

## Тема 7

# МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО І КОЛЕКТИВНОГО РИЗИКІВ ЗАГРОЗИ ЗДОРОВ'Ю НАСЕЛЕННЯ ВНАСЛІДОК ВПЛИВУ ПОРОГОВИХ ТОКСИКАНТІВ

**Актуальність** В усіх розвинутих державах світу та міжнародних організаціях методологія оцінки ризику розглядається як головний інструмент для прийняття управлінських рішень на локальному, регіональному, національному, міжнародному рівнях. У той же час вона бездоганно спрацьовує на рівні окремого виробництва чи потенційного джерела забруднення довкілля. Запровадження методології оцінки ризику у роботу лікарів, що здійснюють санітарно-епідеміологічний нагляд, дозволяє отримати чисельний вимір впливу негативних чинників довкілля на здоров'я населення, визначити пріоритетні шкідливі фактори серед безлічі інших факторів, що можуть негативно впливати на здоров'я населення, і, таким чином, встановити першочерговість фінансування відповідних профілактичних заходів за умов обмежених бюджетних ресурсів.

### 1. Навчальна мета

За допомогою теорії ризику навчитися розраховувати ймовірність шкоди, викликаного попаданням отруйних речовин в організм людини.

### 2. Вихідні знання та вміння

#### 2.1. *Знати:*

2.1.1. Основи санітарно-гігієнічного нормування

2.1.2. Основні положення та терміни теорії ризику.

#### 2.2. *Вміти:*

2.2.1. Оцінювати ризик для здоров'я від впливу шкідливого фактора навколишнього середовища чи способу життя.

### 3. Питання для самопідготовки

3.1. Поняття санітарно-гігієнічного нормування та його основні принципи.

3.2. Поняття про максимально разову ГДК та середньодобову ГДК.

3.3. Поняття про ризик, його джерела та чинники.

3.4. Кількісна міра ризику.

3.5. Класифікація ризиків. Поняття індивідуального та колективного ризику, максимально допустимого ризику і безумовно прийняттого ризику.

3.6. Критерії оцінки допустимих індивідуальних ризиків, пов'язаних з небезпечними видами діяльності.

3.7. Речовини з пороговими та безпороговими ефектами, характеристики їх впливу на організм.

3.8. Методи визначення ризику.

3.9. Визначення дози забруднювача, що впливає на організм.

3.10. Поняття про коефіцієнти концентрації.

3.11. Алгоритм оцінювання ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу порогових токсикантів.

3.12. Поняття найбільшої порогової потужності дози.

3.13. Визначення середньодобового надходження токсиканту з повітрям, питною водою, їжею.

3.14. Визначення індексів небезпеки окремих токсикантів і повного індексу небезпеки.

3.15. Поняття коефіцієнтів невизначеності.

#### **4. Завдання для самопідготовки**

4.1. В одному з колодязів виявлено важкий метал - шестивалентний хром, причому його вміст у воді цього колодязя в десять разів перевищило значення ГДК хрому (VI) для питної води. Даним колодязем користуються протягом 6 років. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю.

4.2. За рік дорослий житель з'їдає в середньому 151 яйце. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу яєць протягом року, якщо яйця містять хлор з середнім вмістом 30 мг в одному яйці, і нітрати з середнім вмістом 50 мг одному яйці.

4.3. У воду деякої водойми потрапила ртуть, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 10 мг/кг. Протягом двох років в цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За ці два роки він їв рибу 80 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 150 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

4.4. У воді водосховища виявлено фенол з концентрацією, що дорівнює 3 мг/л. Водосховище є джерелом питного водопостачання. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що п'є таку воду протягом трьох років. Врахувати, що щорічно ця людина виїжджає з цієї місцевості у відпустку, в якому проводить в середньому 30 днів.

4.5. У воду деякої водойми потрапив селен, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 20 мг/кг. Протягом двох років в цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За ці два роки він їв рибу 100 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 250 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

4.6. Встановлено, що в деякій місцевості виявилися забрудненими питна вода і вирощені тут овочі. У воді присутні нафтопродукти, їх вміст дорівнює 5 мг/л, а в овочах - тетраетилсвинець з вмістом 5 мкг/кг. Всього овочів в нашій країні споживається в середньому 94 кг на душу населення за рік. Людина випиває в середньому 2 л води на добу. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина піддається впливу зазначених токсикантів протягом трьох місяців.

4.7. Вважається, що протягом року мешканці України з'їдають в середньому 50 кг яловичини. Припустимо, що в яловичині виявлено миш'як з вмістом, рівним 50 мг/кг. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо цим продуктом людина харчується протягом двох років.

4.8. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю внаслідок вдихання парів ртуті з концентрацією, що дорівнює 10 значень ГДК цього елемента в повітрі. Вважати, що пари ртуті знаходяться в деякому приміщенні при незмінній концентрації, і що людина вдихає пари ртуті протягом 12 годин щодоби впродовж одного року, але на один місяць вона їде у відпустку.

4.9. За рік дорослий мешканець з'їдає в середньому 146 кг картоплі. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу картоплі протягом півроку, якщо вона містить важкий метал - кадмій з середнім вмістом, рівним 5 мг/кг.

4.10. Встановлено, що вінілхлорид може переходити з пляшок, виготовлених з полімерного матеріалу - поліхлорвінілу, у воду і алкогольні напої (включаючи пиво), в результаті чого його концентрація в рідині може скласти 10-20 мг/л. Швидкість переходу пропорційна часу зберігання пляшок. Нехай в деякій партії пляшок пива вміст вінілхлориду становить в середньому 10 мг/л. Пиво цієї партії п'ють люди протягом півроку, кожен з них випиває при цьому в середньому 60 літрів. Чи існує ризик загрози здоров'ю?

4.11. У питній воді деякої місцевості виявлено хлорорганічний пестицид - ДДТ з концентрацією, що дорівнює потроєному значенню його ГДК у воді. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що п'є цю воду протягом одного року. Врахувати, що щорічно ця людина їде з даної місцевості у відпустку, в якій проводить в середньому 30 днів.

4.12. Аналіз проб яєць показав, що вміст міді і цинку в них в три рази перевищує значення ГДК цих металів у харчових продуктах. Чи є ризик загрози здоров'ю, якщо такі яйця будуть вживатися в їжу протягом півроку? В середньому за рік жителі з'їдають 151 яйце. Якщо маса одного яйця дорівнює в середньому 50 г, то протягом одного року в організм надійде 7,55 кг.

4.13. Середньорічне споживання молочних продуктів на душу населення становить 215 кг/рік. Припустимо, що в молочних продуктах міститься фенол в

концентрації 15 мг/кг. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу таких молочних продуктів протягом півроку.

4.14. У питної воді знаходяться дуже токсичні важкі метали - кадмій і ртуть, причому їх вміст дорівнює значенням відповідних ГДК в питній воді. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років?

4.15. У воду водойми потрапив нітробензол, в результаті чого вміст цього елементу в тканинах риби становить 30 мг/кг. Протягом двох років в цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За ці два роки він їв рибу 90 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 250 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

4.16. В деякій місцевості виявлено важкий метал - марганець, його вміст у повітрі виявився рівним 1 мкг/м<sup>3</sup>, а у воді в 5 разів більше допустимої середньодобової дози (ДСД). Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде дихати таким повітрям і пити таку воду протягом 10 років? Протягом кожного року вплив токсиканту триває в середньому 300 днів.

4.17. В одному з колодязів виявлено важкий метал - шестивалентний хром, причому його вміст у воді цього колодязя в десять разів перевищив значення ГДК хрому (VI) для питної води. Даним колодязем користуються протягом 6 років. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю.

