

УДК 504.05:504.064.2

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-11>

Ольга ЧЕРБА

аспірант, науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», вул. Бакуліна, 6, м. Харків, Україна, 61166

ORCID: 0000-0001-8600-1319

Володимир КВАСОВ

кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», вул. Бакуліна, 6, м. Харків, Україна, 61166

ORCID: 0000-0003-2331-1082

Бібліографічний опис статті: Черба, О., Квасов, В. (2022). Оцінювання антропогенного впливу на довкілля. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 81–87, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-11>

ОЦІНЮВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Людська діяльність дуже сильно впливає на стан довкілля і цей вплив збільшується з кожним роком. Негативні наслідки антропогенної діяльності превалюють над позитивними, що призводить до деградації навколишнього середовища. При цьому вплив на довкілля здійснюється опосередковано, через фактори забруднення атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів. Тому дуже важливо окрім постійного моніторингу стану навколишнього природного середовища, контролювати розмір антропогенного впливу; відслідковувати, які складові довкілля страждають від нього найбільше; приймати відповідні адміністративні рішення.

Метою дослідження є розробка методики інтегральної оцінки антропогенного впливу на навколишнє природне середовище.

Методологія. В основу методики покладено європейський підхід до проведення екологічної оцінки, а саме, рекомендації ЄЕК ООН щодо моніторингу й оцінки навколишнього природного середовища.

Наукова новизна полягає в розробці набору екологічних показників, який дозволяє максимально повно та достовірно враховувати антропогенний вплив на довкілля; математичного апарату для проведення оцінювання (механізм ранжирування складових методики, розрахунок внеску кожної складової в загальну оцінку).

Висновки. Методика розроблена у відповідності з принципами сталого розвитку та європейського законодавства. Її можна використовувати для прийняття коректних управлінських рішень, ранжирування регіонів України за рівнем техногенного навантаження, інформування громадськості про якість довкілля в їх регіоні та на території України в цілому. Особливої актуальності це набуде після припинення дії воєнного стану в Україні, коли до «мирних» антропогенних впливів на навколишнє природне середовище додадуться наслідки руйнування екосистем, спричинені бойовими діями на окремих територіях.

Ключові слова: інтегральна оцінка, антропогенний вплив, навколишнє середовище, нормування, вагові коефіцієнти.

Olga CHERBA

Postgraduate, Researcher of the Laboratory of Research of Ecological Stability of Objects of Environment and Natural Territories of Special Protection, Research Institution “Ukrainian Research Institute of Environmental Problems”, 6 Bakulina str., Kharkiv, Ukraine, 61166

ORCID: 0000-0001-8600-1319

Volodymyr KVASOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Ecologically Safe Nature Management, Means and Methods of Environmental Monitoring, Research Institution “Ukrainian Research Institute of Environmental Problems”, 6 Bakulina str., Kharkiv, Ukraine, 61166

ORCID: 0000-0003-2331-1082

To cite this article: Cherba, O., Kvasov, V. (2022). Otsiniuvannia antropohennoho vplyvu na dovkillia [Assessment of anthropogenic impact on the environment]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 81–87, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-11>

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Human activities have a very strong impact on the environment and this impact is increasing every year. The negative consequences of anthropogenic activity prevail over the positive ones, which leads to environmental degradation. At the same time, the impact on the environment is carried out indirectly, due to factors of air pollution, water resources, soils. Therefore, in addition to constant monitoring of the state of the environment, it is very important to control the amount of anthropogenic impact; monitor which components of the environment suffer from it the most; make appropriate administrative decisions.

The purpose of the study is to develop a methodology for integrated assessment of anthropogenic impact on the environment.

Methodology. The methodology is based on the European approach to environmental assessment, namely, the UNECE recommendations on environmental monitoring and assessment.

