

HAZARDOUS CHLORITES IN FEED WATER: FORMATION AND REMOVAL WHEN USING CHLORINE DIOXIDE IN WATER TREATMENT TECHNOLOGY

Prokopov V.O., Lypovetska O.B., Kulish T.V., Kostiuk V.A., Avramenko L.P.

НЕБЕЗПЕЧНІ ХЛОРИТИ У ПИТНІЙ ВОДІ: УТВОРЕННЯ ТА ВИДАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДІОКСИДУ ХЛОРУ У ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

В

ідомо, що хімічним методам знезараження питної води на основі хлору притаманне утворення за взаємодії з органічними домішками природної води побічних продуктів з різними ступенями токсичної дії на теплокровний організм [1, 2]. Такі речовини лімітують використання хімічних методів на практиці і у разі понаднормативного їх утворення у питній воді мають бути мінімізованими до безпечних рівнів затосовуваними технологіями водопідготовки [3, 4].

Не є виключенням і діоксид хлору, під час використання якого у воді утворюються неорганічні побічні продукти,

зокрема токсичні хлорити та хлорати. Вважається, що з 1 мг діоксиду хлору утворюється до 70% хлоритів і різні, зазвичай нижчі кількості хлоратів [5]. Донедавна хлорати вважали помірно токсичними речовинами порівняно з хлоритами. Але останнім часом ставлення до них змінилося. ВООЗ рекомендовано використовувати однаковий норматив у питній воді і для хлоратів, і для хлоритів на рівні 0,7 мг/дм³ [6].

В Україні за умов воєнного стану та надзвичайних ситуацій іншого характеру для контролю якості та безпечності питної води тимчасово дозволяється використовувати для хлоритів та хлоратів

НЕБЕЗПЕЧНІ ХЛОРИТИ У ПИТНІЙ ВОДІ:
УТВОРЕННЯ ТА ВИДАЛЕННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ ДІОКСИДУ ХЛОРУ
У ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

¹Прокопов В.О., ¹Липовецька О.Б.,
¹Куліш Т.В., ²Костюк В.А.,
²Авраменко Л.П.

¹ДУ «Інститут громадського здоров'я
ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ
²ПрАТ «АК «Київводоканал», Київ

Метою роботи було вивчення особливостей утворення та видалення токсичних хлоритів на очисних спорудах Дніпровського водопроводу міста Київ, де у технології водопідготовки використовується діоксид хлору, та впливу на ці процеси пріоритетних природних і технологічних чинників.

Матеріали та методи. Дослідження були проведені у 2021–2022 роках на Дніпровській водопровідній станції Києва, де у технології водопідготовки замість хлору використовується діоксид хлору. Нами виконано аналіз даних досліджень води на вміст діоксиду та хлоритів, що здійснюються на очисних спорудах лабораторією Дніпровського водопроводу з метою встановлення особливостей утворення та ефективності видалення хлоритів з вико-

ристанням застосовуваної технології водопідготовки. Також проведено вибіркові власні дослідження діоксиду хлору та хлоритів у воді водопроводу титриметричним і фотометричним методами, результати яких збігаються з даними, отриманими на водопроводі з використанням методу іонної хроматографії.

Основні результати. Дано позитивну гігієнічну оцінку сучасній новій технології підготовки питної води із поверхневих джерел з використанням діоксиду хлору замість хлор-газу. Показано, що незважаючи на високі очищувальні та знезаражувальні ефекти обробки води діоксидом хлору у ній постійно утворюються його побічні продукти, зокрема токсичні хлорити, рівні яких прямо залежать від використовуваних доз діоксиду хлору, що змінюються за сезонами року. Загалом первинна доза діоксиду хлору та хлоритів у воді після РЧВ, що надходить до водопровідних мереж, знижується за діоксидом хлору на 89,3–92,0%, а за хлоритами – на 76,2–85,6%. При цьому концентрація діоксиду хлору у знезараженій питній воді завжди визначається у межах норми – не менше 0,1 мг/дм³, а хлоритів – найчастіше перевищує національний гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³), але не виходить за

© Прокопов В.О., Липовецька О.Б., Куліш Т.В., Костюк В.А.,
Авраменко Л.П. СТАТТЯ, 2023.