4.18. В атмосферному повітрі виявлено газоподібні токсиканти – ацетон, фенол та формальдегід, причому їх вміст перевищив прийняті в Україні значення середньодобової гранично допустимої концентрації (СГДК): у ацетоні й фенолі — в 2 рази, а у формальдегіді – в 3 рази. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде дихати таким повітрям протягом 7 років? Протягом кожного року вплив токсиканту триває в середньому 335 днів.

4.19. Гранично допустима концентрація пестициду ДДТ в цукрі складає 0,005 мг/кг. Вважається, що мешканець України з'їдає на рік у середньому 25 кг цукру. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що вживає протягом 5 років цукор, в якому вміст ДДТ перевищує його ГДК в 3 рази.

4.20. У питній воді виявлено токсиканти – ацетон, фенол та формальдегід, причому їх вміст перевищив прийняті в Україні значення середньодобової гранично допустимої концентрації (ГДКс.д.): у ацетоні та фенолі – в 3 рази, а у формальдегіді – в 5 разів. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років.

4.21. Середньорічне споживання рослинного масла на душу населення становить 12 кг/рік. Припустимо, що в рослинному маслі міститься тетраетилсвинець (якщо поле

знаходиться поблизу шосе, то тетраетилсвинець може потрапити в ґрунт в результаті осадження вихлопних газів) в концентрації 1 мг/кг. Чи існує ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу такого рослинного масла протягом року?

4.22. В Україні споживається в середньому 28,1 кг капусти на душу населення за рік. Аналіз проб капусти, вирощеної в деякій місцевості, показав, що вміст міді і цинку в ній в два рази перевищує значення ГДК цих металів у свіжих овочах. Чи є ризик загрози здоров'ю, якщо така капуста буде споживатися протягом півроку?

4.23. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю внаслідок вживання з водою протягом одного року пестициду ДДТ з концентрацією, що дорівнює 10 значень ПДК цієї речовини у воді.

4.24. За рік дорослий мешканець з'їдає в середньому 151 яйце. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу яєць протягом року, якщо яйця містять хлор з середнім вмістом 80 мг в одному яйці, і нітрати з середнім вмістом 22 мг в одному яйці.

4.25. У воду деякого водойми потрапив талій, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 50 мг/кг. Протягом трьох років у цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За ці три роки він їв рибу 50 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 350 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

4.26. У воді деякого водосховища виявлено фенол з концентрацією, що дорівнює 3 мг/л, і вінілхлорид з концентрацією 5 мг/л. Водосховище є джерелом питного водопостачання. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що п'є таку воду протягом трьох років. Врахувати, що щорічно ця людина виїжджає з цієї місцевості у відпустку, в якій проводить в середньому 30 днів.

4.27. У воду деякої водойми потрапила сурма, в результаті чого вміст цього елемента в тканинах риби становить 12 мг/кг. Протягом одного року в цій водоймі рибалка-любитель ловить рибу і вживає її в їжу. За цей рік він споживав рибу приблизно 100 разів, причому за один раз з'їдав в середньому 150 г. Обчислити ризик загрози здоров'ю.

4.28. Встановлено, що в деякій місцевості виявилися забрудненими питна вода і вирощені тут овочі. У воді присутні нафтопродукти, їх вміст дорівнює 7 мг/л, а в овочах – тетраетилсвинець з вмістом 4,5 мкг/кг. Всього овочів в нашій країні споживається в середньому 94 кг на душу населення за рік. Людина випиває в середньому 2 л води на добу. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина піддається впливу зазначених токсикантів протягом трьох місяців.

4.29. Вважається, що протягом року мешканці України з'їдають в середньому 20 кг риби. В рибі виявлено миш'як у концентрації 100 мг/кг. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо цим продуктом людина харчується протягом двох років.

4.30. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю внаслідок вдихання парів ртуті з концентрацією, що дорівнює 10 значень ГДК цього елементу в повітрі. Вважати, що пари ртуті знаходяться в деякому приміщенні при незмінній концентрації і що людина вдихає пари ртуті протягом 12 годин щодоби впродовж одного року, але на один місяць вона їде у відпустку.

4.31. За рік дорослий мешканець з'їдає в середньому 390 кг молокопродуктів. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу цих продуктів протягом одного року, якщо вони містять важкий метал – миш'як із середнім вмістом, рівним 15 мг/кг.

4.32. Встановлено, що вінілхлорид може переходити з пляшок, виготовлених з полімерного матеріалу - поліхлорвінілу, у воду і алкогольні напої (включаючи пиво), в наслідок чого його концентрація в рідині може скласти 10-20 мг/л. Швидкість переходу пропорційна часу зберігання пляшок. Нехай в деякій партії пляшок пива вміст вінілхлориду становить в середньому 10 мг/л. Пиво цієї партії п'ють люди протягом півроку, кожен з них випиває в середньому 60 літрів. Чи існує ризик загрози здоров'ю?

4.33. У питній воді деякої місцевості виявлено хлороорганічний пестицид – ДДТ з концентрацією, що дорівнює потроєному значенню його ГДК у воді. Розрахувати ризик загрози здоров'ю людини, що п'є цю воду протягом одного року. Врахувати, що щорічно ця людина їде з даної місцевості у відпустку, в якій проводить в середньому 30 днів.

4.34. Аналіз проб яєць показав, що вміст міді і цинку в них в три рази перевищує значення ГДК цих металів у харчових продуктах. Чи є ризик загрози якщо такі яйця будуть вживатися в їжу протягом півроку? В середньому за рік мешканці з'їдають 151 яйце. Якщо маса одного яйця дорівнює в середньому 50 г.

4.35. Середньорічне споживання молочних продуктів на душу населення становить 212,5 кг/рік. Припустимо, що в молочних продуктах міститься фенол в концентрації 18 мг/кг. Розрахувати ризик загрози здоров'ю при вживанні в їжу таких молочних продуктів протягом півроку.

4.36. У воді знаходяться дуже токсичні важкі метали – кадмій і ртуть, причому їх зміст дорівнює значенням відповідних ГДК в питній воді. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 15 років?

4.37. Встановлено, що вінілхлорид може переходити з пляшок, виготовлених з полімерного матеріалу - поліхлорвінілу, у воду і алкогольні напої (включаючи пиво), в результаті чого його концентрація в рідині може скласти 10-20 мг/л. Швидкість переходу пропорційна часу зберігання пляшок. Вміст вінілхлориду становить в середньому 10 мг/л. Пиво цієї партії п'ють люди протягом півроку, кожен з них випиває в середньому 60 літрів. Чи існує ризик загрози здоров'ю?

4.38. У деякій місцевості виявлено важкий метал – марганець, його вміст у повітрі виявився рівним 1 мкг/м<sup>3</sup>, а у воді в 5 разів більше допустимої середньодобової дози (ДСД). Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде дихати таким повітрям і пити таку воду протягом 20 років? Протягом кожного року вплив токсиканту триває в середньому 300 днів.

4.39. В одному з колодязів виявлено важкий метал – кадмій, причому його вміст у воді цього колодязя в двадцять разів перевищив значення ГДК хрому (VI) для питної води. Даним колодязем користуються протягом 15 років. Розрахувати індивідуальний ризик загрози здоров'ю.

4.40. У питній воді виявлено токсиканти – ацетон, фенол та формальдегід, причому їх вміст перевищив прийняті в Україні значення середньодобової гранично допустимої концентрації (ПДКс.д.): у ацетоні і фенолі – в 3 рази, а у формальдегіді – в 5 разів. Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років?

