

# ЕКОЛОГІЯ, ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ, БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

DOI: 10.18372/2310-5461.43.13986

УДК 504.5:628.4.047(045)

*В. П. Петрусенко*, канд. техн. наук, доц.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-003-3120-9379  
e-mail: petrussenko76@ukr.net;

*Т. І. Дмитруха*, канд. техн. наук, доц.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-001-5195-9519  
e-mail: Dmitrucha79@gmail.com

## МАТЕМАТИЧНИЙ ПІДХІД ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ НА ПРИКЛАДІ БЕЗПОРОГОВИХ ТОКСИКАНТІВ

### Вступ

Останні два-три тисячоліття поняття ризику широко використовується при взаємодії небезпечних екологічних впливів з об'єктами навколишнього середовища. Можливість кількісного аналізу ризиків та ступенів їх небезпеки сприяють забезпеченню вибору необхідних заходів та програм для мінімізації шкідливого впливу. Збільшення кількості надзвичайних ситуацій, наслідком яких є забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами, у тому числі канцерогенами, призводить до потрапляння шкідливих речовин у харчові ланцюги, в тому числі і ті, у яких споживачем є людина [1; 2; 3].

### Постановка проблеми

На сучасному етапі у промисловості використовується велика кількість хімічних речовин як для сировини, так і в якості кінцевих товарів для споживачів. У вигляді відходів багато речовин потрапляють на звалища та у стічні води, викликаючи збільшення забруднення навколишнього середовища. Унаслідок чого забрудненими стають вода і продукти харчування. У зв'язку з цим виникає питання про кількісні аспекти різних компонентів навколишнього середовища, в тому числі і кількісне значення негативного фактору. Крім того, необхідно вміти передбачати ймовірність впливу того чи іншого забруднювача. Для вирішення цих завдань про взаємозв'язок полутантів і навколишнього середовища можна застосувати підхід, що ґрунтується на основі кількісної оцінки екологічних ризиків впливу того чи іншого забруднення на здоров'я людини [4].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оцінка впливу на навколишнє середовище як стадія екологічного проектування сформувалась на початку 70-х років ХХ ст. з прийняття у 1969 році Акту про Національну політику з охорони навколишнього середовища у США [5].

Саме тоді вона перетворилася в могутній інструмент, що широко застосовується більше ніж у 100 країнах світу. Але систематичне вивчення екологічних наслідків почали проводити з середини 1980-х років [6]. На сучасному етапі розвитку суспільства постає питання розуміння фундаментальних механізмів кількісного значення ризиків, що є ключовим моментом для прийняття певних управлінських рішень [7; 8].

**Метою** роботи є дослідження негативного впливу деяких канцерогенів на здоров'я людини. На прикладі вінілхлориду, миш'яку, діоксинів, що потрапляють з водою до організму людини, були обчислені відповідні ризики. Це є необхідним етапом при визначенні надійності екосистем, де мешкають живі організми, у тому числі і людина [9].

### Матеріал і результати дослідження

До канцерогенів відносять речовини, вплив яких значно збільшує частоту виникнення пухлин у популяціях людей (тварин). При оцінюванні ризику здоров'я, зумовленого впливом канцерогенних речовин, використовують два важливих положення. По-перше, прийнято вважати, що у канцерогенів немає порогової дози, їх вплив починається вже за самих малих кількостях, потрапивши в організм людини. По-друге,

вважається, що ймовірність розвитку онкозахворювань (тобто канцерогенний ризик) прямо пропорційна кількості (дозі) канцерогена, що потрапив в організм.

Сукупність цих двох положень описує так звана безпорогова лінійна модель [10].

Лінійний характер залежності між канцерогенним ризиком та дозою канцерогенної речовини виражається формулою:  $r = F_r \cdot D$ , де  $r$  — індивідуальний канцерогенний ризик (під ним потрібно розуміти додатковий ризик до уже існуючої можливості захворіти раком) онкологічного захворювання, викликаного потраплянням певного канцерогену;  $D$  — доза канцерогену, що потрапив до організму людини,  $F_r$  — коефіцієнт пропорційності між ризиком та дозою, що називається *фактором ризику*.

