



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет технічних систем
та енергоефективних технологій

6064 Методичні вказівки
до виконання практичної роботи
на тему «Оцінка ризику загрози здоров'ю
за впливу порогових токсикантів»
із дисципліни **«Екологічні ризики
та стратегії прийняття рішень»**
для здобувачів спеціальності *101 «Екологія»*
всіх форм здобуття вищої освіти

Суми
Сумський державний університет
2025

Методичні вказівки до практичної роботи «Оцінка ризику загрози здоров'ю за впливу порогових токсикантів» із дисципліни «Екологічні ризики та стратегії прийняття рішень» / укладач В. В. Фалько. – Суми : Сумський державний університет, 2025. – 15 с.

Кафедра екології та природозахисних технологій
факультету ТеСЕТ



Цей твір ліцензовано на умовах

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

(Із Зазначенням Авторства-Некомерційна-Поширення
на тих самих умовах 4.0 Міжнародна)

ЗМІСТ

С.

1. Загальні теоретичні відомості.....	4
2. Практична частина	11

Мета роботи

Надати студентам знання та вміння щодо оцінювання ризику загрози здоров'ю під час впливу порогових токсикантів. За результатами дослідження формулювати висновки, запропонувати рекомендації щодо зменшення впливу порогових токсикантів на здоров'я людини.

1. ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Негативний вплив порогового токсиканту повинен характеризуватися значенням тієї порогової дози (або потужності дози, тобто величини дози, віднесеної до деякого інтервалу часу), починаючи з якої з'являються несприятливі наслідки. Практика досліджень залежності між значенням дози токсиканту і його дією (ефектом) показала, що можливі декілька підходів до встановлення величини порогової потужності дози. Відповідно можливо використання таких значень, які знаходять дослідним шляхом за результатами експериментів:

H_{NOEL} – найбільша порогова потужність дози, яка не призводить до появи будь-яких статистично значущих біологічних ефектів (NOEL – «no-observed-effect level», тобто рівень, за якого ніякі ефекти не спостерігаються);

H_{NOAEL} – найбільша потужність дози, яка не приводить до появи статистично значущих несприятливих біологічних ефектів (NOAEL – «no-observed-adverse-effect level», тобто рівень, за якого не спостерігаються несприятливі ефекти);

H_{LOEL} – найменша потужність дози, яка приводить до появи будь-яких статистично значущих біологічних ефектів (LOEL – «lowest-observed-effect level», тобто найнижчий рівень, за якого спостерігаються ефекти);

H_{LOAEL} – найменша потужність дози, яка приводить до появи статистично значущих несприятливих біологічних ефектів (LOAEL – «lowest -observed-adverse-effect level», тобто найнижчий рівень, за якого спостерігаються несприятливі ефекти).

Усі чотири величини вимірюються кількістю забруднювача, який надходить в одиницю часу в організм людини або тварини і

нормованого на одиницю маси тіла. Зазвичай кількість токсиканту вимірюється у міліграмах, одиниця часу – доба, а одиницею маси тіла – кілограм, відповідно розмірність перелічених величин – мг/(кг · доб).

Оптимальне узгодження експериментальних даних і результатів спостережень за групами ризику означає, що є достатня інформація за всіма переліченими вище факторами. Але на практиці таке узгодження забезпечити не вдається. Тому доводиться вводити коефіцієнти невизначеності, які відіграють роль своєрідного «запасу надійності» в процесі обчислення потужності дози. Зазвичай використовують три коефіцієнти F_1 , F_2 та F_3 , на їх множення ділять величину порогової потужності дози:

$$H_D = \frac{H_{D(i)}}{F_1 \cdot F_2 \cdot F_3},$$

де $H_{D(i)}$ – будь-яке з поданих вище значень порогової потужності дози, а H_D – її скориговане значення.

Коефіцієнт F_1 використовується для обліку можливих міжвидових варіацій у прояві ефектів, тобто він характеризує міжвидову відмінність у чутливості до токсиканту. Якщо біокінетичні особливості токсиканту і механізми його токсичності в експериментальних тварин і людей відрізняються сильно, то коефіцієнту F_1 надають максимальне значення 10. Якщо біокінетика й механізми токсичності в експериментальних тварин і людей схожі, то $F_1 = 1$.

Коефіцієнт F_2 відповідає за внутрішньовидові відмінності в дії токсикантів, які обумовлені індивідуальною чутливістю. Його значення можуть змінюватися від 1 до 10. Також зазвичай вважають $F_2 = 1$ (коли істотні індивідуальні відмінності в чутливості до цього токсиканту не виявлені).

