

STUDY OF THE CONTENT OF CHLORITES IN CHLORINE DIOXIDE-TREATED DNIPRO DRINKING WATER AND ASSESSMENT OF THEIR DANGER TO THE HEALTH OF WATER CONSUMERS

Prokopov V.O., Lypovetska O.B., Kulish T.V.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ В ОБРОБЛЕНІЙ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ ДНІПРОВСЬКІЙ ПИТНІЙ ВОДІ ХЛОРИТІВ ТА ОЦІНКА ЇХНЬОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ВОДОСПОЖИВАЧІВ

**ПРОКОПОВ В.О.,
ЛИПОВЕЦЬКА О.Б.,
КУЛІШ Т.В.**
ДУ «Інститут
громадського
здоров'я
ім. О.М. Марзєєва
НАМН України»,
Київ

В Україні в останні 15-20 років за нашої ініціативи набув розвитку напрямок гігієни та токсикології побічних продуктів хлору, що утворюються з його використанням у технології підготовки питної води із поверхневих джерел. Наукові роботи за цим напрямком достатньо повно висвітлені у вітчизняних джерелах літератури, де йшлося про вивчення летких (тригалогенметани) та нелетких (галогеноцтові кислоти) хлорорганічних

сполук (ХОС), включаючи встановлення особливостей та рівнів їх утворення у природній воді на очистних спорудах водопроводів, ефективності видалення на них ХОС за різних технологій водопідготовки, оцінки небезпеки ХОС за розрахунками ризику та результатами токсикологічних досліджень на піддослідних тваринах тощо [1-3].

На відміну від побічних продуктів хлору такі наукові дослідження діоксиду хло-

УДК 614.777 :628.166 : 543.3 :546.134

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ В ОБРОБЛЕНІЙ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ ДНІПРОВСЬКІЙ ПИТНІЙ ВОДІ ХЛОРИТІВ ТА ОЦІНКА ЇХНЬОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ВОДОСПОЖИВАЧІВ

**Прокопов В.О., Липовецька О.Б.,
Куліш Т.В.**

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

Мета дослідження: аналіз вмісту діоксиду хлору та хлоритів у питній воді, що надходить до водопровідних мереж окремих районів міста Київ із Дніпровського водопроводу, та оцінка неканцерогенного ризику від її споживання для здоров'я водоспоживачів.

Матеріали та методи дослідження. Виконано аналіз трирічних (2021-2023 рр.) досліджень якості питної води, у тому числі на вміст хлоритів, обробленої діоксидом хлору, що надходить із Дніпровського водопроводу Києва до розподільчих мереж Подільського, Святошинського та Шевченківського районів. Дослідження водопровідної води на вміст хлоритів виконувались

лабораторією ПрАТ «АК «Київводоканал» та вибірково водною лабораторією інституту. Визначення хлоритів проводилося на іонному хроматографі та титриметричним методом за Ю.Ю. Лур'є. Неканцерогенний ризик здоров'ю від споживання питної води з різним вмістом токсичних хлоритів розраховувався відповідно до Керівництва Міжнародного агентства з дослідження раку (IARC). Методи дослідження: статистична оцінка фактичного та аналітичного матеріалу.

Результати. Дослідженнями (2021-2023) встановлено, що застосування на Дніпровському водопроводі Києва у традиційній технології водопідготовки діоксиду хлору замість хлору у концентраціях від 1,0 мг/дм³ до 3,0 мг/дм³ супроводжується зменшенням рівнів окислювача та утворенням у питній воді (РЧВ) небезпечних хлоритів, кількість яких змінюється відповідно сезонам року. Вміст хлоритів у питній воді із розподільчих мереж Подільського, Святошинського та Шевченківського районів є дзеркальним відображенням їхніх рівнів у воді із РЧВ Дніпровського водопроводу, які підпорядковуються

© Прокопов В.О., Липовецька О.Б., Куліш Т.В. СТАТТЯ, 2024.

ру розпочалися у нашій країні відносно недавно, що стало можливим тільки після впровадження на окремих, на жаль поодиноких, водопроводах «діоксидної» технології підготовки питної води [4-9].

Надходження до питної води у процесі її підготовки залишкових концентрацій діоксиду хлору та утворених за його взаємодії з органічними домішками природної води побічних продуктів (переважно хлоритів) потребує контролю їх вмісту у питній воді відповідно до санітарних норм. Нормативи у питній воді діоксиду хлору ($\leq 0,1$ мг/дм³) та хлоритів ($\leq 0,2$ мг/дм³), які були відсутні у радянському стандарті, вперше включені



ФАКТОРИ ДОВКІЛЛЯ ТА ЗДОРОВ'Я

для контролю у ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».

Наявність нормативів дозволило нам отримати реальну картину рівнів вмісту діоксиду хлору та хлоритів у питній воді, порівняти ці дані з зарубіжними результатами досліджень, обґрунтувати пріоритетні завдання для вивчення

найбільш актуальних питань гігієни та токсикології побічних продуктів діоксиду хлору, що можуть бути використані для удосконалення «діоксидних» технологій водопідготовки тощо.

Порівняльний аналіз зарубіжних досліджень щодо побічних продуктів діоксиду хлору засвідчив, що найбільші дискусії ведуться навколо нормативу хлоритів у питній воді, значення якого відрізняються у різних країнах.

