

DETERMINATION OF CARCINOGENIC HEALTH RISK FROM CHLOROFORM OF DRINKING WATER AT INHALATION AND CUTANEOUS ENTRY INTO THE ORGANISM WITH THE USE OF SIMPLIFIED CALCULATION FORMULAS

Lypovetska O.B., Prokopov V.O., Antomonov M.Yu.

ВИЗНАЧЕННЯ КАНЦЕРОГЕННОГО РИЗИКУ ЗДОРОВ'Ю ВІД ДІЇ ХЛОРОФОРМУ ПИТНОЇ ВОДИ ЗА ІНГАЛЯЦІЙНОГО ТА НАШКІРНОГО НАДХОДЖЕННЯ ДО ОРГАНІЗМУ З ВИКОРИСТАННЯМ СПРОЩЕНИХ РОЗРАХУНКОВИХ ФОРМУЛ



**ЛИПОВЕЦЬКА О.Б.,
ПРОКОПОВ В.О.,
АНТОМОНОВ М.Ю.**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України»

Оцінка ризику для здоров'я людини – це процес встановлення ступеня впливу факторів середовища у розвитку несприятливих наслідків для здоров'я людини та майбутніх поколінь. Оцінка ризику від дії хімічних канцерогенів, зокрема питної води, відбувається поетапно та передбачає розрахунок індивідуального канцерогенного ризику для кожної такої речовини під

час надходження різними шляхами (пероральним, інгаляційним, нашкірним).

Небезпечними речовинами питної води є хлороорганічні сполуки, що утворюються під час її хлорування, передусім хлороформ, який за класифікацією МАВР належить до групи 2В як імовірний канцероген для людини [1]. Його вміст у питній воді із поверхневих джерел у різних населених

ВИЗНАЧЕННЯ КАНЦЕРОГЕННОГО РИЗИКУ ЗДОРОВ'Ю ВІД ДІЇ ХЛОРОФОРМУ ПИТНОЇ ВОДИ ЗА ІНГАЛЯЦІЙНОГО ТА НАШКІРНОГО НАДХОДЖЕННЯ ДО ОРГАНІЗМУ З ВИКОРИСТАННЯМ СПРОЩЕНИХ РОЗРАХУНКОВИХ ФОРМУЛ

Липовецька О.Б., Прокопов В.О., Антомонов М.Ю.

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ

Мета роботи. Розробити спрощені формули розрахунку канцерогенного ризику для здоров'я за інгаляційного та нашкірного надходження хлороформу питної води до організму людини.

Матеріалита методи. Середні добові дози за перорального, інгаляційного та нашкірного надходження хлороформу з питною водою до організму людини розраховували згідно з Р.2.1.10.1920-04 та МВ 2.2.4-122-2005. Розрахунок канцерогенних ризиків здійснювали з урахуванням добової дози надходження хімічної речовини протягом життя та фактора нахилу. Математичні розрахунки виконувалися за допомогою пакета програм STATISTICA 10 portable.

Основні результати. У розрахунках канцерогенних ризиків формули визначення середньої добової дози за інгаляційного та нашкірного шляхів надходження канцерогена до організму людини є більш складними порівняно з пероральним шляхом з додатковими розрахунками, довідковими величинами, коефіцієнтами тощо. Тому нами було розроблено спрощений метод його оцінки.

Для опису залежності канцерогенного ризику за інгаляційного та нашкірного шляхів надходження від концентрації хлороформу (пріоритетного серед інших хлороорганічних сполук у воді) було обрано лінійні регресійні моделі. Оцінка отриманих результатів за значеннями коефіцієнтів кореляції (R , R_I), критерію Фішера (F , rF) та похибок коефіцієнтів (p) показала, що обидві моделі були адекватними вихідним даним з дуже високим ступенем достовірності.

Висновки. У результаті проведеного дослідження отримано вирішення проблеми оцінки канцерогенного ризику здоров'ю від надходження хлороформу з питною водою інгаляційним та нашкірним шляхами за допомогою спрощених математичних формул лінійної залежності. Перевагою запропонованого методу вирішення є швидкість та простота отримання значення індивідуального канцерогенного ризику для населення різних міст України за кожного шляху надходження до організму залежно від вмісту хлороформу у питній воді. Це дозволить застосувати оцінку ризиків для порівняльної оцінки впливу хлороформу питної води на різних територіях, у різні періоди часу до та після проведення профілактичних заходів, для порівняння ефективності впровадження нових технологічних процесів та устаткування тощо.