## **5. Структура заняття**

Після вирішення організаційних питань студенти відповідають на запитання викладача, вирішують ситуаційні завдання, здають викладачу зошити протоколів практичних занять. За повноту та якісь виконання завдання з самостійної підготовки вони одержують оцінку, яка виставляється в журналі обліку відвідувань та успішності студентів академічної групи. Наприкінці заняття викладач підводить підсумок щодо рівня засвоєння учбового матеріалу кожним студентом академічної групи, називає оцінки, дає індивідуальні рекомендації щодо подальшого вивчення відповідних учбових питань.

## **6. Література**

### **6.1. Основна**

6.1.1. Загальна гігієна. Пропедевтика гігієни: Підручник / Є.Г.Гончарук, Ю.І.Кундієв, В.Г.Бардов та ін. / За ред. Є.Г.Гончарука. – К.: Вища школа, 1995. – С. 48-137, 458-479.

6.1.2. Общая гигиена. Пропедевтика гигиены /Е.И.Гончарук, Ю.И.Кундиев, В.Г.Бардов и др. – К.: Вища шк., 2000. – С. 47-96, 538-560.

6.1.3. Изучение влияния факторов окружающей среды на здоровье населения: Учебное пособие /Под ред. Е.И.Гончарука. – К.: КМИ, 1989. – 204 с.

### **6.2. Додаткова**

6.2.1. Авалиани С.Л., Андрианова М.М., Печенникова Е.В.и др. Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт). – М.: Консультационный центр по оценке риска. – 1996. – 158 с.

6.2.2. Гигиена и санитария. – 2002.- №6. Тематический номер, посвященный оценке риска влияния факторов окружающей среды на здоровье.

6.2.3. Кацнельсон Б. А., Привалова Л.И. Оценка риска и гигиеническая регламентация – альтернативы или взаимодополняющие подходы?/Токсикол. вест. – 1996. – N 4. – С. 5-10.

6.2.4. Кацнельсон Б.А., Привалова Л.И., Никонов Б.И. и др. Оценка риска: перспективы и проблемы ее использования в российских условиях//Вестн. Уральской Гос. Мед. Академии. – 1998. – Вып. 6. – С. 32–37.

6.2.5. Качинський А.Б., Сердюк А.М. Методологічні основи аналізу ризику в медико-екологічних дослідженнях та його значення для екологічної безпеки України// Лік.справа. – 1995. – №3-4. – С.5-15.

6.2.6. Москаленко В.Ф. Фактори ризику для здоров'я населення і шляхи їх усунення // Експериментальна і клінічна медицина. – 2003. – №1. – С. 179-184.

6.2.7. Новиков С.М., Авалиани С.Л., Пономарева О.В. и др. – В кн.: Оценка риска для здоровья. Глоссарий основных терминов. – М.: Консультационный центр по оценке риска. – 1997. – 146 с.

6.2.8. Общая токсикология/Под ред. Б.А.Курляндского, В.А.Филова.- М.: Медицина, 2002. – 608с.

6.2.9. Тимченко О.І., Сердюк А.М., Турос О.І. Гігієна докiлля: політика, практика, перспективи. – К., 2000. – 127 с.

Додаток 1

### **Санітарно-гігієнічне нормування: принципи та підходи**

Під санітарно-гігієнічним нормуванням розуміється сукупність вимог до якості навколишнього середовища. Санітарно-гігієнічне нормування ґрунтується на концепції гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у ґрунтах, повітрі, поверхневих і підземних водах, в продуктах харчування. Термін ГДК передбачає таку концентрацію хімічного елемента та/або його сполук в компонентах докiлля, яка при повсякденному впливі на організм людини протягом тривалого часу не викликає патологічних змін або захворювань, що встановлюються сучасними методами досліджень у будь-які періоди життя теперішнього і наступного поколінь.

Інший підхід до санітарно-гігієнічного нормування заснований на введенні обмежень не на рівень шкідливих речовин в окремих середовищах, а на загальний обсяг викидів, який визначає їх надходження в середовище проживання. Справа в тому, що орієнтація тільки на концепцію ГДК привела до того, що завдання по досягненню їх рівнів все частіше стали вирішувати шляхом більш ефективного розсіювання забруднювачів. Для



цього стоки промислових підприємств розбавлялися чистою водою, а викиди газів і аерозолів проходили через димові труби великої висоти. В англійській мові з'явилося «екологічне» прислів'я: «The best solution for pollution is dilution» («Найкраще рішення проблеми забруднення - розбавлення»).

Але розсіювання далеко не завжди знижує рівень забруднення довкілля. Екологічні дослідження показали, що в районах великих промислових центрів при концентраціях токсикантів в атмосфері на рівні ГДК неминуче відбувається накопичення одного або декількох таких токсикантів в будь-якому компоненті навколишнього середовища. Наприклад, було показано, що при утриманні ртуті в повітрі, що дорівнює ГДК, за рахунок атмосферних осаджень на ґрунт і подальшого змиву концентрація цього елемента в водоймах може в десятки разів перевищити ГДК у воді. Величини ГДК не можна вважати однозначними і жорстко зафіксованими, так як при розширенні знань про дію хімічних речовин на людину і в міру вдосконалення методів вимірювань вони можуть змінюватися.

Таким чином, підхід до санітарно-гігієнічного нормування, орієнтований на загальний обсяг викидів, повинен визначити значення гранично допустимих викидів (ГДВ) і скидів (ГДС) забруднюючих речовин в навколишнє середовище. Ці значення повинні відповідати встановленим граничним навантаженням на екосистеми і тим самим зберігати їх стабільність.

Незважаючи на виявлені недоліки, властиві системі ГДК, значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин виконують найважливішу функцію стандарту якості природних об'єктів, покликаною забезпечити здоров'я населення та сприяти обмеженню шкідливих викидів і скидів.

Робота щодо встановлення ГДК ще далека від завершення. Дійсно, з десятків тисяч шкідливих для здоров'я людини речовин визначені лише приблизно 1500 значень ГДК в воді, близько 1400 - в повітрі і трохи більше 300 - в ґрунтах. Дослідження в цій галузі в значній мірі ускладнені тим, що багато високотоксичних речовин становлять небезпеку навіть при дуже низькому вмісті, тому необхідні високочутливі аналітичні методи, а вони, як правило, обходяться дорого.

Ще в 1976 р. в Радянському Союзі був прийнятий стандарт (ГОСТ 12.01.007-76), за яким усі шкідливі речовини за ступенем небезпеки були розділені на чотири класи: I - надзвичайно небезпечні, II - високо небезпечні, III - помірно небезпечні і IV - мало небезпечні. Поділ за класами передбачало нормування по ряду показників. Так, гранично допустима концентрація шкідливої речовини I класу в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 0,1 мг/м<sup>3</sup>.

За час, що минув після прийняття зазначеного стандарту, з'явилося багато речовин, ступінь небезпеки яких значно більше, ніж у речовин, віднесених до першого класу. Ці речовини, що характеризуються виключно високою токсичністю, отримали назву *суперекотоксикантів*. Новий термін ще не став загально визнаним, його використання можна вважати умовним, але він корисний, оскільки дозволяє виділити з великого числа забруднювачів ті, які становлять небезпеку для здоров'я людей. З неорганічних речовин суперекотоксикантами є важкі метали (перш за все, ртуть, кадмій і свинець) і радіонукліди. До органічних суперекотоксикантів відносяться поліхлоровані діоксини, біфеніли та дібензофурані, хлор- і фосфоровмісні пестициди, поліароматичні вуглеводні, нітрозаміни та інші сполуки.

