

УДК 665.9: 547.1

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ВПЛИВУ ТОКСИЧНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН НА ОКРЕМІ КОМПОНЕНТИ СКЛАДОВІ ДОВКІЛЛЯ

Козловська Т. Ф.,

канд. хім. наук, доцент

Сиволожська В. М.,

викладач-методист

Давітая О. В.,

викладач-методист

Панченко В. І.,

викладач-методист

Кременчуцький льотний коледж

Харківського національного університету внутрішніх справ

Анотація. Розглянуто питання забруднення харчових продуктів як складової компонентів навколишнього природного середовища небезпечними хлорорганічними сполуками, що накопичуються як наслідок попередньо обробки при вирощування тваринної і рослинної продукції, так і як результат додаткового хімічного впливу під час трансграничного переносу цих речовин із зон бойових дій. Визначено величини ризиків впливу на формування різноманітного типу захворювань у людей під дією небезпечних хімічних речовин.

Ключові слова: хлорорганічні сполуки, екологічний ризик, взаємозв'язок, захворювання, математичні моделі.

В умовах екстремальних ситуацій, численних стресових і негативних екологічних ситуацій особливого значення набуває забруднення токсичними органічними речовинами всіх складових навколишнього природного середовища під час військових дій. В атмосферне повітря, природні води, ґрунти надходять сотні шкідливих хімічних речовин, що призводить і призвело до незворотних змін у зовнішньому середовищі, до порушення клітинного

метаболізму рослинності і тварин. Безпосередньо це стосується людей та ймовірності зростання рівня захворюваності на уражених війною територіях, а опосередковано – внаслідок переносу токсичних речовин через межі поділу складових навколишнього природного середовища.

Проблема виявлення взаємозв'язків між шкідливими чинниками довкілля та рівнем загальної захворюваності населення дозволяє вести мову про екотрофологічну складову екологічного ризику, оскільки на теперішній час не має чіткої уяви про справжній механізм впливу хімічних забруднювачів і виникнення різноманітного типу захворювань [1].

В умовах війни важливого значення набувають знання про якість споживаних харчових продуктів, умови вирощування, зберігання, оскільки забруднення природних вод, а й відповідно питної води, повітряного басейну, ґрунтів, і як наслідок – харчових продуктів, впливають на стан здоров'я людей.

Окрім зазначеного вище, у продуктах харчування рослинного і тваринного походження побічні речовини у залишкових кількостях можуть виявлятися і як результат лікувально-профілактичного оброблення тварин різними препаратами, під час уживання тваринами кормів, які містили консерванти, антиокислювачі, стимулятори продуктивності, регулятори біологічних функцій і процесів, а також кормів, що були оброблені фунгіцидами, акарицидами, гербіцидами та іншими речовинами [1]. Техногенне забруднення продуктів тваринного походження є суттєвим в зонах бойових дій, біля транспортних магістралей, що пов'язано з накопиченням у ґрунтах, воді, повітрі та рослинах різних токсично небезпечних хімічних речовин.

Залишається актуальним і залишкове забруднення харчових продуктів сильнодіючими отруйними речовинами, що містять хлор, – хлор-суміш, γ -ізомер гексахлорциклогексану; високо токсичними – дихлоретан, гексахлорбутадиєн, тіодан, поліхлоркамфен; середньо токсичними – ДДТ, ДДД, поліхлорпінен, поліхлорбутан. Більшість з них мають виражені кумулятивні властивості з гонадотоксичною, мутагенною, канцерогенною дією [2, 3]. Хлорорганічні сполуки є чинниками ризику виникнення вроджених вад

розвитку.

Мета даного дослідження – визначення токсико-екологічного впливу зазначених вище речовин і встановлення взаємозв'язків між їх вмістом і ймовірністю формування захворювань різноманітної етіології.

Будь-які, навіть мінімальні рівні територіального навантаження цих речовин, є критичними для всіх нозологічних груп захворювань. Але, чіткого взаємозв'язку виявити не вдалося, оскільки залежності розподілу речовин і впливу не носять лінійного характеру.