такий самий норматив (0,7 мг/дм³, Наказ МОЗ України № 683 від 22.04.2022) [7]. Цей норматив у 3,5 рази менш жорсткий, ніж чинний національний норматив хлоритів (0,2 мг/дм³) та суттєво нижчий за норматив хлоратів (20,0 мг/дм³) у питній воді [8]. Втім, нормативи на хлорити та хлорати у питній воді донині залишаються предметом наукових дискусій. На відміну від хлорвмісних токсичних речовин класів тригалогенметанів (ТГМ), які у науковому плані досить добре вивчені у світі, а останніми роками й у нашій країні [9], хлорити та хлорати досліджені ще недостатньо.

В Україні діоксид хлору досліджувався переважно як знезаражувальний засіб з більш високою, ніж у хлору біоцидною дією на широкий спектр мікроорганізмів, зокрема на віруси [10]. Вивченню побічних продуктів діоксиду хлору (хлоритів та хлоратів) необхідної уваги не приділялося, вважаючи, що хоч вони і є токсичними речовинами, але у процесі водопідготовки за технологіями, що використовуються на вітчизняних водопроводах, ці речовини можуть видалятися із води до безпечних рівнів. Така точка зору не знаходить

підтвердження під час дослідження питної води на поки що поодиноких водопроводах, де для обробки природної води використовується діоксид хлору [11]. У часи незалежної України такі водопроводи з'явилися у містах Чорноморськ та Южний

Одеської області, Жовті Води Дніпропетровської області, Кременчук та Горішні Плавні Полтавської області й у місті Київ (Дніпровський водопровід).

Виходячи з наведеного вище актуальним завданням стає проведення різнопланово-

Таблиця 1

Традиційна та модернізована хлорна технологія підготовки питної води з використанням діоксиду хлору

Етапи водопідготовки	Традиційна хлорна технологія	Модернізована хлорна технологія		
		Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Водозабір на споруду	ковш	+	+	+
Первинна обробка води	хлорування	діоксид хлору	діоксид хлору	хлор
Коагуляція	сульфат алюмінію (гідроксихлорид алюмінію)	сульфат алюмінію + хлорне залізо	+	+
Флокуляція	аніонний флокулянт	+	+	+
Відстоювання	горизонтальний відстійник	+	+	+
Фільтрування	швидкий фільтр	+	+	+
Заключне знезараження	хлорування	діоксид хлору	хлор	діоксид хлору
Резервуар чистої води	РЧВ	+	+	+
Магістральний трубопровід	водопровід на мережа	+	+	+

Примітка: «+» – позначено наявність етапу водопідготовки.

межі рекомендованого ВООЗ нормативу (0,7 мг/дм³). Найбільші концентрації хлоритів утворюються у воді влітку (у середньому 0,35 мг/дм³) відповідно до підвищених у цей період доз діоксиду хлору (у середньому 2,51 мг/дм³), а найменші – взимку (у середньому 0,17 мг/дм³).

Висновки. Встановлено, що процес обробки природної води діоксидом хлору супроводжується утворенням у воді його побічних продуктів, переважно токсичних хлоритів, рівні яких залежать від застосовуваних доз діоксиду хлору і є найменшими взимку, а найбільшими – влітку. Після коагуляційної обробки вихідної води сульфатом алюмінію та хлоридом заліза (співвідношення 10 : 4-5), відстоювання та фільтрування рівні хлоритів у питній воді (РЧВ) інтенсивно знижуються, але не завжди досягають нормативних значень. У літній період максимальні рівні хлоритів у питній воді із РЧВ можуть бути вищими за національний гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³) і коливатись у межах до 0,7 мг/дм³, що відповідає рекомендованому ВООЗ нормативу для цієї речовини у питній воді. Піднімається питання про перегляд національного нормативу хлоритів у питній воді з 0,2 мг/дм³ на 0,7 мг/дм³ після відповідного наукового обґрунтування.

