

УДК: 519.846.5

В.О. Каленик

ОЦІНЮВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПРИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В роботі розглянуто методику оцінювання екологічних ризиків, показано ефективність застосування методу оцінки ризиків за варіаціями значень індикаторів ризику. Проведено кількісну оцінку ймовірності ризиків при моніторингу водних об'єктів. Розроблено варіант комп'ютерної програми для оперативного розрахунку основних показників оцінки екологічного ризику при потраплянні шкідливих речовин у водні об'єкти або у випадку виникнення техногенної аварії.

The method of evaluation of ecological risks is in-process considered, rotined efficiency of application of method estimation of risks after variations of values of risk indicators is shown. The quantitative estimation of probability of risks is conducted at monitoring of water objects. The variant of the computer program is developed for the operative calculation of basic indexes of estimation of ecological risk at hit of harmful matters in water objects or in the case of origin of technogenic failure.

Ключові слова: ризик-моніторинг, ймовірність екологічного ризику, метод оцінки ризику за варіаціями значень індикаторів ризику.

Сучасне природокористування характеризується тісним переплетінням вигод и небезпек. Ризики супроводжують функціонування усіх сфер діяльності. Однак відмова від природокористування також може зумовлювати виникнення ризиків, зокрема ризик втраченіх можливостей (ризик втрачених вигод), за якого суспільство не використовує наявні ресурси і починає відставати у своєму соціально-економічному розвиткові. Намагання управляти процесами природокористування і контролювати ризики теж спричинює нові ризики. Причиною аварій та катастроф буває також суб'єктивний фактор.

В загальному контексті терміном «ризик» позначають багатокомпонентну величину, що характеризується збитком внаслідок впливу певного небезпечного фактора. Екологічний ризик — можливість виникнення несприятливих для життєдіяльності суспільства обставин і ситуацій, зумовлених антропогенними чи природними факторами і впливами.

Прояв небезпеки внаслідок достовірних подій відбувається з імовірністю, яка дорівнює одиниці, наприклад забруднення навколишнього середовища відходами підприємства. У цьому випадку ризик еквівалентний збитку і їх величини однакові. Ризик характеризується невизначеністю, тобто неможливістю оцінити розвиток подій як із погляду ймовірності їх реалізації, так і з погляду масштабу та виду.

Ризик-моніторинг — це інтенсивні спостереження за природними об'єктами, джерелами техногенного впливу, розташованими в районах екологічної напруженості, у зонах аварій та небезпечних природних явищ зі шкідливими екологічними наслідками, для забезпечення своєчасного реагування на кризові й надзвичайні екологічні ситуації і прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення нормальних умов для життєдіяльності населення і господарювання.

В системі екологічного ризик-моніторингу реалізуються такі специфічні функції: спостереження, оцінювання й прогноз, що дозволяє виявляти критичні та екстремальні ситуації, чинники антропогенного впливу на довкілля, здійснювати оцінку та прогноз стану об'єктів, управляти процесами їх взаємовпливу [1].

Аналіз робіт [2-5] показує, що при вирішенні низки питань екологічного ризик-моніторингу та нормування антропогенних навантажень на водні екосистеми набув практичного втілення підхід, який базується на поняттях та математичному апараті теорії надійності. Ці методи дозволяють кількісно оцінити стійкість екосистем до антропогенних навантажень.

Перехід від застосування математичного апарату теорії стійкості до аналізу і кількісних розрахунків екологічних ризиків ґрунтуються на положенні, що поняття відмови екосистеми та екологічного ризику досить близькі. Під останнім розуміються зміни в навколошньому середовищі, що мають небажані наслідки. Аналізуючи такі зміни в контексті відмови екосистеми, увага зосереджується передусім на факті та механізмі цих подій, тоді як при сприйнятті їх як екологічних ризиків – на їх наслідках. Таким чином, вважають, що поняття екологічного ризику виникає у разі аналізу відмови екосистеми, центрованого на певний суб'єкт. Як такий суб'єкт може виступати: 1 – природне середовище, 2 – господарство, 3 – людина. Такий підхід дозволяє кількісно оцінити зміни природних екосистем та антропогенні збитки.

Розрахунковий метод оцінки ймовірності ризику по варіації значень його індикатора виходить із наступних припущень. При цьому відзначимо, що індикатор ризику – це характеристика екосистеми та її складових, за значенням яких роблять висновки про ймовірність виникнення і розмір ризику. Наприклад, хімічні, біологічні показники якості води.