Найбільш жорсткий норматив хлоритів $0,2$ мг/дм³ застосовується в Україні, який було встановлено ще за часів Радянського Союзу українськими науковцями (Г.В. Толстопятова, 1978). У країнах Європейського Союзу (Директива 2020/2184/ЕС), за рекомендацією ВООЗ, норматив хлоритів у питній воді прийнято на рівні $0,7$ мг/дм³. Такий самий норматив встановлено й для хлоратів у питній воді. Наказом МОЗ України № 683 від 22.04.2022 норматив для хлоритів та хлоратів у питній воді на рівні $0,7$ мг/дм³ дозволено використовувати й у нашій країні в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуацій іншого характеру.

Слід констатувати, що в Україні чисельність досліджень, отже й їхніх результатів щодо побічних продуктів хлору у питній воді суттєво більша, ніж щодо вивчення побічних продуктів діоксиду хлору. Зарубіжних досліджень за «діоксидним» на-

сезонній дозо-часовій залежності. У зимовий період вони становлять $0,17-0,39$ мг/дм³, а у літній – $0,32-0,59$ мг/дм³, що перевищує національний норматив ($0,2$ мг/дм³), особливо у літній період в $1,5-2,5-3$ рази. У період спостереження залишкові концентрації діоксиду хлору у питній воді із мереж в основному визначалися у межах нормативу ($\leq 0,1$ мг/дм³) або незначно його перевищували в окремих пробах. За мікробіологічними та санітарно-хімічними показниками вода відповідає санітарним вимогам до водопровідної води. У зв'язку з перевищенням вмісту хлоритів у питній воді для різних його рівнів від $0,2$ мг/дм³ (норматив України) до $0,7$ мг/дм³ (норматив ВООЗ) розраховано та оцінено неканцерогенний ризик здоров'ю людей. Показано, що у межах цих значень хлоритів у питній воді коефіцієнт небезпеки (HQ), не перевищує $1,0$, що характеризує його як допустимий (прийнятний), який не створює загрози здоров'ю людини.

Висновки. Показано, що використання у технології водопідготовки діоксиду хлору замість хлору забезпечує необхідну якість питної води за мікробіологічними та санітарно-хімічними показниками, але при цьому утворюються небезпечні хлорити у концентраціях від нормативних до понаднормативних. Оцінка неканцерогенного ризику для рівнів у воді хлоритів від $0,2$ мг/дм³ до $0,7$ мг/дм³, за коефіцієнтом небезпеки (HQ), засвідчила, що у цих межах хлорити у воді не створюють загрози здоров'ю людини. Нами піднімається питання перед МОЗ України про доцільність зміни національного нормативу хлоритів у питній воді з $0,2$ мг/дм³ на $0,7$ мг/дм³.

Ключові слова: питна вода, водопідготовка, водорозподільчі мережі, діоксид хлору, хлорити, неканцерогенний ризик.

прямоком незрівнянно більше, ніж у нашій країні, що стало передумовою для виконання цієї роботи.

Мета дослідження: аналіз вмісту діоксиду хлору та хлоритів у питній воді, що надходить до водопровідних мереж окремих районів Києва із Дніпровського водопроводу, та оцінка неканцерогенного ризику від її споживання для здоров'я водоспоживачів.

Матеріали та методи дослідження. Згідно з технологічним регламентом, який проходив експертну оцінку у водній лабораторії інституту, на Дніпровському водопроводі міста Київ останніми роками у технології водопідготовки газоподібний хлор (метод хлорування з преамонізацією) замінений на діоксид хлору. Залежно від сезону року первинна та вторинна обробка питної води діоксидом хлору проводиться сумарною концентрацією від 1,0 мг/дм³ до 3,0 мг/дм³. При цьому технологічна схема підготовки питної води (реагенти та очисні споруди) залишається традиційною.

Після водопровідних очисних споруд дніпровська питна вода із резервуару чистої води (РЧВ) надходить у мережі окремих районів міста (Подільського, Святошинського та Шевченківського), де змішується з водою артезіанського водопроводу, відсоток якої становить приблизно 10-15%.

Нами проаналізовано результати трирічного моніторингу якості питної води (2021-2023) із розподільчих мереж на відповідність вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», що включав визначення у ній органолеп-

тичних, мікробіологічних та фізико-хімічних показників, які виконуються лабораторією ПрАТ «АК «Київводоканал» і висвітлюються на його сайті. Для аналізу питної води на вміст діоксиду хлору та хлоритів використано дані цієї лабораторії та особисті вибіркові дослідження паралельних проб.

Рівні вмісту у воді цих речовин з використанням для їх визначення іонного хроматографу (ПрАТ «АК «Київводоканал») або титриметричного методу за Ю.Ю. Лур'є (водна лабораторія інституту) повністю збігалися.

Для визначення у питній воді показників якості та безпечності використано загальноприйняті стандартизовані методи дослідження. Кількість проб води на вміст діоксиду хлору та хлоритів із мереж водопостачання щорічно становила 40-50 у кожному сезоні спостереження.

