

О. А. Стискал¹
В. Г. Петрук¹

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ХЛОРОВАНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ

¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто проблему хлорування питної води, зокрема, утворення побічних хлорорганічних сполук, які можуть проявляти канцерогенну, мутагенну та інші дії на організм людини.

Ключові слова: хлорування, хлорорганічні сполуки, тригалогенметани (ТГМ), онкологічне захворювання, канцерогенний ризик, мутагенність, тератогенність, ембріотоксичність, гепатотоксичність.

Вступ

У практиці виробництва питної води в нашій країні, як і у всьому світі, хлорування поки що залишається основним методом знезараження води, тому що на сьогодні воно є найдоступнішим, економічним і ефективним методом дезінфекції. Хлорування дозволяє забезпечити мікробіологічну безпеку води у розподільчій мережі на всьому шляху руху води у будь-який час за рахунок ефекту пролонгованої дії хлору. Однак гігієнічна неадекватність хлорування полягає в низькій вірусцидній та протозооцидній дії, в формуванні хлоррезистентної мікрофлори. Додамо сюди ще побічні продукти, такі як хлорорганічні сполуки, у тому числі тригалометани, що мають канцерогенну, тератогенну та мутагенну властивості. І отримаємо висновок, що хлорування не повною мірою забезпечує епідемічну безпеку та хімічну нешкідливість питної води. А зменшення тривалості життя, у тому числі за рахунок онкозахворювань, одним із факторів яких є надходження канцерогенів з питною водою, змушує розглядати питання якості питної води як надзвичайно актуальне. Це також викликало необхідність включення хлорорганічних сполук (ХОС) до переліку санітарно-токсикологічних показників для постійного контролю у питній воді, який на сьогодні проводиться в багатьох країнах світу. Тому наукові дослідження з цієї проблеми і розробка профілактичних заходів щодо попередження можливого негативного впливу ХОС на організм споживачів має бути пріоритетним завданням держави [1—4].

Результати досліджень

В 1974 р. Рук (J. J. Rook) першим припустив, що наявність ХОС у питній воді пов'язане із присутністю природних органічних сполук — гумінових і фульвових кислот. Хлороформ й інші ХОС були виявлені при хлоруванні водного екстракту торфу, що підтвердило висунуту Руком гіпотезу [5].

В результаті дослідження вченими Британії (інститут Бірмінгема) та Фінляндії методом «випадок-контроль», що були опубліковані на початку 1980-х рр., виявилось, що високий рівень побічних продуктів хлорування збільшує ризик (від 50 до 100 %) появи трьох вроджених вад — дефекту міжшлуночкової перегородки серця, вовчої паші, а також може призводити до аненцефалії [4].

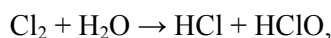
З середини 90-х років в дослідках американських вчених, проведених на мишах, хлороформ при введенні в шлунок викликав як доброякісні, так і злоякісні пухлини печінки, нирок та щитоподібної залози. Чотирихлористий вуглець за різних способів введення мишам та щурам викликав у них пухлини печінки, а при підшкірному введенні — пухлини молочної залози. Серйозну небезпеку для здоров'я людей становлять броморганічні сполуки, які є надзвичайно токсичними і мають виражені кумулятивні властивості. Деякі з них відносяться до 2-го класу небезпеки, зокрема бромформ, дибромхлорметан, які виявляють гепатотоксичну дію, а дихлорбромметан, етиленбромід та ін. відносяться до речовин 1-го класу небезпеки, що мають канцерогенний вплив [4].

Дослідженнями, що проводились в Росії протягом 2003—2004 рр., встановлено, що при використанні хлору для знезараження водопровідної води, хлороформ у побутових умовах впливає на людину не лише ентерально, а й інгаляційним шляхом та через шкіру при контакті з водою. Необхідно підкреслити, що інгаляційний шлях надходження хлороформу в організм за значущістю не

поступається ентеральному. За оцінкою, зробленою канадськими дослідниками, людина орієнтовно отримує з питною водою 32 %, а через повітря та шкіру — 68 % щоденної дози хлороформу [4].