Ключові слова: водопідготовка, діоксид хлору, хлорити, водопровідна питна вода.

вих наукових досліджень для обґрунтування оптимальних технологічних рішень безпечного використання діоксиду хлору в умовах недосконалих вітчизняних водоочисних технологій на річкових водопроводах, що гарантуватимуть високу якість питної води та відсутність у ній понаднормативних рівнів токсичних хлоритів і хлоратів. Невирішеність цих питань стала передумовою для виконання цих досліджень.

Метою роботи було вивчення особливостей утворення та видалення токсичних хлоритів на очисних спорудах Дніпровського водопроводу міста Київ, де у технології водопідготовки використовується діоксид хлору, та впливу на ці процеси пріоритетних природних і технологічних чинників.

Матеріали та методи. Дослідження були проведені у 2021-2022 роках на Дніпровській водопровідній станції Києва. Згідно з технологічним регламентом, який пройшов експертну оцінку та отримав позитивний гігієнічний висновок у ДУ «ІГЗ імені О.М. Марзєєва НАМН України», у технології водопідготовки на водопроводі замість хлору використовується діоксид хлору. Розробці технологічного регламенту передували пілотні дослідження з обґрунтування умов використання діоксиду хлору у технології водопідготовки, результати яких оцінювались за нашої участі [12].

Водопровідна станція має традиційну двоступеневу технологію обробки дніпровської води до вимог питної у такому складі: водозабірна споруда – первинна реагентна обробка води (передокислення – діоксид хлору, коагуляція – сульфат алюмінію та хлорид заліза у співвідношенні 10 : 4-5) – відстоювання – фільтрування – пост-знезараження (діоксид хлору) – резервуар чистої води (РЧВ) – магістральний трубопровід. Для отримання діоксиду хлору на водопроводі використовується італійське обладнання (генератори) та реагент – хлорит натрію італійського виробництва, який у взаємодії з соляною кислотою та водою утворює діоксид хлору.

Щодоби на водопроводі обробляється 300000 м³ дніпровської води, загальна доза діоксиду хлору становить 1,0-3,1 мг/дм³, у тому числі для первинної обробки води – 0,8-2,5 мг/дм³, для вторинної – 0,2-0,6 мг/дм³. Процес виготовлення та дозування діоксиду хлору, використання його у технології підготовки питної води повністю автоматизовані. Вода дніпровської водопровідної станції, оброблена діоксидом хлору, подається споживачам Святошинського, Шевченківського та частково Оболонського районів Києва.

Нами виконано аналіз даних досліджень води на очисних спорудах водопроводу на



ПРОБЛЕМИ ГІГІЄНИ ПИТНОЇ ВОДИ

вміст діоксиду хлору та хлоритів, що провадяться лабораторією Дніпровського водопроводу. Для їх визначення у воді використовується метод іонної хроматографії. Наші вибіркові дослідження питної води після РЧВ Дніпровського водопроводу на вміст діоксиду хлору та хлоритів з використанням титриметричного та фотометричного методів аналізу порівняно з методом іонної хроматографії показали цілковиту збіжність результатів їх вимірювання.

Отже, за відсутності у лабораторіях іонного хроматографа для вимірювання у воді діоксиду хлору та хлоритів можна використовувати титриметричний та фотометричний методи аналізу, адаптовані для їх визначення у воді.

