

О.О. Ковальов, д. мед. н., професор, завідувач кафедри онкології та онкохірургії Запорізького державного медико-фармацевтичного університету;
В.О. Зуб, д. мед. н., доцент кафедри фізичної реабілітації Національного університету «Чернігівська політехніка», народний депутат України IX скликання, голова підкомітету з питань профілактики та боротьби з онкологічними захворюваннями Комітету ВРУ з питань здоров'я нації, медичної допомоги і медичного страхування, голова Національної асоціації онкологів України;
Т.М. Тищенко, генеральний директор ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ»; **К.О. Ковальов**, к. мед. н., засновник і директор благодійного фонду «Світ проти раку»

Канцерогенні ризики забруднення питної води тригалометанами в прифронтових регіонах України під час війни

Тривала збройна агресія проти України спричинила не лише гуманітарну катастрофу, але й суттєво погіршила екологічну ситуацію в прифронтових регіонах. Забруднення питної води токсинами і органічними сполуками потребує знезараження хлоруванням, що призводить до утворення тригалометанів (ТГМ) – потенційно канцерогенних сполук. В умовах воєнного стану, коли доступ до якісної питної води іноді стає критичним, оцінювання канцерогенних ризиків для населення східної України набуває особливої актуальності.



Хлорування питної води

Проблема якісної питної води турбувала людство протягом усієї історії цивілізації. Давні єгиптяни очищали воду, нагріваючи її на сонці, фільтруючи через пісок та зберігаючи у мідних посудинах. Гіппократ вважав, що найкраще пити дощову воду, яку перед споживанням слід кип'ятити та фільтрувати, щоб позбутися неприємного запаху. Для цього він розробив примітивний фільтр із тканини, відомий як «рукав Гіппократа».

У середньовіччі воду намагалися очищати, додаючи до неї лаврове листя, товчений корал або ячмінь, проте ці методи не захищали людей від смертельних інфекцій, таких як холера і черевний тиф.

Наприкінці XIX ст. власник однієї з приватних водопостачальних компаній у США вирішив зекономити на дорогій фільтраційній системі та застосував для знезараження води газоподібний вапняний хлор. Результати приголомшили: кількість колиформних бактерій у воді суттєво знизилася, а витрати виявилися значно меншими порівняно з іншими технологіями очищення.

Після спалахів епідемій у Великій Британії та США у 1905 р. було запроваджено масове хлорування води, через що значною мірою знизилось поширення холери, тифу та інших небезпечних інфекцій у великих містах.

Хлорування стало життєво важливим не лише для мирного життя, а й для військових потреб. Майор армії США Вільям Дж. Лістер розробив Lyster Bag – спеціальний брезентовий мішок, у якому вода знезаражувалася гіпохлоритом кальцію. Ця технологія широко використовувалася у військових таборах навіть під час війни у В'єтнамі.

Отже, хлорування питної води стало одним із найважливіших досягнень профілактичної медицини XX ст. Завдяки доступному й ефективному методу знезараження було врятовано мільйони людських життів. У 1974 р. в США було ухвалено «Закон про безпечну питну воду», який регламентував стандарти очищення і контролю якості води. Така програма існує і в ЄС. У нашій країні нещодавно була затверджена державна програма «Питна вода України».

Тригалометани – побічні продукти дезінфекції води

Дезінфекція питної води є необхідним заходом для захисту громадського здоров'я від небезпечних інфекцій, що передаються через воду. Однак метод хлорування, який широко застосовується для знезараження, має і негативні

ефекти, обумовлені появою «побічних продуктів дезінфекції» (ППД).

Наявність ППД у хлорованій воді вперше зафіксував у 1974 р. хімік Рук у Нідерландах. Він припустив, що ці нові сполуки утворилися внаслідок хлорування гумінових речовин, що трапляються у природних водах річки Рейн, під час приготування питної води.

Одними з найбільш поширених ППД є ТГМ – хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан та трихлорметан. Ця група хімічних сполук утворюється під час знезараження води, коли органічні речовини вступають у реакцію із хлором.

Природні (поверхневі) питні води можуть містити значні концентрації органічних сполук, таких як поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), феноли, інсектициди, бензол, а також інші антропогенні забруднювачі, які потрапляють у водойми внаслідок промислової діяльності людини та особливо під час війни. Контактуючи із хлором, ці речовини вступають у реакцію, утворюючи токсичні побічні продукти.

Завдяки дослідженням ідентифіковані понад 800 низькомолекулярних, легких і напівлегких хімічних сполук, які утворюються під час хлорування. Серед них є альдегіди, оксигалогеніди, галопіроли, галокетони, галобензохінони та інші потенційно небезпечні речовини.