Ключові слова: канцерогенний ризик, хлороформ, питна вода, інгаляційний та нашкірний шляхи, лінійні регресійні моделі.

DETERMINATION OF CARCINOGENIC HEALTH RISK FROM CHLOROFORM OF DRINKING WATER AT INHALATION AND CUTANEOUS ENTRY INTO THE ORGANISM WITH THE USE OF SIMPLIFIED CALCULATION FORMULAS
Lypovetska O.B., Prokopov V.O., Antomonov M.Yu.

SI «O.M. Marzieiev Institute for Public Health, National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv

Objective: We developed the simplified formulas for the calculation of carcinogenic risk in case of inhalation and cutaneous entry of drinking water chloroform into the human body.

Materials and methods: We calculated average daily lifetime doses for the oral, inhalation and cutaneous entry of drinking water chloroform into the human body according to the R.2.1.10.1920-04 and MU 2.2.4-122-2005.

The calculation of carcinogenic risks was carried out taking into account the average daily entry of a chemical substance throughout life and the slope factor. Mathematical calculations were performed with the help of the STATISTICA 10 portable software package.

Results: In the calculation of the carcinogenic risks, the formulas for the determination of the average daily dose for the inhalation and cutaneous routes of entry of carcinogen into the human body are more complex in comparison with the oral route with additional calculations, reference values, coefficients, etc. Therefore,

we have developed a simplified method for its assessment. Linear regression models were chosen to describe the dependence of the carcinogenic risk in the inhalation and cutaneous routes of entry on the concentration of chloroform in water. Evaluation of the results obtained by the values of the correlation coefficients (R , RI), Fisher's criterion (F , pF), and errors of the coefficients (p) showed that both models were adequate to the initial data with a very high degree of reliability.

Conclusions: As a result of the study, the solutions of the problem of the assessment of the carcinogenic health risk from the entry of chloroform with drinking water by inhalation and cutaneous routes were obtained with the help of simplified mathematical formulas of linear dependence. The advantage of the proposed solution method is a speed and ease of getting value of the individual carcinogenic risk for the population of various cities of Ukraine for each route of entry, based on the chloroform content in drinking water. This will make it possible to apply risk assessment for a comparative assessment of the impact of chloroform in drinking water at different territories, in different periods of time before and after preventive measures, to compare the effectiveness of the introduction of new technological processes and equipment, etc.

Keywords: carcinogenic risk, chloroform, drinking water, inhalation and cutaneous routes, linear regression models.

пунктах України досить часто перевищує гігієнічний норматив у кілька разів [2]. Ще донедавна оцінка канцерогенного ризику здоров'ю для хлороформу питної води проводилася лише для одного шляху надходження – перорального [3]. Проте нині світовою тенденцією в оцінці ризиків стало визначення канцерогенного ризику за надходження хімічної речовини питної води й іншими шляхами – інгаляційним та нашкірним [4]. Натомість пероральний шлях надходження хімічного канцерогена питної води до організму людини вважається основним, середня добова доза надходження у такому випадку розраховується за формулою, яка є базовою й для розрахунку інгаляційного та нашкірного шляхів його дії на здоров'я людини.

Під час оцінки ризику для інгаляційного та нашкірного

шляхів надходження канцерогена питної води до організму визначають поглинуті дози за більш складними, ніж для перорального шляху формулами, які містять велику кількість додаткових величин, коефіцієнтів та довідкових значень, що подовжує і ускладнює обрахунок та практично унеможливує їх використання на практиці. Тому нами на підставі результатів особистих досліджень хлорорганічних сполук у воді, їх аналізу та оцінки було розроблено спрощені формули визначення таких доз для інгаляційного та нашкірного шляхів надходження. Ці формули було використано у розрахунках для оцінки канцерогенного ризику внаслідок інгаляційного та нашкірного надходження хлороформу з питною водою до організму людини як пріоритетної та найбіль-

шої за рівнем речовини серед інших хлорорганічних сполук.