The scientific novelty is to develop a set of environmental indicators that allows you to fully and reliably take into account the anthropogenic impact on the environment; mathematical apparatus for evaluation (the mechanism of ranking the components of the methodology, the calculation of the contribution of each component in the overall assessment).

Conclusions. The methodology is developed in accordance with the principles of sustainable development and European legislation. It can be used to make correct management decisions, ranking the regions of Ukraine by the level of man-made load, informing the public about the quality of the environment in their region and in Ukraine as a whole. This will become especially relevant after the end of martial law in Ukraine, when the "peaceful" anthropogenic impacts on the environment will be compounded by the effects of ecosystem destruction caused by hostilities in certain areas.

Key words: *integrated assessment, anthropogenic impact, environment, rationing, weights.*

Актуальність проблеми. В сучасному світі все більше уваги приділяється вирішенню екологічних проблем, які спричинені діяльністю людини. Проблеми зміни клімату, забруднення атмосфери, водних та земельних ресурсів, виснаження ґрунтів, збільшення кількості відходів, збереження біорізноманіття – одні із найбільш нагальних і гострих проблем сучасності, які вимагають вирішення як на рівні держав, так і на рівні свідомості та обізнаності кожного з нас.

Проте, щоб бути обізнаними та ефективно впливати на екологічну політику, громадськість повинна мати змогу отримувати інформацію щодо забрудненості довкілля як на окремих адмінтериторіях, так і в цілому в Україні. При цьому інформація повинна доходити до населення в узагальненому та зрозумілому вигляді.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні є багато розробок щодо оцінки екологічного ризику та оцінки стану навколишнього природного середовища. Однак у більшості вони стосуються окремих частин біосфери (атмосфери, літосфери, гідросфери) і не надають інформації щодо сумарної оцінки антропогенних навантажень.

Остання офіційна методика щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля в Україні була розроблена у 2008 році (Керівництво щодо,

2008). Однак на сьогоднішній день показників, за якими проводиться оцінка, замало для охоплення всіх факторів, які впливають на стан навколишнього природного середовища, і не всі вони забезпечені статистичними даними.

Мета дослідження. Розробка методології інтегральної оцінки антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, заснованої на європейських стандартах, забезпеченої статистичною інформацією та зрозумілої для громадськості.

Виклад основного матеріалу. Наразі в Україні йде активний процес інтеграції екологічного законодавства з європейським. У зв'язку з цим є актуальним те, що в основу методології покладено «Руководство по применению экологических показателей в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии», розроблене Робочою групою ЄЕК ООН (Руководство по, 2006; Основной набор, 2003). З множини екологічних показників (ЕП), які пропонує «Руководство...» та напрямів дослідження обрано ті, що безпосередньо відображають тиск на довкілля. Однак їх кількість розширено у відповідності з потребами українського законодавства (Про основні засади, 2019), із врахуванням розробок українських дослідників (Іванюта, 2013; Белогуров, 2014; Розробка показників, 2007; Палагута, 2014; Гадецька,

Кузьмич, 2012; Обиход, 2012) та екологічних індикаторів сталого розвитку.

Представлена методологія інтегральної оцінки антропогенного впливу на довкілля включає в себе напрями дослідження, які або відчувають антропогенний вплив, або характеризують його, а саме: атмосферне повітря, водні ресурси, земельні ресурси і ґрунти, сільське господарство, відходи та зміна клімату (рис. 1). Кожен напрям дослідження містить певний набір екологічних та статистичних показників, що дозволяє врахувати усі складові антропогенного тиску на довкілля.

З математичної точки зору ця система представляє собою набір множин, які підпорядковуються законам теорії множин.

Сукупність всіх напрямів дослідження A_i ($i= 1...6$), за якими проводиться інтегральна оцінка, складає множину M :

$$M = \cup A_i \quad (1)$$

При цьому всі множини A_i є підмножинами множини M :

$$A_i \subset M \quad (2)$$

Кожен напрям дослідження A_i складається з певного набору екологічних показників (ЕП) A_i^j .

