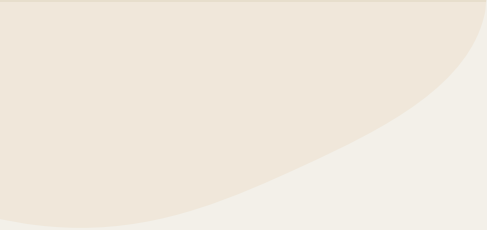


# *ЛЕКЦІЯ №8*

---

ОЦІНКА РИЗИКІВ:  
ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕБЕЗПЕК,  
ДОЗО ВІДПОВІДЬ,  
ЕКСПОЗИЦІЯ, QRA ДЛЯ  
ЛЮДИНИ ТА ЕКОСИСТЕМ





---

01

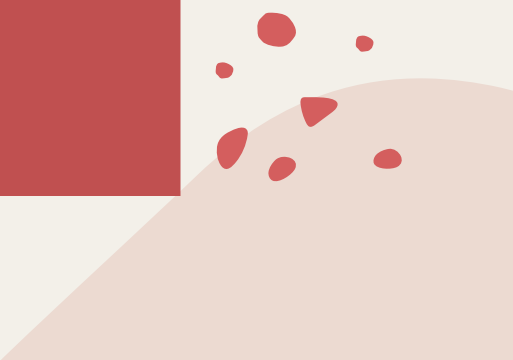
Поняття  
«екологічний ризик»  
та його місце в  
екологічному  
управлінні

02

Методологічні  
основи оцінки  
ризиків

03

Оцінка ризику для  
екосистем (ERA –  
Ecological Risk  
Assessment)



# *1. Поняття «екологічний ризик» та його місце в екологічному управлінні*

---

**Екологічний ризик – це ймовірність того, що внаслідок впливу хімічних, фізичних, біологічних або соціально-техногенних факторів відбудуться негативні зміни у стані навколишнього середовища, здоров'ї населення або в структурі та функціонуванні екосистем.**



Екологічний ризик =  
Ймовірність події ×  
Тяжкість її наслідків

В екологічному аналізі  
ризик завжди має два  
аспекти: імовірність  
(наскільки часто це може  
трапитися), наслідки  
(наскільки сильним буде  
вплив).

# Ключові елементи екологічного ризику

| Елемент                             | Пояснення                                                                     | Приклад                                |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Джерело небезпеки ( <b>hazard</b> ) | Хімічна, фізична або біологічна речовина чи процес, що здатні викликати шкоду | Pb у ґрунті; NO <sub>2</sub> у повітрі |
| Експозиція ( <b>exposure</b> )      | Контакт організму/екосистеми зі шкідливим фактором                            | Вдихання повітря з PM2.5               |
| Чутливість ( <b>vulnerability</b> ) | Схильність системи до пошкодження                                             | Діти, вагітні, риби, амфібії           |
| Результат впливу ( <b>impact</b> )  | Наслідки для здоров'я або довкілля                                            | Рак, мутації, деградація біоти         |

# Класифікація екологічних ризиків

| Тип ризику         | Приклади факторів                                                    | Типові наслідки                            |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Хімічні            | важкі метали, пестициди, діоксини, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> | токсичність, мутагенність, канцерогенність |
| Біологічні         | бактерії, віруси, патогенні гриби                                    | інфекції, епідемії                         |
| Фізичні            | шум, радіація, пил, перегрів клімату                                 | стрес, захворювання серця, смертність      |
| Техногенні         | аварії на ТЕС, ГЗК, хімпідприємствах                                 | вибухи, пожежі, забруднення територій      |
| Соціально-природні | пожежі в лісах, повені, посуха                                       | втрата біомаси, деградація ґрунтів         |

*Оцінка ризиків є центральним інструментом прийняття природоохоронних рішень.  
Вона дозволяє:*