Мета. Розробити спрощені формули розрахунку канцерогенного ризику для здоров'я за інгаляційного та нашкірного надходження хлороформу питної води до організму людини.

Матеріали і методи. У роботі були використані формули розрахунку середніх добових доз за перорального, інгаляційного та нашкірного шляхів надходження хлороформу з питною водою до організму людини відповідно до Р.2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [5] та МВ 2.2.4-122-2005 «Оцінка канцерогенного ризику для здоров'я населення від споживання хлорованої питної води» [3]. Розрахунок

канцерогенних ризиків здійснювали з урахуванням середньої добової дози надходження хімічної речовини протягом життя та фактора нахилу (фактора канцерогенного

потенціалу). Значення факторів нахилу для хлороформу визначалися відповідно до баз даних IRIS та HEAST US EPA.

Розрахунок індивідуального канцерогенного ризику здійснюється за формулою 1

$$CR = LADD \times SF \quad (1)$$

де LADD – середня добова доза протягом життя, мг/кг • добу;
SF – фактор нахилу, (мг/(кг • добу)⁻¹).

Математичні розрахунки виконувалися за допомогою пакета програм STATISTICA 10 portable.

Результати досліджень. Найбільш простою у використанні є формула розрахунку канцерогенного ризику здоров'ю від дії канцерогена питної води, що надходить пероральним шляхом до організму людини. Ця формула визначає середню добову дозу (LADD), яка розраховується за стандартним рівнянням 2 де LADD – середня добова

$$LADD = \frac{C \times V \times ED \times EF}{BW \times AT \times 365} \quad (2)$$

доза, мг/кг • добу;
C – концентрація хлороформу у воді, мг/л;
V – швидкість надходження питної води до організму, л/добу;
ED – тривалість впливу, роки;
EF – частота впливу, днів/рік;
BW – маса тіла людини, кг;
AT – період усереднення експозиції;
365 – кількість днів у році.

Усі формули середніх добових доз для різних шляхів надходження хімічних речовин питної води мають загальну структуру та містять коефіцієнти, необхідні для переведення одиниць маси, об'єму чи площі. Для кожного шляху надходження хімічної речовини рекомендовані також стандартні значення ступеня контакту, тривалості і частоти впливу [5].

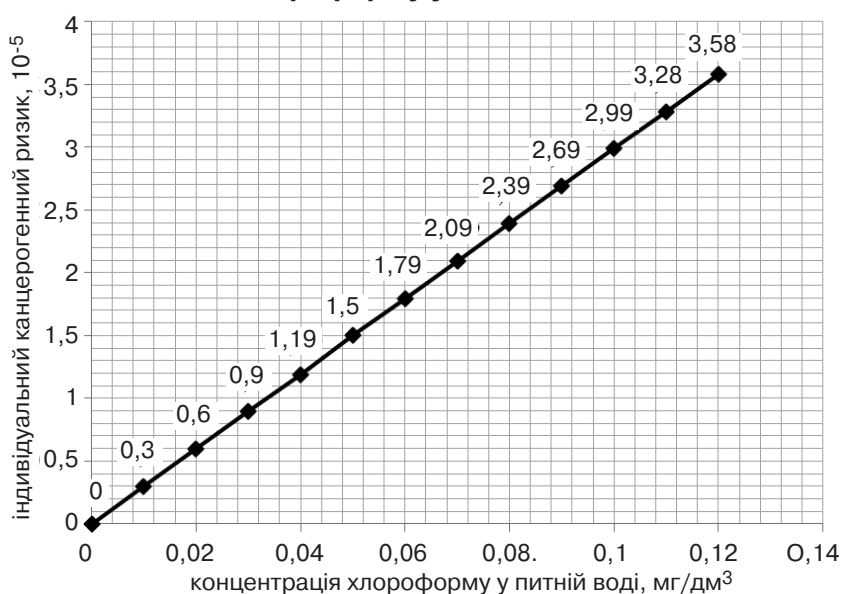
Застосування формули для розрахунку дози хлороформу за перорального шляху надходження до організму з питною водою не потребує знач-