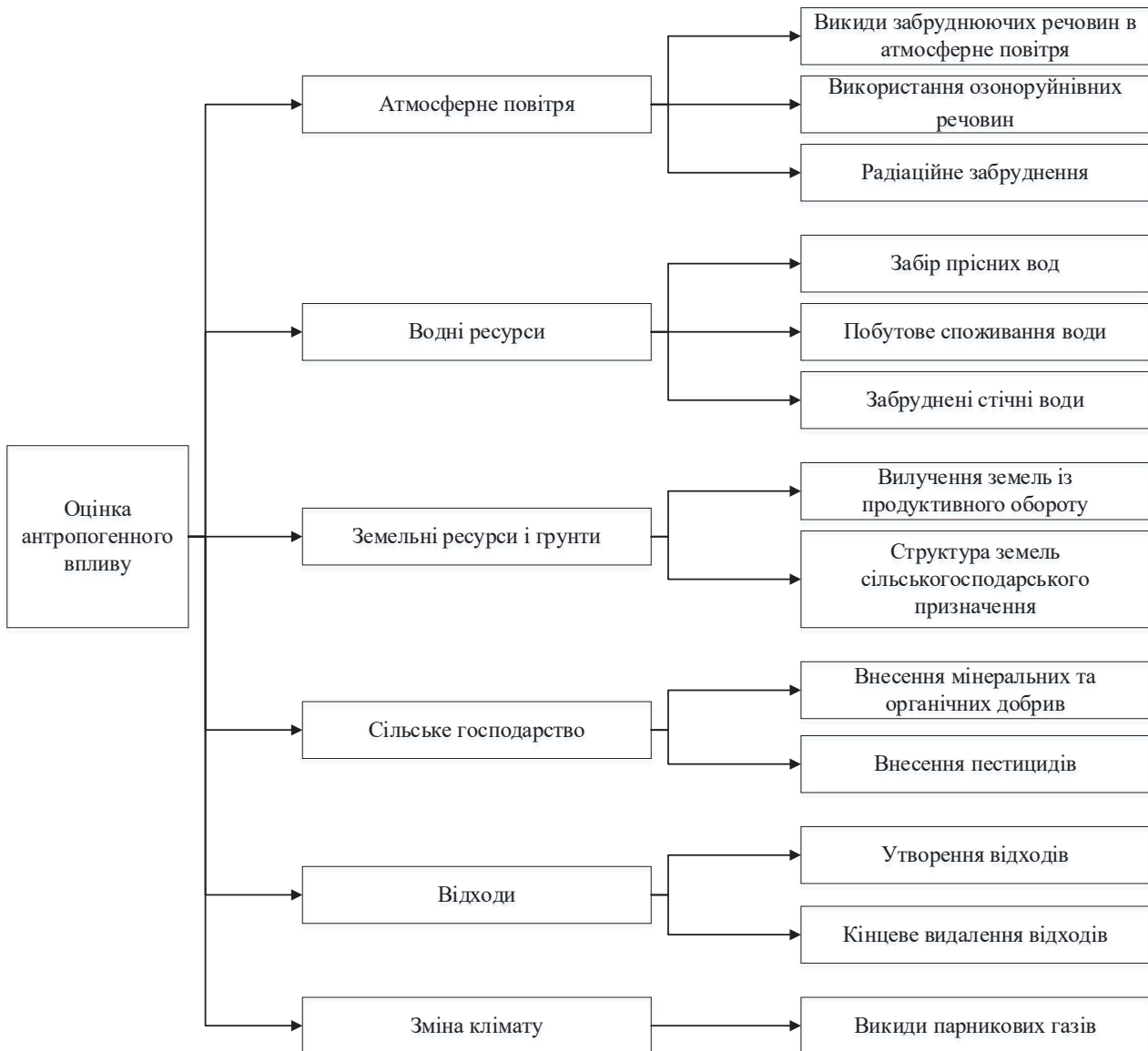


Рис. 1. Напрями дослідження та екологічні показники, за якими проводиться оцінка антропогенного впливу на довкілля

При цьому:

$$A_i^j \subset A_i, \quad (3)$$

де j варіюється від 1 до m_i в залежності від множини A_i .