Нашими дослідженнями питної води на вміст токсичних хлоритів, за діючим застарілим радянським нормативом 0,2 мг/дм³ (останнім часом дозволено використовувати для них норматив, рекомендований ВООЗ – 0,7 мг/дм³) показано, що рівні у воді водопровідних мереж хлоритів, зокрема, у літній період року перевищують національний норматив, досить часто вони наближені до нормативу ВООЗ. Тому представляло інтерес розрахувати та оцінити потенційний ризик здоров'ю людини від споживання питної води з різним вмістом токсичних хлоритів [10].

Характеристика неканцерогенного ризику здійснюється на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки згідно з Керівництвом Міжнародного агентства з

дослідження раку (International Agency for Research on Cancer (IARC) [10] за формулою:

$$HQ = AD/RfD,$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки; AD – середньодобова доза, мг/кг; RfD – референтна (безпечна) доза, мг/кг.

RfD для хлориту було отримано шляхом ділення $NOAEL$ 3,0 мг/кг/день на коефіцієнт невизначеності 100, що становить 0,03 мг/кг/день [11].

Розрахунок середньодобової дози шкідливої речовини (мг/кг), яка може надходити до організму людини з питною водою, здійснювався відповідно до вимог Методичних рекомендацій [12] для дорослої людини, без урахування вікових особливостей, за формулою:

$$СДД = C \times ОП / МТ,$$

де C – середня арифметична концентрація токсичної речовини у воді (мг/дм³); $ОП$ – об'єм питної води, що споживається за добу (3 дм³); $МТ$ – вага тіла (70 кг).

Статистичну обробку даних досліджень проводили з використанням програмної системи «Microsoft Office Excel 2007». Вираховувалися значення середньої величини, середньоквадратичного відхилення та стандартної похибки середньої величини.

Для оцінки значущості відмінностей між вибірками використовували параметричні методи (t -критерій Ст'юдента). Відмінності вважали статистично значущими за $p < 0,05$ [13].

Результати досліджень. Відповідно до Директив Європейського Союзу питна вода має задовольняти вимоги споживачів на виході із крану. Отже, висока якість води має підтримуватися усією розподільчою системою, включаючи ме-

STUDY OF THE CONTENT OF CHLORITES
IN CHLORINE DIOXIDE-TREATED
DNIPRO DRINKING WATER
AND ASSESSMENT OF THEIR DANGER
TO THE HEALTH OF WATER CONSUMERS

**Prokopov V.O., Lypovetska O.B.,
Kulish T.V.**

State Institution «O.M. Marzheiev Institute
for Public Health of the National Academy
of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv

The purpose of the study: analysis of the content of chlorine dioxide and chlorites in drinking water, which enters the water supply networks of certain districts of Kyiv from the Dnipro water supply, and assessment of the non-carcinogenic risk from its consumption for the health of water consumers.

Research materials and methods. An analysis of three-years (2021-2023) studies of the quality of drinking water, including the content of chlorites treated with chlorine dioxide, was performed. Which comes from the Dnipro water pipeline in Kyiv to the distribution networks of Podylskyi, Svyatoshynskyi and Shevchenkyvskyi districts. Testing of tap water for chlorite content was carried out by the laboratory of «Kyivvodokanal» and the selective water laboratory of the Institute. Determination of chlorites was carried out on an ion chromatograph and titrimetric method according to Yu.Yu. Lurie. The non-carcinogenic health risk from drinking water with different levels of toxic chlorites was calculated according to the Guidelines of the International Agency for Research on Cancer (IARC). Research methods: statistical evaluation of factual and analytical material.

The results. Research (2021-2023) has established that the use of chlorine dioxide instead of chlorine in concentrations 1,0-3,0 mg/l on the Dnipro water supply system in Kyiv in the traditional water treatment technology is accompanied by a decrease in the oxidant level and the formation of dangerous chlorites in drinking water, the number of which changes

according to the seasons of the year. The content of chlorites in drinking water from the distribution networks of Podylskyi, Svyatoshynskyi and Shevchenkyvskyi districts is a mirror image of their levels in water from the pure water tank of the Dnipro water supply system, which are subject to seasonal dose-time dependence. In winter, they are 0,17-0,39 mg/l, and in summer – 0,32-0,59 mg/l, which exceeds the national standard (0,2 mg/l), especially in summer from 1,5 up to 2,5-3 times. During the observation period, residual concentrations of chlorine dioxide in drinking water from networks were mostly within the standard ($\leq 0,1$ mg/l) or slightly exceeded it in individual samples. According to microbiological and sanitary-chemical indicators, the water met the sanitary requirements for tap water. In connection with the excess of chlorite content in drinking water for different levels from 0,2 mg/l (Ukrainian standard) to 0,7 mg/l (WHO standard), a non-carcinogenic risk to human health was calculated and assessed. It is shown that within these values of chlorites in drinking water, the hazard ratio (HQ) does not exceed 1,0, which characterizes it as permissible (acceptable), which does not pose a threat to human health.

Conclusions. It is shown that the use of chlorine dioxide instead of chlorine in water treatment technology ensures the required quality of drinking water in terms of microbiological and sanitary-chemical indicators. But at the same time, dangerous chlorites are formed in it in concentrations ranging from normative to over-normative. A non-carcinogenic risk assessment for water levels of chlorites from 0,2 mg/l to 0,7 mg/l, according to the hazard ratio (HQ), showed that within these limits, chlorites in water do not pose a threat to human health. We raise a question before the Ministry of Health of Ukraine about the feasibility of changing the national standard for chlorites in drinking water from 0,2 mg/l to 0,7 mg/l.