---

| Завдання                            | Пояснення                                          | Приклад                                 |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Виявити критичні загрози</b>     | визначити найбільш небезпечні чинники              | забруднення PM2.5 біля дороги           |
| <b>Оцінити рівень впливу</b>        | розрахувати HQ, CR, RQ                             | $HQ > 1 \rightarrow$ небезпечно         |
| <b>Розробити заходи зниження</b>    | технічні, організаційні, біоінженерні              | фільтри, санітарні зони, зміна сировини |
| <b>Планувати моніторинг</b>         | визначити контрольні точки та частоту відбору проб | моніторинг води раз на місяць           |
| <b>Приймати регуляторні рішення</b> | дозволи, стандарти, оцінка впливу (ОВД)            | встановлення лімітів викидів            |

## *Зв'язок екологічного ризику з іншими інструментами сталого розвитку*

---

Інструмент

Як пов'язаний з оцінкою ризику

**ОВД (оцінка впливу на довкілля)**

Ризик формує основу експертного висновку

**Екологічний аудит**

Виявляє ризики порушення норм

**ESG / корпоративна звітність**

Ризик включається до управлінських рішень

**ISO 14001 (EMS)**

Вимагає управління значущими екологічними ризиками

**ЦСР (SDG 3, 6, 13, 15)**

Оцінка ризиків → показники прогресу сталості

# Чому оцінка ризику особливо актуальна в Україні зараз

війна

- збільшення техногенних аварій і пожеж в екосистемах;

руйнування інфраструктури

- забруднення води та ґрунтів;

активізація промисловості

- підвищення навантаження на довкілля;

зміна клімату

- зростання частоти посух і повеней.

*Оцінка ризику → основа відновлення екосистем у постконфліктний період.*

## *2. Методологічні основи оцінки ризику*

---

Оцінка ризику (Risk Assessment) – це **системний науковий процес** визначення того, наскільки небезпечним може бути вплив певного чинника (забруднювача, випромінювання, шуму, патогену) для **здоров'я людини або екосистеми**.

# Основні етапи оцінки ризику



# Оцінка ризику включає 4 ключові етапи (за USEPA та WHO):

---

| Етап                                  | Зміст                                      | Результат                              |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1. Ідентифікація небезпек             | Визначення потенційно шкідливих факторів   | Список забруднювачів / агентів         |
| 2. Оцінка залежності «доза–відповідь» | Як зміна дози впливає на ефект             | Крива токсичності                      |
| 3. Оцінка експозиції                  | Визначення реального рівня контакту        | Потенційне надходження речовини        |
| 4. Характеристика ризику (QRA)        | Кількісна оцінка ризику та його значущості | Числове значення ризику + рекомендації |

# *Ідентифікація небезпек (Hazard Identification)*

---

На цьому етапі визначають:

**тип загроз:** хімічні, біологічні, фізичні, соціально-техногенні;

**джерела забруднення:** промисловість, ТЕС, транспорт, сільське господарство;

**шляхи надходження:** повітря → легені, вода → ШКТ, продукти → метаболізм, шкіра → кровообіг.

# Приклад

---

| Забруднювач             | Джерело                        | Потенційні наслідки       |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| NO <sub>2</sub> , PM2.5 | автотранспорт                  | респіраторні захворювання |
| Pb, Cd                  | техногенне забруднення ґрунтів | нейротоксичність, анемія  |
| Пестициди               | агросектор                     | мутагенні ефекти, рак     |

# *Оцінка залежності «доза–відповідь» (Dose–Response Assessment)*

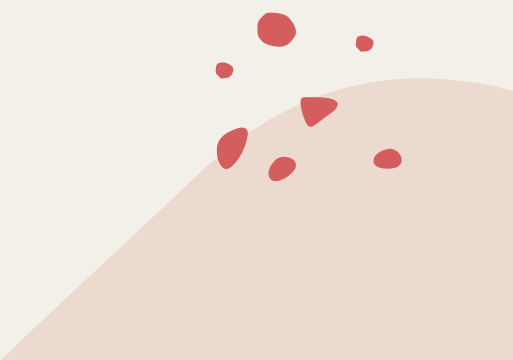
---

**Мета — визначити, як зміна дози впливає на величину ефекту.**

Оцінка залежності «доза-відповідь» – це процес кількісної характеристики токсикологічної інформації і встановлення зв'язку між впливаючою дозою (концентрацією) забруднюючої речовини і випадками шкідливих ефектів у популяції, що експонується.