Кожна множина A_i^j містить множини статистичних показників (СП) ξA_i^j , за якими вони визначаються:

$$\xi A_i^j \subset A_i^j, \quad (4)$$

де ξA_i^j – ξ -й статистичний показник, потрібний для визначення j -го ЕП за i -м напрямом. ξ варіюється від 1 до n_i^j в залежності від множини A_i^j .

Статистичні показники представляють собою конкретні статистичні дані, які надаються уповноваженими державними органами (Державна служба статистики України, Державне агенство водних ресурсів України, Український гідрометеорологічний центр, Міндовкілля та ін.).

Інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище складається з інтегральних оцінок по кожному з напрямів (\widetilde{A}_i), які, в свою чергу, визначаються на підставі всіх визначених ЕП (A_i^j) цього напрямку, тобто є функцією всіх ЕП напрямку A_i :

$$\widetilde{A}_i = f(U_j A_i^j) \quad (5)$$

Оскільки статистичні та екологічні показники визначаються в різних фізичних одиницях, то їх згортка у пряму вигляду неможлива. Тому значення цих показників представляються у відносному вигляді, тобто проводиться нормування їх значень.

Крім того, показники мають різний рівень впливу на довкілля. Для оцінки сукупного впливу великої кількості показників їм надаються вагові значення, що враховують їх різну значимість і нерівний внесок в інтегральний індекс.

Таким чином, важливою складовою інтегральної оцінки є обґрунтований відбір найбільш інформативних статистичних показників, які входять до складу кожного екологічного показника, їх визначення з статистичних даних, нормування (для отримання відносних значень) та лінійна згортка з ваговими коефіцієнтами. Весь процес інтегральної оцінки складається з трьох етапів:

1. Оцінка ЕП.

2. Проведення інтегральної оцінки за кожним напрямом дослідження.

3. Проведення інтегральної оцінки за усіма напрямками.

На першому етапі виконується оцінка ЕП на підставі статистичних показників.

Для цього необхідно:

1. визначити значення СП (ξA_i^j) з статистичних даних.

2. унормувати всі статистичні показники ξA_i^j . Для цього кожний статистичний показник перетворюють у безрозмірну величину:

$$\left| \widetilde{\xi A_i^j} \right| = \frac{\left| \xi A_i^j \right|_{\text{звіт.рік}}}{\left| \xi A_i^j \right|_{\text{max}}} \times 10, \quad (6)$$

де $\left| \widetilde{\xi A_i^j} \right|$ – ξ - ий статистичний показник, необхідний для визначення j - го екологічного показника за i - м напрямом;

$\left| \xi A_i^j \right|_{\text{звіт.рік}}$ – значення ξ - того статистичного показника за звітний рік для визначення j - го екологічного показника за i - м напрямом;

$\left| \xi A_i^j \right|_{\text{max}}$ – максимальне значення ξ - го статистичного показника, що обирають з переліку років, для яких розраховують j - ий екологічний показник за i - им напрямом (для оцінки антропогенного впливу на довкілля України пропонуємо визначати максимальне значення ξ - го статистичного показника за останні 20 років незалежності України);

10 – максимальне значення N-бальної (безрозмірної) шкали.

3. визначити вагові коефіцієнти ξb_i^j для кожного статистичного показника.