Фактор ризику  $F_r$  показує, на скільки швидко збільшується ймовірність онкозахворювань при збільшенні дози канцерогену, що потрапив до організму людини з повітрям, водою або їжею. Фактор ризику ще називають *коефіцієнтом нахилу* прямої залежності «ризик–доза». Відповідно, чим більший кут нахилу, тим більша загроза здоров'ю.

Одиницею фактору ризику  $F_r$  є  $[\text{мг/кг} \times \text{добу}]^{-1}$ , вона обернена одиниці середньодобового надходження канцерогену. Фактор ризику кількісно характеризує збільшення шкоди здоров'ю внаслідок щоденного потрапляння у кількості 1 мг відповідно до 1 кг маси тіла людини.

Індивідуальний канцерогенний ризик можна обчислити за формулою

$$r = m \cdot F_r,$$

де  $m$  — середньодобове надходження канцерогену з повітрям, водою або з їжею, що відповідає 1 кг маси тіла людини, у міліграмах на кілограм за добу  $[\text{мг/кг} \times \text{добу}]^{-1}$ .

Будемо розглядати ситуацію забруднення питної води такими канцерогенами — діоксином, вінілхлоридом та миш'яком. Фактори ризику цих речовин зображено у табл. 1.

Таблиця 1

Значення факторів ризику при потраплянні в організм людини з водою

Канцерогени	$F_r$ , $[\text{мг/кг} \times \text{добу}]^{-1}$
Миш'як	1,75
Вінілхлорид	1,9
Діоксини	$1,6 \cdot 10^5$

**Миш'як.** В організм людини сполуки миш'яку надходять з питною і мінеральною водою, виноградними винами і соками, морепродуктами, медичними препаратами, пестицидами та гербіцидами. Депонується миш'як переважно в ретикуло-ендотеліальній системі. Вважають, що оптимальна інтенсивність надходження миш'яку в організм складає 50–100 мкг/день. Значні кількості миш'яку містяться в рибацькому жирі і морській рибі (до 10 мг/кг), винах (до 1 мг/л і більше). Близько 80 % миш'яку всмоктується в шлунково-кишковому тракті, 10 % надходить через легені і близько 1 % — через шкіру. Через 24 год після надходження, з організму виводиться 30 % миш'яку з сечею і близько 4 % з фекаліями. Миш'як накопичується в легенях, печінці, шкірі і тонкому кишечнику. Миш'як і всі його сполуки отруйні. При гострому отруєнні миш'яком спостерігаються блювання, біль у животі, пронос, пригнічення центральної нервової системи. Подібність симптомів отруєння миш'яком з симптомами холери тривалий час дозволяло успішно використовувати сполуки миш'яку (найчастіше, триоксид миш'яку) як смертельну отруту.

На територіях, де в ґрунті та воді надлишок миш'яку, він накопичується в щитовидній залозі у людей і викликає ендемічний зоб.

Симптоми отруєння миш'яком — металевий смак у роті, блювота, сильні болі в животі. Пізніше судом, параліч, смерть. Найбільш відома і загальнодоступна протиотрута при отруєнні миш'яком — молоко, точніше головний білок молока казеїн, який утворює з миш'яком нерозчинні сполуки, не всмоктується в кров.

Отруєння миш'яком відбувається при вживанні отруєної їжі і води, вдиханні сполук миш'яку у вигляді пилу у виробничих умовах, застосування деяких медикаментів. Органами-мішенями при надлишковому вмісті миш'яку в організмі є кістковий мозок, шлунково-кишковий тракт, шкіра, легені та нирки. Існує достатня кількість доказів канцерогенності неорганічних сполук миш'яку. Високий рівень смертності від раку легенів зареєстрований серед робітників, зайнятих на виробництві пестицидів, видобутку золота і виплавці сплавів миш'яку з іншими металами, а також кольорових металів і особливо міді.

**Діоксини.** Діоксини — сполуки рукотворні, хоча ніхто ніколи цілеспрямовано не створював цих отрут. Їхня поява в навколишньому середовищі зумовлена розвитком різноманітних технологій, головним чином, у післявоєнний період, і в основному пов'язана з виробництвом та використанням хлорорганічних сполук та утилізацією їхніх відходів.