Таблиця 1 Перелік показників, які використовуються у розрахунку поглинутих доз за інгаляційного та нашкірного надходження хлороформу з питною водою [5]

Показники, що використовуються у розрахунку дози за інгаляційного надходження канцерогена	Показники, що використовуються у розрахунку дози за нашкірного надходження канцерогена
Допоміжна величина, що відображає внесок водних процедур у загальне інгаляційне навантаження Допоміжна величина, що відображає внесок питної води (окрім водних процедур) до загального інгаляційного навантаження Ефективність масоперенесення ХОС із води у повітря Температура у квартирі, °К Температура у квартирі, °С Константа закону Генрі*, Па • м ³ /моль Універсальна газова стала* Коефіцієнт дифузії у воду*, см ² /с Коефіцієнт дифузії у повітря*, см ² /с Швидкість вентиляції у спокої, м ³ /кг • год. Швидкість вентиляції за активної діяльності, м ³ /кг • год. Тривалість сну (відпочинку), год. Час, що витрачається на водні процедури, хв./добу Загальний час перебування у житловому приміщенні, год./добу Швидкість вентиляції у ванній кімнаті, м ³ /хв. Швидкість вентиляції у квартирі, м ³ /год. Загальне водокористування, л/год. Водокористування для прийняття водних процедур, л/хв. Маса тіла, кг Молекулярна маса*, г/моль	Абсорбована доза за одну подію на експоновану площу шкіри, мг/см ² -подія Коефіцієнт шкірної проникності, см/год. Молекулярна маса*, г/моль Коефіцієнт розподілу октанол/вода Розчинність речовини у воді* Тривалість однієї події, год./подія Коефіцієнт співвідношення між проникністю крізь роговий шар шкіри та епідерміс Лаг-період на подію, год./подія Коефіцієнт переносу речовини крізь шкіру, см ² /год. Товщина шкірного покриву Час досягнення рівноважного стану, год.

Примітка: * - значення містяться у хімічних довідниках.
Для хлороформу відомості взято на сайті U.S.EPA [6].

Рисунок 1
Залежність величини канцерогенного ризику за інгаляційного шляху надходження від концентрації хлороформу у питній воді



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ ОТ ДЕЙСТВИЯ ХЛОРОФОРМА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ПРИ ИНГАЛЯЦИОННОМ И НАКОЖНОМ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРОЩЕННЫХ РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ

Липовецкая Е.Б., Прокопов В.А., Антомонов М.Ю.

ГУ «Институт общественного здоровья им. А.Н. Марзеева НАМН Украины», г. Киев

Цель работы. Разработать упрощенные формулы расчета канцерогенного риска для здоровья при ингаляционном и кожном поступлении хлороформа питьевой воды в организм человека.

Материалы и методы. Средние суточные дозы при пероральном, ингаляционном и кожном путях поступления хлороформа с питьевой водой в организм человека рассчитывали в соответствии с Р.2.1.10.1920-04 и МУ 2.2.4-122-2005. Расчет канцерогенных рисков осуществляли с учетом средней суточной дозы поступления химического вещества на протяжении жизни и фактора наклона. Математические расчеты выполнялись с помощью пакета программ STATISTICA 10 portable.

Основные результаты. В расчетах канцерогенных рисков формулы определения средней суточной дозы при ингаляционном и кожном путях поступления канцерогена в организм человека являются более сложными по сравнению с пероральным путем с дополнительными расчетами, справочными величинами, коэффициентами и т.п. Поэтому нами был разработан упрощенный метод его оценки. Для описания зависимо-

сти канцерогенного риска при ингаляционном и кожном путях поступления от концентрации хлороформа, как приоритетного среди других хлорорганических соединений в воде, были избраны линейные регрессионные модели. Оценка полученных результатов по значениям коэффициентов корреляции (R , R_I), критерия Фишера (F , pF) и погрешностей коэффициентов (p) показала, что обе модели были адекватны исходным данным с очень высокой степенью достоверности.