Незважаючи на широкий спектр побічних продуктів хлорування, Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) наголосила, що «ризики для здоров'я від цих речовин значно нижчі, ніж загроза від недезінфікованої води».

Попри існування альтернативних методів знезараження, хлор досі є найпоширенішим дезінфекційним засобом у світі. Його застосування забезпечує ефективне знищення патогенів, проте супроводжується утворенням ТГМ і галооцтових кислот, які при високих концентраціях можуть мати канцерогенну та токсичну дію. Це особливо актуально для регіонів, де через екологічні чи техногенні фактори вміст органічних речовин у воді є підвищеним.



Канцерогенність питної води для людини

Деякі ТГМ можуть мати канцерогенні властивості, хоча дані про вплив цих сполук на людину обмежені та переважно ґрунтуються на епідеміологічних дослідженнях. Останні свідчать, що тривала дія ТГМ через питну воду пов'язана з підвищеним ризиком деяких видів злоякісних пухлин включно з раком сечового міхура та товстої кишки. Доведено, що у тварин високі концентрації ТГМ (хлороформу) можуть викликати пухлини печінки та нирок.



О.О. Ковальов



В.О. Зуб



Т.М. Тищенко



К.О. Ковальов

Сьогодні, за класифікацією Міжнародного агентства з вивчення раку (МАВР), ТГМ зараховані до можливих або ймовірних канцерогенів (групи 2В та 2А).

Механізм канцерогенезу ТГМ остаточно не вивчений, але існує кілька гіпотез, заснованих на онкоепідеміологічних і експериментальних дослідженнях.

Основний вплив ТГМ на людину відбувається через вживання питної води, але можливі також інгаляція (наприклад, під час душу) та абсорбція через шкіру. Рівень ризику залежить від концентрації, часу дії та індивідуальних факторів людини (наприклад, віку та стану здоров'я).

Бромовані сполуки (бромформ, дибромхлорметан, бромдихлорметан) можуть викликати точкові мутації ДНК, взаємодіяти з макромолекулами, утворювати аддукти, що призводить до нестабільності генома. ТГМ здатні спричинити зміни експресії генів, які не пов'язані з мутаціями ДНК, наприклад, метилювання або модифікацію гістонів.

ТГМ індукують підвищене утворення активних форм кисню (ROS), що сприяє окисному пошкодженню ліпідів, білків та ДНК.

Деякі ТГМ діють як ендокринні руйнівники (endocrine-disrupting chemicals – EDCs), порушуючи сигнальні шляхи естрогенів та андрогенів. Це підвищує ризик гормонозалежного раку молочної залози, ендометрія, яєчника та простати.



Рак сечового міхура — найбільш чітко підтверджений тип злоякісної пухлини, пов'язаний із тривалим впливом ТГМ.

У 2004 р. було проведено об'єднаний аналіз шести північноамериканських та європейських досліджень «випадок — контроль», у яких встановлено, що концентрація ТГМ у воді на рівні 50,0 мкг/л підвищує ризик розвитку раку сечового міхура у чоловіків на 45%. При концентрації понад 100,0 мкг/л ризик розвитку пухлин статистично значуще зростає.

Хронічний вплив ТГМ також пов'язаний із підвищеним ризиком злоякісних пухлин шлунково-кишкового тракту, насамперед — карцином товстої та прямої кишок. Тривалий вплив ТГМ може викликати цитотоксичний стрес і канцерогенез у печінці. Деякі дослідження пов'язують вплив ТГМ із неходжкінськими лімфомами та лейкеміями, але механізм поки що вивчений недостатньо.

Отже, дослідження на тваринах показали, що ТГМ можуть викликати рак печінки, нирок і товстої кишки. Епідеміологічні дослідження на людях виявили зв'язок між впливом ТГМ і підвищенням ризиком раку сечового міхура, товстої та прямої кишки.

Забруднення питної води в прифронтових містах сходу України під час війни

Війна в Україні має руйнівні гуманітарні, соціальні, економічні та екологічні наслідки. Вплив бойових дій на довкілля і біосферу обумовлений прямим потраплянням у ґрунт і питну воду забруднювальних речовин, як-от нафтопродуктів, дизельного палива, важких металів, токсичних сполук, бойових та інших хімічних речовин.

Після детонації наземних мін та залишків боєприпасів важкі метали (мідь, залізо, свинець, цинк, миш'як) залишаються на поверхні землі протягом багатьох десятиліть і тривалий час забруднюватимуть ґрунтові води. Тисячі тонн металів потрапили до річок і водойм України, де знають корозії і отруюють водні екосистеми.