Отже, хлорорганічні сполуки становлять екологічну небезпеку, з огляду на їхню стійкість у навколишньому середовищі, чималий період напіврозкладу та здатність до циркуляції у компонентах навколишнього природного середовища.

Контроль за вмістом залишкових кількостей хлоровмісних сполук у харчових продуктах здійснюється шляхом систематичного нагляду, а також використанням при обробці сільськогосподарських рослин, тварин, птиці та фуражних культур.

Найбільш розповсюдженим методом вилучення отрутохімікатів з проб води, ґрунтів продуктів харчування, біологічних середовищ є екстракція органічними розчинниками. Загальна схема аналізу на вміст мікрокількостей отрутохімікатів складається з декількох етапів: вилучення препарату з проби, що досліджується; очистки екстракту; якісного визначення наявності препарату у пробі; кількісного визначення фізико-хімічними, ензимними або біологічними методами [1]. Схема проведення аналізу наведена на рис. 1.

Загальна спільна математична залежність для розрахунку величини надходження вступу хімічної речовини має вигляд [4–6] вид :

$$I = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \quad (1)$$

де I – надходження вступ (кількість хімічної речовини на межі кордоні обміну), мг/кг маси тіла·доба; C із – концентрація хімічної речовини; середня концентрація, що впливає в період експозиції; CR – величина контакту;

кількість забрудненого середовища середі, що контактує з тілом людини в одиницю часу або за один випадок дії; EF – частота дій, кількість діб/рік; ED - тривалість дії, кількість років; BW – маса тіла: середня маса тіла у період експозиції, кг; AT – час усереднення; період усереднення експозиції, кількість днів.

Величина цільового ризику для умов населених місць може знаходитися перебувати в діапазоні 10^{-5} – 10^{-6} [4, 7].

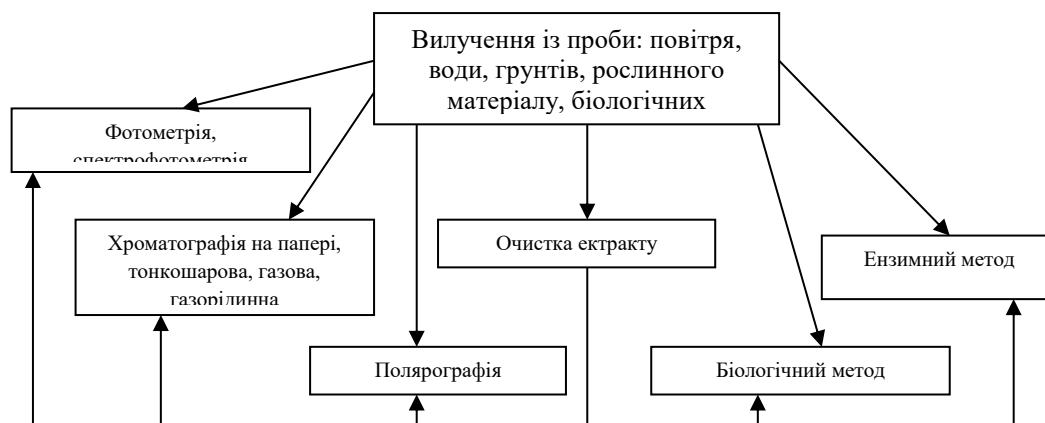


Рис. 1. Схема проведення аналізу залишкових кількостей токсичних органічних сполук

За визначенням, експозиція – це вплив шкідливого для здоров'я хімічного чи фізичного агента. Величина впливу визначається кількістю агента, що надходить до організму людини через шкіру, легені чи з їжею протягом визначеного проміжку часу [2, 3].

$$E = CC \cdot CR \cdot ED \quad (2)$$

де E – величина експозиції; CC – концентрація шкідливої речовини; CR - швидкість надходження шкідливої речовини; ED – тривалість впливу.

Для оцінки ступеня ризику для здоров'я при хронічному впливі канцерогенів чи просто хімічних токсинів на людину застосовують основне експозиційне рівняння:

$$LADE = \frac{E}{BW \cdot LT} \quad (3)$$

де LADE – щоденна експозиція усереднена за масою тіла та тривалістю життя ;

BW – маса тіла; LT – середня тривалість життя.