Keywords: drinking water, water treatment, water distribution networks, chlorine dioxide, chlorites, non-carcinogenic risk.

режу всередині житлового будинку. Ця вимога може досягатися за умови надходження питної води до розподільчих мереж після водоочисних споруд на виході із РЧВ з задовільними показниками якості. У разі

герметичності самої мережі вони мають відповідати показникам якості та безпечності, з якими питна вода надходить до них із РЧВ. Але це буває лише за відсутності, окрім розбавлення, інших факторів,

здатних змінювати кількісні характеристики показників.

На рисунках 1-3 представлено результати досліджень питної води із РЧВ та водопровідних мереж окремих районів Києва на вміст хлоритів у 2021-2023

роках за сезонами року. Щомісячні дослідження хлоритів у воді із РЧВ та досліджуваних мереж протягом кожного року спостереження були згруповані відповідно до сезонів року, що дозволило отримати більш узагальнену картину середньо-квартальних даних про рівні хлоритів у питній воді.

Дані, наведені на рисунках 1-3, свідчать, що після РЧВ питна вода за вмістом хлоритів мала такі характеристики: взимку середні концентрації хлоритів у воді були найменшими і становили 0,17-0,34 мг/дм³, навесні їхні рівні становили 0,18-0,41 мг/дм³, влітку – 0,35-0,57 мг/дм³, восени – 0,20-0,59 мг/дм³. У теплий період року концентрації хлоритів у воді зростали і були найбільшими влітку та на початку осені. Порівняно з 2021 роком в усі сезони 2022 та 2023 років, навіть взимку, концентрації хлоритів у воді були у 2-2,5 рази вищими за національний норматив (0,2 мг/дм³), але ніколи не перевищували норматив ВООЗ для цих

речовин (0,7 мг/дм³), який дозволено використовувати у нашій країні на особливий період.

В усі періоди спостереження у питній воді з РЧВ, як й із водопровідних мереж, вміст діоксиду хлору визначався в основному у межах гігієнічного нормативу ($\leq 0,1$ мг/дм³) або був дещо вищим.

Як свідчать дані рисунків, у водопровідних мережах зазначених районів міста рівні хлоритів у питній воді були найменшими взимку, особливо у 2021 та 2022 роках (0,17-0,33 мг/дм³) та дещо вищими 2023 року (0,2-0,39 мг/дм³). Навесні картина забруднення питної води хлоритами мала такий вигляд: 2021 р. – від 0,14 мг/дм³ до 0,20 мг/дм³, у подальшому, особливо 2022 року – 0,43-0,51 мг/дм³.

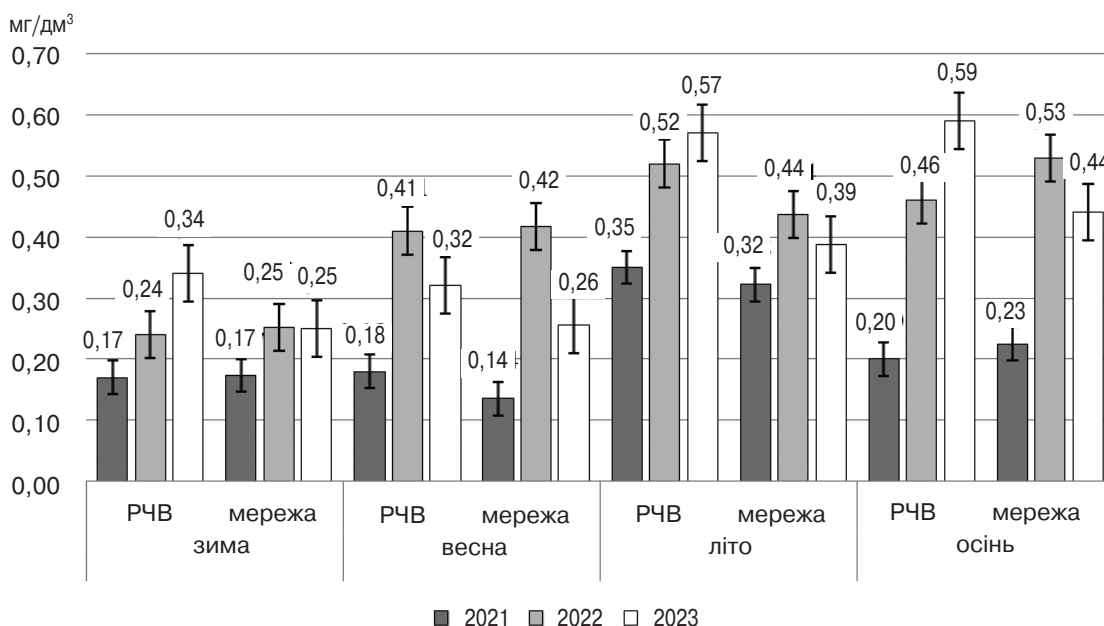
Влітку концентрації хлоритів у воді із досліджуваних мереж були найбільшими, особливо у 2022-2023 роках. Якщо 2021 року вміст хлоритів у питній воді визначався у межах 0,27-0,35 мг/дм³, то у 2022-2023 роках хлорити визначались

