

ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ ЛЮДИНИ ПРИ ВПЛИВІ ОДНОГО АБО ДЕКІЛЬКОХ ПОРОГОВИХ ТОКСИКАНТІВ

В. П. Петрусенко

Національний авіаційний університет

пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: petrusenko76@ukr.net

Розглянута важлива проблема екологічної безпеки – кількісний підрахунок впливу порогових токсикантів на людину у вигляді ризиків. Основними забруднювачами були вибрані шестивалентний хром, ртуть та кадмій. На основі визначення індексу небезпеки були підраховані відповідні ризики. Для комплексного підходу визначення екологічної небезпеки була застосована адитивна модель обчислення ризиків, що є зручним інструментом для визначення ступеня небезпеки. При цьому в роботі було використано явище синергізму, що може значно впливати на величину відповідних ризиків. Розглянуто різні види синергізму, що впливають на величини ризиків шкідливого впливу вибраних порогових поллютантів. Цей вплив було подано через числові значення коефіцієнтів синергізму. Була розглянута ситуація як незначного синергізму, так і досить реального. Значення ризиків у цих випадках суттєво відрізняються один від одного. Такий спосіб обчислення величин ризиків дає можливість адекватно оцінити ступінь небезпеки впливу деяких канцерогенів на здоров'я людини.

Ключові слова: ризик, екологічна небезпека, токсикант, шкідливий фактор, комбінований вплив

ОЦЕНКА РИСКОВ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЛИЯНИИ ОДНОГО ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ ПОРОГОВЫХ ТОКСИКАНТОВ

В. П. Петрусенко

Национальный авиационный университет

пр. Комарова, 1, г. Киев, 03680, Украина. E-mail: petrusenko76@ukr.net

Рассмотрена важная проблема экологической безопасности – количественная оценка влияния пороговых токсикантов на человека в виде рисков. Основными загрязнителями были выбраны шестивалентный хром, ртуть и кадмий. На основе определения индекса опасности были подсчитаны соответствующие риски. Для комплексного подхода определения экологической опасности была применена аддитивная модель расчета рисков, что есть удобным инструментом для определения степени опасности. При этом в работе было использовано явление синергизма, что может существенно влиять на величину соответствующих рисков. Рассмотрено различные виды синергизма, которые влияют на величины рисков негативного влияния пороговых поллютантов. Это влияние было подано в виде числовых значений коэффициентов синергизма. Была рассмотрена ситуация как незначительного синергизма, так и достаточно реального. Величины рисков в таких ситуациях значительно отличаются друг от друга. Такой способ подсчета величин рисков дает возможность адекватно оценить степень опасности влияния канцерогенов на здоровье человека.

Ключевые слова: риск, экологическая опасность, токсикант, вредный фактор, комбинированное влияние

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Серед багатьох проблем, які постають перед сучасним суспільством, стан навколишнього середовища посідає значне місце. В біосфері циркулює значна кількість шкідливих речовин. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), на початку ХХІ століття в промисловості та сільському господарстві використовувалось близько 500 тис. хімічних сполук та речовин, із яких більше 40 тис. є шкідливими для здоров'я людей та близько 12 тис. є токсичними. Значна частина цих речовин потрапляє у повітря, ґрунт, поверхневі та ґрунтові води. З повітрям, питною водою та їжею забруднювачі потрапляють в організм людини, створюючи загрозу здоров'ю людини [1].

Для прийняття тих чи інших профілактичних заходів потрібно кількісно оцінити шкідливий вплив [2]. Такою оцінкою виступає розрахунок ризику несприятливого впливу, що викликає потраплянням небезпечної речовини в навколишнє середовище для здоров'я людини.