Хлорування здійснюють за допомогою рідкого хлору, або його сполук, що містять активний хлор (гіпохлорит кальцію, хлорне вапно, діоксид хлору, гіпохлорит натрію). Під дією хлору окислюються речовини, що входять до складу протоплазми клітин бактерій, внаслідок чого бактерії гинуть [6].

Рівняння хлорування за допомогою активного хлору [7]



де хлорноватиста кислота HClO не стійка і дисоціює з утворенням хлорит-іона

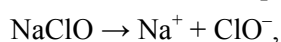


Оскільки у воді присутні гідрокарбонат кальцію та магнію, які зумовлюють твердість, то вони в свою чергу реагують з хлорноватистою кислотою:

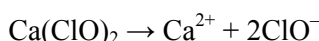


де карбонатна кислота (H_2CO_3) відразу ж розкладається на CO_2 і H_2O .

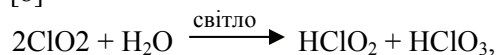
Знезараження може відбуватися і за допомогою гіпохлориту натрію [7]



а також за допомогою гіпохлориту кальцію



за допомогою діоксиду хлору [8]



де HClO_2 теж не стійка і розпадається на такі продукти:



де хлор і вода знову взаємодіють з утворення хлоридної і хлорноватистої кислоти, а остання, відповідно, дисоціює на H^+ і ClO^- . Як бачимо, у всіх випадках хлорування, унаслідок якого бактерії і хвороботворні мікроорганізми гинуть, окисником є хлорит-іон ClO^- .

У питній воді міст багатьох країн світу можна виявити близько 300 ХОС — аліфатичних, зокрема тригалометанів, ароматичних та ін. Сумарна кількість побічних продуктів хлорування може варіювати від 0,1 до 1000 мкг/дм³ [3]. Серед хлорорганічних сполук за кількістю утворення домінує хлороформ (76 %) та трихлоретилен (23 %) [9]. Хлор і хлоровмісні сполуки зумовлюють значний вплив на органолептичні показники води (запах і смак), а у відповідних концентраціях подразнюють слизові оболонки ротової порожнини і шлунка, зумовлюють шкідливий вплив на організм [3].

Більшості ХОС притаманна токсичність та виражені кумулятивні властивості. Для двадцяти із них існують різного ступеня докази канцерогенної активності. Найнебезпечнішими серед них є хлороформ, чотирихлористий вуглець, трихлоретилен, тетрахлоретан, тетрахлоретилен (перхлоретилен), дихлорметан, 1,2-дихлоретан тощо. Деякі з цих сполук мають мутагенні властивості (тетрахлоретан, трихлоретилен, дибромхлорметан, тетрахлоретилен, 1,2-дихлоретан) [3]. Чотирихлористий вуглець, дихлоретан та трихлоретилен чинять гепатотоксичну дію. Трихлоретилен під дією монооксигенази перетворюється на епоксисполуку, яка мимовільно перетворюється в трихлорацетальдегід, що реагує з ДНК і утворює промутагенні речовини. При систематичному впливі подібних хлорвуглеводнів можуть спостерігатися пошкодження центральної нервової системи [10]. Гранично допустимі концентрації таких токсичних сполук, як тригалогенметани, у національних і міжнародних стандартах якості питної води коливаються в широких межах, але це питання ще мало вивчено. Ці межі можуть становити від 1 до 100 мкг/л [3]. Такі сполуки практично не видаляються з води під час проходження через традиційні очисні споруди водопроводів та з питною водою надходять до організму людини [4].

Нормування вмісту побічних продуктів хлорування у питній воді централізованого водопостачання [11—14]

№	Речовина, мкг/л	ЄС	Україна	USEPA	ВООЗ	Росія
1	Чотирихлористий вуглець	—	2	5	—	6
2	1,2-дихлоретан	3	3	5	—	—
3	1,1-дихлоретилен	—	—	7	—	—

Продовження табл.