на рівні 0,44-0,59 мг/дм³ та 0,39-0,53 мг/дм³ відповідно. Восени рівні хлоритів у воді мереж практично не відрізнялися від літніх, зокрема 2022 року – 0,53-0,62 мг/дм³. Більш високі концентрації хлоритів у воді у 2022 та 2023 роках порівняно з 2021 р., на нашу думку, могли бути пов'язаними з послабленням вимог до їх видалення на очисних спорудах водопроводу у зв'язку з підвищенням нормативу від 0,2 мг/дм³ до 0,7 мг/дм³, який дозволено використовувати у країні під час воєнного стану.

Отже, восени та влітку рівні хлоритів у питній воді, за середніми даними, до 2,0-2,5 разів перевищували національний гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³), але жодного разу вони не були вищими за норматив хлоритів (0,7 мг/дм³) для питної води, рекомендований ВООЗ. Також потрібно відзначити, що для літнього періоду навіть максимальні рівні хлоритів у питній воді із мереж не виходили за межі нормативу ВООЗ.

Рисунок 1

Вміст хлоритів у питній воді із РЧВ та розподільчих мереж Святошинського району Києва



Оцінюючи усереднені рівні вмісту хлоритів у питній воді разом з усіх досліджуваних водопровідних мереж Києва за сезонами року, можна констатувати таке. Як і у кожній окремій водопровідній мережі, так і загалом із усіх досліджуваних мереж у питній воді чітко простежується сезонна відмінність рівнів хлоритів, що пов'язано з різними дозами діоксиду хлору для обробки річкової води на водопровідній станції у ці періоди року, отже і різним вмістом хлоритів у питній воді (РЧВ), що надходить до водопровідних мереж. Щодо національного нормативу хлоритів у питній воді (0,2 мг/дм³), рівні їх у воді мереж взимку становили від 0,18 мг/дм³ до 0,39 мг/дм³, а навесні – 0,15-0,51 мг/дм³. Влітку вони до 2,5 разів перевищували цей норматив (0,32-0,59 мг/дм³), а восени – до 3-х разів (0,22-0,62 мг/дм³).

Різниця між зимовими та весняними концентраціями хлоритів у питній воді не

була статистично значущою ($p > 0,05$), між зимовими та літніми показниками, а також між зимовими та осінніми – статистично достовірною ($p < 0,05$).

Виконаний нами аналіз також свідчить, що в усі періоди року питна вода мала добрі органолептичні властивості, була безпечною в епідемічному відношенні та нешкідливою за хімічним складом.

У питній воді не виявлено перевищення ГДК для забарвленості ($\leq 18-20$ град), каламутності (0,46-0,61 НОК), загального мікробного числа (одиниці у см³), загальних коліформ та *E. coli* (відсутність у 100 см³) тощо.

Наявність небезпечних хлоритів у питній воді із водопровідних мереж у концентраціях, що не завжди відповідають гігієнічному нормативу, зумовила доцільність визначення нами ризиків здоров'ю населення від споживання питної води з різним вмістом цього токсиканта.

За зарубіжною методикою та запропонованою нею формулою, яка врахо-

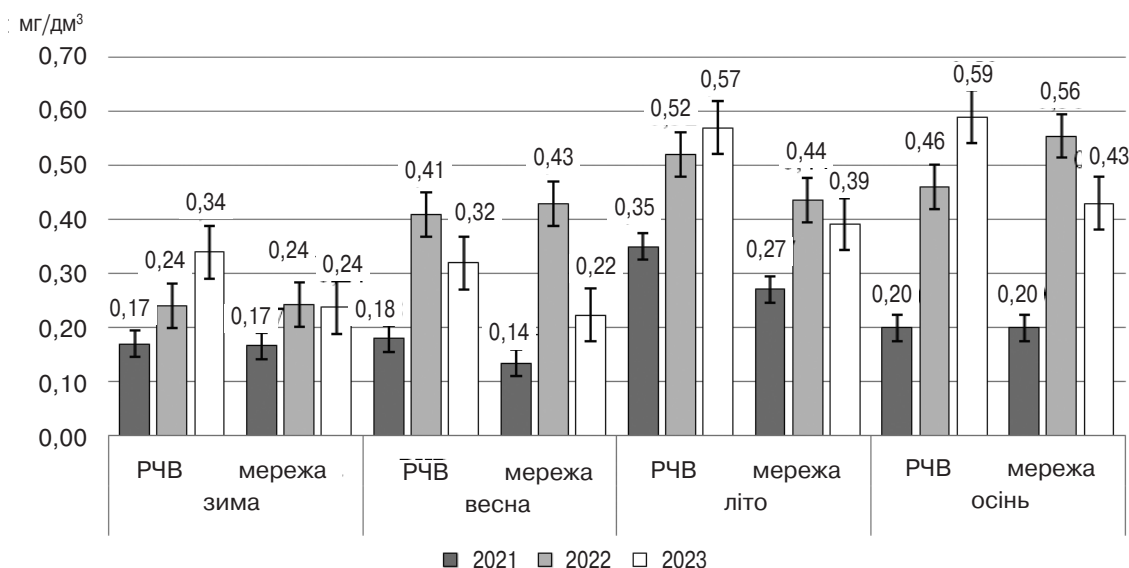
вує референтну дозу хлориту, реальний його рівень у воді та середньодобове навантаження токсиканта на організм людини, розраховано коефіцієнт небезпеки (НҚ), що характеризує потенційний неканцерогенний ризик здоров'ю від споживання питної води, забрудненої хлоритами.