У всьому світі особливу тривогу викликають хімічні речовини, вплив яких призводить до появи

злочи́сних новоутворень. Міжнародне агентство вивчення раку розділяє канцерогени за степенями небезпеки на чотири класи. До першого класу відносяться речовини, для яких отримані безперечні аргументи небезпеки розвитку раку у людини. Сюди ввійшли сплави важких металів (нікелю, кадмію, шестивалентного хрому), берилій, миш'як, бензол та ін. До першого класу канцерогенів відноситься більшість радіонуклідів.

Метою і завданням даної роботи є розрахунок ризиків небезпеці здоров'ю людини при надходженні в організм небезпечних речовин – ртуті, шестивалентного хрому, кадмію при користуванні забрудненою питною водою на основі застосування моделі адитивності при обчисленні комбінованого впливу декількох несприятливих факторів. Важливим моментом в обчисленні величини є явище синергізму, що також має бути врахованим при кількісній оцінці ризиків.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Стисла характеристика небезпечних речовин

Хром зустрічається в двох формах, а саме хром (III) і хром (VI). Хром (III) можна знайти в різних продуктах харчування: солодка картопля, пивні

дріжджі, кукурудза, цільні зерна, яловичина, печінка, птиця, індичка, печінка, устриці, молоски та деякі овочі та фрукти, такі як шпинат, часник, броколі, листя салату, помідори, гриби, яблуко, банан і апельсин. Вживання в їжу продуктів, що містять хром (III) необхідно, щоб зберегти тіло здоровим. Тим не менш, хром (VI), якого немає в природі, але він виникає через промислове забруднення, є токсичним і може мати значний шкідливий вплив на організм людини [3].

Якщо людина споживає величезну кількість шестивалентного хрому, це може привести до важкої токсичності, викликаючи небезпечні для життя і стану здоров'я захворювання, такі як ушкодження нирок, судоми, ураження печінки, а в деяких випадках навіть смерть. За даними ряду досліджень, проведених на тваринах, було встановлено, що вплив хрому (VI) може збільшити захворюваність раком легенів. ВООЗ визнала, що хром (VI) може викликати рак і, отже, є канцерогеном для людини [3].

Ртуть – кумулятивна, тобто здатна накопичуватися в організмі отрута. Вона негативно впливає на органи кровотворення, нервову систему, печінку та нирки. Найбільш токсичні деякі її органічні сполуки, особливо метилртуть. В організм ртутні сполуки потрапляють в різні органи та тканини, але більше всього їх виявляють у крові, печінці, нирках та головному мозку. В крові знижується кількість еритроцитів, в печінці та нирках відбуваються дегенеративні зміни. У шлунково-кишковому тракті виникають великі запальні процеси.

Кадмій також характеризується значною кумулятивністю. Він блокує роботу ряду важливих для життєдіяльності організму ферментів. Найбільш типовим проявом отруєння кадмієм є порушення процесів поглинання амінокислот, фосфору та кальцію в нирках. Крім того, кадмій уражає печінку, підшлункову залозу, він здатний викликати емфізему або рак легенів. Кадмій погано виводиться з організму, та від 50 до 70 % його кількості, що потрапив до організму, утримується в ньому. Солі кадмію мають мутагенні та канцерогенні властивості та криють у собі потенціальну генетичну небезпеку [3].

Оцінка ризиків при вживанні забрудненої питної води. Розглянемо випадок забруднення питної води в колодязі речовинами хрому (VI), кадмію та ртуті, вміст яких у 10 разів перевищує ГДК. Згідно методики Агентства захисту навколишнього середовища (США) [4] середньодобове надходження токсиканта з питною водою на 1 кг маси тіла людини

$$m = \frac{C \cdot v \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (1)$$

де C – концентрація токсиканта в питній воді, мг/л; V – швидкість потрапляння води в організм людини, л/добу (вважається, що доросла людина випиває щоденно 2 л води); T_p – кількість днів, на

протязі яких вживається питна вода; P – середня маса тіла дорослої людини (70 кг).