Визначення вагових коефіцієнтів ξb_i^j здійснюється експертним методом (в даній роботі для цієї функції обрано метод аналізу ієрархій (МАІ) згідно Т. Сааті) [11, 12]. Значення вагових коефіцієнтів для статистичних показників знаходяться в межах від 0 до 10 ($0 < \xi b_i^j < 10$). Визначення статистичного показника з ваговим коефіцієнтом проводять за формулою:

$$\left| \xi A_i^j \right| = \left| \widetilde{\xi A_i^j} \right| \times \xi b_i^j, \quad (7)$$

де ξb_i^j – ваговий коефіцієнт ξ - го статистичного показника, що необхідний для визначення j - го екологічного показника за i - м напрямом.

4. провести оцінювання екологічних показників. Для цього проводиться лінійна згортка значень статистичних показників (ξA_i^j) з урахуванням їх вагових коефіцієнтів за формулою:

$$\left| A_i^j \right| = \frac{\sum_{\xi} b_{\xi} \times \left| \xi A_i^j \right|}{n_i^j}, \quad (8)$$

де $\left| A_i^j \right|$ – значення j -го екологічного показника за i -им напрямом;

$\sum_{\xi} b_{\xi} \times |\xi^{\sim j}_i|$ – сума всіх ξ -х значень статистичних показників, складових j -го екологічного показника за i -м напрямом;

n_i^j – кількість статистичних показників, що входять до складу j -го екологічного показника ($\xi = 1 \dots n_i^j$).

Отримані значення ЕП знаходяться в інтервалі від 0 до 10 (чим більше значення екологічного показника, тим більше його вплив на значення екологічного показника).

На другому етапі виконується інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище на підставі екологічних показників за кожним з напрямів дослідження (A_i).

Для цього необхідно:

1. визначити вагові коефіцієнти b_i^j для кожного екологічного показника.

Визначення вагових коефіцієнтів b_i^j також здійснюється за допомогою МАІ. Визначення ЕП з ваговим коефіцієнтом проводять за формулою:

$$|A_i^j| = |\widetilde{A}_i^j| \times b_i^j, \quad (9)$$

де b_i^j – ваговий коефіцієнт j -го екологічного показника за i – им напрямом дослідження.

2. для проведення інтегральної оцінки необхідно зробити лінійну згортку унормованих екологічних показників даного напрямку за формулою:

$$|A_i| = \frac{\sum_j b_j \times |\widetilde{A}_i^j|}{m_i}, \quad (10)$$

де $|A_i^j|$ – значення j -го екологічного показника за i -им напрямом;

$\sum_j b_j \times |\widetilde{A}_i^j|$ – сума всіх j -х значень екологічних показників за i -м напрямом;

m_i – кількість екологічних показників, що входять до складу i -го напрямку ($j = 1 \dots m_i$).

На третьому етапі виконується інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище на підставі екологічних показників за усіма напрямками дослідження (A_i).

Для цього необхідно:

1. визначити вагові коефіцієнти b_i для кожного напрямку дослідження (за допомогою МАІ). Визначення напрямку з ваговим коефіцієнтом проводять за формулою:

$$|A_i| = |\widetilde{A}_i| \times b_i, \quad (11)$$

де b_i – ваговий коефіцієнт i -ого напрямку дослідження.

2. для проведення інтегральної оцінки необхідно зробити лінійну згортку унормованих напрямів за формулою:

$$\|\widetilde{M}\| = \frac{\sum_i b_i \times |\widetilde{A}_i|}{6}, \quad (12)$$

де $|\widetilde{A}_i|$ – значення i -го напрямку дослідження;

$\sum_i b_i \times |\widetilde{A}_i|$ – сума всіх i -х значень напрямів;

6 – кількість напрямів.

Таким чином, інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище визначається в межах від 0 до 10 балів (чим більше значення інтегральної оцінки, тим більше антропогенний вплив на довкілля).

Для проведення порівняльних оцінок окремих адмінтериторій та планування практичних дій по охороні та оцінці стану довкілля на підставі введеної 10-бальної шкали оцінювання за напрямками пропонується розмежувати отримані результати щодо інтегральної оцінки за п'ятьма класами (F1, ..., F5) антропогенного впливу на довкілля (табл. 1).