Коефіцієнт F_3 підвищує надійність розрахунків, пов'язаних із переходом від порівняно короткочасних спостережень до оцінок ефектів за значно більший період часу. Значення цього коефіцієнта може варіювати від 10 до 100. Коли потрібно оцінити

H_{NOEL} або H_{NOAEL} для всього життя тварини або людини, а є дані лише за короткочасними експериментами, то вважають $F_3 = 10$. Для оцінки H_{LOEL} або H_{LOAEL} за тими ж умовами використовується максимальне значення $F_3 = 100$.

Отже, введення коефіцієнтів невизначеності F_1 , F_2 та F_3 істотно знижує значення порогової потужності дози, що обумовлено впливом низки невизначеностей. Максимальне значення множення $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = 10 \cdot 100 \cdot 10 = 10000$.

Ці коефіцієнти виконують роль факторів перестрашування, бо в розрахунки ризику будуть входити навмисно занижені значення порогової потужності дози. Наприклад, для тетраетил свинцю у результаті досліджень із тваринами було отримано значення H_{LOAEL} , що дорівнює $0,0012$ мг/кг · доб. Але через недосконалість умов експериментів коефіцієнтам невизначеності довелося приписати найбільші значення, тому скориговане значення порогової потужності дози H_D під час надходження цього токсиканту з водою або їжею склало $0,0012 : 10000 = 1,2 \cdot 10^{-7}$ мг/кг · доб.

У випадку іншого токсиканта – фенолу – виконані експерименти характеризувалися набагато меншою невизначеністю, множення $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$ виявилось таким, що дорівнює 100. Оскільки значення H_{LOAEL} під час потрапляння фенолу з водою або їжею дорівнювало 60 мг/кг · доб, скориговане значення порогової потужності дози H_D склало $60 : 100 = 0,6$ мг/кг · доб.

Одиниця потужності порогової дози – мг/кг · доб – пов'язана з залежністю впливу токсиканту, що потрапляє в організм, від маси тіла. Перед тим, як зафіксувати значення цієї дози для людей, проводяться досліді на тваринах, для кожної з них береться середня величина маси тіла. Часто об'єктами таких досліджень є миші, щури, морські свинки, кролики.

Агенція з захисту довкілля США сформувала і підтримує в мережі «Інтернет» базу даних, що містить значення порогової міцності доз різних забруднювачів довкілля. Ця база постійно поповнюється новими даними.

Значення порогової потужності дози H_D під час надходження деяких токсикантів-неканцерогенів із повітрям, водою та їжею наведені (у порядку спадання) у таблицях 1, 2, 3.

Таблиця 1 – Порогова потужність дози токсикантів, що надходять із повітрям

<i>Токсикант, що надходить із повітрям</i>	H_D, мг/кг · доб.
Бензол	$9 \cdot 10^{-3}$
Марганець	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Ртуть (метал)	$8,6 \cdot 10^{-5}$
Берилій	$5,8 \cdot 10^{-6}$
Тетраетилсвинець	$5,7 \cdot 10^{-6}$

Таблиця 2 – Порогова потужність дози токсикантів, що надходять з водою та їжею

<i>Токсиканти, що надходять з водою та їжею</i>	H_D, мг/кг·доб.	<i>Токсиканти, що надходять з водою та їжею</i>	H_D, мг/кг·доб.
Нітрати	1,6	Селен	$5 \cdot 10^{-3}$
Хром (Cr^{+3})	1,0	Молібден	$5 \cdot 10^{-3}$
Цинк	0,3	Срібло	$5 \cdot 10^{-3}$
Барій	0,2	Хром (VI)	$5 \cdot 10^{-3}$
Бор	0,2	Кадмій	$5 \cdot 10^{-4}$
Марганець	0,14	Сурма	$4 \cdot 10^{-4}$
Хлор	0,1	Миш'як	$3 \cdot 10^{-4}$
Мідь	0,04	Ртуть	$3 \cdot 10^{-4}$
Нікель	0,02	(хлорид)	
		Талій (хлорид, карбонат)	$8 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 3 – Порогова потужність токсикантів, що надходять із водою

Токсикант, що надходить із водою	H_D, мг/кг·доб
Етиленгліколь	2
Ацетон	0,9
Нафтопродукти	0,6
Фенол	0,6
Метанол	0,5
Формальдегід	0,2
Пентахлорфенол C_6Cl_5OH	$3 \cdot 10^{-2}$
Бензол	$4 \cdot 10^{-3}$
Венілхлорид	$3 \cdot 10^{-3}$
Нітробензол $C_6H_5NO_2$	$5 \cdot 10^{-4}$
ДДТ	$5 \cdot 10^{-4}$
Метил ртуть $Hg(CH_3)_2$	$1 \cdot 10^{-4}$
Тетраетилсвінець	$1,2 \cdot 10^{-7}$

Як показують дані, наведені в таблицях, за значенням порогової потужності токсичні речовини можуть відрізнятися в мільйони разів.

Нижче розглядається методика рішення задач, рекомендована Агенцією із захисту навколишнього середовища США.