№	Речовина, мкг/л	ЄС	Україна	USEPA	ВООЗ	Росія
4	Дихлорметан	—	—	5	—	7500
5	Тетрахлоретилен	10	10	5	—	—
6	Трихлоретилен	10	10	5	—	—
7	Загальна сума тригалогенметанів	100	100	80	100	—
8	Хлороформ	—	60	—	200	200
9	Бромдихлорметан	—	—	—	60	30
10	Бромформ	—	—	—	100	100
11	Дибромхлорметан	—	10	—	100	30
12	Дихлороцтова кислота	—	—	60	50	—
13	Трихлороцтова кислота	—	—	60	100	—
14	Дихлорацетоннітрил	—	—	—	90	—
15	Хлорал	—	—	—	10	—
16	Тетрахлоретан	—	—	—	—	200

Як бачимо, в різних країнах нормується вміст не усіх побічних продуктів хлорування у питній воді. При цьому в Україні концентрації цих речовин, затверджених ДСанПіН, безумовно не перевищують світові нормативи.

В цілому, більшість ХОС мають такі загальні особливості:

1. Мають гонадотоксичну (токсичний вплив на статеві органи і залози), гепатотоксичну (функціонально-структурні зміни печінки) та тератогенну дію (зниження життєздатності новонароджених, відносно менша довжина тіла при народженні, повільне збільшення маси тіла, відставання у фізичному розвитку).
2. Сильні алергени. Контакт з ХОС може призвести до сенсibilізації організму і розвитку бронхіальної астми, кропивниці, алергічного риніту, дерматитів, екземи.
3. До ХОС існує індивідуальна і вікова чутливість. Надходження ХОС навіть у незначній кількості в організм осіб з підвищеною чутливістю до їх дії може спричинити гостре або хронічне отруєння [15].

При тривалому надходженні в організм тригалометанів і, перш за все, хлороформу, згідно з матеріалами ВООЗ, найчастіше зустрічається рак товстого кишечника, нирок, печінки і сечового міхура. У дослідженнях Т. І. Ісканової та співавторів (2006 р.) виявлений їх вплив на репродуктивну функцію жінок: підвищення частоти порушень перебігу вагітності, внутрішньоутробного розвитку плоду і поява вродженої потворності [1].

Варто зазначити, що перевищення онкозахворювань серед чоловіків формується за рахунок таких локалізацій: трахея, бронхи і легені; шлунок; пряма кишка; сечовий міхур; нирки; порожнина рота і глотки. У жінок близько третини всіх онкозахворювань припадає на репродуктивну сферу, де домінують злякисні новоутворення молочної залози і тіла матки. Крім того, жінки частіше чоловіків хворіють на рак щитовидної залози і шкіри [1] (мабуть, через те, що жінки мають частіший контакт із водою у побуті).

Встановлено, що на утворення хлороформу при хлоруванні води суттєвий вплив становить доза вихідного і залишкового хлору. За однакового вмісту органічних речовин рівень утворення хлороформу лінійно залежить від дози внесеного і залишкового хлору. Тобто зі збільшенням дози хлору вміст ХОС у оброблюваній воді зростає. При цьому зазначено, що максимальні концентрації хлороформу утворюються у перші 6 год. Через 18 і 24 години його вміст залишається майже на тому ж рівні. За однакових умов (склад вихідної води, доза хлорреагенту, час контакту, температура води) найбільша активність щодо утворення хлороформу та трихлоретилену виявлялась у гіпохлориті натрію. При використанні гіпохлориту натрію та хлорного вапна у водному середовищі окисником є тільки хлорнуватиста кислота, яка має вищий окислювальний потенціал порівняно з гіпохлорит-іоном. Крім того, оброблювана вода підлужнюється, що створює сприятливі умови для утворення ХОС. У разі застосування методу хлорування з преамонізацією хлор у воді знаходиться у зв'язаному стані у вигляді моно- та дихлорамінів [4].

В експериментальних дослідженнях О. В. Зоріної виявлено, що за однакової дози введеного активного хлору та інших рівних умов окисники за своєю спроможністю до утворення ХОС, зокрема хлороформу, розташовуються у такій послідовності: гіпохлорит натрію > хлорне вапно > хлорна вода > хлораміачна вода [9].

Як відомо, джерелом найбільшої кількості ХОС у водному середовищі є органічні речовини, що містяться у воді вододжерела. У процесі хлорування води можуть утворюватися сотні галоген-

носполук, якісний і кількісний склад яких залежить від вихідного вмісту у воді речовин — попередників ХОС. Встановлено, що такими є гумінові кислоти, фульвокислоти, таніни, хінони, дубильна, карбоксильна, лимонна й амінокислоти, Д-глюкоза, вуглеводні, похідні фенолу, аніліну, поверхнево-активні речовини (ПАР), рідше зустрічаються барвники, спирти, ефіри, альдегіди, кетони, екстрацелюлярні продукти життєдіяльності водоростей, у тому числі — синьо-зелених, планктонів і т. п. Відомо, що додатковим джерелом попередників ХОС можуть служити виробничі стічні води, що містять лігніни, смоляні й жирні кислоти [5].