Про те, що для оцінки небезпеки суперекотоксикантів потрібні нові критерії, свідчить такий приклад. Гранично допустима концентрація діоксину в повітрі робочої зони складає 0,13 пікограм в кубічному метрі (пг/м<sup>3</sup>), тобто  $1,3 \cdot 10^{-10}$  мг/м<sup>3</sup> (США) або  $0,12$  пг/м<sup>3</sup> =  $1,2 \cdot 10^{-10}$  мг/м<sup>3</sup> (Італія). Ці значення в мільярди разів менше величини гранично допустимої концентрації шкідливої речовини I класу в повітрі робочої зони, яка не повинна перевищувати 0,1 мг/м<sup>3</sup>. У всьому світі особливу тривогу викликають хімічні речовини, вплив яких призводить до появи злоякісних новоутворень. Міжнародне агентство вивчення раку (МАІР) запропонувало розділити канцерогени за ступенем небезпеки на чотири класи. До першого класу віднесено речовини, для яких отримані безумовні докази небезпеки розвитку раку у людини. Сюди увійшли сполуки важких металів (нікелю, кадмію, шестивалентного хрому), берилій, миш'як, бензол, бенз(а)пірен, діоксини та ін. У першому класі канцерогенів широко представлені радіонукліди.

***Основні санітарно-гігієнічні нормативи вмісту забруднювачів в повітрі, питній воді і в продуктах харчування, що діють в Україні*** (данні необхідні при вирішенні завдань, пов'язаних з обчисленням ризику загрози здоров'ю через забруднення довкілля).

Крім цих значень для речовин, що забруднюють атмосферне повітря, але не відносяться до важких металів, встановлено ще два значення ГДК: *максимально разове і середньодобове*. Максимально разова ГДК – це концентрація, яка протягом 30 хв. не викликає рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, зміни світлової чутливості очей, алергічних реакцій та ін.). Середньодобова ГДК – це концентрація, яка не повинна чинити на людину шкідливого впливу (загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного) при вдиханні протягом 24 годин. У таблиці 1 і 2 наведені значення максимально разової та середньодобової ГДК шкідливих речовин, що найбільш часто зустрічаються, в атмосферному повітрі населених пунктів.

В документі «Державні санітарні норми і правила" Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною "(ДСанПіН 2.2.4-171-10), прийняті наказом Міністерства охорони здоров'я України від 12 травня 2010 р. № 400, наведені значення гранично допустимої концентрації (ГДК) забруднювачів питної води, що діють в Україні. Дані по ГДК деяких неорганічних і органічних речовин у питній воді наведені відповідно в таблицях 3 та 4.

Санітарні правила і норми СанПіН 2.3.2.560-96 «Гігієнічні вимоги до якості та безпеки продовольчої сировини і харчових продуктів», розроблені в 1996 р., піддалися доповнень і змін у 1998, 2000 і 2001 рр. У табл. 5 представлені санітарно-гігієнічні нормативи вмісту важких металів і миш'яку в продовольчій сировині та харчових продуктах. Ці нормативи можуть використовуватися в якості допустимих концентрацій аналізованих важких металів і миш'яку в продуктах харчування.

Таблиця 1

**Значення гранично допустимих (ГДК ) або орієнтовно допустимих концентрацій (ОДК) деяких важких металів в повітрі**

Метали	ГДК (ОДК), мг/м <sup>3</sup>
Хром (VI)	0,0015
Кобальт	0,001
Нікель	0,001
Мідь	0,001
Цинк	0,005
Кадмій	0,0003
Ртуть	0,0003
Свинець	0,0003

Таблиця 2

**Значення максимально разових та середньодобових граничнодопустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин, що найбільш часто зустрічаються в атмосферному повітрі населених пунктів, у мг/м<sup>3</sup>**

Речовина	ГДК <sub>м.р.</sub>	ГДК <sub>с.д.</sub>
Азоту оксид	0,6	0,06
Азоту діоксин	0,085	0,085
Аміак	0,2	0,04
Ацетон	0,35	0,35
Бензол	1,5	0,8
Бенз(а)пірен	—	0,000001
Пил нетоксичний	0,5	0,15
Ртуть металічна	—	0,0003
Сірководень	0,008	0,008
Сірковуглець	0,03	0,005
Оксид вуглецю	5,0	3,0
Фенол	0,01	0,003
Формальдегід	0,035	0,003
Хлор	0,1	0,03

Таблиця 3

**Граничнодопустимі концентрації (ГДК) деяких неорганічних речовин у питній воді, у мг/л**

<i>Речовина</i>	<i>ГДК</i>	<i>Речовина</i>	<i>ГДК</i>
Алюміній	≤ 0,2	Нікель	≤ 0,02
Берилій	≤ 0,0002	Нітрати	≤ 50
Бор	≤ 0,5	Нітрити	≤ 0,5
Залізо	≤ 0,2	Ртуть	≤ 0,0005
Кадмій	≤ 0,001	Свинець	≤ 0,01
Марганець	≤ 0,05	Селен	≤ 0,01
Мідь	≤ 1,0	Стронцій	≤ 7,0
Молібден	≤ 0,07	Хром (VI)	≤ 0,05
Миш'як	≤ 0,01	Цинк	≤ 1,0

Таблиця 4

**Граничнодопустимі концентрації (ГДК) деяких органічних речовин у питній воді, у мг/л**

Речовина	ГДК
Бензо(а)пірен	≤ 0,000005
Феноли	≤ 0,001
Хлорфеноли	≤ 0,0003

Хлороформ	$\leq 0,06$
Трихлоретилен	$\leq 0,01$
Чотирихлористий вуглець	$\leq 0,002$
Пестициди (сума)	$\leq 0,0005$

Таблиця 5

**Санітарно-гігієнічні нормативи вмісту важких металів і миш'яку в  
продовольчій сировині та харчових продуктах, у мг/кг**

Продукти харчування	Мідь	Цинк	Кадмій	Ртуть	Свинець	Миш'як
Крупи, пластівці	10	50	0,1	0,03	0,5	0,2
Бобові (горох, квасоля)	10	50	0,1	0,02	0,5	0,3
Хліб, хлібобулочні вироби	2	35	0,07	0,01	0,35	0,15
Овочі свіжі та картопля	5	10	0,03	0,02	0,5	0,2
Риба	10	40		0,5	1,0	1,0
Гриби	10	20	0,1	0,05		0,5
М'ясо	5	70	0,05	0,03	0,5	0,1
Птиця	5	50	0,01	0,02	0,3	0,1
Яйця	3	50	0,01	0,02	0,3	0,1
Молоко та молокопродукти	1	5	0,03	0,005	0,1	0,05
Цукор	2		0,05	0,01	0,5	1,0
Масло рослинне			0,05	0,03	0,1	0,1

Крім перерахованих металів встановлені нормативи вмісту олова і хрому – важких металів, присутніх в металевій упаковці харчових продуктів (консерви з м'яса, риби, овочів і фруктів, згущене і концентроване молоко, варення, джеми та соки). Для олова (бляшана тара) цей норматив становить 200 мг на кг продукту, а для хрому (хромована тара) – 0,5 мг/кг.

В Україні встановлено такі значення ГДК одного з суперекотоксикантів - хлорвмісного пестициду ДДТ: в атмосферному повітрі – 0,0005 мг/м<sup>3</sup>; у питній воді – 0,002 мг/л. У продуктах харчування для ДДТ і його метаболітів (ДДЕ, ДДД) встановлено такі величини ГДК (мг/кг продукту):

- м'ясо та м'ясопродукти, птиця, яйця - 0,1;
- молоко та молочні продукти – 0,05 (у перерахунку на жир -1,0),

- згущене молоко – 1,0;
- риба морська – 0,2; прісноводна – 0,3 (оселедець жирний - 2,0);
- зерно продовольче, крупи – 0,02;
- насіння зернобобових (горох, квасоля) – 0,05;
- цукор – 0,005;
- овочі і картопля – 0,1;
- масло рослинне – 0,2.