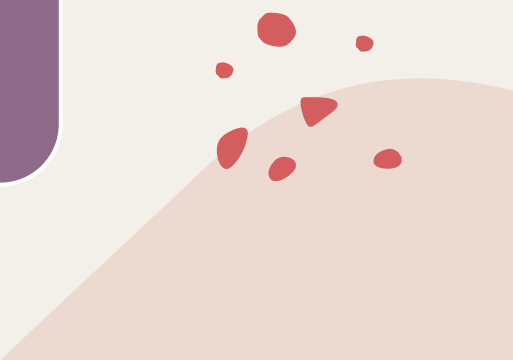


Аналіз залежності «доза-відповідь» передбачає встановлення причинної обумовленості розвитку шкідливого ефекту при дії даної речовини, виявлення найменшої дози, що викликає розвиток спостережуваного ефекту, та визначення інтенсивності зростання ефекту при збільшенні дози.





## *Міжнародна методологія оцінки ризиків передбачає, що:*

- канцерогенні ефекти при впливі хімічних канцерогенів, що володіють генотоксичною дією, можуть виникати при будь-якій дозі, що викликає ініціювання пошкоджень генетичного матеріалу;
  - для неканцерогенних речовин і канцерогенів з негенотоксичним механізмом дії передбачається існування порогових рівнів, нижче яких шкідливі ефекти не виникають.
- 

# *Ключові токсикологічні показники*

---

Показник

Значення

**NOAEL** (No Observed Adverse Effect Level)

Рівень впливу, при якому немає шкідливих ефектів

**LOAEL** (Lowest Observed Adverse Effect Level)

Мінімальна доза, при якій ефект вже є

**RfD** (Reference Dose)

Добова безпечна доза для людини



## Оцінка експозиції (*Exposure Assessment*)

Експозиція - це контакт людини із забруднювачами. Вона залежить від:

- Джерела забруднення

- Часу та тривалості впливу

- Концентрації шкідливих речовин



# *Найбільш важливими кроками при оцінці експозиції є:*

- визначення маршрутів впливу;

- ідентифікація того середовища, яке переносить забруднюючу речовину;

- визначення концентрацій забруднюючої речовини;

- визначення часу, частоти і тривалості впливу;

- ідентифікація популяції, що піддається впливу.

***Визначення експозиції є складовою частиною не тільки оцінки ризику, а й процесу управління ризиком, тому що дозволяє встановити:***

- розподіл концентрацій в часі і просторі в різних об'єктах навколишнього середовища;

- популяції або субпопуляції з високим і низьким ризиком;

- пріоритетні, ефективні та найбільш економічні програми і заходи щодо зниження ризику;

- внесок у рівні впливу від різних джерел забруднення;

- фактори, що впливають на попадання забруднювачів у навколишнє середовище, шляхи поширення шкідливих речовин і шляхи надходження в організм людини;

- відповідність заходів, що застосовуються для зниження забруднення, досягненню безпечних для здоров'я рівнів.