Міжнародне агентство з дослідження раку (International Agency for Research on Cancer (IARC) дійшло висновку, що хлорити (як хлорит-іон) не підлягають класифікації як канцерогенні для людини речовини (група 3) [14]. Тому відповідно до чинних нормативних документів нами проведено оцінку ризику розвитку неканцерогенних ефектів від дії різних концентрацій токсичних хлоритів з питною водою на організм людини (табл.).

Наведені у таблиці дані показують, що для зимово-весняного періоду року, які характеризуються відносно невисокими рівнями хлоритів у питній воді із мереж усіх досліджуваних районів міста, як правило, нижчими

Рисунок 2

Вміст хлоритів у питній воді із РЧВ та розподільчих мереж Шевченківського району Києва



за національний норматив (0,2 мг/дм³), коефіцієнт небезпеки становив від 0,19 до 0,29 і був значно нижчим за 1,0, що не загрожує здоров'ю водоспоживачів.

З підвищенням рівнів хлоритів у питній воді у літньо-осінній період року згідно з національним нормативом до 1,5-2,0 разів коефіцієнт небезпеки теж зріс практично вдвічі порівняно з зимою та весною, але й тоді він не перевищував 1,0, навіть влітку (0,46-0,84). Загалом, за середньорічними даними, коефіцієнт небезпеки для перорального шляху надходження хлоритів до організму з питною водою із досліджуваних мереж становив 0,28-0,73.

Також представляла інтерес оцінка ризику розвитку неканцерогенних ефектів здоров'ю людини для вмісту у питній воді хлоритів на рівні національного нормативу (0,2 мг/дм³) та нормативу, рекомендованого ВО-ОЗ (0,7 мг/дм³).

Отримані результати свідчать, що неканцерогенний ризик для вмісту хлоритів у питній воді на рівні 0,2

мг/дм³ (HQ=0,29) практично втричі є нижчим, ніж для рівня хлоритів 0,7 мг/дм³ (HQ=1,0). Отже, за цим показником споживання питної води з вмістом хлоритів на рівні 0,2 мг/дм³ та навіть 0,7 мг/дм³ протягом життя не несе загрози здоров'ю людини, оскільки ризик визначається у межах 1,0, що є допустимим (прийнятним) за ступенем небезпеки.

Таким чином, підсумовуючи, можна зазначити, що використання у технології водопідготовки на річкових водопроводах діоксиду хлору замість хлору є надійним заходом отримання безпечної в епідемічному відношенні та нешкідливої за хімічним складом питної води, у тому числі за вмістом небезпечних хлоритів. На прикладі Дніпровського водопроводу міста Київ, де впроваджено таку технологію, показано, що утворені із діоксиду хлору побічні продукти (хлорити) шляхом ефективного технологічного рішення (обробка води водночас двома коа-

гулянтами) та подальшого відстоювання і фільтрування води можуть бути мінімізованими до безпечних рівнів, що не представлятиме загрози здоров'ю споживачів води.