Утворення ХОС із попередників продовжується й після попадання хлорованої води до водогінної мережі, внаслідок чого концентрація цих речовин зростає у міру просування питної води до споживача. Протягом доби вміст ХОС у воді збільшується на 13...15 %, а в подальшому може перевищити вихідне значення майже в 1,5 рази [5].

Сучасні інструментальні методи дозволили виділити й ідентифікувати величезну кількість органічних сполук, які можуть бути попередниками тригалометанів. Американське агентство захисту навколишнього середовища вже в 1978 р. опублікувало список виявлених у річкових водах >1300 індивідуальних речовин, розділених за функціональними ознаками на 112 груп. Більше половини цієї номенклатури (766 одиниць) знайдено в питній воді [5]!

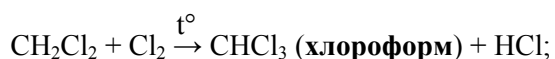
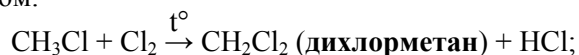
Природні процеси перетворення рослинних та тваринних залишків у водному середовищі (органічні речовини торф'яного, ґрунтового, рослинного та планктонного походження) теж можуть впливати на утворення ХОС. Основним попередником утворення ХОС у питній воді серед органічних речовин природного походження вважають водний гумус. Водний гумус являє собою досить об'ємний ряд сполук, що мають різноманітну реакційну здатність по відношенню до хлору. Гумусові речовини утворюються поліконденсацією флавоноїдів, лігнінів і танінів. Вивчаючи вплив окремих фракцій гумусових речовин (гумінових, фульво- і гуматомеланових кислот) на утворення летких ХОС, встановлено, що при хлоруванні гумінових кислот концентрація хлороформу на 40 % більше, ніж при хлоруванні фульвокислот. Гумінові кислоти взаємодіють з хлором найбільш активно, що сприяє більш високому виходу хлороформу [4].

Установлено, що утворення речовин з мутагенними властивостями пов'язано з середньою молекулярною масою 3300...7900 (калібрування за Декстраном). Деякими авторами доведено, що основними джерелами мутагенів прямої дії є розчинні органічні речовини з молекулярною масою >2000. Кількість мутагенактивних інгредієнтів, що виникають, залежить як від концентрації гумусових фракцій у воді, так від дози хлоруючого реагенту. Мутагенна активність води корелюється з вмістом у ній *гумусових кислот* (ГК) і *фульвокислот* (ФК) і залежить від пори року: нижче влітку, трохи вище навесні й помітно вище восени [5].

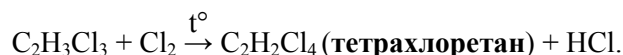
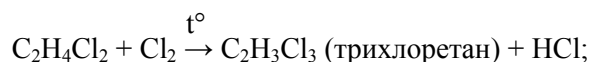
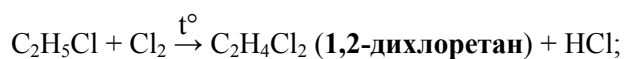
Наявність попередників не є єдиною причиною появи ХОС в питній воді. Ситуація погіршується ще й тим, що вода, яка надходить на водопровідні станції, часто вже містить хлороформ й інші ХОС, що утворилися при знезаражуванні хлором очищених стоків, які потім були скинуті в водоймище. Частка цих сполук у воді, яка надходить до обробки на очисні водопровідні споруди, може сягати 20...30 % [4, 5].

Установлено, що при хлоруванні води різних джерел в реакцію заміщення, окиснення або приєднання із хлором вступає від 10 до 90 % органічних речовин і практично неможливо передбачити кількісний і якісний склад продуктів, що утворюються при обробці води дезінфікантами, хоча спроби теоретичного прогнозу вже зроблені [5].