У табл. 6 приведені значення гранично допустимих концентрацій бенз(а)пірену, прийняті в Україні.

Таблиця 6

**Значення гранично допустимих концентрацій бенз(а)пірену**

Повітря населених місць	Поверхневі води	Харчові продукти	Грунт (сухий)
1 нг/м <sup>3</sup> (1·10 <sup>-6</sup> мг/м <sup>3</sup> )	5 нг/л (5·10 <sup>-6</sup> мг/л)	зерно продовольче: 0,001 мг/кг; м'ясо і м'ясопродукти -	0,02 мг/кг

Для вмісту в ґрунті поліхлорованих дибензо-п-діоксинів і дибензофуранів встановлено значення ГДК, рівне 0,133 пг/г = 1,33·10<sup>-7</sup> мг/кг.

Для кількісної характеристики переходу хімічних елементів з ґрунту в рослини використовуються величини, звані *коефіцієнтами концентрації*. Як правило, їх значення не перевищують одиниці, але в ряді випадків можуть бути укладені в інтервалі від 1 до 10. Так, для хрому та цинку коефіцієнти концентрації, що виражаються відношенням вмісту елемента в споживаній людьми свіжій рослинній їжі до вмісту в сухому ґрунті, рівні відповідно 0,001 і 1,6.

У табл. 7 і 8 наведені значення гранично допустимих концентрацій діоксину у повітрі, питній воді та харчових продуктах та деяких хімічних елементів у ґрунті, прийняті в Україні.

Таблиця 7

**Значення гранично допустимих концентрацій діоксину**

Повітря	Вода питна	Харчові продукти
0,5 пг/м <sup>3</sup> = 5×10 <sup>-5</sup> мг/м <sup>3</sup> =	20 пг/л = 5×10 <sup>-6</sup> мг/л =	молоко: 5,2 нг/кг = 5,2×10 <sup>-6</sup> мг/кг; м'ясо: 0,9 нг/кг = 9×10 <sup>-7</sup> мг/кг;
5·10 <sup>-13</sup> г/л	2·10 <sup>-11</sup> г/л	риба: 11 нг/кг = 1,1×10 <sup>-5</sup> мг/кг

*Примітка.* Для молока вказано значення в перерахунку на жир.

Таблиця 8

**Значення граничнодопустимих концентрацій (ГДК) деяких хімічних елементів  
у ґрунті, у мг/кг**

Хімічні елементи	ГДК
Кобальт	5
Мідь	3
Миш'як	2
Кадмій	2
Нікель	4
Ртуть	2
Свинець	6
Сурма	5
Фтор	3
Цинк	23
Хром (VI)	6

У табл. 9 наведені допустимі рівні вмісту радіонуклідів: цезію  $^{137}\text{Cs}$  та стронцію  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування, затверджені в якості санітарних норм і правил в 1996 р.

У табл. 10 приведені значення меж річного надходження з водою і їжею (МРН) допустимої об'ємної активності у вдихуваному повітрі (ДОВА) і рівня втручання для води (РВ) при надходженні в організм людини деяких радіонуклідів. Ці значення встановлені документом «Норми радіаційної безпеки» (НРБ-99). Рівень втручання - рівень радіаційного фактору, при перевищенні якого слід проводити певні захисні заходи.

В останні роки була усвідомлена необхідність нового підходу до екологічної безпеки, заснованого на *концепції ризику*. Розрізняють *індивідуальний* і *колективний ризику*.

Таблиця 9

**Допустимі рівні вмісту радіонуклідів: цезію  $^{137}\text{Cs}$  та стронцію  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування, у Бк/кг**

Продукти харчування	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Хліб і хлібобулочні вироби	40	70
Крупи	60	100
Картопля	320	60
Овочі та бахчеві культури	130	50
Фрукти та ягоди	40	50
Гриби свіжі	500	50
Сушені гриби	2500	250
Молоко свіже	50	25
Масло коров'яче	100	60
Сири тверді	50	100
Масло рослинне	60	80

М'ясо без кісток	160	50
Риба свіжа, морожена	130	100
Яйця	80	50
Цукор та кондитерські вироби	140	100

Таблиця 10

**Значення меж річного надходження деяких радіонуклідів в організм людини**

Радіонукліди	Потрапляння з повітрям		Потрапляння з водою та харчами	Потрапляння з водою
Тритій $^3\text{H}$	$3,7 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^3$
Вуглець $^{14}\text{C}$	$4,0 \cdot 10^5$	55	$6,3 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^2$
Кобальт $^{60}\text{Co}$	$8,3 \cdot 10^4$	11	$3,7 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^1$
Стронцій $^{90}\text{Sr}$	$2,0 \cdot 10^4$	2,7	$1,3 \cdot 10^4$	5,0
Цезій $^{137}\text{Cs}$	$2,2 \cdot 10^5$	27	$7,7 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^1$
Радій $^{226}\text{Ra}$	$2,2 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^2$	0,5
Уран $^{238}\text{U}$	$2,9 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^3$	3,1
Торій $^{232}\text{Th}$	$4,0 \cdot 10^1$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^3$	0,6
Плутоній $^{239}\text{Pu}$	$2,0 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^3$	0,56
Америцій $^{241}\text{Am}$	$2,4 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^3$	0,69

*Індивідуальний ризик*, як показує сам термін, визначається ймовірністю екстремальної шкоди – смерті індивідуума від деякої причини, що розраховується для всього його життя або для одного року. *Колективний ризик* найчастіше визначають кількістю смертей від деякої причини, що діє протягом певного інтервалу часу (наприклад, протягом 5 років) на певну кількість людей (наприклад, 10 тис. осіб).

У ряді країн розробляються і вже діють нормативні акти, в яких встановлюються стандарти екологічних ризиків, які орієнтуються на певні параметри ризику. Використання в законодавстві параметрів ризику вимагає точного кількісного визначення двох найважливіших понять - *максимально допустимого ризику і нехтовно малого (безумовно прийняттого) ризику*.

Ризик визнається нехтовно малим, якщо його рівень в силу своєї малості не може бути надійно виявлено на фоні вже наявних ризиків. У більшості країн Західної Європи індивідуальний ризик, якому піддається населення (а не персонал, що працює на виробництві), вважається нехтовно малим, якщо його рівень не перевищує величини  $10^{-6}$  за



рік. Таким чином, значення нехтовно малого індивідуального ризику становить  $1 \cdot 10^{-6}$  людина<sup>1</sup>·рік<sup>-1</sup>. Це означає, що дана причина, яка діє протягом одного року, збільшує ймовірність смерті від неї на одну мільйонну. Інакше кажучи, якщо ця причина діє протягом року на мільйон чоловік, то від неї може загинути одна людина.

У США індивідуальний допустимий ризик, що становить  $1 \cdot 10^{-6}$ , встановлено не для одного року, а для всього життя людини, середня тривалість якої приймається рівною 70 років. Отже, щорічний індивідуальний допустимий ризик становить у США величину, яка дорівнює  $10^{-6}/70 = 1,43 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>.

Верхня межа допустимого ризику (максимально допустимий ризик) різна для населення і персоналу, що працює у шкідливих умовах. В Україні максимально допустимий індивідуальний ризик для техногенного опромінення осіб з персоналу прийнятий рівним  $1,0 \cdot 10^{-3}$  за рік, а для населення –  $5,0 \cdot 10^{-5}$  за рік (остання величина в 50 разів перевищує рівень нехтовно малого ризику, який в Україні прийнятий рівним  $10^{-6}$  за рік). Згідно нормативам Агентства США навколишнього середовища верхня межа допустимого (прийнятного) ризику від впливу речовин з канцерогенними властивостями становить  $10^{-4}$ .