У в, біля деяких літературних джерелах [4, 5] синонімом експозиції є "контрольована доза".

Експозицію визначають як кількість речовини на одиницю маси (наприклад, міліграм), швидкість зміни кількості речовини в одиницях маса/рік (наприклад, міліграм/доба), швидкість, що нормується на масу тіла (маса речовини на кг маси тіла за добу (наприклад, мг/кг·доба)) [5, 6].

Щоденна експозиція (LADE) – швидкість зміни кількості речовини, що нормується за масою тіла, [мг/кг·доба]. При кількісних розрахунках і моделюванні експозиційних сценаріїв LADE часто заміняють тотожним терміном EED – оцінена експозиційна доза [6].

Концентрація шкідливих речовин (CC) – це концентрація речовини, що міститься у середовищі (повітрі, воді, ґрунті, їжі), яка взаємодіє з організмом людини й обумовлена типом експозиційного маршруту (інгаляційний, пероральний, шкіряний). Одиниці виміру: [маса/об'єм] чи [маса/маса].

Швидкість надходження шкідливої речовини (CR) – це кількість шкідливої речовини, що надійшла вчинилидо організму людини за одиницю часу. Ця кількість залежить від "маршруту експозиції" та визначається природними або антропогенними чинниками факторами: вік, стать, професійна активність, раціон і режим харчування. Одиниці виміру: [маса/рік] чи [об'єм/рік].

Тривалість впливу (ED) – це час, на протязі якого шкідлива речовина надходить до організму та впливає на орган-мішень враховуючи його адаптивні властивості [2, 3].

Розглянемо пероральну модель [2] (при споживанні їжі) формування експозиційної дози хімічного впливу. Інтегральне експозиційне рівняння для цієї моделі має такий вигляд вид:

$$LAFIE(ED) = \frac{CC}{LT} \int_{t_0}^{t_0+ED} \frac{ICR(t)}{BW(t)} dt \quad (4)$$

де LAFIE(ED) – щоденна експозиція при споживанні харчових продуктів,

усереднена за масою тіла та тривалістю життя ; CC – концентрація агента у досліджуваних в,біля продуктах харчування , мг/кг; ICR – добовий раціон харчування ; ED – тривалість впливу ; BW – маса тіла; LT – середня тривалість життя ; t – час.

При конкретному раціоні харчування це рівняння можна перетворити :

$$LAFIE(ED) = \frac{CC}{LT \cdot 365} \cdot ED \sum_{A=A_0}^{A=A_0+ED} \frac{ICR(A)}{BW(A)} \quad (5)$$

де $LAFIE(ED)$ – щоденна експозиція при споживанні харчових продуктів, усереднена за масою тіла та тривалістю життя ; CC – концентрація агента у досліджуваних в,біля продуктах харчування ; ICR – середньодобовий раціон харчування при відомому сумарному наборі продуктів, г/доба; ED – тривалість впливу, доба; BW – маса тіла, кг; LT – середня тривалість життя , років (365 днів у в,біля році) [4, 6].

Кінетика токсичної речовини в біологічних об'єктах у значній мірі значною мірою підкоряється експоненціальній залежності, яку, в загальному спільному вигляді виді , можна записати як [7]:

$$A_t = A_{t_0} \exp \lambda(t - t_0) , \quad (6)$$

де A_t – концентрація токсичної речовини в органі або в усьому організмі у момент часу t ; A_{t_0} – концентрація токсичної речовини в органі або в усьому організмі у початковий момент часу t ; λ – коефіцієнт виведення (виділення) з організму, що пов'язаний з часом згодом половини життя ксенобіотика у навколишньому середовищі T співвідношенням

$$T = \frac{\lambda}{0,693} . \quad (7)$$

Прийнята у США й європейських країнах [2–6], на основі цих підходів, система розрахунку екологічного ризику допускає передбачає використання наступного слідуючого рівняння:

$$R = [1 - \exp(-UR \cdot C)] , \quad (8)$$

де R – ризик виникнення несприятливого ефекту, що визначається як ймовірність ймовірність (у долях одиниці) виникнення цього ефекту за заданих

умов; $C_{із}$ – реальна концентрація або доза речовини, що завдає робить, виявляє,чинить шкідливу дію; UR – одиниця ризику, що визначається як чинник фактор (коефіцієнт) пропорції ризику залежно від значення діючої концентрації (дозы).