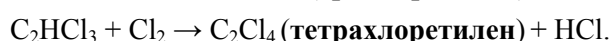
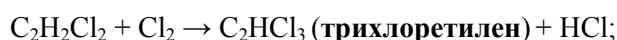
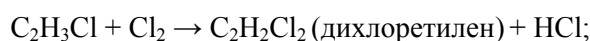
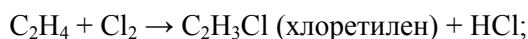
Нижче наведені деякі найпростіші приклади рівнянь можливого утворення шкідливих побічних продуктів хлорування, в результаті взаємодії хлору з речовинами, які можуть потрапити на станції водоочистки ще до етапу хлорування. Для утворення дихлорметану, хлороформу та чотирьохлористого вуглецю у воді ще до хлорування повинен міститися хлорметан (CH₃Cl), який буде вступати у реакцію заміщення з хлором:



Для утворення 1,2-дихлоретану та тетрахлоретану вода на вході у хлораторну вже має містити як мінімум хлоретан (C₂H₅Cl), який теж буде вступати у реакцію заміщення з хлором:



Для утворення трихлоретилену і тетрахлоретилену у воді ще до хлорування повинен міститися етилен (C_2H_4) або хлоретилен ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$), які знову ж таки будуть вступати у реакцію заміщення з хлором:



Для вивчення залежності утворення хлороформу від природи органічних речовин С. В. Шушковська хлорувала ряд сполук різних класів (вуглеводні, спирти, леткі та нелеткі феноли, вуглеводи, амінокислоти, детергенти). Результати переконливо свідчили про вплив хімічної природи речовин на інтенсивність утворення хлороформу (за однакової дози хлору та кількості органічного вуглецю). Так, наприклад, виявлено високу активність до утворення хлороформу у резорцина. В той же час речовини, що містять органічний азот (синтамід, глютамінова кислота, сечовина), практично не утворюють хлороформ або утворюють його у дуже невеликих кількостях [4].

За даними літератури, під час досліджень деякі гумусові речовини (пірогаллол, катехін, індол, 1,2-циклогександіон, гідрохінон, хінон та ін.) в нейтральному середовищі не виявили здатності до утворення хлороформу при обробці їх хлором. Але в лужному середовищі за тих же концентрацій та умов хлорування відбувається утворення хлороформу. Утворення летких ХОС відбувається шляхом чергування реакцій галогенування та гідролізу, перша з яких проходить досить швидко. В кислому середовищі легко відбувається монохлорування. Галогенування, що каталізується основами, дає більшою мірою полігалогеновані сполуки. При цьому хлорпохідні, що утворились в лужному середовищі, є дуже нестійкими сполуками і підлягають галоформному розщепленню з утворенням тригалометанів. Таким чином, основи не лише каталізують галогенування карбонільних сполук, а й викликають розрив С–С зв'язку. Кислоти не мають подібної дії. Це і лягає в основу виявленого значущого зв'язку між величиною показника рН вихідної води та кількістю хлороформу, що утворюється [4].

Напрямок цих рівноважних реакцій залежить від значення рН середовища. Якщо $\text{pH} < 2$, весь хлор знаходиться в молекулярній формі. При $\text{pH} = 5$ відбувається утворення хлорнуватистої кислоти, вільний хлор відсутній. Коли $\text{pH} > 10$, хлор переходить у форму гіпохлорит-іона (ClO^-). В інтервалі значень рН від 5 до 10, що зазвичай відповідає умовам хлорування води, в середовищі присутня суміш хлорнуватистої кислоти та гіпохлорит-іонів. Співвідношення між ними залежить від величини рН. Виходячи з цього, можна стверджувати, що утворення хлороформу при водопідготовці сприяють гіпохлорит-іони, кількість яких збільшується з підвищенням рН. Хлор в молекулярній формі не утворює хлороформ [4].

Згідно з нормативними актами нашої країни питна вода не має містити ТГМ в сумі більше 100 мкг/дм^3 , хлороформ — більше 60, дибромхлорметан — більше 10 та чотирихлористий вуглець — більше 2 мкг/дм^3 . Але на теперішній час, приймаючи до уваги нові наукові дані про вплив хлорованої питної води на здоров'я населення, спостерігається зниження величини гранично допустимих концентрацій ХОС. Наприклад, агентство захисту навколишнього середовища США прийняло норму для суми даних сполук 80 мкг/дм^3 і планує подальше її зниження до 40 мкг/дм^3 [4].