Для оцінки допустимих індивідуальних ризиків, пов'язаних з небезпечними видами діяльності, у Великобританії використовуються так звані критерії Ешбі. Вони являють собою ймовірності одного фатального випадку (однієї смерті) на рік. Характеристики критеріїв прийнятності ризику по Ешбі наведені в табл. 11.

Видно, що чотири ранги ризику перекривають більше трьох порядків ймовірності однієї смерті на рік, причому для необмежено прийнятного ризику прийнятий такий же порядок ймовірності, який характерний для природних катастроф ( $10^{-6}$ ). Цей порядок встановлено на основі аналізу статистичних даних. Значення індивідуального ризику порядку  $10^{-6}$  людина<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>, відноситься, наприклад, до ймовірності загинути протягом одного року від удару блискавки або в результаті землетрусу.

Таблиця 11

### Характеристики критеріїв прийнятності ризику за Ешбі

Ранг ризику	Ймовірність смерті людини на протязі року	Ступінь прийнятності
1	Не менше $1 \cdot 10^{-3}$	Ризик неприйнятний
2	$1 \cdot 10^{-4}$	Ризик прийнятний лише в особливих умовах
3	$1 \cdot 10^{-5}$	Потрібне детальне обґрунтування прийнятності

4	$1 \cdot 10^{-6}$	Ризик прийнятний без обмежень (нехтовно малий)
---	-------------------	---------------------------------------------------

У табл. 12 перераховані деякі причини збільшення індивідуального ризику смерті на  $10^{-6}$  на рік, встановлені після вивчення великих масивів статистичних даних у США і Європі (за Р. Вільсоном і Г. Марксом).

Кожна шкідлива речовина, що потрапила в навколишнє середовище, створює ризик загрози здоров'ю. Цей ризик залежить від дози речовини, що надійшла в організм людини. Залежність ризику від дози забруднювача може бути різною, основні види цієї залежності представлені на рис. 1.

Таблиця 12

**Деякі причини збільшення індивідуального ризику смерті  
(на  $10^{-6}$  на рік)**

Види діяльності	Причини смерті
Викурити одну сигарету	Рак легень, хвороба серця
Проїхати 2500 км на поїзді	Аварія
Пролетіти 2000 км на літаку	Аварія
Проїхати 250 км на автомобілі	Аварія
Прожити 1 місяць з тим, хто курить	Рак легень, хвороба серця
Прожити 2 місяця в горах	Рак (дія космічних променів)
Прожити 1 тиждень в цегляному будинку	Рак (вплив радіонуклідів у глині)
Провести 1 добу в центрі міста Нью-Йорк	Хвороба легень
Зробити рентгенівське обслідування грудної	Рак (дія опромінення)
Пробути 1 годину у вугільній шахті	Хвороба легень

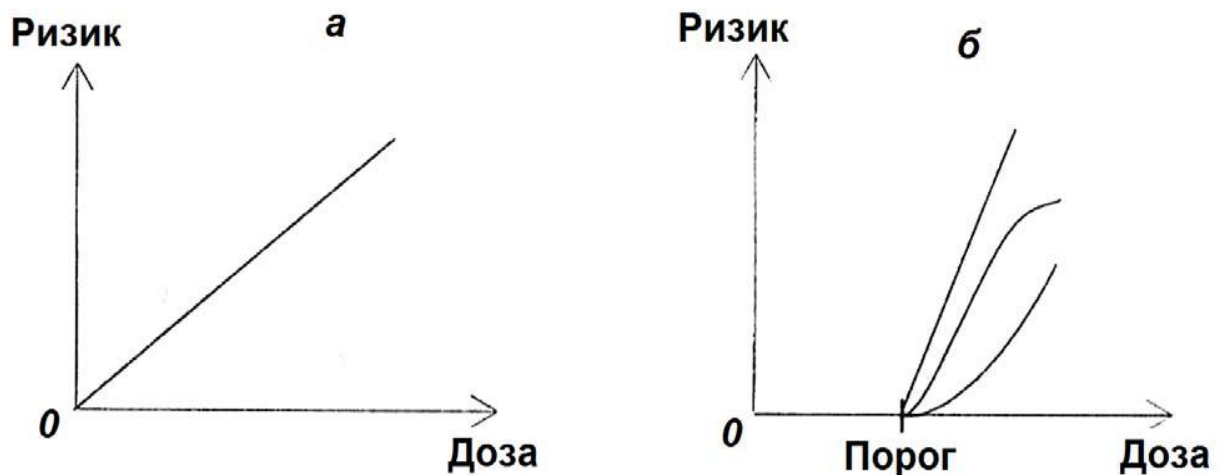


Рисунок 1. Залежність ризику загрози здоров'ю від дози забруднювача: а - лінійний зв'язок (безпороговий забруднювач); б - складний зв'язок (пороговий забруднювач)

Першим видом залежності характеризуються забруднювачі, негативна дію яких починається вже при дуже малих дозах. Такі речовини називаються **безпорогові**. Негативні ефекти, зумовлені впливом багатьох безпорогових забруднювачів, ростуть прямо пропорційно їх дозі, яка, в свою чергу, прямо пропорційна концентрації забруднювача в повітрі, воді та продуктах харчування. Це лінійний зв'язок між ризиком і дозою забруднювача, вона представлена нижче на рис. 1, а. Лінійною залежністю ризику від дози характеризуються канцерогени – як нерадіоактивні, так і радіонукліди, дія яких призводить до внутрішнього або зовнішнього опромінення людини.

Залежність другого виду мають **порогові** забруднювачі, дія яких викликає негативні наслідки, тільки коли величина дози перевершить деяке порогове значення. Один з варіантів такої залежності ризику від дози також представлений на рис. 1, б. Вважається, що пороговими забруднювачами є токсичні, але неканцерогенні речовини.

Доза забруднювача  $D$  визначається множенням його концентрації в повітрі, питній воді або харчових продуктах  $c$ , швидкості його надходження в організм  $v$  і часом надходження в організм  $t$ .

$$D = C \times v \times t, (1)$$

Концентрацію ( $C$ ) зазвичай висловлюють в  $\text{мг}/\text{м}^3$  (для повітря), в  $\text{мг}/\text{л}$  (для води) або в  $\text{мг}/\text{кг}$  (для продуктів харчування). Швидкість (інтенсивність) надходження ( $v$ ) вимірюється в  $\text{л}/\text{хв.}$  або  $\text{м}^3/\text{добу}$  (повітря),  $\text{л}/\text{добу}$  (вода),  $\text{кг}/\text{день}$  або  $\text{кг}/\text{рік}$  (продукти харчування).

Для розрахунку ризиків, обумовлених присутністю шкідливих речовин в компонентах довкілля, необхідно знати стандартні кількості повітря, води, що надходять в організм людини, а також середні кількості продуктів харчування.

У багатьох країнах використовуються нормативні акти, що мають силу законів, які стверджують такі стандарти. У таблиці 13 наведено стандарти об'єму повітря і маси води, що надходять в організм дорослої людини, прийняті в Україні.

Таблиця 13

**Стандарти об'єму повітря і маси води, що надходять в організм дорослої людини**

Контингент	Повітря	Вода
Населення	$7,3 \cdot 10^{-6}$ л/рік = 20 м <sup>3</sup> /добу	730 л/рік = 2 л/добу
Персонал	$2,5 \cdot 10^{-6}$ л/рік = 10 м <sup>3</sup> /день (якщо у році 250 робочих днів)	0

Щоб судити про те, які кількості забруднювачів потрапляють в організм людини з їжею, треба знати, скільки того чи іншого продукту надходить за певний період часу (за рік). У процесі порівняльного аналізу соціального стану населення України були визначені продуктові набори (річні раціони - кг/рік) в середньому на душу населення України (рівень прожиткового мінімуму див. в табл. 14).