# Формула розрахунку середньодобового надходження:

$$EDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

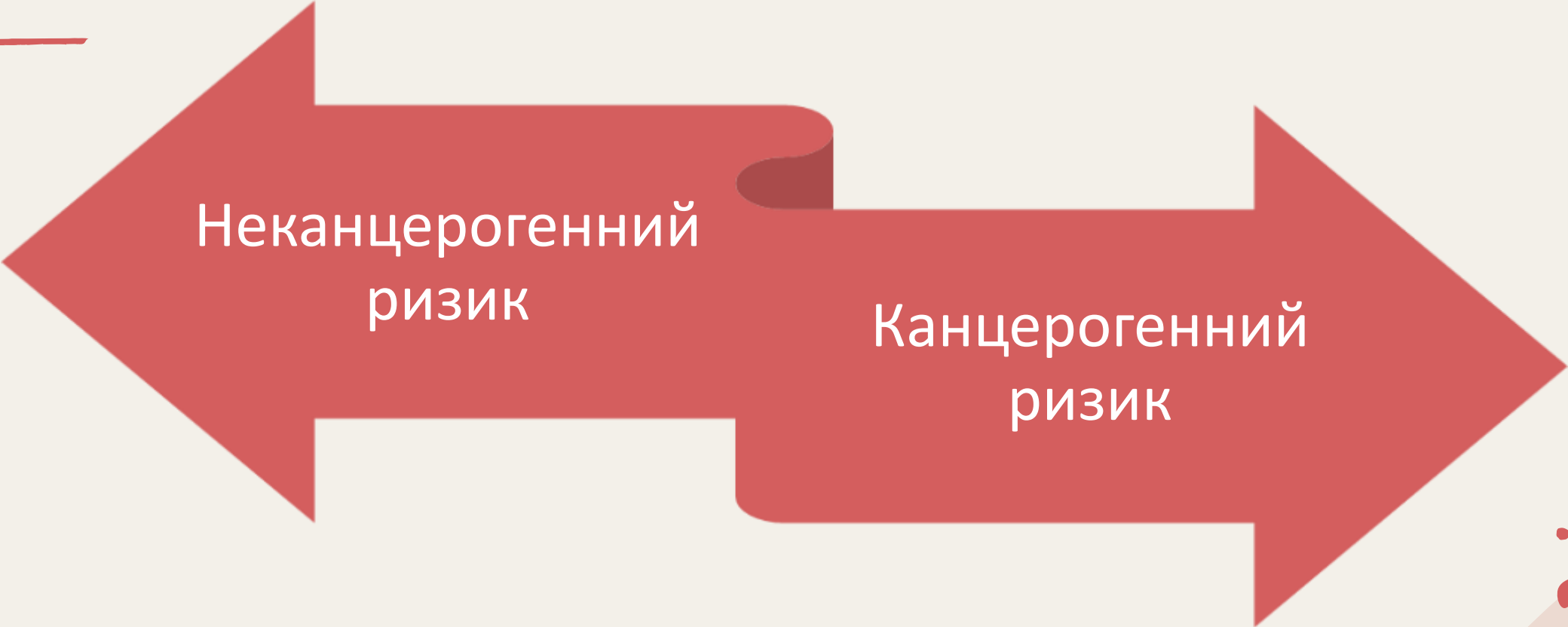
| Параметр | Опис                                                | Одиниці         |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------------|
| C        | концентрація речовини                               | мг/кг або мг/л  |
| IR       | інтенсивність<br>споживання (вода, їжа,<br>повітря) | кг/день, л/день |
| EF       | частота впливу                                      | дні/рік         |
| ED       | тривалість впливу                                   | роки            |
| BW       | маса тіла людини                                    | кг              |
| AT       | час усереднення                                     | дні             |

## Характеристика експозиції

| Параметр | Характеристика                            | Стандартне значення                                                                                        |
|----------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $CR$     | Швидкість надходження,<br>$m^3/день$      | діти до 6 років — 4;<br>діти від 6 до 18 років — 20;<br>дорослі від 18 років — 22;<br>середня людина — 20  |
| $EF$     | Частота дії, днів/рік                     | сценарій селітебний — 350                                                                                  |
| $ED$     | Тривалість дії, років                     | діти до 6 років — 6;<br>діти від 6 до 18 років — 12;<br>дорослі від 18 років — 52;<br>канцерогени — 70     |
| $BW$     | Маса тіла, кг                             | діти до 6 років — 15;<br>діти від 6 до 18 років — 42;<br>дорослі від 18 років — 70;<br>середня людина — 60 |
| $AT$     | Період усереднювання<br>експозиції, років | діти до 6 років — 6;<br>діти від 6 до 18 років — 12;<br>дорослі від 18 років — 52;<br>канцерогени — 70     |

# *Характеристика риска (Risk Characterization)*

---



Неканцерогенный  
риск

Канцерогенный  
риск

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів здійснюється або шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними рівнями впливу (індекс/коефіцієнт небезпеки), або на основі параметрів залежності «концентрація – відповідь», отриманих в епідеміологічних дослідженнях.