Якщо для індикатора ризику задано певний діапазон значень, вихід за межі якого засвідчує про настання небажаних змін, то ймовірність цієї події (тобто ризику) буде тим менша, чим ширше цей діапазон; чим далі від його меж (x_{max} і x_{min}) знаходиться значення індикатора x ; чим менша варіація цих значень протягом заданого часового інтервалу t або заданої площи території S . Якщо для змінної заданий діапазон її нормальних (або допустимих) значень, вихід із яких призводить до відмови системи, то ймовірність цієї події буде тим меншою, чим ширшим є діапазон нормальних значень змінної x , чим далі від меж ($x_{n,max}$ і $x_{n,min}$) цього діапазону знаходиться значення змінної x і чим менша її варіація протягом $\square t$ (або на площи $\square S$).

Виходячи з цього, ймовірність інертності екосистеми як імовірність збереження значень змінної у межах діапазону її нормальних (або допустимих) значень можна визначити як:

$$q_x(\Delta t) = P(x_{min} < x_i < x_{max}) = \int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x_i) dx_i, \quad (1)$$

де $q_x(\Delta t)$ – ймовірність знаходження значень екологічного індикатора в межах заданої норми протягом часового інтервалу t ; x_{max} і x_{min} – відповідно верхнє та нижнє значення, які обмежують діапазон його екологічно допустимих значень; $f(x)$ густина розподілу x . Якщо відсутні інші допущення, розподіл значень можливо прийняти як розподіл Гаусса (для попередньої оцінки це допустимо). Тоді вираз (1) приймає вигляд:

$$q_x = q(x_{min} < x_i < x_{max}) = \Phi\left(\frac{x_{max} - \bar{x}}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{x_{min} - \bar{x}}{\sigma_x}\right), \quad (2)$$

де Φ – функція нормованого розподілу, значення якої табулювані, а \bar{x} – оцінка середньоквадратичного відхилення величини x .

Ймовірність виникнення за час екологічного ризику оцінюється так:

$$P_x = 1 - q_x.$$

Цей метод дає надійні результати в тому випадку, якщо достатньо точно і статистично достовірно зроблена оцінка статистичних параметрів \bar{x} і σ_x .

Для середнього арифметичного значення індикатора \bar{x} рекомендується використовувати його значення в точці, для якої оцінюється ризик.

Розглянемо методику кількісної оцінки ймовірності екологічного ризику, що виникає при дії джерел забруднення на водні об'єкти, зокрема на прикладі басейну ріки Дніпро [4]. Згідно з прийнятою методикою оцінки екологічних ризиків водних об'єктів збір інформації про особливості їх гідрологічного режиму та режиму забруднення проводиться на основі використання офіційної інформації. До таких документів відносяться: національні доповіді про екологічний стан навколошнього середовища на території України, інформаційні бюллетені, звіти міжнародних експедицій з вивчення екологічного стану певних ділянок басейну Дніпра, матеріали державного комітету статистики України, статистичний збірник «Довкілля України» тощо. В роботі були використані матеріали державної статистичної звітності України по всіх підприємствах, що проводять скиди забруднюючих речовин у басейн р. Дніпро. В таблиці 1 представлена група підприємств, що лідирують по забрудненню водних об'єктів, зокрема за масою скиду органічних речовин, азоту, важких металів та за загальним показником – ефективній масі забруднюючої речовини (ЕМЗР) [6].

Таблиця 1.

Список підприємств-лідерів за ефективною масою забруднюючої речовини (ЕМЗР) за даними 2008 року [6].

№	Назва підприємства	ЕМЗР (тонни)
1.	«Київводоканал»	15802,3
2.	Дніпропетровський водоканал	9466,1
3.	Комбінат «Криворіжсталь», м. Кривий Ріг	3467,1
4.	ВАТ Металургійний комбінат «Запоріжсталь»	3184,7
5.	Підприємство «Луцькводоканал»	2347,89
6.	«Водоканал», м. Запоріжжя	2054,1
7.	Криворіжський водоканал	2040,4
8.	«Черніговводоканал», м Чернігів	1674,0
9.	Металургійний і завод ім. Дзержинського, м. Дніпродзержинськ	999,0

В роботі були вибрані протоколи для розрахунків екологічних ризиків на прикладі р. Дніпро в районі впливу скидів підприємства «Київводоканал», який в таблиці займає першу позицію в списку лідерів за загальною ефективною масою забруднюючих речовин.