Обчислення показали наступні результати надходження кожного токсиканта:

$$m(Cr) = 4,7 \cdot 10^{-5} \text{ мг/кг} \cdot \text{доб}, \quad m(Hg) = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ мг/кг} \cdot \text{доб}, \quad m(Cd) = 9,3 \cdot 10^{-6} \text{ мг/кг} \cdot \text{доб}.$$

Знаючи середньодобове надходження токсиканта, можна обчислити індекс небезпеки HQ (від слів *Hazard Quotient*):

$$HQ = \frac{m}{H_D}, \quad (2)$$

де H_D – порогова потужність дози. Для обраних речовин значення її наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення порогової потужності дози H_D деяких токсикантів

Токсиканти	H_D , мг/кг·добу
Хром (VI)	$5 \cdot 10^{-3}$
Кадмій	$5 \cdot 10^{-4}$
Ртуть	$3 \cdot 10^{-4}$

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

Були обчислені відповідні індекси небезпеки: $HQ(Cr) = 9,4 \cdot 10^{-3}$, $HQ(Hg) = 1,5 \cdot 10^{-2}$, $HQ(Cd) = 1,86 \cdot 10^{-2}$.

Знаючи відповідний індекс небезпеки, який звичайно, пропорційний до величини ризику, можна обчислити відповідний ризик, користуючись критеріями Ешбі [5]. Ці критерії наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристика критеріїв допустимості ризику

Ранг ризику	Ймовірність смерті людини протягом року	Міра допустимості
1	Не менше $1 \cdot 10^{-3}$	Ризик недопустимий
2	$1 \cdot 10^{-4}$	Ризик допустимий лише в особливих випадках
3	$1 \cdot 10^{-5}$	Потрібне детальне обґрунтування допустимості
4	$1 \cdot 10^{-6}$	Ризик допустимий

Поставивши у відповідність індексу небезпеки, що дорівнює одиниці, величину допустимого ризику лише в особливих випадках ($1 \cdot 10^{-4}$) було обчислено відповідні ризики.

Результати проведеного дослідження зображено у табл. 3.

У випадках, коли враховується дія декількох несприятливих, шкідливих факторів, можна застосувати адитивну модель визначення ризиків. Вона буде полягати в обчисленні комбінованого

ризиків як сум доданків окремих певних ризиків – $\sum_i^n Risk_i$.

Таблиця 3 – Ризики від вживання забрудненої води

Токсикант	ГДК, мг/л	Рівень забруднення, мг/л	Ризик (R_i)
Хром (VI)	0,005	0,05	$9,4 \cdot 10^{-7}$
Ртуть	0,0005	0,005	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Кадмій	0,001	0,01	$1,9 \cdot 10^{-6}$

Кількість доданків в такому випадку буде залежати від кількості несприятливих факторів негативного впливу. Таким чином, величина сумарного ризику при одночасному забрудненні питної води всіма трьома токсикантами буде складати:

$$Risk = Risk_1 + Risk_2 + Risk_3 = 3,34 \cdot 10^{-6}$$

Застосування такої моделі дає можливість більш глибоко та детальніше оцінити реальну екологічну небезпеку, що є дуже важливим в подальших діях для прийняття рішень щодо зменшення відповідних ризиків.

Як видно із дослідження всі отримані ризики більші за допустимий критерій ризику, але особливістю порогових токсикантів є не обов'язковий миттєвий негативний вплив на організм людини. Реакція організму може проявитися через декілька днів, місяців або років. Тому в таких випадках доцільний довгостроковий прогноз на декілька років. Якщо людина буде вживати забруднену воду протягом десяти років, то і відповідні ризики збільшаться у 10 разів.

Відповідно збільшиться і сумарний ризик вживання забрудненої води протягом десяти років:

$$Risk = Risk_1 + Risk_2 + Risk_3 = 3,34 \cdot 10^{-5}$$

Величина отриманого ризику відноситься до третього рангу за критерієм Ешбі, тобто можна вважати за допустимий за умови обґрунтування цієї допустимості.