Зміни гідрологічного режиму каскаду Дніпровських водосховищ, зокрема внаслідок руйнування дамби Каховської ГЕС, сприяли значному підвищенню вмісту у воді річки Дніпро значимих гумінових органічних речовин, фіто- і зоопланктону.

Дані Офісу ООН з координації гуманітарних питань і дослідження українських екологів свідчать, що з перших днів війни водні екосистеми України зазнали значної шкоди. Підраховано, що тільки в 2022 р. 16 мільйонів українців залишилися без доступу до якісної води.

На сході країни найбільшим джерелом водопостачання води є річка Дніпро, забрудненість якої важкими металами, органічними речовинами та бактеріями протягом трьох останніх років є катастрофічно високою і продовжує зростати.

У Запорізькій області спостерігається високий рівень вмісту органічних речовин і солей у воді, таких як кальцій, магній, хлориди, сульфати, нітрати, алюміній, натрій, концентрація яких суттєво перевищує нормативні вимоги.

Волонтери фонду «Світ проти раку» і професійні гідрогеологи провели відбір проб, дослідили склад ґрунтової та артезіанської води у польових умовах і виявили значне забруднення водоносних горизонтів поблизу лінії фронту (місто Оріхів). Збільшення у шість разів загального вмісту солей свідчить про високу мінералізацію води, яка виявилася непридатною для споживання.

Одна із причин високого вмісту нітратів (утричі вище за норму) — розкладання органічних речовин або стічної води. Хлориди можуть бути індикатором локального забруднення через розливи або витіки з бойових матеріалів. Високий вміст натрію пов'язаний із вимиванням солей із ґрунту та зруйнованих промислових об'єктів. Високі

рівні сульфатів (у сім разів вище за норму) — із промисловими викидами або розкладанням органічних речовин. Джерелом високого вмісту кальцію та магнію (у шість разів та утричі вище за гранично допустиму концентрацію) можуть виявитися пошкоджені будівельні матеріали та природні бар'єри або руйнування поверхневих горизонтів ґрунту. Підвищений вміст алюмінію може бути результатом вимивання металу із ґрунту, особливо якщо відбуваються процеси, пов'язані з руйнуванням його шарів. Також до цього призводить забруднення ґрунтів промисловими джерелами.

Бойові дії, що супроводжуються витоком хімічних речовин або руйнуванням водонепроникних шарів ґрунту, можуть завдати шкоди глибинним пластам води. Нітрати та важкі метали, поступово проникаючи донизу, створюють зони концентрованого забруднення на великих глибинах. Цьому сприяють також пошкодження ґрунтових шарів через вібрації або вибухи.

Зміни в хімічному складі води в поверхневому та глибшому горизонті можуть свідчити про екологічну деградацію. Війна, руйнування інфраструктури, витік палива, хімікатів та боєприпасів, а також сільськогосподарські та побутові забруднення посилюють негативний вплив на водні ресурси і збільшують ризики хронічних захворювань у населення. Слід визнати, що наразі повний масштаб руйнувань водних ресурсів на території бойових дій оцінити неможливо.

Першочерговим завданням на цих територіях є забезпечення людей питною водою і уникнення епідемій інфекційних захворювань за допомогою ефективного знезараження.



Тригалометани в питній воді міста Запоріжжя

Дослідження фахівців Запорізького обласного центру контролю та профілактики хвороб виявили ще одну проблему сходу України, пов'язану з війною. Це зараження питної води органічними речовинами (сульфокислотами, амінокислотами, танінами, хінонами, вуглеводами), що потребує додаткового хлорування, внаслідок чого в ній з'являються ТГМ. Вміст цих хімічних речовин у питній воді перевищує в шість разів гранично допустиму концентрацію навіть для часу воєнного стану і становить 600 мг/л. Слід пам'ятати, що в ЄС гранично допустима концентрація ТГМ в питній воді не має перевищувати 100 мг/л.

Значне перевищення ТГМ в природній воді міста Запоріжжя залежить від наявності органічних сполук, дози хлорованого агента, тривалості хлорування і неможливості проведення процесу амонізації під час водопідготовки. Це пов'язано з порушенням логістичних шляхів на сході України.

Згідно із розрахунками індивідуального канцерогенного ризику за методикою BOO3 International Standards for Drinking-Water, хлорована водопровідна вода міста Запоріжжя належить до четвертого діапазону (De Manifest Risk) і дорівнює 1×10^3 , що є абсолютно неприйнятним показником для населення.