Найбільш небезпечними діоксини є для людей. Адже для ураження організму людини потрібна дуже мала доза і виводяться діоксини з організму дуже повільно. Організми живих істот зазнають впливу діоксинів через повітря (аерозолі), воду, харчові продукти. Виділяють три джерела проникнення та акумуляції діоксинів: харчовий, повітряний та шляхом вживання хлорованої води.

Легко розчиняючись в жирах, діоксини безперешкодно проникають у клітини. Це призводить до порушення обміну речовин, роботи нервової системи, викликаючи гормональні розлади, зміни шкірних покривів, ожиріння. Найбільш важкі наслідки впливу діоксинів — це сприяння генетичних мутацій клітин і розвитку раку.

Основним шляхом потрапляння діоксинів в організм є харчовий ланцюг. Із продуктами харчування в організм потрапляє 98 %, з повітрям — 2 %, з питною водою — менше 0,01 % загального надходження діоксинів.

**Вінілхлорид.** У навколишньому середовищі вінілхлорид з'являється виключно внаслідок його викидів під час виробництва та переробки. Більше 99 % викидів вінілхлориду залишається у повітрі. З поверхні ґрунту вінілхлорид швидко випаровується, хоча може потрапити в середину ґрунту через ґрунтові води.

Вінілхлорид має комплексний токсичний вплив на організм людини, викликаючи ураження ЦНС, кісткової системи, системне ураження сполучної тканини, мозку, серця. Він вражає печінку, викликаючи ангіосаркому. Викликає імунні зміни і пухлини, надає канцерогенну, мутагенну і тератогенну дію.

Багато досліджень повідомляють, що вплив вінілхлориду на людину викликає рак у різних тканинах і органах, включаючи печінку, мозок, легені, лімфатичну систему (органи і тканини, залучені в кровотворенні).

При розв'язуванні задач, пов'язаних із вживанням питної води середньодобове надходження  $m$  канцерогену з водою на 1 кг маси людини можна обчислити за формулою

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

де  $C$  — концентрація канцерогену у питній воді, мг/л;  $v$  — швидкість потрапляння води в організм людини, л/добу (вважається, що доросла людина випиває щодобово 2 л води);  $f$  — кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив канцерогену;  $T_p$  — кількість років, протягом яких вживається забруднена питна вода;  $P$  — середня маса тіла дорослої людини (приблизно 70 кг);  $T$  — середній час можливого впливу канцерогену, під яким розуміється середня тривалість життя людини (приблизно 70 років).

При розрахунках ризиків при вживанні води, забрудненої відповідними канцерогенами були вибрані такі параметри, зображені у табл. 2.

Якщо розглядати вміст граничнодопустимих концентрацій даних канцерогенів у воді, то середньодобове надходження їх з водою і відповідні ризики протягом трьох років будуть незначними.

Дослідження показало результати, показані у табл. 3.

Таблиця 2

Параметри дослідження

Назва	$C$ , мг/л	$F_r$ , [мг/кг × добу] <sup>-1</sup>	$v$ , л/добу	$f$ , діб/рік
Миш'як	0,05	1,75	2	300
Вінілхлорид	0,3	1,9	2	300
Діоксини	$2 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^5$	2	300

Таблиця 3

Середньодобове надходження канцерогенів та відповідні ризики

Назва	$m$ , [мг/кг × добу] <sup>-1</sup>	$Risk$ (3 роки)	$Risk$ (1 рік)
Миш'як	$5 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Вінілхлорид	$3 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
Діоксини	$2 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$

З табл. 3 видно, що з водою найбільше можуть надходити діоксини, а найменше — миш'як, найбільший ризик для здоров'я людини дає надходження вінілхлориду. Причому він перевищує величину допустимого ризику  $1 \cdot 10^{-4}$ , що є досить небезпечним для здоров'я людини.

Оскільки на сьогодні стан навколишнього середовища є критичним, тобто можна спостерігати одночасний вміст багатьох канцерогенів як у повітрі, так і у воді, потрібно розглядати адитивну модель розрахунку ризиків, що передбачає врахування декількох шкідливих факторів.

У нашому випадку:

$$Risk = Risk_1 + Risk_2 + Risk_3 = 2 \cdot 10^{-4}.$$

Але негативний вплив і відповідні ризики можуть не тільки додаватися, але й посилювати шкідливий вплив одного фактора на інший.