Детальна оцінка екологічного ризику можлива за умови, що для кожної досліджуваної точки є масив інформації достатньої для побудови моделі екосистеми. В розрахунках даної роботи використані протоколи поточних спостережень служб ризик-моніторингу для ріки Дніпро в районі впливу підприємства «Київводоканал» для 6 пунктів контролю: ст. №1 (вище скиду очисних споруд), ст. №2 (скид або «гаряча точка»), ст. №3 (нижче скиду очисних споруд м. Київа, 1 км за течією р. Дніпро), ст. №4 (нижче скиду, 3 км), ст. №5 (відстань від «гарячої точки» і локалізація 9,5 км), ст. №6 (кінава, що збирає стік перед скидом у річку).

Вибір переліку показників для першочергового прогнозування здійснюється за результатами аналізу режиму забруднення води річки та стану забруднення. У першу чергу прогнозуються ті показники, які в створах контролю нижче скидів стічних вод (або під час проходження паводків) більше і частіше інших перевищують або можуть перевищити ГДК у разі аварійних скидів стічних вод (катастрофічних паводків). Рекомендується в обов'язковому порядку прогнозувати концентрацію розчиненого кисню і повне біохімічне споживання кисню ($BCK_{побн}$), хімічні та біологічні показники.

Розрахунковий метод оцінювання ймовірностей ризику складається з наступних етапів:

1. Здійснюється вибірка значень змінної x , що визначена на всіх станціях для даної річки (за хімічними та біологічними показниками).

2. Вибірка значень заноситься в таблицю, де фіксуються показники і номери пунктів.

3. Для кожного із індикаторів ризику встановлюємо критичні значення індикаторів ризику (табл. 2). Для розрахунків використовувались показники критичних значень, представлені в роботі [4].

4. Для кожного індикатора ризику розраховується ймовірність його здійснення за наступними формулами.

1) Ймовірність знаходження значень екологічного індикатора x у межах заданої норми протягом часового інтервалу Δt :

$$q_x(\Delta t) = p(x_{\min} < x_i < x_{\max}) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x_i) dx_i, \quad (3)$$

де x_{\min} і x_{\max} — відповідно верхнє та нижнє значення x .

Таблиця 2.

Критичні значення індикаторів ризику [4].

Категорія	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Розчинний кисень	S	TBI
Дуже чиста	<0,1	<0,002	<0,2	<0,015	>8	<1	9-10
Чиста	0,1-0,2	0,002-0,005	0,2-0,3	0,015-0,03	7,6-8	1-1,5	8
Забруднена	1,01-2,5	0,051-0,1	1,01-2,5	0,201-0,3	4-5	3,1-3,5	4-3
Дуже забруднена	>2,5	>0,1	>2,5	>0,3	<4	>3,5	2-1
Критичне значення	max = 1,0	max = 0,05	max = 1,0	max = 0,2	min=5	max = 3	min=4

2) Для часового розподілу вираз (3) приймає вигляд:

$$q_x = q(x_{min} < x_i < x_{max}) = \Phi\left(\frac{x_{max} - \bar{x}}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{x_{min} - \bar{x}}{\sigma_x}\right), \quad (4)$$

де $\Phi(x)$ — функція нормованого розподілу; \bar{x} — оцінка середнього квадратичного відхилення x .

3) Значення $\Phi(x)$ представлені в таблиці «значення функції нормованого нормального розподілу»

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-x^2/2} dx. \quad (5)$$

4) Для випадку, якщо значення x вище ніж критичне q_x , то ймовірність q розраховується за формулою:

$$q_x = q(x < x_{max}) = \Phi\left(\frac{x_{max} - \bar{x}}{\sigma_x}\right). \quad (6)$$

5) Якщо значення x знизиться нижче критичного змін, то формула для q_x має вигляд:

$$q_x = q(x > x_{min}) = \Phi\left(\frac{\bar{x} - x_{min}}{\sigma_x}\right). \quad (7)$$

6) У формулах (6) і (7) замість середнього арифметичного \bar{x} підставляється значення індикатора ризику в тій точці, для якої оцінюється ризик.