Під час розв'язування задач, в яких розглядається вдихання токсиканту, середньодобове надходження його m , віднесене до 1кг маси людини, розраховується за формулою:

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T},$$

де C – концентрація токсиканту у повітрі, мг/м³; V – об'єм повітря, що надходить у легені, м³/доб. (вважається, що доросла людина вдихає 20 м³ повітря щодоби); f – кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив токсиканту; T_p – кількість років, протягом яких відбувається вплив токсиканту; P – середня

маса тіла дорослої людини, що береться такою, що дорівнює 70 кг; T – усереднений час впливу токсиканту (або середня тривалість можливого впливу токсиканту за час життя людини), береться 30 років (10950 діб).

Вище наведений вираз для m базується на вже відомій формулі Габера, що використовується в токсикології, за якою визначають показник токсичності речовини K_{tox} . Для токсиканту, що надходить із повітрям, ця формула має вигляд:

$$K_{tox} = \frac{C \cdot V \cdot t}{P},$$

де C – концентрація токсиканту; V – об'єм легеневої вентиляції; t – час впливу токсиканту; P – маса тіла.

Якщо розв'язуються задачі, пов'язані з вживанням питної води, то середньодобове надходження токсиканта з водою на 1 кг маси тіла людини визначається за формулою, яка має відповідні зміни:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T},$$

де C – концентрація токсиканту в питній воді, мг/л; v – швидкість попадання води в організм людини, л/доб (вважається, що доросла людина випиває щодоби 2 літри води); f – кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив токсиканту; T_p – кількість років, протягом яких вживається питна вода, що розглядається.

Величини P і T така сама, як і у формулі для надходження токсиканту з повітрям. Розмірність величини m – мг/л · доб.

Якщо розв'язуються задачі, пов'язані з вживанням продуктів харчування, то середньодобове надходження токсиканта з їжею m , віднесене до 1 кг маси тіла людини, розраховують за формулою

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T},$$

де C – концентрація токсиканту в харчовому продукті, що розглядається; M – кількість продукту, що вживається за один рік; T_p – кількість років, протягом яких вживається харчовий продукт, що розглядається.

Величини P і T така сама, як і у формулі для надходження токсиканта з повітрям. Розмірність величини m – мг/кг · доб.

Після того, як визначено середньодобове надходження токсиканту, віднесене до 1 кг маси тіла, розраховують величину, що називається індексом небезпеки. Її позначають як HQ (Hazard Quotient) і визначають виразом:

$$HQ = \frac{m}{H_D},$$

де H_D – порогова потужність дози, яка наведена у таблицях 1–3.

Якщо $HQ < 1$, то небезпека не існує; ризику загрози здоров'ю немає. Якщо $HQ > 1$, існує небезпека отруєння, яка тим більша, чим більше індекс HQ перевищує одиницю.

Якщо в повітрі, питній воді або їжі міститься декілька токсикантів, то повний індекс небезпеки HQ_t дорівнює сумі індексів небезпеки окремих токсикантів:

$$HQ_t = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + \dots$$

Якщо $HQ_t < 1$, то небезпеки немає, ризик загрози здоров'ю відсутній.

2. Практична частина

Завдання 1

В одному з колодязів виявлено важкий метал – шестивалентний хром, причому його вміст у воді цього колодязя в 10 разів перевищило значення ГДК хрому (VI) для питної води (0,005 мг/л). Цим колодязем користуються протягом 6 років. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю.

Завдання 2

У воду деякої водойми потрапила ртуть, унаслідок чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 10 мг/кг. Протягом двох років у цій водоймі рибалка ловить рибу і вживає її в їжу. За ці два роки він їв рибу 80 разів, причому за один раз з'їдав у середньому 150 г. Порогова потужність дози ртуті (у вигляді метил ртуті) під час потрапляння в організм з їжею становить $1 \cdot 10^{-4}$ мг/кг · доб. Визначити ризик загрози здоров'я.

Завдання 3

У воді водосховища виявлено фенол із концентрацією, що дорівнює 3 мг/л. Водосховище є джерелом питного водопостачання. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, яка п'є таку воду протягом трьох років. Врахувати, що кожного року ця людина їде з цієї місцевості у відпустку в середньому на 30 днів. Порогова потужність дози фенолу під час потрапляння в організм людини з водою становить 0,6 мг/кг · доб.

Завдання 4

Встановлено, що в деякій місцевості виявилася забрудненою питна вода й овочі, які вирощували. У воді наявні нафтопродукти,

їх вміст дорівнює 5 мг/л, а в овочах – тетраетилсвинець зі вмістом 5 мкг/кг. У середньому споживання овочів у країні 94 кг на душу населення. Людина випиває в середньому 2 л води на добу. Розрахувати індивідуальний ризик здоров'ю, якщо людина знаходиться під впливом зазначених токсикантів протягом трьох місяців. Порогова потужність дози нафтопродуктів під час потрапляння в організм з водою становить 0,6 мг/кг · доб, а порогова потужність дози тетраетилсвинцю під час потрапляння в організм з їжею становить $1,2 \cdot 10^{-7}$ мг/кг · доб.