У цьому випадку спостерігається явище синергізму, яке також потрібно враховувати при обчисленні ризиків. Отже, в цьому випадку адитивна модель обчислення ризиків буде давати занижені результати.

Ураховуючи властивість адитивності ризиків та ефект синергізму, який у реальних ситуаціях може бути значно суттєвим, на величину ризику комбінованого впливу декількох факторів буде впливати коефіцієнт синергізму, який можна виразити за формулою

$$k = \frac{Risk_1 + Risk_2}{\prod_i Risk_i},$$

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. Залежно 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.

На прикладі невеликого населеного пункту у кількості 10 000 осіб було проведено дослідження щодо підрахунку величин ризиків із застосуванням адитивної моделі ризиків та з урахуванням явища синергізму з коефіцієнтом  $k = 0,6$ .

Дослідження показало результати, зображені у табл. 4, де  $Risk_1$  — величина ризиків тільки з урахуванням адитивної моделі, а  $Risk_2$  — величина ризиків з урахуванням явища синергізму,  $n_1, n_2$  — відповідна кількість потерпілих протягом 1 року.

Із табл. 4 видно, що навіть при помірному синергізмі величини ризиків і кількості потерпілих збільшуються і протягом одного року кількість потерпілих може сягнути від двох до чотирьох чоловік. Протягом десяти років ці величини будуть значно вищими. Якщо коефіцієнт синергізму буде складати досить реальне значення  $k = 0,2$ , то ситуація значно погіршиться. Результати цього дослідження зображено у табл. 5.

Таблиця 4

**Ризики та кількість потерпілих від вживання забрудненої води (при синергізмі з коефіцієнтом  $k = 0,6$ )**

Назва	$Risk_1$	$n_1$ , осіб	$Risk_2$	$n_2$ , осіб
Миш'як + вінілхлорид	$2,2 \cdot 10^{-4}$	3	$3,7 \cdot 10^{-4}$	4
Миш'як + діоксини	$3 \cdot 10^{-5}$	—	$5 \cdot 10^{-5}$	—
Вінілхлорид + діоксини	$2 \cdot 10^{-4}$	2	$3 \cdot 10^{-4}$	3

Таблиця 5

**Ризики та кількість потерпілих від вживання забрудненої води (при синергізмі з коефіцієнтом  $k = 0,2$ )**

Назва	$Risk_1$	$n_1$ , осіб	$Risk_2$	$n_2$ , осіб
Миш'як + вінілхлорид	$2,2 \cdot 10^{-4}$	3	$1,1 \cdot 10^{-3}$	11
Миш'як + діоксини	$3 \cdot 10^{-5}$	—	$1,5 \cdot 10^{-4}$	—
Вінілхлорид + діоксини	$2 \cdot 10^{-4}$	2	$1 \cdot 10^{-3}$	10

У цьому випадку, як видно з табл. 5, ступінь небезпеки буде значно, вищим оскільки будуть більшими величини ризиків і, відповідно, кіль-

кість потерпілих протягом року, яка буде складати від двох до одинадцяти осіб.

**Висновки**

1. Дане дослідження показало, що вміст у питній воді вибраних канцерогенів може бути досить небезпечним. Найбільшу загрозу складає вміст у воді діоксинів, не зважаючи навіть на те, що вони погано розчинні у воді.

2. Така оцінка екологічних ризиків дає можливість визначення ймовірності появи наслідків для людини у відповідь на потрапляння стресора.

3. Оцінка ризиків буде особливо корисною для подальшого проектних альтернатив, виборі оптимальних проектних рішень, зокрема у проведенні певних контрзаходів для мінімізації ризиків.

4. Кількісна характеристика ризиків від шкідливого впливу як безпорогових, так і порогових токсикантів є одним із кроків для подальшого екологічного страхування.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Петрусенко В. П., Кутлахмедов Ю. О., Дмитруха Т. І. Моделювання екологічних ризиків у гірських екосистемах через поведінку трасера <sup>137</sup>Cs. *Екологічна безпека*. 2016. Вип. 22. Т. 2. С. 84–88.