Моделі розрахунку оцінки ризику для здоров'я людини, моделі розрізняються за типом захворювання: канцерогенні та неканцерогенні захворювання [6].

Для оцінки ймовірності прояву вияву неканцерогенного ризику враховується співвідношення між хронічною дією (мг/кг/доба) та дією, що не надає робить,виявляє,чинить шкідливого ефекту, безефектна дія виказується,висловлюється (мг/кг/доба).

$$\text{Ймовірність}_{\text{ прояву}_{\text{ ризику}} = \frac{\text{Хронічна}_{\text{ дія}}_{\text{ (мг / кг / доба)}}}{\text{Безефектна}_{\text{ дія}}_{\text{ (мг / кг / доба)}}} \cdot (9)$$

Ймовірність прояву вияву ризику виражається виказується,висловлюється у безрозмірних величинах типу $n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-6}$, тобто як число випадків на 10 або 1000000 чоловік.

Оцінка токсичного ризику негативного ефекту розраховується у вигляді ймовірності надмірного надлишкового ризику виникнення захворювання.

$$\text{Ймовірність}_{\text{ надлишкового}_{\text{ токсичного}_{\text{ ризику}} = [\text{потенціал}_{\text{ захворювання}}_{\text{ (мг / кг / доба)}}^{-1}] \cdot [\text{хронічна}_{\text{ дія}}_{\text{ (мг / кг / доба)}}] \cdot (10)$$

Потенціал захворювання розраховується на підставі еколого-токсикологічних досліджень над із лабораторними тваринами і їх результати перераховуються на людину використовуючи параметри факторів ваги людини і тварини з їх площею майдану поверхні [1, 7].

Детальний аналіз літературних даних показав, що оцінку ризику при розв'язанні поставлених цілей, необхідно розглядати як розрахунок середньодобової дози. При нормуванні допустимого вмісту ДДТ та γ -ГХЦГ використовують ADD для попередження розвитку негайних токсичних ефектів.

Таблиця 1

**Математико-прогностичне визначення середньорічної дози
надходження хлорорганічних речовин до організму людини з продуктами
харчування рослинного походження**

Речовина	Продукт харчування	Середньорічна доза, [ADD] мг/кг·роки	Математично-прогностична модель середньорічної дози	Середньорічна доза за математико-прогностичною моделлю, [D _{ср}] мг/кг·роки	Математично-прогностична модель середньорічної дози за величиною D _{ср}
γ-ГХЦГ	Родзинки	$1,24 \cdot 10^{-3}$	$y = -0,0201x^3 + 0,1514x^2 - 0,3424x + 1,1657$	1,1653	$y = 7 \cdot 10^{-6}x^3 - 5 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0001x + 1,1653$
	Чорно-слив	$1,34 \cdot 10^{-3}$	$y = -0,0073x^3 + 0,0271x^2 + 0,1063x + 1,0073$	1,0074	$y = -8 \cdot 10^{-7}x^3 + 3 \cdot 10^{-6}x^2 + 1 \cdot 10^{-5}x + 1,0074$
	Сухі яблука	$0,41 \cdot 10^{-3}$	$y = +0,0103x^3 - 0,0934x^2 + 0,3263x + 0,0918$	0,0919	$y = 3 \cdot 10^{-6}x^3 - 3 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0001x + 0,0918$
	Курага	$1,34 \cdot 10^{-3}$	$y = -0,0097x^3 + 0,1112x^2 - 0,5299x + 2,1397$	2,1390	$y = 4 \cdot 10^{-6}x^3 - 5 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0002x + 2,1386$
	Банан	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$y = -0,3785x^3 + 3,1795x^2 - 10,344x + 13,753$	10,133	$y = 0,3916x^3 - 3,2892x^2 + 10,7x - 0,4783$
	Ківі	$2,64 \cdot 10^{-1}$	$y = -0,0379x^3 + 0,5445x^2 - 3,3631x + 9,3816$	8,4938	$y = 0,0506x^3 - 0,4626x^2 + 1,8914x + 5,6409$
ДДТ	Сухі яблука	$4,12 \cdot 10^{-4}$	$y = +0,1026x^3 - 0,9315x^2 + 3,2626x + 0,9675$	0,9688	$y = 3 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0003x^2 + 0,0011x + 0,9678$
	Курага	$1,34 \cdot 10^{-3}$	$y = -0,0073x^3 + 0,0859x^2 - 0,4269x + 2,0147$	2,0141	$y = 3 \cdot 10^{-6}x^3 - 4 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0002x + 2,0139$
	Родзинки	$1,26 \cdot 10^{-3}$	$y = -0,0266x^3 + 0,2189x^2 - 0,6252x + 1,5593$	1,5585	$y = 2 \cdot 10^{-5}x^3 - 0,0001x^2 + 0,0004x + 1,5583$
	Чорно-слив	$5,72 \cdot 10^{-4}$	$y = -0,0357x^3 + 0,1518x^2 + 0,3498x + 4,4354$	4,4356	$y = -1 \cdot 10^{-6}x^3 + 5 \cdot 10^{-6}x^2 + 1 \cdot 10^{-5}x + 4,4356$