Выводы. В результате проведенного исследования получены решения проблемы оценки канцерогенного риска здоровью от поступления хлороформа с питьевой водой ингаляционным и кожным путями с помощью упрощенных математических формул линейной зависимости. Преимуществом предлагаемого метода решения является скорость и простота получения значения индивидуального канцерогенного риска для населения городов Украины при каждом пути поступления в организм, исходя из содержания хлороформа в питьевой воде. Это позволит применять оценку рисков для сравнительной оценки влияния хлороформа питьевой воды на разных территориях, в разные периоды времени до и после проведения профилактических мероприятий, для сравнения эффективности внедрения новых технологических процессов и оборудования и др.

Ключевые слова: канцерогенный риск, хлороформ, питьевая вода, ингаляционный и кожный пути, линейные регрессионные модели.

них витрат часу та складних розрахунків. Водночас визначення дози надходження хлороформу питної води за інгаляційного та нашкірного шляхів здійснюється за більш складними формулами, які мають в основі формулу для розрахунку середньої добової дози, проте доповнені додатковими величинами, коефіцієнтами тощо. Так, для розрахунку надходження до організму хлороформу питної води інгаляційним шляхом необхідно визначити його середню концентрацію у повітрі (мг/м^3). Для цього визначаються допоміжні величини, які відображають внесок питної води загалом та водних процедур окремо до загального інгаляційного навантаження, а також ефек-

тивність масопереносу речовини із води у повітря. У розрахунках використовуються стандартні величини із хімічних довідників, такі як універсальна газова стала, константа закону Генрі тощо, а також стандартні значення швидкості вентиляції, загального водокористування та інші. Під час визначення поглинутої дози хлороформу за нашкірного впливу питної води також проводяться додаткові розрахунки та використовуються довідкові величини (табл. 1).

Для досягнення мети нами було проведено обчислення доз за надходження хлороформу інгаляційним та нашкірним шляхами для різних його концентрацій у питній воді – від 0 до $0,3 \text{ мг/дм}^3$ (0-5

ГДК), а потім з використанням отриманих результатів розраховано індивідуальний канцерогенний ризик. За отриманими значеннями побудовано графіки (рис. 1 та 2).

Зважаючи на графіки, для опису залежностей канцерогенного ризику за інгаляційного (y_i) та нашкірного шляхів надходження (y_n) від концентрацій хлороформу (C) було обрано лінійні регресійні моделі [7-9]:

$$y_i = a_i + b_i C, \quad (3)$$

$$y_n = a_n + b_n C, \quad (4)$$

де a_i , a_n , b_i , b_n – відповідні коефіцієнти.

У процесі моделювання з'ясувалося, що значення вільних членів для регресій (a_i , a_n) були недостовірними ($p > 0,05$), тому їх виключили із моделей. Результати розра-

хунків для моделей 1 та 2 наведено у таблицях 2 і 3.

Враховуючи значення коефіцієнтів кореляції (R, RI), критерію Фішера (F, p_F) та похибок коефіцієнтів (p), можна вважати, що обидві моделі були адекватними вихідним даним з дуже високим рівнем достовірності.

Таким чином, формули для практичного застосування набули такого вигляду:

для інгаляційного шляху надходження хлороформу з питною водою

$$y_i (* 10^{-5}) = 29,86 C, \quad (5)$$

для нашкірного шляху надходження хлороформу з питною водою

$$y_n (* 10^{-5}) = 4,93 C, \quad (6)$$

де C – концентрація хлороформу у питній воді, мг/дм³.

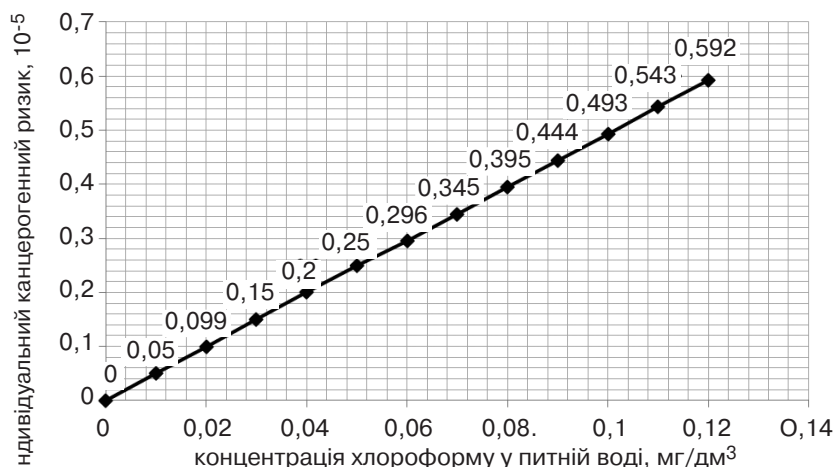
Для верифікації отриманих формул нами було про-

