rightarrow \max \quad (7)$$

за умов

$$z_i \geq c_i, \quad \forall i \in Z, \quad (8)$$

$$\sum_{i \in Z} s_i z_i < S_{\max}^v, \quad (9)$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in J_6} C_j^v z_i \leq \sum_{j \in J_6} C_j^{MPC}, \quad (10)$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in J_6} D_j^v z_i \leq \sum_{j \in J_6} D_j^{MPC}, \quad (11)$$

де k_i – прибуток з вирощеної 1 тонни i -ої культури, c_i – кількісна потреба в i -ій культурі; s_i – площа необхідна для вирощування одиниці i -ої культури, S_{\max}^v – максимальна площа, що відводиться під посів, C_j^v та D_j^v – об'єми викиду j -ої забруднюючої речовини в повітря та воду при вирощуванні одиниці маси i -ої культури.

Модель функціонування тваринницького сектора:

$$\sum_{i \in V} p_i v_i \rightarrow \max, \quad (12)$$

де p_i – прибуток від вирощування одиниці маси i -ого виду тварин за умов:

$$d_i \leq v_i, \quad \forall i \in V, \quad (13)$$

$$\sum_{i \in V} s_i v_i < S_{\max}^{sr}, \quad (14)$$

$$\sum_{i \in Z_1} z_i \geq \sum_{j \in V} r_j v_j, \quad (15)$$

де d_i – кількісна потреба в i -ому виді тварин; s_i – площа необхідна для одиниці маси i -ого виду тварин, S_{\max}^{sr} – максимальна площа, що виділяється

під тваринницький сектор, r_j – об'єм культур необхідних для вирощування тонни тварини i -го виду, Z_i – множина кормових культур.

Використовуючи [1], визначити інтегральний показник деградації екологічного стану території регіону:

$$\sum_{r=1}^t \left(a_r \ln \left(1 - \frac{H_f^r - K^r}{K^r} \right) + c_r \right) w_r \rightarrow \min, \quad (16)$$

де H_f^r, K^r – показники фактичного та критичного станів r -ого ресурсу природного середовища (його використання), 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, $\sum_{r=1}^t w_r = 1$, де t – кількість компонент середовища. Коефіцієнти a_r, c_r, w_r визначають експерти.

Шкоду для регіону від забруднення ґрунту запишемо у вигляді

$$\sum_{z \in N} (t_1(x_i + y_i) + t_2(z_i + v_i)) S' k_z \rightarrow \min, \quad (17)$$

де $t_i, i = 1, 2$ – частка матеріалу, що йде у відходи при переробці, S' – питома шкода від забруднення 1 тонни ґрунту (грн./т.), k_z – коефіцієнт цінності земельних ресурсів [2].

Еколого-економічну ефективність регіонального природокористування оцінимо так:

$$\frac{\sum_{i \in V} p_i x_i + \sum_{i \in Z} k_i z_i - \sum_{i \in X} m_i x_i - \sum_{i \in Y} n_i y_i}{E_c + E_s K} \rightarrow \max, \quad (18)$$

де E_c – поточні витрати на охорону, відновлення та експлуатацію природних ресурсів; K – нормативний коефіцієнт ефективності природоохоронних затрат; E_s – короткотермінові витрати на охорону та відновлення природного середовища (ресурсів).

Враховуючи вищевикладене, модель екологічної безпеки регіону запишеться так: оптимізувати критерії (1), (2), (4), (5), (7), (12), (16)–(18) за умов (3), (6), (8)–(11), (13)–(15).

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі. У роботі проведено оцінку екологічної безпеки регіону та побудовано математичну модель його функціонування. Екологічна оцінка зосереджена на аналізі можливого впливу планованої діяльності на навколишнє середовище та використанні результатів цього аналізу для запобігання або пом'якшення екологічних збитків.

Надалі доцільно побудувати алгоритм вирішення запропонованої моделі та запрограмувати його.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Багров Н.В. Регіональна геополітика стійкого розвитку. Київ : Либідь, 2002. 254 с.
2. 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. Нац. гірн. ун-т. Д., 2004. 20 с.
3. Хлобистов С.В. Екологічна безпека трансформаційної економіки. Київ : Чорнобильінтерінформ, 2004. 336 с.
4. Хвесик М.А., Горбач Л.М., Пастушенко П.П. Размещение производительных сил и региональная экономика : уч. пособ. Изд-во: Кондор, 2009. 344 с.
5. Копач П.І. Кількісна оцінка екологічної безпеки гірничодобувних районів. *Екологія і природокористування*, 2009. Випуск 12. С. 48–53.
6. Логвин М.М. Регіональна економіка : навчально-методичний посібник. Полтава: РВВ ПУСКУ. 2008. 185 с.
7. Васюкова Г.Т., Ярошева О.І. Екологія : підручник. Київ : Кондор, 2009. 524 с.
8. Черевко Г.В., Яцків М.І. Економіка природокористування. Львів : Світ, 1995. 208 с.
9. Экологическая оценка и экологическая экспертиза : монография / О.М. Черп, В.Н. Виниченко, М.В. Хотулёва, Я.П. Молчанова, С.Ю. Дайман. РОО Эколаин, 2000. 138 с.
10. Лутковська С.М. Модернізація системи екологічної безпеки сталого розвитку : дис. ... д-р. ек. наук : 08.00.03. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця, 2020. 481 с.
11. Індикатори стану екологічної безпеки держави. Аналітична записка / Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/993/>. (дата звернення: 26.05.2020).
12. Екологічна безпека та економіка: монографія / М.І. Сокур, В.М. Шмандій, Є.К. Бабець, В.С. Білецький, І.Є. Мельнікова, О.В. Харламова, Л.С. Шелудченко. Кременчук, 2020. 240 с.