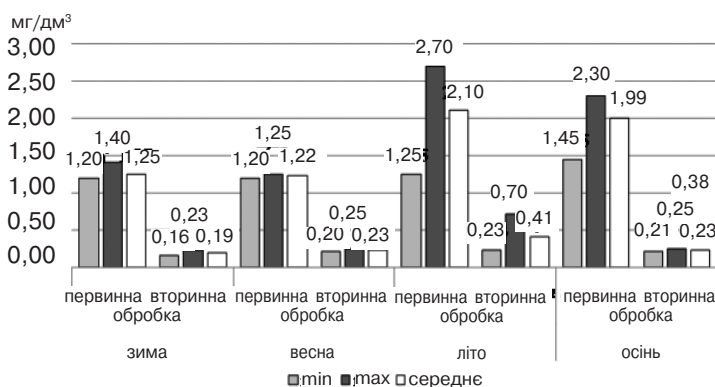
Окрім показників у воді діоксиду хлору та хлоритів, оцінювалась ефективність підготовки питної води на очисних спорудах водопроводу за загальноприйнятими фізико-хімічними та мікробіологічними показниками, що наводяться на сайті ПрАТ «АК

«Київводоканал».

Результати досліджень. Проаналізовано найбільш поширені варіанти використання діоксиду хлору у традиційній хлорній технології підготовки питної води на річкових водопроводах (табл. 1). Як свідчать дані таблиці, за першим варіантом технологічної водоочисної схеми діоксид хлору використовується для первинної та вторинної обробки води, за другим – тільки для первинної обробки, а заключне знезараження води – хлором. У третьому варіанті змінюється послідовність введення у воду деззасобів: первинна обробка води провадиться хлором, вторинна – діоксидом хлору.

На нашу думку, варіант технологічної схеми № 3, коли діоксид хлору використовується лише на заключному етапі водопідготовки, практично мало чим відрізняється від традиційної хлорної технології. Ця технологія не усуває утворення небезпечних хлорорганічних сполук у воді, максимальна кількість яких утворюється на начальній

Рисунок 1
Динаміка змін доз діоксиду хлору для первинної та вторинної обробки води на водопроводі за сезонами року, 2021 р.



стадії водопідготовки. Заключна обробка води діоксидом хлору гарантує тільки її епідбезпеку. У дозах, що застосовуються, він не призводить до збільшення вмісту хлорорганічних сполук, а також до утворення хлоритів і хлоратів. З позицій гігієни позитивної оцінки заслуговують варіанти технологічної схеми № 1 та № 2. В обох схемах первинна обробка вихідної води здійснюється діоксидом хлору, коли у воді не утворюються небезпечні хлорорганічні сполуки, а утворення при цьому побічних продуктів (саме хлоритів та хлоратів) може бути мінімізованим за рахунок оптимізації технології водопідго-

товки. На заключному етапі водопідготовки краще використовувати діоксид хлору, ніж хлор, враховуючи більш гарантовану його віруліцидну дію. Також потрібно наголосити на тому, що у варіанті технологічної схеми № 2 використовуються два знезаражувальні засоби – діоксид хлору та хлор, що ускладнює процес знезараження, потребує додаткових споруд, обладнання тощо.

Отже, на підставі гігієнічної оцінки різних варіантів використання діоксиду хлору у технології підготовки питної води із поверхневих джерел порівняно з традиційною хлорною технологією показано переваги застосування

у водопідготовці діоксиду хлору замість звичайного хлору як на початковому, так і на заключному етапі обробки води (схема № 1). Саме такий варіант використання діоксиду хлору застосовано у технології підготовки питної води на Дніпровському водопроводі Києва.

Дніпровська вода, що надходить на водопровідні очисні споруди, у період спостереження за органічним забрудненням (ХПК, перманганатна окиснюваність) мала сезонні коливання: найбільший вміст у воді органічних речовин реєструється протягом усього літа та восени, який нівелюється у цей період підвищеними дозами коагулянтів та збільшенням доз діоксиду хлору для окислення та знезараження питної води. За результатами фізико-хімічних та мікробіологічних досліджень, питна вода за практично усіма показниками відповідала гігієнічним вимогам згідно з чинним ДСанПін 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».

Вода перед надходженням до РЧВ проходить етапи обробки діоксидом хлору, коагуляції, відстоювання та фільтрування, після чого знезаражується діоксидом хлору. Коагуляційна обробка води проводиться сульфатом алюмінію та хлорним залізом (допоміжний коагулянт), що використовується для видалення хлоритів та надлишкових концентрацій діоксиду хлору.