2. Петрусенко В. П. Оцінка радіаційних ризиків загрози здоров'ю людини при потрапленні до організму <sup>137</sup>Cs. *Екологічна безпека*. 2014. Вип. 18. Т.2. С. 93–96.

3. Петрусенко В. П. Оцінка ризиків для людини при впливі одного або декількох порогових токсикантів. *Екологічна безпека*. 2014. Вип. 17. Т. 1. С. 36–39.

4. Патент 101677 Україна, МПК G 09 В 25/00. Спосіб реконструкції та прогнозу забруднення екосистеми поллютантами: Пат. 101677 Україна, МПК G 09 В 25/00 Кутлахмедов Ю. О., Матвеева І. В., Петрусенко В. П., Кравець М. О., Явнюк А. А., Боруль Н. В. (Україна); Національний авіаційний університет. № у 2015 03047; Завл. 02.04.2015; Опубл. 25.09.2015, Бюлетень № 18 (2015). 4 с.

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

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

7. Петрусенко В. П., Дмитруха Т. І. Оцінка радіаційних ризиків при вживанні хлібобулочних виробів зі вмістом стронцію та цезію. *Наукоємні технології*. 2019. Т. 41. Вип. 1. С. 77–81. DOI: 10.18372/2310-5461.41.13532

8. Кутлахмедов Ю. А., Матвеева І. В., Петрусенко В. П. Застосування методу страхового захисту при радіаційному забрудненні в схилових екосистемах. *Вісник НАУ*. 2011. Вип. 4. С. 115–118.

9. Кутлахмедов Ю. А., Родіна В. В., Матвеева І. В., Петрусенко В. П., Пчеловська С. А., Саливон А. Г. Применение теории надежности систем в радиационной экологии. *Наукові праці: Науково-методичний журнал. Серія: Техногенна безпека*. 2010. Вип. 126. Т. 139. С. 45–48.

10. Кутлахмедов Ю. А., Родіна В. В., Матвеева І. В., Петрусенко В. П., Пчеловська С. А., Саливон А. Г. Theory of Reliability in Radiation Ecology. Матеріали міжнародного симпозиуму «Стохастичні моделі в теорії надійності. Прикладна наука, життя та діяльність» (8–11 лютого 2010 р., м. Беер-Шева, Ізраїль). 2010. С. 37–41.

**Петрусенко В. П., Дмитруха Т. І.**

**МАТЕМАТИЧНИЙ ПІДХІД ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ НА ПРИКЛАДІ БЕЗПОРОГОВИХ ТОКСИКАНТІВ**

*У статті проаналізовано актуальність дослідження та значення оцінки екологічного ризику на прикладі безпорогових токсикантів. Особливо гострим постає це питання на фоні використання великої кількості шкідливих речовин, які потрапляють у навколишнє середовище і, як наслідок, у харчові ланцюги, кінцевим споживачем яких є людина. В роботі розглядаються наслідки негативного впливу канцерогенів на здоров'я людини на прикладі вінілхлориду, миш'яку, діоксинів, що потрапляють до організму людини через споживання води, забрудненої цими токсикантами. У статті подана коротка характеристика вибраних шкідливих речовин, основні джерела та шляхи потрапляння в навколишнє середовище та до організму людини. Для визначення відповідних ризиків були враховані відповідні фактори ризиків, допустимі концентрації канцерогенів у питній воді, швидкість потрапляння води до організму людини, середній час можливого шкідливого впливу. На основі проведених розрахунків було визначено, що з водою найбільше можуть надходити діоксини, а найменше — миш'як, найбільший ризик для здоров'я людини дає надходження вінілхлориду. Причому він перевищує величину допустимого ризику  $1 \cdot 10^{-4}$ , що є досить небезпечним для здоров'я людини.*

*На сучасному етапі спостерігається одночасний вміст багатьох канцерогенів як у повітрі, так і у воді. Тому була розглянута адитивна модель розрахунку ризиків, що передбачає врахування декількох шкідливих факторів. Але негативний вплив і відповідні ризики можуть не тільки додаватися, але й посилювати шкідливий вплив одного фактора на інший. У цьому випадку спостерігається явище синергізму, яке також потрібно враховувати при обчисленні ризиків. Тому при обчисленні таких ризиків був використаний коефіцієнт синергізму. Дослідження показало, що вміст у питній воді вибраних канцерогенів може бути досить небезпечним. Найбільшу загрозу становить вміст у воді діоксинів, не зважаючи навіть на те, що вони погано розчинні у воді.*