REFERENCES

1. Bahrov N.V. (2002). *Regional geopolitics of sustainable development*. 254 p. [in Ukrainian].
2. Schwartzman V.M. (2004). *Podvyshchennia ekolohichnoi bezpeky shliakhom zmenshennia kyslotoutvorennia v atmosferi na tekhnogenno navantazhenykh terytoriiakh hirnnycho-metalurhiinoho kompleksu : avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 21.06.01* [Improving environmental safety by reducing acid formation in the atmosphere in man-made areas of

the mining and metallurgical complex: author's ref. dis ... cand. tech. science : 21.06.01]. Nat. horn. un-t. D. 20 p. [in Ukrainian].

3. Khlobistov E.V. (2004). *Ekolohichna bezpeka transformatsiinoi ekonomiky* [Ecological security of transformational economy]. Kyiv : Chornobyliinterinform. 336 p. [in Ukrainian].

4. Hvesik M.A., Gorbach L.M., Pastushenko P.P. (2009). *Razmeshchenye proyzvodytelnykh syl y rehyonalnaia ekonomika: Uch. posob.* [Location of productive forces and regional economy: Uch. allowance]. Izd-vo: Condor. 344 p. [in Russian].

5. Kopach P.I. (2009). *Kilkisna otsinka ekolohichnoi bezpeky hirnychodobuvnykh raioniv* [Quantitative assessment of environmental safety of mining areas] *Ekolohiia i pryrodokorystuvannia* [Ecology and Nature Management], № 12. P. 48–53. [in Ukrainian].

6. Logvin M.M. (2008). *Rehionalna ekonomika. Navchalno-metodychnyi posibnyk* [Regional economy. Educational and methodical manual]. Poltava: RVV PUSKU. 185 p. [in Ukrainian].

7. Vasyukova G.T., Yarosheva O.I. *Ekolohiia. Pidruchnyk* [Ecology. Textbook]. Kyiv : Condor. 524 p. [in Ukrainian].

8. Cherevko G.V., Jacki M.I. *Ekonomika pryrodokorystuvannia* [Economics of nature]. Lviv : Svit, 1995. 208 p. [in Ukrainian].

9. Cherp O.M., Vinichenko V.N., Hotuleva M.V., Molchanova Ya.P. *Ekolohychekaia otsenka y ekolohycheskaia ekspertyza. Monohrafiya* [Ecological assessment and ecological expertise. Monograph]. ROO Ekolain. 138 p. [in Russian].

10. Lutkovskaya S. M. (2020). Modernizatsiya systemy ekolohichnoyi bezpekы staloho rozv'ytku : Dys. ... dok. ek. nauk : 08.00.03 [Modernization of the environmental safety system of sustainable development : Dis. ... doc. ec. sciences: 08.00.03.] Vinnytsia National Agrarian University. Vinnytsia, 481 p. [in Ukrainian].

11. *Indykatory stanu ekolohichnoyi bezpekы derzhavы. Analitichna zapyska* [Indicators of the state of ecological safety of the state. Analytical note]. *National Institute for Strategic Studies*. URL: [http:// www.niss.gov.ua/articles/993/](http://www.niss.gov.ua/articles/993/). [in Ukrainian]. (2020, May, 26).

12. Sokur M.I., Shmandiy B.M., Babets E.K., Biletsky V.S., Melnikov I.Ye., Kharlamova O.V., Sheludchenko L.S. (2020). *Ekolohichna bezpeka ta ekonomika: monohrafiya* [Ecological safety and economy: monograph]. Kremenchuk. 240 p. [in Ukrainian].

O. Chernenko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; **T. Chilikina**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; **O. Koshova**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor; **O. Olkhovska**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; **Yu. Oleksiychuk**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; **O. Orikhivska**, Senior Lecturer (Poltava University of Economics and Trade). **Assessment of ecological safety of the region in the form of a model of multicriterial optimization tasks.**

Abstract. The purpose of the article is to analyze the latest research and publications on environmental quality management; identifying previously unresolved issues and long-term forecasting challenges. **Research methodology.** Mathematical modeling is a powerful tool for studying the interaction of human society and the natural environment within a single economic and ecological system.

Results. For the convenience of perception of the material, the concepts of environmental safety, environmental assessment were introduced and a system of criteria for such assessment was developed. The article clarifies the understanding of the concepts of "air pollution", "specialization of industrial enterprises", "specialization of agriculture". on the use (pollution) of natural and extracted resources. In particular, the activity of the region on the use of the following resources: air, water and energy was assessed. Restrictions on the use of natural resources are presented in the region as a whole. The model takes into account the integrated indicator of degradation of the region and environmental damage of the region from soil pollution. Within the framework of the problem statement and the constructed model the ecological and economic efficiency of regional nature management is estimated. The constructed model is a model of the multicriteria optimization problem with a system of linear constraints. In the simplest case, it can be solved by reducing the criteria to dimensionless values using the method of constraints.

Practical significance of research results. The constructed model can be used to model more complex, for example, ecological, economic and social systems, or applied to the needs of practice.

Key words: Multicriteria task, ecological safety, ecological assessment, regional level, optimization model.