ведено порівняння вибіркового результату індивідуального канцерогенного ризику, розрахованого за стандартними формулами [5] та за удосконаленими нами (табл. 4).

Отримані результати засвідчили, що значення канцерогенного ризику у разі застосування розроблених нами математичних лінійних рівнянь практично не відрізняються від розрахованого ризику за стандартними формулами. Це вказує на те, що використання запропонованих нами формул дозволить уникнути складних розрахунків та полегшить практичну роботу з встановлення канцерогенного ризику від дії хлороформу питної води за різних шляхів його надходження до організму людини.

Рисунок 2

Залежність величини канцерогенного ризику за нашкірного шляху надходження від концентрації хлороформу у питній воді



Таблиця 2

Значення статистичних параметрів моделі за інгаляційного шляху надходження

R=0,99999989 RI=0,99999978 Adjusted RI=0,99999977				
F(1,24)=1097E5 $p_F < 0,0000$ Std. Error of estimate: 0,00276				
Змінна	b	s_b	t_b	P_b
C	29,85777	0,002851	10474,55	<0,001

Таблиця 3

Значення статистичних параметрів моделі за нашкірного шляху надходження

R=0,99999797 RI=0,99999594 Adjusted RI=0,99999577				
F(1,24)=5905E3 $p_F < 0,0000$ Std. Error of estimate: 0,00197				
Змінна	b	s_b	t_b	P_b
C	4,930372	0,002029	2430,034	<0,001

Слід зазначити, що запропоновані нами формули стосуються лише оцінки канцерогенного ризику від хлороформу у питній воді. Для оцінки ризику здоров'ю від інших хімічних сполук необхідно використовувати початкові базові формули.

Вказана обставина нині дещо обмежує практичне застосування запропонованих формул під час оцінки ризику здоров'ю від інших канцерогенів у питній воді. Тому подальші зусилля слід зосередити на проведенні схожої роботи й для інших речовин, які можуть негативно впливати на здоров'я населення.

Висновок

У результаті проведеного дослідження отримано вирішення проблеми оцінки канцерогенного ризику здоров'ю від надходження хлороформу з питною водою інгаляційним та нашкірним шляхами за допомогою спрощених математичних формул лінійної залежності.

Перевагою запропонованого методу вирішення є швидкість та простота отримання значення індивідуального канцерогенного ризику для населення різних міст України за кожного шляху надходження до організму залежно від вмісту хлороформу у питній воді. Це дозволить застосувати оцінку ризиків для порівняльної оцінки впливу ХОС питної води на різних територіях, у різні періоди часу, до та після проведення профілактичних заходів, для порівняння ефективності впровадження нових технологічних процесів та обладнання тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Toxicological profile for chloroform. U.S. department of health and human services Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1997. URL : https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/chloroform_toxicological_profil_tp6_3v.pdf

2. Прокопов В. О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти. К. : Медицина, 2016. 400 с.

3. Оцінка канцерогенного ризику для здоров'я населення від споживання хлорованої питної води : методичні вказівки МВ 2.2.4-122-2005. К., 2006, URL : <http://document.ua/docs/tdoc9152.php>

4. Hrudey S., Backer L., Humpage A., Krasner S. Evaluating evidence for association of human bladder cancer with drinking-water chlorination disinfection by-products. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Part B. 2015. Vol. 18 (5). P. 213-241.

5. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду : руководство Р 2.1.10.1920-04. URL : <https://internet-law.ru/stroyka/text/46715/>

6. Soil Screening Guidance: Technical Background Document. Second Edition U.S. EPA. 1996. URL : <https://semspub.epa.gov/work/HQ/207.pdf>

7. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. 2-е изд. К. : Мединформ, 2018. 579 с.