Математичні перетворення дозволяють застосовувати наступні формули для прогнозування ризику виникнення негативних ефектів при забрудненні харчових продуктів з урахуванням класу небезпеки речовини. Такі пестициди, як ДДТ і γ-ГХЦГ, належать до першого класу небезпеки, тому ймовірність виникнення несприятливих наслідків розраховується за математичним виразом [7]:

$$I_{\text{мов}} = -9,15 + 11,66 \cdot \lg\left(\frac{C}{ADD}\right). \quad (11)$$

При вивченні впливу токсичної речовини на здоров'я людей роль незалежної змінної величини відіграє доза цієї речовини (ADD). Функція $q_e(D)$ моделює залежність «доза-відгук» і дає оцінку частоти ризику, що привноситься токсикантом [7]:

$$q_e(D) = 1 - e^{-9,15 \cdot ADD^{11,66}} \quad (12)$$

Слід зазначити, що вплив шкідливих речовин протягом тривалого періоду часу може бути більш негативним, ніж при одноразовому впливі.

Розрахунок одиничних ризиків показав зневажливо малі величини одиничних ризиків – від $1 \cdot 10^{-34}$ до $1 \cdot 10^{-68}$. Однак, самі значення ймовірності шкідливого впливу наближаються до граничних нормативних значень – до 10^{-7} - 10^{-6} за умови споживання свіжих продуктів.

Результати статистичного моделювання уможливили виокремлення 17 нозологічних форм і груп захворювань, що мають сильний кореляційний зв'язок з територіальними навантаженнями хлорорганічними сполуками.

Для розрахунку критичного навантаження використовують рівняння регресії із урахуванням середньорічної дози надходження речовин до організму людини. У наших розрахунках було виокремлено чотири нозологічні форми, що можуть виникати при забрудненні хлорорганічними сполуками харчових продуктів.

Оцінка шкідливого впливу хлороорганічних речовин за величинами критичних навантажень показала достовірний взаємозв'язок з імовірністю виникнення певних видів захворювань (табл. 2).

Розрахунки вказують на значну роль хлорорганічних пестицидів у формуванні сумарних критичних рівнів навантажень. Будь-які, навіть мінімальні, рівні територіального навантаження цих препаратів є критичними для всіх, розглянутих нами, нозологій і груп захворювань.