В результаті довготривалого потрапляння в організм з водою ХОС спричиняють хронічну неспецифічну дію, яка проявляється в порушенні роботи імунної системи, зниженні загальної резистентності організму, що викликає різноманітні біологічні ефекти, в тому числі розвиток пухлин, які формуються протягом десятків років. Прокоповим та Шушковською встановлено, що ризик виникнення онкозахворювань достовірно зростає в 1,4 рази при довготривалому споживанні хлорованої питної води протягом 30 років і більше. Найбільший показник ризику спостерігається у осіб вікової групи 70 років і старше [16].

С. В. Гуленко та В. А. Прокоповим розраховані індивідуальні ризики через дію водного перорального шляху надходження хлороформу до організму, які показали, що у місті з поверхневим водозабором цей показник у 90 разів підвищує індивідуальну імовірність захворіти на рак протягом життя. Величина індивідуального канцерогенного ризику склала $3,62 \cdot 10^{-5}$, що перевищує рівень умовно прийнятого ризику. Натомість у місті з підземним водозабором індивідуальний ризик перебуває в межах мінімального рівня (менше 10^{-6}). Сумарний індивідуальний канцерогенний ризик через комплексну дію хлороформу водопровідної питної води (в тому числі, для інгаляційного та через шкіру) перебуває на рівні $4,2 \cdot 10^{-4}$, що виходить за межі допустимого ризику і неприйнятне для населення загалом [2].

Аналогічні дослідження О. А. Дмитренка в містах Макіївка, Горлівка, Маріуполь, Донецьк, Артемівськ: ним виявлено суттєві відмінності вмісту хлороформу у воді водогонів різних вододжерел, тобто максимальні концентрації хлороформу у процесі водопідготовки води поверхневих вододжерел перевищували ГДК більш, ніж у 5 разів, у пробах змішаної води — до 2-х разів, в артезіанській воді хлороформ не визначався [17].

Висновки

Отже, як бачимо, різні дослідники та науковці намагаються пов'язувати утворення ХОС з такими параметрами вихідної води, як доза вихідного і залишкового хлору, кількість органіки, наявність катіонів металів, температура, рН середовища, поверхневий чи підземний водозабір тощо. Але всі вони погоджуються з їх надзвичайно небезпечними властивостями (мутагенна, канцерогенна, тератогенна, гонадотоксична, гепатотоксична, алергенна дії тощо), коли оцінюються канцерогенні ризики.