Таблиця 1

Градування величини антропогенного впливу згідно з бальною оцінкою

| Клас впливу | Інтервал зміни класу впливу | Характеристика |
|-------------|-----------------------------|---|
| F1 | $0,1 \leq F1 \leq 2$ | нормальний стан |
| F2 | $2 < F2 \leq 4$ | незначні відхилення від нормального стану |
| F3 | $4 < F3 \leq 6$ | істотні порушення |
| F4 | $6 < F4 \leq 8$ | небезпечні порушення |
| F5 | $8 < F5 \leq 10$ | критичний стан |

10 – ти бальна шкала спрямована на визначення критеріїв для інтегральної оцінки антропогенного впливу на довкілля та динаміки його змін за роками.

Висновки. Інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище є частиною системного підходу під час проведення екологічного моніторингу і має велике значення для визначення ключових факторів, що впливають на стан екосистем. В основі цього підходу лежить широке впровадження комп'ютерних методів збору, обробки і аналізу даних, математичного моделювання та прогнозування якості навколишнього середовища.

Методологія заснована на європейських стандартах та забезпечена всією необхідною

статистичною інформацією. Вона надає повну, достовірну та своєчасну інформацію про техногенне навантаження на довкілля, ступінь забрудненості довкілля та ефективність вжитих природоохоронних заходів; сприяє інформованості громадськості про екологічні проблеми; допомагає підвищити ефективність діяльності органів державної влади та оперативність прийняття рішень з питань охорони довкілля на території України та в транскордонному контексті.

Наразі ведеться робота щодо розширення сфери використання методики оцінки антропогенного впливу, а саме: розробляються показники, які будуть враховувати вплив на екосистеми наслідків збройного конфлікту в країні (руйнування об'єктів інфраструктури, знищення лісових насаджень, флори та фауни у місцях ведення бойових дій, розкидані залишки бойової техніки і боєприпасів та ін.).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Керівництво щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля на регіональному рівні: нормативний документ. Київ: М-во охорони навколишнього природного середовища України, 2008. 54 с.
2. Руководство по применению экологических показателей в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: Рабочее совещание по применению экологических показателей и подготовке оценочных докладов по окружающей среде. Донецк, 2006. 82. с. URL: <http://www.myshared.ru/slide/513719>.
3. Основной набор экологических показателей для стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: информ. документ / Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций. Киев, 2003. 22 с.
4. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII. / *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
5. Іванюта С. П. Екологічна безпека регіонів України: порівняльні оцінки. Стратегічні пріоритети. 2013. № 3. С. 157-164. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/spa_2013_3_23.
6. Белогуров В.П. Разработка методологии интегрального оценивания экологического состояния территорий. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 5/10 (71), С. 146.
7. Розробка показників для інтегральної оцінки стану довкілля та динаміки його змін, їх опробування на реальних даних і впровадження інтегральної екологічної оцінки регіону: звіт про НДР. К.: НАНУ. 2007. 85 с.
8. Палагута О.В. Оцінка впливу на навколишнє природне середовище за екологічними індикаторними показниками: дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / УКРНДІЕП. Харків, 2014. 275 с.
9. Гадецька З.М., Кузьмич Н.В. Оцінка екологічного ризику на території України. Ефективна економіка. 2015. № 12. С. 111.
10. Обиход Г.В. Методичні підходи щодо оцінки рівня екологічної небезпеки регіонів України. Ефективна економіка. 2012. № 10. С. 5.
11. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
12. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: ЛКИ, 2008. 360 с.