Таблиця 14

**Рівень прожиткового мінімуму в Україні**

Види продуктів	Раціональна норма споживання за УкрНП харчування, кг/рік
Хліб житньо-пшеничний	92 кг
Хліб пшеничний	86,7 кг
Пшоно	18,1 кг
Вермішель	7,3 кг
Цукор	24,8 кг
Масло рослинне	13 кг
Масло тваринне	3,6 кг
Яловичина	42 кг
Ковбаса варена	2,2 кг
Ковбаса напівкопчена	1,1 кг
Молоко та молокопродукти	390 кг
Сметана	4,2 кг
Сир твердий	2 кг
Яйця	290 шт.

Види продуктів	Раціональна норма споживання за УкрНП харчування, кг/рік
Картопля	146 кг
Капуста свіжа	29,8 кг
Лук ріпчастий	10,2 кг
Яблука	11 кг
Сигарети	96 пачок
Риба та рибопродукти	20 кг
Плоди та ягоди	90 кг
Овочі, бахчеві	161 кг

## Додаток 2

### Методика оцінювання індивідуального ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу порогових токсикантів

Негативний вплив порогового токсиканту має характеризуватися значенням тієї порогової дози (або потужності дози, тобто величиною 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 можливо кілька підходів до встановлення величини порогової потужності дози. Відповідно можливе використання наступних значень, що виявляються досвідченим шляхом (як правило, за результатами експериментів з тваринами):

***$H_{NOEL}$***  - найбільша порогова потужність дози, яка не призводить до появи *яких би то не було* статистично значимих біологічних ефектів (NOEL - «no-observed-effect level»), тобто рівень, при якому ніякі ефекти не спостерігаються);

***$H_{NOAEL}$***  - найбільша потужність дози, яка не призводить до появи статистично значущих *несприятливих* біологічних ефектів (NOAEL - «no observed-adverse-effect level»), тобто рівень, при якому не спостерігаються *несприятливі* ефекти);

***$H_{LOEL}$***  - найменша потужність дози, яка призводить до появи *яких би то не було* статистично значимих біологічних ефектів (LOEL - «lowest-observed-effect level»), тобто найнижчий рівень, при якому спостерігаються ефекти);

***$H_{LOAEL}$***  - найменша потужність дози, яка призводить до появи статистично значущих *несприятливих* біологічних ефектів (LOAEL - «lowest-observed-adverse-effect level»), тобто найнижчий рівень, при якому спостерігаються *несприятливі* ефекти).

Всі чотири величини вимірюються кількістю забруднювача, що надходить в одиницю часу в організм людини і нормованого на одиницю маси тіла. Зазвичай кількість

токсиканту вимірюється в міліграмах, одиницею часу служить день (доба), а одиницею маси тіла - кілограм, отже, розмірність перерахованих величин - мг/(кг·добу).

Оптимальне узгодження експериментальних даних і результатів спостережень за групами ризику означає, що є достатня інформація по всім перерахованим вище факторам. Однак на практиці таке погодження забезпечити не вдається. Тому доводиться вводити *коефіцієнти невизначеності*, які відіграють роль своєрідного «запасу надійності» в процесі обчислення потужності дози. Зазвичай використовують три коефіцієнти:  $F_1$ ,  $F_2$  і  $F_3$ , на їх добуток ділять величину порогової потужності дози:

$$H_D = \frac{H_{D(i)}}{F_1 \times F_2 \times F_3}, \quad (2)$$

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

Коефіцієнт  $F_1$  використовується для обліку можливих міжвидових варіацій у прояві ефектів від однієї і тієї ж потужності дози, тобто він характеризує міжвидові відмінності в чутливості до токсиканту. Якщо біокінетичні особливості токсиканту і механізми його токсичності у експериментальних тварин і людей різняться сильно, то коефіцієнту  $F_1$  приписують максимальне значення, рівне 10. Якщо біокінетика і механізми токсичності у експериментальних тварин і людей схожі,  $F_1 = 1$ .

Коефіцієнт  $F_2$  відповідальний за внутрішньовидові відмінності в дії токсиканту, які обумовлені індивідуальною чутливістю. Його значення можуть мінятися від 1 до 10; також зазвичай вважають  $F_2 = 1$  (якщо істотні індивідуальні відмінності в чутливості до даного токсиканту не виявлено). Коефіцієнт  $F_3$  підвищує надійність розрахунків, пов'язаних з переходом від порівняно короткочасних спостережень до оцінок ефектів на 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 тільки по короткочасним експериментам, то вважають  $F_3 = 10$ . Для оцінки ж  $H_{LOEL}$  або  $H_{LOAEL}$  при тих же умовах використовується максимальне значення  $F_3 = 100$ . Таким чином, введення коефіцієнтів невизначеності  $F_1$ ,  $F_2$  і  $F_3$  істотно знижує значення порогової потужності дози, що зумовлено впливом ряду невизначеностей. Максимальне значення добутку коефіцієнтів  $F_1 \times F_2 \times F_3 = 10 \times 10 \times 100 = 10000$ . Можна сказати, що ці коефіцієнти виконують роль факторів перестраховки, тому що в розрахунки ризику будуть входити навмисно занижені значення порогової потужності дози. Наприклад, для тетраетилсвинця в результаті дослідів з тваринами було отримано значення  $H_{LOAEL}$ , рівне 0,0012 мг/кг·добу. Але через недосконалість умов експериментів коефіцієнтам невизначеності довелося приписати

найбільші значення, тому скориговане значення порогової потужності дози  $H_D$  при надходженні цього токсиканту з водою або їжею склало  $0,0012:10000 = 1,2 \cdot 10^{-7}$  мг/кг·добу.

У випадку іншого токсиканту – фенолу – виконані експерименти характеризувалися істотно меншою невизначеністю, добуток виявився рівним 100. Оскільки значення  $H_{NOAEL}$  було при надходженні фенолу з водою або їжею одно 60 мг/кг·добу, скориговане значення порогової потужності дози  $H_D$  склало  $60:100 = 0,6$  мг/кг·добу.

Одиниця потужності порогової дози – мг/кг·добу – пов'язана із залежністю впливу токсиканту, що надходить в організм, від маси тіла. Перед тим, як зафіксувати значення цієї дози для людей, проводяться досліді на тваринах, причому використовуються, як правило, кілька груп тварин, для кожної з них приймається середня величина маси тіла. Часто об'єктами таких дослідів стають миші, щури, морські свинки і кролики.

Агентство з захисту навколишнього середовища США сформувало і підтримує в мережі Інтернет базу даних, яка містить значення порогової потужності доз різних забруднювачів навколишнього середовища. Ця база постійно поповнюється новими даними.

Значення порогової потужності дози  $H_D$  при надходженні деяких токсикантів-неканцерогенів з повітрям, водою й харчами наведені (у порядку убутання граничної потужності дози) в табл. 15-17.

Як показують дані, наведені в табл. 15-17, за значенням порогової потужності дози токсичні речовини можуть відрізнятися в мільйони разів.

Нижче розглядається методика розв'язання задач, рекомендована Агентством по захисту навколишнього середовища США.