Таблиця 2

**Імовірність виникнення захворювань під дією харчових продуктів
рослинного і тваринного походження із хлоровмісними
органічними речовинами**

Нозологічні форми та групи захворювань	Критичний рівень навантаження	Рівняння регресії: у(х)	Речовина	Продукт харчування	Критичне навантаження за середньорічною дозою	Критичне навантаження за величиною D _{фр} математико-прогностичної моделі
1	2	3	4	5	7	9
Хронічний фарингіт, назофарингіт, синусит	3,38	0,32х – 1,08	ГХЦГ	Сир	-1,0791	1,1346
				Молоко	-1,0336	-0,259
				Родзинки	-1,0796	-0,7071
				Чорнослив	-1,0796	-0,7576
				Сухі яблука	-1,0799	-1,0506
				Курага	-1,0796	-0,3955
				Банан	-0,9679	2,1626
			ДДТ	Ківі	-0,9955	1,638
				Сухі яблука	-1,0799	-0,77
				Курага	-1,0796	-0,4355
				Родзинки	-1,0796	-0,5813
Хронічні хвороби мигдалин та аденоїдів	0,83	53,05х – 44,25	ГХЦГ	Чорнослив	-1,0798	-0,3394
				Сир	-44,1	322,88
				Молоко	-36,558	91,849
				Родзинки	-44,184	17,569
				Чорнослив	-44,179	9,1926
				Сухі яблука	-44,228	-39,375
				Курага	-44,179	69,224
			ДДТ	Банан	-25,659	423,31
				Ківі	-30,245	406,35
				Сухі яблука	-44,228	7,14
				Курага	-44,178	62,598
Неврози, психопатії	4,0	0,06х – 0,24	ГХЦГ	Родзинки	-44,183	38,428
				Чорнослив	-44,219	91,06
				Сир	-0,2398	0,1752
				Молоко	-0,2313	-0,0861
				Родзинки	-0,2399	-0,1701
				Чорнослив	-0,2399	-0,1796
				Сухі яблука	-0,2399	-0,2345
			ДДТ	Курага	-0,2399	-0,1117
				Банан	-0,2189	0,368
				Ківі	-0,2242	0,2696
				Сухі яблука	-0,2399	-0,1819
Різні форми розумової відсталості	0,41	9,23х – 3,83	ГХЦГ	Курага	-0,2399	-0,1192
				Родзинки	-0,2391	-0,1465
				Чорнослив	-0,2399	-0,0261
				Сир	-3,8039	60,046
				Молоко	-2,4917	19,849
				Родзинки	-3,8186	6,9257
				Чорнослив	-3,8177	5,4683
			ДДТ	Сухі яблука	-3,8262	2,9818
				Курага	-3,8176	15,913
				Банан	-0,5954	69,698
				Ківі	-1,3933	64,568

Отже:

1) середньорічна доза надходження γ -ГХЦГ та ДДТ із сушеними продуктами рослинного походження набагато менша, ніж зі свіжими;

2) одиничний ризик при споживанні засушених продуктів рослинного походження у даних дозах є незначним, але при споживанні свіжих – існує ризик виникнення негативних наслідків;

3) ймовірність виникнення негативних наслідків може бути незначною, оскільки величина апроксимації імовірності виникнення негативних наслідків не перевищує 0,39. Більш точного взаємозв'язку виявити не вдалося.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Димань Т. М., Барановський М. М., Білвський Г. О. та ін. Екотрофологія. Основи екологічно безпечного харчування : навч. посібник. Київ : Лібра, 2006. 304 с.
2. Лисиченко Г. В., Забулонов Ю. Л., Хміль Г. А. Природний, техногенний та екологічний ризики : аналіз, оцінка, управління : наукове видання. Київ : Наукова думка, 2008. 537 с.
3. Лисиченко Г. В., Хміль Г. А., Барбашев С. В. Методологія оцінювання екологічних ризиків : монографія. Одеса : «Астропринт», 2011. 367 с.
4. Аверін Г. В., Звягінцева Г. В., Данілкина В. Л. і ін. Методика оцінки екологічних ризиків при забрудненні навколишнього природного середовища Київ : Проект, 2008. 40 с.
5. Качинський А. Б. Безпека, загрози і ризик : наукові концепції і математичні методи. Київ, 2003. 472 с.
6. Онищенко Г. Г., Новіков С. М., Рахманін Ю. А. і ін. Основи оцінки ризику для здоров'я населення при впливі хімічних речовин, що забруднюють навколишнє середовище. НДІЕЛ і ДОС, 2002. 408 с.
7. Солошич І. О., Козловська Т. Ф. Екологічний ризик : навчальний посібник. Харків : «Друкарня Мадрид», 2015. 276 с.