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів для окремих речовин проводиться на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки (HQ) за формулами:

$$HQ = \frac{AD}{RfD}$$

$$HQ = \frac{AC}{RfC}$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки;

AD – середня доза, мг/кг;

AC – середня концентрація, мг/м<sup>3</sup>;

RfD – референтна (безпечна) доза, мг/кг;

RfC – референтна (безпечна) концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт небезпеки розраховується окремо для умов короточасних (гострих), підгострих і тривалих впливів хімічних речовин. При цьому період усереднення експозицій та відповідних безпечних рівнів впливу повинен бути аналогічним.

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів при комбінованому і комплексному впливі хімічних сполук проводиться на основі розрахунку індексу небезпеки (HI).

Індекс небезпеки для умов одночасного надходження декількох речовин одним і тим же шляхом (наприклад, інгаляційним або пероральним) розраховується за формулою:

$$HI_j = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші хімічних речовин, що впливають.

| Речовина       | Доза, мг/кг | <u>RfD</u> , мг/кг    | HQ  | Критичні органи |
|----------------|-------------|-----------------------|-----|-----------------|
| А              | 0,005       | 0,05                  | 0,1 | нирки           |
| Б              | 16,0        | 4,0                   | 4,0 | печінка         |
| С              | 0,12        | 0,4                   | 0,3 | нирки           |
| Д              | 0,08        | 0,2                   | 0,4 | печінка         |
| Сумарний ризик |             | HI загальний          | 4,8 |                 |
|                |             | HI <sub>нирки</sub>   | 0,4 |                 |
|                |             | HI <sub>печінка</sub> | 4,4 |                 |

*Приклад розрахунку індексу небезпеки при комбінованому надходженні*

## Приклад розрахунку індексу небезпеки при комплексній багатосередовищній дії

| Середовище<br>Шлях впливу | Інгаляційно | Перорально | Нашкірно  | Сума   |
|---------------------------|-------------|------------|-----------|--------|
| Атмосферне повітря        | $HQ_{ai}$   | -          | -         | $HI_a$ |
| Питна вода                | $HQ_{wi}$   | $HQ_{wo}$  | $HQ_{wd}$ | $HI_w$ |
| Грунт                     | $HQ_{si}$   | $HQ_{so}$  | $HQ_{sd}$ | $HI_s$ |
| Сума                      | $HI_i$      | $HI_o$     | $HI_d$    | $THI$  |

**Примітка.**  $a$  – атмосферне повітря,  $w$  – питна вода,  $s$  – ґрунт,  $i$  – інгаляційне надходження,  $o$  – пероральне надходження,  $d$  – нашкірний вплив.

## Класифікація рівнів небезпеки неканцерогенних ризиків

| Рівень небезпеки    | Коефіцієнт/індекс небезпеки, $(HQ/HI)$ | Характеристика рівня ризику                                                                                                                |
|---------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мінімальний         | $\leq 0,1$                             | ризик виникнення шкідливих ефектів відсутній                                                                                               |
| Низький             | 0,1 - 1                                | ризик виникнення шкідливих ефектів є зневажливо малим                                                                                      |
| Середній            | 1 - 5                                  | існує ризик розвитку шкідливих ефектів у особливо чутливих підгруп населення (неприпустимий для населення, допустимий для виробничих умов) |
| Високий             | 5 - 10                                 | існує ризик розвитку несприятливих ефектів у більшості частини населення                                                                   |
| Надзвичайно високий | $\geq 10$                              | масові скарги, виникнення хронічних захворювань                                                                                            |

Розрахунок індивідуального канцерогенного ризику здійснюється з використанням даних про величину експозиції та значення факторів канцерогенного потенціалу (фактор нахилу, одиничний ризик). Як правило, для канцерогенних хімічних речовин додаткова вірогідність розвитку раку у індивідуума на всьому протязі життя (ICR) оцінюється з урахуванням середньодобової дози протягом життя (LADD):

$$ICR = LADD \cdot SF$$

де LADD – середньодобова доза протягом життя, мг/(кг·день);  
SF – фактор нахилу, (мг/(кг·день))<sup>-1</sup>.