7) Середнє квадратичне відхилення розраховується за формулою:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (8)$$

8) Ймовірність виникнення за час t екологічного ризику x оцінюється так:

$$p_x = 1 - q_x. \quad (9)$$

9) Певна комбінація ризиків різних типів розраховується за формулою:

$$p_{j=l-k} = 1 - \prod_{i=l}^k (1 - p_i). \quad (10)$$

10) Ймовірність, що за певний часовий інтервал в екосистемі не відбудеться жодного типу ризику:

$$p = \prod_{i=1}^n (1 - p_i), \quad (11)$$

де n — число типів екологічних ризиків точки.

11) За узагальнений показник ймовірності приймаємо ймовірність того, що річкова вода буде забруднена хоча б за однією з вимірюваних характеристик. Цю ймовірність можна визначити за формулою:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i). \quad (12)$$

Для розглянутого алгоритму розрахункового методу оцінювання ймовірності P_X виникнення за часовий інтервал t екологічного ризику за вибраними індикаторами ризику розроблена комп'ютерна програма.

В таблиці 3 представлено комп'ютерний варіант розрахунків показника ймовірності ризику за хімічними показниками. Використовуючи формулу (12), можна визначити величину загальної ймовірності для будь-якої точки. Решту значень загальної ймовірності забруднення річкової води хоча б за однією характеристикою наведено в нижньому рядку таблиці 3.

Таблиця 3

**Результати комп'ютерного розрахунку ймовірності ризику
за хімічними показниками**

Індикатори ризику	Значення ймовірності ризику					
	1	2	3	4	5	6
Пункт спостереження						
По розчиненому O_2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,22
NH_4^+	0,35	0,35	0,36	0,35	0,35	0,899
NO_2^-	0,63	0,76	0,64	0,64	0,64	0,899
NO_3^-	0,28	0,34	0,64	0,69	0,34	0,899
PO_4^{3-}	0,24	0,26	0,25	0,42	0,25	0,90
Загальна ймовірність	0,88	0,94	0,95	0,96	0,91	1,0

Аналіз одержаних результатів показує, що: 1) ризик забруднення річки хоча б за одним із визначених хімічних показників в точці контролю є достатньо великим і складає 88%; 2) наявність точкового джерела забруднення («гаряча точка») приводить до збільшення ризику на всіх точках дослідження в інтервалі 91–96%; 3) одержані результати констатують про несприятливий та ризикований екологічний стан досліджуваного річкового об'єкту.

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. за допомогою методу оцінки ймовірності екологічного ризику, в основу якого покладено математичний апарат теорії надійності, проведена кількісна оцінка екологічних ризиків зумовлених антропогенними забрудненнями водних об'єктів України (на прикладі регіону р. Дніпро);
2. запропоновано алгоритм оперативного проведення кількісної оцінки екологічних ризиків при забрудненні водних об'єктів;
3. розрахована ймовірність ризику забруднення регіону річки Дніпро за конкретними індикаторами для вибраних пунктів спостереження;
4. розроблено варіант комп'ютерної програми для оперативних розрахунків основних показників якості води для оцінки екологічного ризику при забрудненні водних об'єктів у випадку виникнення техногенної аварії;
5. показано, що на основі застосування методу варіації значень індикаторів ризику можливо проводити локальний та регіональний ризик-моніторинг та визначати

відхилення від норм антропогенних навантажень на водні об'єкти, що ефективно вирішує ряд важливих проблем у сфері природокористування.

1. *В.М. Шмандій, І.О. Солонич.* Управління природоохоронною діяльністю — К.: Центр навчальної літератури, 2004. — 292 с.;
2. *Гродзинський М.Д.* Стійкість геосистем до антропогенних навантажень — К.: Лікей, 1995.;
3. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Статистическая теория надежности испытания на безотказность. — М.: Наука, 1984;
4. *Романенко В.Д., Жукінський В.М., Оксюк О.П.* Методика оцінки екологічної якості поверхневих вод за відповідними категоріями. — К.: Символ-Т, 1998.;
5. *Л.Ф. Кожушко, П.М. Скрипчук.* Екологічний менеджмент. — К.: Видавничий центр «Академія», 2007;
6. *М.О. Кліменко, Н.В. Кнорр, Ю.В. Пилипенко.* Моніторинг довкілля. — К.: Кондор, 2010.