Світові дослідження у цьому напрямку продовжуються досить інтенсивно, враховуючи важливість цієї проблеми для людства, хоча, як завжди, гальмівним важелем є фінансування. Зокрема, в Україні державні органи влади мали б забезпечити фінансову підтримку наукових досліджень в аспекті не лише визначення і контролю ХОС у питній воді, але й розробки методів їх мінімізації чи усунення в цілому. Однак, за наявності такої компрометуючої інформації про хлорування як методу дезінфекції води, він і зараз залишається найвикористовуванішим у світі через доступність та економічність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тригалогенметани, як побічний продукт хлорування питної води, та їх вплив на формування онкологічної патології серед населення Кривбасу / [А. Ю. Лисий, С. А. Риженко, В. Г. Капшук, та ін.] // Актуальные проблемы транспортной медицины. — 2008. — № 4 (14). — С. 102—108.
2. Гуленко С. В. Гігієнічна оцінка канцерогенного ризику здоров'ю через споживання хлорованої питної води / С. В. Гуленко, В. А. Прокопов // Довкілля та здоров'я. — 2013. — № 2. — С. 50—55.
3. Визначення активного хлору у питній воді [Електронний ресурс] // Сайт «Промислова екологія». — Режим доступу : <http://www.eco.com.ua/content/viznachennya-aktivnogo-hloru-u-pitniy-vodi>.
4. Шушковська С. В. Хлорорганічні сполуки у питній воді та їх вплив на здоров'я населення / С. В. Шушковська // Гігієна населених місць. — 2011. — № 58. С. 88—103.
5. Крамаренко Л. В. Конспект лекцій з дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» / Л. В. Крамаренко. — Харків : ХНАМГ, 2010. — 122 с.
6. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підруч.. / А. К. Запольський. — К. : Вища школа, 2005. — 671 с.
7. Кульский Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. — 2-е изд. — К. : Высшая школа, 1986. — 352 с.
8. Зефирова Н. С. Химическая энциклопедия / [Зефирова Н. С. и др.]. — Т. 5. — М. : Большая Российская Энциклопедия, 1998. — 783 с.
9. Зоріна Олеся Вікторівна. Гігієнічне обґрунтування шляхів мінімізації утворення хлорорганічних сполук при застосуванні хлору у водопідготовці : дис. канд. біол. наук : 14.02.01 / Зоріна Олеся Вікторівна. — Київ, 2006. — 149 с. — бібліогр. : с. 122—141.
10. Токсикология : учеб. пос. / сост. И. Н. Полина ; Сыкт. лесн. ин-т. — Сыктывкар : СЛИ, 2012. — 128 с.
11. СанПин 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. — [Действ. от 2001-09-26]. — Москва, 2001. — 62 с.
12. Директива ЄС 98/83 «Про якість води, призначеної для споживання людиною». — [Чинна від 1998-11-03]. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/994_963/page.
13. ДСанПин 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. — [Чинні від 2010-05-12]. — Київ : МОЗ, 2010. — 25 с.
14. EPA 816-F-09-004. National Primary Drinking Water Regulations. — [Active from May 2009]. — [Електронний ресурс]. — USA. — 2009. — 6 с. — Режим доступу : <http://www.epa.gov/safewater/consumer/pdf/mcl.pdf>.

15. Ткачишин В. С. Интоксикації хлорорганічними сполуками [Електронний ресурс] // Издание для врача «Острые и неотложные состояния в практике врача». — 2008. — № 2(10). — Режим доступа : <http://urgent.com.ua/article/122.html>.
16. Прокопов В. А. Влияние хлорированной питьевой воды на заболеваемость населения раком ободочной кишки (эпидемиологическое исследование) / В. А. Прокопов, С. В. Шушкова // Довкілля та здоров'я. — 2012. — № 3. — С. 46—51.
17. Дмитренко О. А. Особливості розподілу хлороформу у воді господарсько-питних водогонів / О. А. Дмитренко // Довкілля та здоров'я. — 2010. — № 4. — С. 22—26.

Рекомендована кафедрою екології та екологічної безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 2.04.2014

Стыскал Оксана Анатоліївна — аспірант кафедри екології та екологічної безпеки, e-mail: kafedraeeb@mail.ru;

Петрук Василь Григорович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри екології та екологічної безпеки, e-mail: petrukvg@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. A. Styskal¹
V. G. Petruk¹

Analysis of factors of environmental hazards of chlorinated drinking water

¹Vinnitsia National Technical University

This paper considers the problem of drinking water chlorination, including formation of organochlorine compounds that may exhibit carcinogenic, mutagenic and other effects on the human body.

Keywords: chlorination, organochlorine compounds, trihaloethane, cancer, carcinogenic risk, mutagenicity, teratogenicity, embryotoxicity, hepatotoxicity.

Styskal Oksana A. — Post-Graduate Student of the Chair of Ecology and Environmental Safety, e-mail: kafedraeeb@mail.ru;

Petruk Vasyly G. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Ecology and Environmental Safety, e-mail: petrukvg@gmail.com

О. А. Стыскал¹
В. Г. Петрук¹

Анализ факторов экологической опасности хлорированной питьевой воды

¹Вінницький національний технічний університет

Рассмотрена проблема хлорирования питьевой воды, в частности, образование побочных хлорорганических соединений, которые могут проявлять канцерогенное, мутагенное и другие действия на организм человека.

Ключевые слова: хлорирование, хлорорганические соединения, тригалогенметаны (ТГМ), онкологическое заболевание, канцерогенный риск, мутагенность, тератогенность, эмбриотоксичность, гепатотоксичность.

Стыскал Оксана Анатольевна — аспірант кафедри екології та екологічної безпеки, e-mail: kafedraeeb@mail.ru.

Петрук Василь Григорович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри екології та екологічної безпеки, e-mail: petrukvg@gmail.com