REFERENCES:

1. Kerivnytstvo shchodo zdiisnennia intehralnoi otsinky stanu dovkillia na rehionalnomu rivni: normatyvnyi document [Care for the establishment of an integral assessment of the state of dovkillia at the regional level: a normative document]. (2008). Kyiv: M-vo okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha Ukrainy. [in Ukrainian].
2. Rukovodstvo po pryumeneniyu ekolohycheskykh pokazatelei v stranakh Vostochnoy Yevropy, Kavkaza i Tsentralnoi Azyy: Rabocheye soveshchaniye po pryumeneniyu ekolohycheskykh pokazatelei y podgotovke otsenochnykh dokladov po okruzhaiushchey srede [Guidelines for the Application of Environmental Indicators in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia: Workshop on the Application of Environmental Indicators and the Preparation of Environmental Assessment Reports.]. Donetsk, 2006. Retrieved from: <http://www.myshared.ru/slide/513719>. [in Russian].
3. Osnovnoi nabor ekolohycheskykh pokazateley dlia stran Vostochnoy Yevropy, Kavkaza i Tsentralnoi Azyy [A core set of environmental indicators for countries in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia]. (2003). Yevropeiskaia ekonomycheskaya komysiya Orhanyzatsyy Ob"yedinennykh Natsiy – United Nations Economic Commission for Europe. Kiev [in Russian].
4. Pro osnovni zasady (stratehiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky na period do 2030 roku: Zakon Ukrainy vid 28.02.2019 № 2697-VIII [On the basic principles (strategy) of state environmental policy for the period up to 2030: Law of Ukraine of 28.02.2019 № 2697-VIII]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>. [in Ukrainian].

5. Ivanuyta, S.P. (2013). Ekolohichna bezpeka rehioniv Ukrainy: porivnialni otsinky [Ecological safety of the regions of Ukraine: comparative assessments]. *Strategic priorities – Stratehichni priorytety*, 3, 157-164. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/spa_2013_3_23. [in Ukrainian].
6. Belohurov V.P. (2014). Razrobotka metodolohyy yntehralnoho otsenyvanya ekolohycheskoho sostoianya terrytoryi [Development of a methodology for integrated assessment of the ecological condition of territories]. *Eastern European Journal of Advanced Technology – Vostochno-Evropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, 5/10 (71), 146. [in Ukrainian].
7. Rozrobka pokaznykiv dlia intehralnoi otsinky stanu dovkillia ta dynamiky yoho zmin, yikh oprobuvannia na realnykh danykh i vprovadzhennia intehralnoi ekolohichnoi otsinky rehionu: zvit pro NDR [Development of indicators for integrated assessment of the state of the environment and the dynamics of its changes, their testing on real data and the implementation of integrated environmental assessment of the region: a report on research]. (2007). Kyiv: NANU [in Ukrainian].
8. Palahuta, O.V. (2014). Otsinka vplyvu na navkolysnhie pryrodne seredovyshe za ekolohichnymy indykatornymy pokaznykamy [Environmental impact assessment according to ecological indicator indicators]. Candidate's thesis. UKRNDIEP. Kharkiv [in Ukrainian].
9. Hadetska, Z.M., Kuzmych, N.V. (2015). Otsinka ekolohichnoho ryzyku na terytorii Ukrainy [Environmental risk assessment on the territory of Ukraine]. *Efektivna ekonomika – Efficient economy*, 12 [in Ukrainian].
10. Obykhod, H.V. (2012). Metodychni pidkhody shchodo otsinky rinvia ekolohichnoi nebezpeky rehioniv Ukrainy [Methodical approaches to assessing the level of environmental danger in the regions of Ukraine]. *Efektivna ekonomika – Efficient economy*, 10 [in Ukrainian].
11. Saaty, T.L. (1993). Pryniatye reshenyi. Metod analyza yerarkhiy [Making decisions. Hierarchy analysis method]. Moscow: Radio i svyaz' [in Russian].
12. Saaty T.L. (2008). Prinyatiye resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analytycheskye sety [Decision making under dependencies and feedbacks: Analytical networks]. Moscow: LKY [in Russian].