Важливим моментом є підрахування кількості потерпілих при вживанні забрудненої води і, як наслідок, відповідних збитків. Ці обрахунки були проведені на прикладі мешканців великого міста при кількості населення 400000 чол. Кількість потерпілих визначається як ймовірнісна оцінка ризику. Результати проведеного дослідження зображено у табл. 4.

Дослідження показало, що протягом року постраждалими від вживання забрудненої води розглянутими токсикантами можуть бути 2 людини, а протягом десяти років їх кількість може зрости до 17 чоловік.

Але така адитивна оцінка ризиків може бути заниженою, оскільки в такому випадку може спостерігатися синергічний вплив з різними шкідливими факторами, в тому числі і з самими токсикантами. Тобто негативні наслідки можуть бути набагато вищими, аніж при адитивності ризиків.

Таблиця 4 – Кількість потерпілих при вживанні забрудненої води

Токсикант	Кількість потерпілих протягом року, чол.	Кількість потерпілих протягом 10 років, чол.
Хром (VI)	-	4
Ртуть	-	6
Кадмій	-	7
Сумарний вплив	2	17

Враховуючи властивість адитивності ризиків та ефект синергізму, який в реальних ситуаціях може бути значно суттєвим, на величину ризику комбінованого впливу декількох факторів буде впливати коефіцієнт синергізму, який можна визначити за формулою:

$$k = \frac{Risk_1 + Risk_2}{\prod_i Risk_i}, \quad (3)$$

де $Risk_1$, $Risk_2$ – відповідні ризики двох шкідливих факторів, якщо буде враховуватися комбінований вплив двох факторів. Якщо розглядати синергічний вплив трьох або більше факторів, тоді в чисельнику може бути відповідно три або декілька доданків. В залежності від значень коефіцієнта синергізму можуть бути такі випадки:

$k < 1$ – спостерігається явище синергізму,

$k > 1$ – спостерігається явище антогонізму (коли негативний вплив при одночасній дії кількох факторів знижується),

$k = 1$ – спостерігається адитивність ризиків.

Будемо розглядати ситуацію одночасного синергетичного впливу на величину ризику двох шкідливих факторів на прикладі води, забрудненої розглянутими токсикантами при помірному синергізмі, коли $k = 0,6$. Результати цього дослідження зображено у табл. 5.

Таблиця 5 – Ризики та кількість потерпілих від вживання забрудненої води ($k = 0,6$)

Токсикант	$Risk$	Кількість потерпілих протягом року, чол.	Кількість потерпілих протягом 10 років, чол.
Хром (VI)+ ртуть	$4 \cdot 10^{-6}$	2	20
Хром (VI)+ кадмій	$4,7 \cdot 10^{-6}$	2	20
Ртуть+ Кадмій	$5,7 \cdot 10^{-6}$	3	30

Отже, при помірному синергізмі, коли $k=0,6$ кількість потерпілих за 10 років може досягати від 20 до 30 чоловік (це тільки з урахуванням синергічного впливу двох шкідливих факторів).

Якщо коефіцієнт синергізму буде складати

досить реальне значення $k = 0,2$, то ситуація значно погіршиться. Результати цього дослідження зображено у табл. 6.

Таблиця 6 –Ризики та кількість потерпілих від вживання забрудненої води ($k = 0,2$)

Токсикант	Risk	Кількість потерпілих протягом року, чол.	Кількість потерпілих протягом 10 років, чол.
Хром (VI)+ ртуть	1,2 · 10 ⁻⁵	5	50
Хром (VI)+ кадмій	1,4 · 10 ⁻⁵	6	60
Ртуть+ Кадмій	1,7 · 10 ⁻⁵	7	70

Дані обчислення ризиків характеризують реальну картину небезпеки від вживання забрудненої питної води, показують, що найбільший негативний вплив складає вживання води, забрудненої кадмієм, а найменший – шестивалентним хромом, за умови збільшення ГДК кожного них у 10 разів. Величини ризиків значно збільшуються, коли спостерігається явище синергізму.