Завдання 5

Вважається, що протягом року середньостатистичний мешканець з'їдає в середньому 130,8 кг хлібопродуктів. Вважаємо, що у хлібних продуктах виявлені нітрати з вмістом, що дорівнює 37 мг/кг. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю людини, якщо такими продуктами людина харчується протягом одного року. Порогова потужність дози нітратів у харчових продуктах становить 1,6 мг/кг · добу.

Завдання 6

За 1 рік у середньому людина з'їдає 151 яйце. Розрахувати ризик здоров'ю під час вживання в їжу яєць протягом року, якщо яйце містить хлор зі середнім вмістом 30 мг в одному яйці. Порогова потужність дози хлору в харчових продуктах становить 0,1 мг/кг · доб.

Завдання 7

Аналіз проб яєць показав, що вміст міді та цинку в них у три рази перебільшує значення ГДК для цих металів, які дорівнюють відповідно 3 мг/кг і 50 мг/кг. Чи має місце ризик загрози здоров'ю, якщо такі яйця будуть вживатися в їжу протягом півроку? Значення порогової потужності дози міді та цинку під час надходження з їжею дорівнюють 0,04 мг/кг · доб та

0,3 мг/кг · доб відповідно. Концентрація міді в яйцях $C_1 = 9$ мг/кг. Концентрація цинку в яйцях $C_2 = 9$ мг/кг.

Завдання 8

За 1 рік доросла середньостатистична людина з'їдає в середньому 124 кг картоплі. Розрахувати ризик загрози здоров'ю під час вживання в їжу картоплі протягом півроку, якщо вона містить важкий метал – кадмій із середнім вмістом, що дорівнює ГДК цього металу в картоплі та овочах, яка становить 0,03 мг/кг. Порогова потужність дози кадмію у харчових продуктах становить $H_D = 5 \cdot 10^{-4}$ мг/кг · доб.

Завдання 9

Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю внаслідок вдихання пари ртуті з концентрацією, що дорівнює 10 значенням ГДК цього елемента в повітрі. Вважати, що пара ртуті знаходиться в деякому приміщенні під час незмінної концентрації і що людина вдихає пару ртуті 12 годин щодобово протягом одного року, але один місяць людина перебуває у відпустці. Порогова потужність дози ртуті H_D під час її надходження з повітрям становить $8,6 \cdot 10^{-5}$ (мг/кг · доб).

Значення ГДК ртуті в повітрі становить 0,0003 мг/м³.

Завдання 10

Встановлено, що вінілхлорид може переходити з пляшок, що виготовлені з полімерного матеріалу – поліхлорвінілу, у воду й алкогольні напої (враховуючи пиво), унаслідок чого його концентрація в рідині може становити 10–20 мг/л. Швидкість переходу пропорційна часу зберігання пляшок.

Нехай у деякій партії пляшок пива вміст вінілхлориду становить у середньому 10 мг/л. Пиво цієї партії люди п'ють протягом півроку, кожна людина випиває в середньому 6 літрів. Чи існує ризик загрози здоров'ю? Порогова потужність дози

вінілхлориду під час надходження з водою або їжею – $3 \cdot 10^{-3}$ мг/кг · добу.

Завдання 11

Розглянемо випадок, що у воді є дуже токсичні важкі метали – кадмій і ртуть, до речі їх вміст дорівнює відповідним значенням ГДК у питній воді. Ці значення дорівнюють 0,001 мг/л для кадмію і 0,0005 мг/л для ртуті. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років?

Протягом кожного року вплив токсикантів відбувається в середньому 300 днів. Порогова потужність становить $5 \cdot 10^{-4}$ мг/кг · доб. для кадмію і $3 \cdot 10^{-4}$ мг/кг · доб. для ртуті.

Електронне навчальне видання

Методичні вказівки

до виконання практичної роботи
на тему «Оцінка ризику загрози здоров'ю
за впливу порогових токсикантів»
із дисципліни **«Екологічні ризики
та стратегії прийняття рішень»**
для здобувачів спеціальності *101 «Екологія»*
всіх форм здобуття вищої освіти

Відповідальний за випуск Л. Д. Пляцук
Редакторка Н. М. Мажуга
Комп'ютерне верстання В. В. Фалько

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0,87. Обл. вид. арк. 0,76.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Харківська, 116, м. Суми, 40007

Свідоцтво про внесення суб'єкта господарювання до Державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 8193 від 15.10.2024.