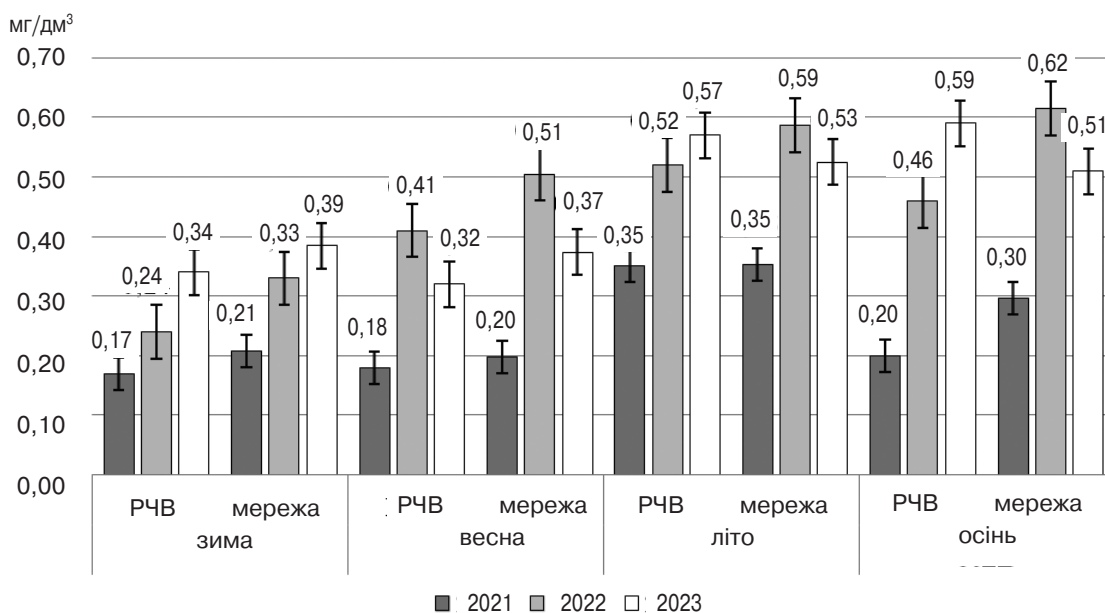
Висновки

1. Застосування на Дніпровському водопроводі Києва у традиційній технології водопідготовки діоксиду хлору замість хлору у концентраціях від 1,0 мг/дм³ до 3,0 мг/дм³ супроводжується зменшенням рівнів окислювача та утворенням у питній воді (РЧВ) – небезпечних хлоритів, кількість яких змінюється відповідно до сезонів року і є найменшою взимку (0,17-0,34 мг/дм³) та найбільшою – влітку (0,35-0,57 мг/дм³).

2. У розподільчих мережах Подільського, Святошинського та Шевченківського районів, куди надходить питна вода із РЧВ Дніпровського водопроводу, якість її протягом періоду спостереження (2021-2023) за мікробіологічними та санітарно-хімічними показниками практично не змінювалася і в основному відпо-

Рисунок 3

Вміст хлоритів у питній воді із РЧВ та розподільчих мереж Подільського району Києва



відала санітарним вимогам до водопровідної води.

3. Вміст хлоритів у питній воді із мереж є дзеркальним відображенням їхніх рівнів у воді із РЧВ, розбавлення води у мережах артезіанською водою (приблизно 10%) не призводить до помітної зміни концентрацій хлоритів, які, підпорядковуючись сезонній дозо-часовій залежності, у зимовий період становлять 0,17-0,39 мг/дм³, а у літній – 0,32-0,59 мг/дм³, що перевищує національний норматив (0,2 мг/дм³), особливо влітку, від 1,5 до 2,5-3 разів.

Залишкові концентрації діоксиду хлору у питній воді із мереж в основному відповідають нормативу ($\leq 0,1$

мг/дм³) або незначно його перевищують в окремих пробах.

4. За зарубіжною методикою та запропонованою формулою, яка враховує референтну дозу хлориту, реальний його рівень у воді та середньодобове навантаження токсиканта на організм людини, розраховано коефіцієнт небезпеки (HQ), що характеризує потенційний неканцерогенний ризик. Показано, що у межах концентрацій хлоритів у воді від 0,2 мг/дм³ (норматив України) до 0,7 мг/дм³ (норматив ВООЗ) коефіцієнт небезпеки зі збільшенням вмісту хлоритів має тенденцію до зростання, але не перевищує 1,0, що характеризує не-

канцерогенний ризик як допустимий (прийнятний), і не створює загрози здоров'ю людини.

Нами піднімається питання перед МОЗ України про доцільність зміни національного нормативу хлоритів у питній воді з 0,2 мг/дм³ до 0,7 мг/дм³.

REFERENCES

1. Kulish T. Porivnialna hihienichna otsinka nebezpeky letkykh ta neletkykh khlororhanichnykh spoluk, shcho utvoriuiutsia pry khloruvanni vody, ta ryzyky dlia zdorovia naselenia [Comparative hygienic assessment of the danger of volatile and non-volatile organochlorine compounds formed during water chlorination and risks to public

Таблиця

Оцінка ризику розвитку неканцерогенних ефектів для здоров'я людини від споживання питної води з різним вмістом хлоритів у мережах досліджуваних районів за сезонами 2021-2023 років (M±m)

Район Києва	Вміст хлоритів, мг/дм ³			Коефіцієнт небезпеки (HQ)		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Зима*						
Святошинський	0,17±0,03	0,25±0,05	0,25±0,08	0,25	0,36	0,36
Шевченківський	0,17±0,03	0,24±0,05	0,24±0,08	0,24	0,35	0,34
Подільський	0,21±0,04	0,33±0,06	0,39±0,08	0,30	0,47	0,55
Весна*						
Святошинський	0,14±0,02	0,42±0,07	0,26±0,07	0,19	0,60	0,36
Шевченківський	0,14±0,02	0,43±0,05	0,22±0,05	0,19	0,61	0,33
Подільський	0,20±0,03	0,51±0,04	0,37±0,08	0,28	0,72	0,53
Літо*						
Святошинський	0,32±0,11	0,44±0,10	0,39±0,13	0,46	0,62	0,55
Шевченківський	0,27±0,10	0,44±0,09	0,39±0,11	0,39	0,62	0,56
Подільський	0,35±0,11	0,59±0,06	0,53±0,10	0,50	0,84	0,75
Осінь*						
Святошинський	0,23±0,05	0,53±0,07	0,44±0,10	0,32	0,75	0,55
Шевченківський	0,20±0,04	0,56±0,06	0,43±0,05	0,29	0,79	0,60
Подільський	0,30±0,06	0,62±0,05	0,51±0,04	0,42	0,88	0,72
Середнє за рік						
Святошинський	0,21±0,03	0,41±0,04	0,30±0,06	0,31	0,58	0,43
Шевченківський	0,19±0,03	0,42±0,04	0,29±0,02	0,28	0,59	0,41
Подільський	0,26±0,04	0,51±0,04	0,43±0,05	0,37	0,73	0,62

Примітка: * – достовірність різниці показників хлоритів у питній воді за сезонами року: зима-весна – $p > 0,05$, зима-літо – $p < 0,05$, зима-осінь – $p < 0,05$.

health] [extended abstract of dissertation]. Kyiv: 2018. 23 p. Ukrainian.