## Зведена таблиця для аналізу канцерогенного ризику при багатомаршрутній, багатосередовищній експозиції $j$ -ї хімічної речовини

| Шлях надходження | Об'єкти навколишнього середовища |           |            |                    |           |            |
|------------------|----------------------------------|-----------|------------|--------------------|-----------|------------|
|                  | повітря                          | грунт     | питна вода | відкрите водоймище | продукти  | сума       |
| Інгаляція        | $CR_{ai}$                        | $CR_{si}$ | $CR_{wi}$  | $CR_{ri}$          | -         | $CR_i$     |
| Перорально       | -                                | $CR_{so}$ | $CR_{wo}$  | $CR_{ro}$          | $CR_{fo}$ | $CR_o$     |
| Нашкірно         | -                                | $CR_{sd}$ | $CR_{wd}$  | $CR_{rd}$          | -         | $CR_d$     |
| Сума             | $CR_a$                           | $CR_s$    | $CR_w$     | $CR_r$             | $CR_f$    | $CR_{sum}$ |

**Примітка.**  $CR$  – індивідуальний додатковий канцерогенний ризик. Індекси відносяться до різних об'єктів та шляхів надходження речовини:  $i$  – інгаляція,  $o$  – перорально,  $d$  – нашкірно,  $a$  – повітря,  $s$  – грунт,  $w$  – питна вода,  $r$  – відкрите водоймище (рекреаційне використання),  $f$  – продукти харчування. Величина  $CR_{sum}$  – відбиває сумарний канцерогенний ризик при вступі  $j$ -ї речовини різними шляхами з різних середовищ.

# Класифікація рівнів канцерогенного ризику

| Рівень ризику                                                                                                                                                                                                                          | Ризик протягом життя |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Високий (De Manifestis)</b> – не прийнятний для виробничих умов і населення. Необхідне здійснення заходів з усунення або зниження ризику                                                                                            | $>10^{-3}$           |
| <b>Середній</b> – припустимий для виробничих умов; за впливу на все населення необхідний динамічний контроль і поглиблене вивчення джерел і можливих наслідків шкідливих впливів для вирішення питання про заходи з управління ризиком | $10^{-3} - 10^{-4}$  |
| <b>Низький</b> – припустимий ризик (рівень, на якому, як правило, встановлюються гігієнічні нормативи для населення)                                                                                                                   | $10^{-4} - 10^{-6}$  |
| <b>Мінімальний (De Minimis)</b> – бажана (цільова) величина ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів                                                                                                                | $<10^{-6}$           |

# *Практичний приклад оцінки екологічного ризику для людини*

---

**Об'єкт:** питна вода з  
централізованого водопостачання  
**Забруднювач:** Свинець (Pb)

# Вихідні дані

| Параметр                                   | Значення                                             | Джерело / Коментар                            |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Концентрація <b>Pb</b> у воді ( <b>C</b> ) | 0.03 мг/л                                            | результат лабораторного аналізу               |
| Добове споживання води ( <b>IR</b> )       | 2 л/день                                             | середня норма для дорослого                   |
| Частота впливу ( <b>EF</b> )               | 365 днів/рік                                         | постійне споживання                           |
| Тривалість впливу ( <b>ED</b> )            | 30 років                                             | умовний життєвий інтервал у зоні впливу       |
| Маса тіла ( <b>BW</b> )                    | 70 кг                                                | середня маса дорослого                        |
| Час усереднення ( <b>AT</b> )              | $30 \text{ років} \times 365 = 10\,950 \text{ днів}$ | для хронічного впливу                         |
| Референтна доза ( <b>RfD</b> )             | 0.0035 мг/кг·день                                    | WHO/USEPA, безпечна добова доза Pb для людини |