Окрім ТГМ, під час хлорування питної води утворюються й інші канцерогенні хімічні сполуки, які становлять потенційну загрозу для здоров'я людини.

Галогеноцтові кислоти (ГОК), такі як дихлороцтова кислота (ДХОК) і трихлороцтова кислота (ТХОК), утворюються внаслідок реакції хлору з органічними речовинами у воді. Дослідження на тваринах показали, що ГОК можуть викликати рак печінки та інших органів. Епідеміологічні дослідження на людях також виявили зв'язок між впливом ГОК і підвищеним ризиком розвитку раку.

Хлорити та хлорати можуть утворюватися внаслідок використання діоксиду хлору як дезінфікуючого засобу. Вони пошкоджують еритроцити і порушують функцію щитоподібної залози.

Хлороформ є одним із ТГМ, але його виділяють окремо через високу токсичність. Дослідження на тваринах, а також епідеміологічні дослідження на людях показали, що хлороформ може викликати рак печінки та нирок.

Хлорування води може призвести до утворення широкого спектра хлорорганічних сполук, багато з яких ще не повністю ідентифіковані. Деякі з них мають канцерогенний потенціал, але необхідні подальші дослідження для оцінювання їхнього ризику.

Фактори, що впливають на утворення канцерогенних сполук після хлорування питної води, включають високий рівень органічних речовин у початковій воді, концентрацію хлору, час контакту хлору з водою, температуру і рН води.

Важливо зазначити, що ризик розвитку раку після впливу цих сполук залежить від рівня експозиції та індивідуальної чутливості людини. Необхідні подальші дослідження для повного розуміння канцерогенного потенціалу ТГМ й оцінювання ризику для здоров'я людини.

Профілактичні заходи

Східна Україна зазнає безпрецедентного екологічного стресу через воєнні дії високої інтенсивності. Мало хто під час активних бойових дій замислюється про можливі захворювання у майбутньому. Але довгострокова смертність серед цивільного населення внаслідок війни може бути в сотні разів більшою, ніж початкова кількість загиблих безпосередньо від воєнної травми.

Проблема канцерогенних речовин в питній воді сьогодні є вкрай актуальною. У зв'язку з перевищенням рівня ТГМ у водопровідній воді державним службам слід вжити термінові та довгострокові заходи із безпеки населення. Слід пам'ятати, що застосування тільки бутильованої води повністю не вирішує проблеми, адже ТГМ можуть проникати в організм людини через дихання і транскутанно, що вважається більш небезпечним через їхній системний вплив.

Ось основні можливі рекомендації щодо зниження рівня ТГМ в питній муніципальній воді.

- Слід проводити постійний посилений моніторинг рівня ТГМ у питній воді, а також розширити перелік контрольованих параметрів включно з іншими побічними продуктами хлорування в усіх постраждалих районах сходу України. Особливої уваги потребують прифронтові регіони, де ситуація ускладнена воєнними діями.

- Бажано негайно переглянути й оптимізувати процес хлорування на водоочисних станціях і, можливо, використовувати альтернативні методи знезараження. До сучасних методів очищення води належать керамічні фільтри, мембранна і піщана фільтрація, зворотний осмос, ультрафіолетове випромінювання.

- В майбутньому слід провести модернізацію інфраструктури водоочисних станцій, вжити заходи для зменшення забруднення джерел питної води, впровадити системи попередньої обробки для видалення органічних речовин, які сприяють утворенню ТГМ.

Вкрай важливими є наукові дослідження оцінювання довгострокового канцерогенного впливу ТГМ на здоров'я населення. Для реалізації цих програм дуже важливою є співпраця з міжнародними експертами.

Розроблені рекомендації допоможуть державним службам ефективно реагувати на проблему забруднення питної води ТГМ та подбати про безпеку населення.

На рівні законодавчих і нормативних заходів слід переглянути і посилити національні стандарти якості питної води щодо ТГМ і впровадити суворіший контроль за їхнім дотриманням.

Питання щодо перевищення ТГМ у питній воді повністю співвідносяться із цілями та завданнями державної програми «Питна вода України». Вирішення цієї проблеми сприятиме захисту безпеки населення, особливо в умовах воєнного стану.



У статті використано результати дослідження: Соколовська А.В., Петруша Ю.Ю. Дослідження якості питної води за вмістом тригалогенметанів. ЛОГОС. Містечтво наукової думки. 2019. (8), 78-80. <https://doi.org/10.36074/2617-7064.08.017>