2. Dmytrenko O. Hihiyenichna otsinka vplyvu khloroformu pytnoi vody na zdorovia naselennia [Hygienic assessment of the effect of chloroform in drinking water on the health of the population] [extended abstract of dissertation]. Kyiv: 2011. 20 p. Ukrainian.

3. Prokopov V, Lypovetska O. Vplyv khloroformu pytnoi vody na onkologichnu zakhvoryuvanist naselennya Kirovohradshchyny [Influence of drinking water chloroform on the oncological incidence of the population of Kirovograd region]. *Dovkillya ta zdorovya [Environment & Health]*. 2019 Sep (3 (92)):42-6. <https://doi.org/10.32402/dovkil2019.03.042>. Ukrainian.

4. Petrenko N. Naukove obgruntuvannia kombinovanykh metodiv znezarazhennia pytnoi vody [Scientific substantiation of combined methods of disinfection of drinking water] [extended abstract of dissertation]. Odesa: 2012. 33 p. Ukrainian.

5. Mokiienko A. Ekolohohihiienichni osnovy bezpechnosti vody, shcho znezarazhena dioksydom khloru [Ecological and hygienic basics of the safety of water disinfected with chlorine dioxide] [extended abstract of dissertation]. Kyiv: 2009. 33 p. Ukrainian.

6. Prokopov VO, Lypovetska OB, Kulish TV, Kostyuk VA, Avramenko LP. Nebezpechni khloroty u pytniy vodi: utvorennia ta vydalennia z vykorystanniam dioksydu khloru u tekhnolohiyi vodopidhotovky [Hazardous chlorites in drinking water: formation and removal when using chlorine dioxide in water preparation technology] [*Environment & Health*].

2023 Mar 1 (106):43-50. <https://doi.org/10.32402/dovkil2023.01.043>.

Ukrainian.

7. Prokopov VO, Lypovetska OB, Kulish TV. Hihiyenichna otsinka nebezpechnykh khlorotyv u obroblenyi dioksydom khloru pytniy vodi ta ryzyk vid yiyi vzhyvannya dlya zdorov'ya naselennya [Hygienic assessment of dangerous chlorites in drinking water treated with chlorine dioxide and the risk of its consumption to the health of the population]. *Medicni perspektivi [Medical perspectives]*. 2023 Sep 29;28(3):162-9. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2023.3.289220>.

Ukrainian.

8. Prokopov V, Lypovetska O, Kulish T. Nebezpechni pobichni produkty khloru ta dioksydu khloru v pytniy vodi: utvorennia, normuvannia, ryzyky zdoroviu, profilaktychni zakhody [Hazardous by-products of chlorine and chlorine dioxide in drinking water: formation, regulation, health risks, preventive measures]. In: Hihiiena pratsi ta profesiinykh zakhvoriuvan: mynule, sohodennia ta maibutnie [Occupational hygiene and occupational diseases: past, present and future: scientific and practical materials]; 2023 May 10; Kharkiv: Kharkivskiy natsionalnyi medychnyi universytet; 2023. p. 98-101. Ukrainian

9. Prokopov V, Lypovetska O, Kulish T, Sobol V, Kostyuk V, Bondarchuk A. [The use of chloride dioxide in the technology of drinking water treatment at the Dnipro river water pipe-line in Kyiv. Vykorystannia dioksydu khloru v tekhnolohiyi pidhotovky pytnoi vody na Dniprovskomu vodoprovodi m. Kyiva].

Dovkillya ta zdorovya [Environment & Health]. 2018 Dec 4(89):15-9. <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.015>. Ukrainian

10. US EPA. Human health risk assessment. <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment>

11. Toxicological review of chlorine dioxide and chlorite. In Support of summary information on the integrated risk information system. Washington: U.S. Environmental Protection Agency policy; 2000. 49 p. 00/007.

12. Pro zatverdzhennia metodychnykh vkazivok «Otsinka kantserohennoho ryzyku dlia zdorovia naselennia vid spozhyvannia khlorovanoi pytnoi vody» [On the approval of methodological guidelines «Assessment of the carcinogenic risk to the health of the population from the consumption of chlorinated drinking water»], Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy [Order of the Ministry of Health of Ukraine] № 545, 2005 Oct 21. Ukrainian.

13. Antomonov M. Matematycheskaia obrabotka y analiz medyko-byolohycheskykh dannikh [Mathematical processing and analysis of medical and biological data]. Kyiv: Medynform; 2018. 579 p. Russian.

14. Health risk assessment/characterization of the drinking water disinfection by-products chlorine dioxide and chlorite. Washington: U.S. Environmental Protection Agency policy; 1998. 60 p. 8W-0766-NTLX.

Конфлікт інтересів відсутній.

*Надійшло до редакції
27.05.2024*