## Крок 1. Розрахунок середньодобового надходження (*EDI*)

Використовуємо формулу:

$$EDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

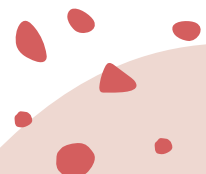
Підставляємо:

$$EDI = \frac{0.03 \text{ мг/л} \times 2 \text{ л/день} \times 365 \text{ днів/рік} \times 30 \text{ років}}{70 \text{ кг} \times 10950 \text{ днів}}$$



$$EDI = \frac{657}{70 \times 10950} = \frac{657}{766500} \approx 0.000857 \text{ мг/кг} \cdot \text{день}$$

$$EDI \approx 8.6 \times 10^{-4} \text{ мг/кг} \cdot \text{день}$$



## Крок 2. Розрахунок неканцерогенного ризикy (HQ)

$$HQ = \frac{EDI}{RfD} = \frac{0.000857}{0.0035} \approx 0.245$$

$$\boxed{HQ \approx 0.25}$$

# Інтерпретація результатів

Значення  $HQ$

Висновок

**$HQ \leq 1$**

Ризик вважається **прийнятним**, негативні ефекти мало ймовірні

**$HQ > 1$**

Ризик **високий**, потрібні коригуючі дії

---

У нашому випадку:

$$HQ = 0.25 < 1 \Rightarrow \text{ризик прийнятний}$$

Однак – концентрація Pb у воді **0.03 мг/л**, що перевищує санітарну норму **WHO** і **ДСанПіН (0.01 мг/л)** у 3 рази.

Тобто з точки зору формального ризику – вплив контрольований, але з точки зору нормативів – вода не відповідає стандартам і потребує зменшення вмісту **Pb**.

### ***3. Оцінка ризику для екосистем (ERA — Ecological Risk Assessment)***

---

ERA — це **системна процедура визначення і кількісної оцінки ризиків, які хімічні речовини або інші стресори створюють для популяцій, угруповань і екосистем.**

На відміну від оцінки ризику для людини (яка зосереджена на здоров'ї), ERA оцінює:

**зміни в біорізноманітті, видовому складі й трофічних ланцюгах;**  
довгострокові, кумулятивні та непрямі ефекти.

# Що є об'єктом захисту?

---

| Рівень біологічної організації | Що оцінюють                                | Приклади впливів         |
|--------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| Індивідуум                     | виживання, ріст, репродукція               | токсичність, стрес       |
| Популяція                      | чисельність, структура віку                | зниження плодючості      |
| Угруповання                    | видовий склад, домінування                 | зникнення чутливих видів |
| Екосистема                     | функції, потоки енергії, колообіги речовин | евтрофікація, деградація |

**Головна мета ERA – зберегти стійкість та функціональність екосистем.**

# *Основні етапи ERA*

---

Методологія аналогічна до загальної схеми Risk Assessment, але фокусується на біоті:

- 1) Визначення екологічного контексту
- 2) Ідентифікація стресора (небезпеки)
- 3) Визначення токсичності (NOEC, EC50, LC50)
- 4) Оцінка експозиції в середовищі (PEC)
- 5) Розрахунок рівня ризику ( $RQ = PEC / PNEC$ )
- 6) Інтерпретація та управлінські рішення

# Ідентифікація стресора

Стресори можуть бути:

**хімічні** (пестициди, метали, нафтопродукти,  $\text{NH}_4^+$ , нітрати);

**фізичні** (зміни температури, освітленості, мутності);

**біологічні** (інвазійні види);

**комбіновані** (евтрофікація + гіпоксія).

**Ключове питання:**

*Які види або екосистемні функції найбільш чутливі?*

**Наприклад:**

Холодноводні риби чутливі до підвищення температури.

Безхребетні чутливі до пестицидів та важких металів.

Фітопланктон чутливий до зміни прозорості води.