**Ключові слова:** екологічний ризик; канцероген; токсикант; синергізм; фактор ризику.

**Petrusenko V., Dmytrukha T.**

## **THE MATHEMATICAL APPROACH OF THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL RISKS ON THE EXAMPLE OF TOXINS**

*The article analyses the actual research and the meaning of assessment of ecological risks on the example of a non-threshold toxins. This question is very urgent from the point of using of a great amount of harmful substances, which get into the environmental and as a result into the food links, the users of which is a man. In this study it is examined the results of negative influence carcinogens on the health on the example vinyl chloride, arsenic, dioxins, which get into the organism of man via the using of water, polluted by these toxins. The article gives a short characteristic of selected harmful substances the main sources and the ways of getting into the environment and to the organism of man. To define certain risks, it was taken into consideration corresponding suitable, factors of risks, permissible concentration of carcinogens in the water, the rate of getting water into the organism of man, average time of possible harmful influence. On the basis of done calculations it was determined that the most amount of dioxins can get with water and the least amount of arsenic, the main risk for the mans health gives vinyl chloride. More over it exceeds the volume of permissible risk  $1 \cdot 10^{-4}$ , which is rather dangerous for the person health. At present it is observed the simultaneous availability of many carcinogens both in air and in water. So it was examined the additive model of accounting of risks that foresees the consideration of some harmful factors. But the negative impact and available risks can be not only added but they can intensify a harmful influence of one factor on another. In this case it is observed such a phenomenon as a synergism, that also must be taken into consideration while calculating the risks. That's why calculating such risks a coefficient of synergism was used. The study found out that the content carcinogens in water can be rather dangerous. The most danger is the content of dioxins in water in spite of the fact that they dissolve in water very bad.*

**The key words:** ecological risk; carcinogen; toxin; synergism; a risk factor.

**Петрусенко В. П., Дмитруха Т. И.**

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ПРИМЕРЕ БЕЗПОРОГОВЫХ ТОКСИКАНТОВ**

*В статье проанализированы актуальность исследования и значение оценки экологического риска на примере безпороговых токсикантов. Особенно острым является этот вопрос на фоне использования большого количества вредных веществ, которые попадают в окружающую среду и, как следствие, в пищевые цепи, конечным потребителем которых является человек. В работе рассматриваются последствия негативного воздействия канцерогенов на здоровье человека на примере винилхлорида, мышьяка, диоксинов, попадающих в организм человека через потребление воды, загрязненной этими токсикантами. В статье представлена краткая характеристика выбранных вредных веществ, основные источники и пути попадания в окружающую среду и в организм человека. Для определения соответствующих рисков были учтены соответствующие факторы рисков, допустимые концентрации канцерогенов в воде, скорость попадания воды в организм человека, среднее время возможного вредного воздействия. На основе проведенных расчетов было определено, что с водой больше всего могут поступать диоксины, а меньше всего - мышьяк, наибольший риск для здоровья человека причиняет поступление винилхлорида. Причем он превышает величину допустимого риска  $1 \cdot 10^{-4}$ , что является довольно опасным для здоровья человека. На современном этапе наблюдается одновременное содержание многих канцерогенов как в воздухе, так и в воде. Поэтому была рассмотрена аддитивная модель расчета рисков, которая предполагает учет нескольких вредных факторов. Но негативное влияние и соответствующие риски могут не только добавляться, но и усиливать вредное воздействие одного фактора на другой. В этом случае наблюдается явление синергизма, которое также нужно учитывать при исчислении рисков. Поэтому при исчислении таких рисков был использован коэффициент синергизма. Исследование показало, что содержание в воде выбранных канцерогенов может быть достаточно опасным. Наибольшую угрозу составляет содержание в воде диоксинов, несмотря даже на то, что они плохо растворимы в воде.*

**Ключевые слова:** экологический риск; канцероген; токсикант; синергизм; фактор риска.

Стаття надійшла до редакції 27.07.2019 р.

Прийнято до друку 13.09.2019 р.