ВИСНОВКИ.

1. Адитивна модель обчислення екологічного ризику є зручним інструментом для визначення ступеня екологічної небезпеки.

2. Даний метод обчислення ризиків можна

застосовувати для різних токсикантів при їх окремому чи при одночасному впливі.

3. На прикладі вживання води, забрудненої декількома токсикантами, дослідження показали реальну небезпеку на основі кількісного обчислення величини ризику, який може складати від $9,4 \cdot 10^{-7}$ до $3,34 \cdot 10^{-5}$ протягом усього життя людини.

4. Кількісна оцінка ризику важлива для прийняття рішень при забезпеченні екологічної безпеки та застосування контрзаходів.

5. Запропонований метод обчислення ризиків дозволяє оцінити взаємозв'язок факторів впливу на величину ризиків за допомогою коефіцієнтів синергізму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Башкин В.Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование. – М.: Высш. шк., 2007. – 360 с.

2. Ваганов П.А. Как рассчитать риск угрозы здоровью из-за загрязнения окружающей среды. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2008. – 129 с.

3. Козьмин Г.В., Сынзыныс Б.И. Управление экологическим риском. – Обнинск: ИАТЭ, 2007. – 96 с.

4. Kammen D.M., Hassenzaht D.M. Should We Risk It? Exploring Environmental, Health, and Technological Problem Solving. Princeton, New Jersey, 1999. – 404 p.

5. Сынзыныс Б.И., Тянтова Е.Н., Мелехова О.П. Экологический риск. – М.: Логос, 2005. – 168 с.

ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ONE OR MORE THRESHOLD TOXICANTS ON A PERSON

V. Petrusenko

National Aviation University

Av. Komarov 1, Kyiv, Ukraine, 03680. E-mail: petrusenko76@ukr.net

The article considers an important issue of an ecological safety, i.e. the quantitative assessment of the influence of threshold toxicants on a person in the form of risks. Hexavalent chromium, mercury, and cadmium are chosen as the main pollutants. The corresponding risks are calculated on the basis of the risk index. For an integrated approach to environmental hazards we have applied an additive model for calculating risks, which is considered a convenient tool for determining the degree of danger. The phenomenon of synergy has been used in this work that can have a significant impact on the value of the corresponding risks. The article considers the different kinds of synergies influencing the magnitude of the risks of harmful effects of selected threshold pollutants. This effect was shown through the numerical values of synergism coefficients. It was considered the situation of insignificant synergies and quite real one. The value of risks in these cases differ from one another. This method of calculating the quantities of risks makes it possible to assess adequately the hazards of exposure on human health to certain carcinogens.

Key words: risks, ecological safety, toxicants, harmful factor, integrated impact

REFERENCES

1. Bashkin V.N. (2007), *Ekologicheskie riski: raschet, upravlenie, strahovanie* [Ecological risks: calculation, management and insurance], Vysshaya shkola, Moscow, Russia.

2. Vaganov P.A. (2008), *Kak raschitat risk угрозы zdorovju iz-za zagryaznenia okruzhayushey sredy* [How to calculate the risk of health hazards due to contamination of the environment], Saint Petersburg University, Saint Petersburg, Russia.

3. Kozmin G.V. and Synzynys B.I. (2007), *Upravlenie ekologicheskim riskom* [Ecological risk management], IATE, Obninsk, Russia.

4. Kammen D.M. and Hassenzaht D.M. (1999), *Should We Risk It? Exploring Environmental, Health, and Technological Problem Solving*, Princeton, New Jersey, USA.

5. Synzynys B.I., Tiantova E.N. and Melekhova O.P. (2005), *Ekologicheskiy risk* [Ecological risks], Logos, Moscow, Russia.