# Токсикологічні параметри для екосистем

---

| Позначення  | Значення                             | Опис                                              |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>LC50</b> | Lethal Concentration 50              | концентрація, що викликає загибель 50% організмів |
| <b>EC50</b> | Effect Concentration 50              | концентрація, що викликає ефект у 50%             |
| <b>NOEC</b> | No Observed Effect Concentration     | концентрація, при якій ефект відсутній            |
| <b>LOEC</b> | Lowest Observed Effect Concentration | найнижча концентрація з ефектом                   |

# Розрахунок допустимої концентрації для екосистем

---

$$PNEC = \frac{NOEC}{AF}$$

**AF** — коефіцієнт безпеки (залежить від надійності даних):  
• зазвичай 10–1000.

# *Оцінка експозиції (РЕС)*

---

**РЕС (Predicted Environmental Concentration)** – це фактична або модельована концентрація речовини у воді, ґрунті або повітрі.

*РЕС = концентрація у пробі або результат моделі розсіювання*

# Характеристика ризику для екосистем

$$RQ = \frac{PEC}{PNEC}$$

Значення  
RQ

Інтерпретація

**$RQ < 1$**

ризик низький, вплив прийнятний

**$RQ \geq 1$**

ризик значущий → потрібні заходи

**$RQ \geq 10$**

критичний ризик → необхідне втручання негайно

## *Приклад практичного розрахунку (для річкової екосистеми Житомирського Полісся)*

---

| Параметр        | Значення                      |
|-----------------|-------------------------------|
| Забруднювач     | Кадмій (Cd)                   |
| РЕС (вода)      | 0.005 мг/л (факт моніторингу) |
| NOEC (для риби) | 0.0005 мг/л                   |
| AF              | 100                           |

### Крок 1. Розрахунок PNEC

$$PNEC = \frac{NOEC}{AF} = \frac{0.0005}{100} = 0.000005 \text{ мг/л}$$

### Крок 2. Розрахунок RQ

$$RQ = \frac{PEC}{PNEC} = \frac{0.005}{0.000005} = 1000$$

|                                               |
|-----------------------------------------------|
| $RQ = 1000 \rightarrow \text{Ризиккритичний}$ |
|-----------------------------------------------|

# Інтерпретація

---

1

Концентрація Cd у воді становить **різко небезпечне** перевищення.

2

Можливі ефекти: загибель личинок риб, зниження розмноження, колапс трофічних рівнів.

3

Екосистема **втрачає функціональність** → **реальна загроза біорізноманіттю.**

# Управлінські заходи

---

Тип

Заходи

**Технічні**

фільтри осадження/сорбції, модернізація стоків підприємств

**Природні**

буферні смуги рослинності, біофільтруючі болота

**Організаційні**

заборона скидів, контроль джерел, частий моніторинг

**Відновлюючі**

зарибнення, відновлення донної мікробіоти, рекультивація

*Практичний кейс*  
*Оцінка ризику впливу*  
*транспортних викидів*  
*на території*  
*університету*

# Вихідні дані

| Забруднювач     | Концентрація (С),<br>мкг/м <sup>3</sup> | ГДК, мкг/м <sup>3</sup> |
|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------|
| PM2.5           | 42                                      | 25                      |
| NO <sub>2</sub> | 58                                      | 40                      |

Час перебування на території університету: 6 год/день.

# ***1. Ідентифікація небезпек***

Які ризики можуть виникати для здоров'я людини під впливом PM<sub>2.5</sub> та NO<sub>2</sub>?

Які групи людей є найбільш вразливими?

## 2. Оцінка експозиції

Використайте формулу:

$$\text{Exposure} = C \times (X / 24)$$

де: C – концентрація забруднювача, X – час перебування на території університету.

| Забруднювач     | Розрахунок Exposure | Порівняння з ГДК |
|-----------------|---------------------|------------------|
| PM2.5           |                     |                  |
| NO <sub>2</sub> |                     |                  |

### *3. Характеристика ризику*

---

Якщо Exposure  
 $>$  ГДК  $\rightarrow$  ризик  
значущий.

Якщо Exposure  
 $\leq$  ГДК  $\rightarrow$  ризик  
прийнятний.

## *4. Рекомендації щодо зменшення ризику*

---

| Заходи | Очікуваний ефект |
|--------|------------------|
|        |                  |
|        |                  |
|        |                  |