Таблиця 15

**Значення порогової потужності дози  $H_D$  при надходженні деяких токсикантів-неканцерогенів з повітрям**

Токсиканти, що надходять з повітрям	$H_D$ , мг/кг·добу
Ацетон	0,9
Фенол	0,6
Формальдегід	0,2
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 16

**Значення порогової потужності дози  $H_D$  при надходженні деяких токсикантів-неканцерогенів з водою і харчами, у мг/кг·добу**

Токсиканти, що надходять з водою і харчами	$H_D$	Токсиканти, що надходять з водою і харчами	$H_D$
Нітрати	1,6	Селен	$5 \cdot 10^{-3}$
Хром (III)	1,0	Молибден	$5 \cdot 10^{-3}$
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 (хлорид)	$3 \cdot 10^{-4}$
Нікель	0,02	Талій (хлорид, карбонат)	$8 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 17

**Значення порогової потужності дози  $H_D$  при надходженні деяких токсикантів-неканцерогенів з водою, у мг/кг·добу**

Токсиканти, що надходять з водою	$H_D$
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	$4 \cdot 10^{-3}$
Вінілхлорид	$3 \cdot 10^{-3}$
Нітробензол $C_6H_5NO_2$	$5 \cdot 10^{-4}$
ДДТ	$5 \cdot 10^{-4}$
Метилртуть $Hg(CH_3)_2$	$1 \cdot 10^{-4}$
Тетраетилсвинець	$1,2 \cdot 10^{-7}$



При вирішенні завдань, в яких розглядається вдихання токсиканту, середньодобове його надходження  $m$ , віднесене до 1 кг маси тіла людини, розраховується за формулою:

$$m = \frac{C \times V \times f \times T_p}{P \times T}, \quad (3)$$

де  $C$  - концентрація токсиканту у повітрі, мг/м<sup>3</sup>;  $V$  - об'єм повітря, що надходить до легень, м<sup>3</sup>/добу (вважається, що доросла людина вдихає 20 м<sup>3</sup> повітря щодобово);  $f$  - 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 приймається рівною 70 кг;  $T$  - усереднений час впливу токсиканту (або середня тривалість можливого впливу токсиканту за час життя людини), що приймається рівним 30 рокам (10950 діб).

Вищенаведений вираз для  $m$  базується на відомій в токсикології формулі Габера, за якою обчислюють показник токсичності речовини  $K_{tox}$ . Для токсиканту, що надходить з повітрям, ця формула має вигляд:

$$K_{tox} = \frac{C \times V \times t}{P}, \quad (4)$$

де  $C$  – концентрація токсиканту,  $V$  – об'єм легеневої вентиляції,  $t$  – час дії токсиканту,  $P$  – маса тіла.

Якщо вирішуються завдання, пов'язані зі споживанням питної води, то середньодобове надходження токсиканту з водою на 1 кг маси тіла людини  $m$  визначається за декілька зміненою формулою:

$$m = \frac{C \times v \times f \times T_p}{P \times T}, \quad (5)$$

де  $C$  - концентрація токсиканту у питній воді, мг/л;  $v$  - швидкість надходження води в організм людини, л/добу (вважається, що доросла людина випиває щодоби 2 літри води);  $T$  - кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив токсиканту;  $T_p$  - кількість років, протягом яких споживається розглянута питна вода. Величини  $P$  і  $T$  - такі ж, як і в формулі для надходження токсиканту з повітрям. Розмірність величини  $m$  - мг/л·добу.

Якщо вирішуються завдання, пов'язані зі споживанням продуктів харчування, то середньодобове надходження токсиканту з їжею  $m$ , приведене до 1 кг маси тіла людини, обчислюють за формулою:

$$m = \frac{C \times M \times T_p}{P \times T}, \quad (6)$$

де  $C$  - концентрація токсиканту у розглянутому харчовому продукті;  $M$  - кількість продукту, що споживається за один рік;  $T_p$  - кількість років, протягом яких споживається продукт. Величини  $P$  і  $T$  - такі ж, як і в формулі для надходження токсиканту з повітрям або водою. Величина  $m$  має розмірність мг/кг·добу.

Після того, як обчислено середньодобове надходження токсиканту, віднесене до 1 кг маси тіла, розраховується величина, яка називається індексом небезпеки. Її позначають через  $HQ$  (від слів Hazard Quotient) і визначають виразом:

$$HQ = \frac{M}{H_D}, \quad (7)$$

де  $H_D$  - порогова потужність дози, значення якої наведені в табл. 15-17.

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

Якщо в повітрі, питній воді або в їжі містяться кілька токсикантів, то повний індекс небезпеки  $HQ_t$  дорівнює сумі індексів небезпеки окремих токсикантів:

$$HQ_t = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 \dots + HQ_n, \quad (8)$$

де  $n$  – кількість токсикантів

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

Умови завдань для оцінки ризику загрози здоров'ю внаслідок впливу порогових токсикантів приведені у п.4.

#### **Приклад рішення завдань такого типу**

У воді знаходяться токсичні важкі метали - кадмій і ртуть. Їх вміст дорівнює значенням відповідних ГДК в питній воді - 0,001 мг/л для кадмію та 0,0005 мг/л для ртуті.

Який індивідуальний ризик загрози здоров'ю, якщо людина буде пити таку воду протягом 10 років? Відомо, що протягом кожного року вплив токсиканту триває в середньому 300 днів. Порогова потужність дози складає  $5 \cdot 10^{-4}$  мг/кг·добу для кадмію і  $3 \cdot 10^{-4}$  мг/кг·добу для ртуті.

$$\begin{aligned} C_{Cd} &= \text{ГДК} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мг/л,} \\ C_{Hg} &= \text{ГДК} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ мг/л,} \\ v &= 2 \text{ л/добу,} \\ f &= 300 \text{ діб/рік} \\ T_p &= 10 \text{ років,} \\ H_{D(Cd)} &= 5 \cdot 10^{-4} \text{ мг/кг·добу,} \\ H_{D(Hg)} &= 3 \cdot 10^{-4} \text{ мг/кг·добу,} \\ P &= 70 \text{ кг,} \\ T &= 30 \text{ років.} \end{aligned}$$

#### **Рішення:**

2.3. Знаходимо середньодобове надходження кадмію з питною водою на 1 кг маси тіла людини за формулою 5:

$$m_{Cd} = \frac{C_{Cd} \times v \times f \times T_p}{P \times T} = \frac{0,001(\text{мг / л}) \times 2 (\text{л / добу}) \times 300 (\text{діб / рік}) \times 10(\text{років})}{70 \text{ кг} \times 10950 \text{ діб}}$$

$$m_{Cd} = 7,7 \times 10^{-6} \text{ мг / (кг \cdot добу)}$$

2.4. Знаходимо індекс небезпеки для кадмію за формулою 7:

$$HQ_{Cd} = \frac{m_{Cd}}{H_{D(Cd)}} = \frac{7,7 \times 10^{-6} \text{ мг / (кг \cdot добу)}}{5 \times 10^{-4} \text{ мг / (кг \cdot добу)}} = 0,016$$

2.5. Аналогічним способом знаходимо середньодобове надходження ртуті з питною водою на 1 кг маси тіла людини:

$$m_{Hg} = \frac{C_{Hg} \times v \times f \times T_p}{P \times T} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ (мг/л)} \times 2 \text{ (л/добу)} \times 300 \text{ (дів/рік)} \times 10 \text{ (років)}}{70 \text{ (кг)} \times 10950 \text{ (дів)}}$$

$$m_{Hg} = 4 \times 10^{-6} \text{ (мг/кг \times добу)}$$

3. Індекс небезпеки для ртуті дорівнює:

$$HQ_{Hg} = \frac{m_{Hg}}{H_{D(Hg)}} = \frac{4 \times 10^{-6} \text{ (мг/(кг \times добу))}}{3 \times 10^{-4} \text{ (мг/(кг \times добу))}} = 0,013$$

4. Сумарний індекс небезпеки розраховуємо за формулою 8 :

$$HQ_t = HQ_{Cd} + HQ_{Hg} = 0,016 + 0,013 = 0,029 \ll 1$$

**Висновок: ризик загрози здоров'ю відсутній.**