8. Антомонов М.Ю. Алгоритмизация выбора адекватных математических методов при анализе медико-биологических данных. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2007. Вып. 153. С. 12-23.

9. Антомонов М.Ю. Методика формирования комплексных показателей в эколого-гигиенических исследованиях. *Гигиена и санитария*. 1993. № 7. С. 20-22.

REFERENCES

1. Toxicological Profile for Chloroform. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1997. URL : https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/chloroform_toxicological_profile_tp6_3v.pdf

2. Prokopov V.O. Pytna voda Ukrainy: medyko-ekolohichni ta sanitarno-hihienichni aspekty [Drinking Water of Ukraine: Medico-Ecological and Sanitary-and-Hygienic Aspects]. Kyiv : Medytsyna ; 2016 : 400 p. (in Ukrainian).

3. Otsinka kantserohennoho ryzyku dlia zdorovia naselennia vid spozhyannia khlorovanoi pytnoi vody : metodychni vказivky MV 2.2.4-122-2005 [Assessment of Carcinogenic Risk to Public Health from the Consumption of Chlorinated Drinking Water : Guidelines MV 2.2.4-122-

2005]. Kyiv; 2006. URL : <http://document.ua/docs/tdoc9152.php> (in Ukrainian).

4. Hrudey S., Backer L., Humpage A. and Krasner S. Evaluating Evidence for Association of Human Bladder Cancer with Drinking-Water Chlorination Disinfection By-Products. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Part B. 2015 ; 18 (5) : 213-241.

5. Rukovodstvo po otsenke riska dlia zdorovia naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu : rukovodstvo R 2.1.10.1920-04 [Guidelines for the Assessment of the Risk to Public Health When Exposed to Chemicals Contaminating Environment : Guideline R 2.1.10.1920-04]. URL : <https://internet-law.ru/stroyka/text/46715/> (in Russian).

6. Soil Screening Guidance: Technical Background Document. Second Edition U.S. EPA, 1996. URL : <https://semspub.epa.gov/work/HQ/207.pdf>

7. Antomonov M.Yu. Matematicheskaya obrabotka i analiz mediko-biologicheskikh dannykh. 2-e izd. [Mathematical Processing and Analysis of Medical and Biological Data. 2-nd Ed.]. Kiev : Medinform; 2018 : 579 p. (in Russian).

8. Antomonov M.Yu. Algoritmizatsiya vybora adekvatnykh matematicheskikh metodov pri analize mediko-biologicheskikh dannykh [Algorithmization of the Choice of Adequate Mathematical Methods in the Analysis of Biomedical Data].

Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika. 2007 ; 153 : 12-23 (in Russian).

9. Antomonov M.Yu. Metodika formirovaniya kompleksnykh pokazateley v ekologo-gigiyenicheskikh issledovaniyakh [Methodology for the Formation of Complex Indicators in Ecological-and-Hygienic Research]. *Gigiena i sanitariya*. 1993 ; 7. : 20-22 (in Russian).

Надійшло до редакції 08.11.2020

Таблиця 4

Порівняння результатів визначення індивідуального канцерогенного ризику з використанням стандартних формул та розроблених нами

Концентрація хлороформу у питній воді, мг/дм ³ / кратність перевищення ГДК	Індивідуальний канцерогенний ризик за інгаляційного шляху надходження, 10 ⁻⁵		Індивідуальний канцерогенний ризик за нашкірного шляху надходження, 10 ⁻⁵	
	Розрахований за формулами Р.2.1.10.1920-04	Розрахований за розробленою нами формулою	Розрахований за формулами Р.2.1.10.1920-04	Розрахований за розробленою нами формулою
0,06 / 1 ГДК	1,7913	1,7916	0,2959	0,2958
0,09 / 1,5 ГДК	2,6869	2,6874	0,4439	0,4437
0,12 / 2 ГДК	3,5826	3,5832	0,5919	0,5916
0,15 / 2,5 ГДК	4,4782	4,479	0,7399	0,7395
0,18 / 3 ГДК	5,3739	5,3748	0,8879	0,8874