Співвідношення цих реагентів становить 10 : 4-5 залежно від сезонів року та коливань якості природної води.

На представлених рисунках наведено дані використання доз діоксиду хлору для первинної та вторинної обробки вихідної води (рис. 1) і залишкових концентрацій діоксиду хлору та хлоритів у питній воді із РЧВ (рис. 2).

Аналіз даних рисунків 1 та 2 свідчить про те, що у зимовий період для водопідготовки використовувалися найменші дози діоксиду хлору:

Рисунок 2
Сезонні коливання концентрацій діоксиду хлору та хлоритів у питній воді (РЧВ), що надходить до водопровідних мереж, 2021 р.

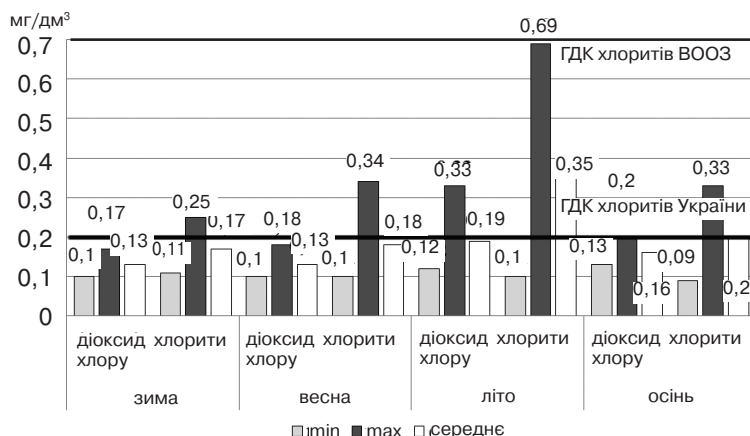
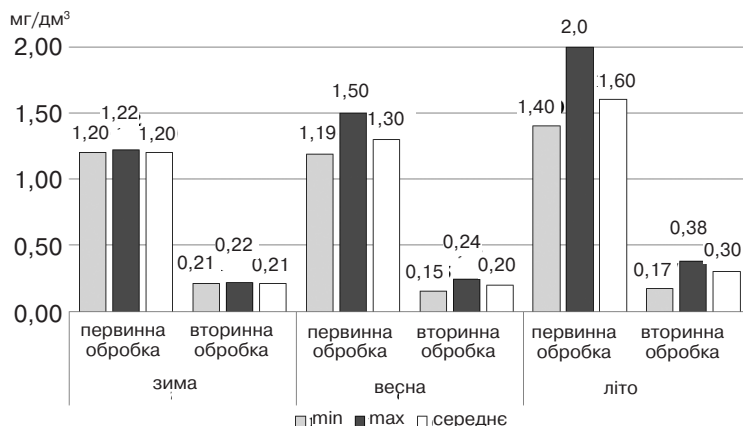


Рисунок 3
Динаміка змін доз діоксиду хлору для первинної та вторинної обробки води на водопроводі за сезонами року, 2022 р.



HAZARDOUS CHLORITES IN FEED WATER: FORMATION AND REMOVAL WHEN USING CHLORINE DIOXIDE IN WATER TREATMENT TECHNOLOGY

¹Prokopov V.O., ¹Lypovetska O.B.,
¹Kulish T.V., ²Kostiuk V.A., ²Avramenko L.P.

¹SI «O.M. Marzieiev Institute for public health NAMS of Ukraine», Kyiv

²PRJSC «JSC «Kyivvodocanal», Kyiv

The aim of the work was to study the features of the formation and removal of toxic chlorites at the treatment facilities of the Dnipro water pipeline in Kyiv, where chlorine dioxide is used in water treatment technology, and the influence of priority natural and technological factors on these processes.

Materials and methods: The studies were carried out in 2021-2022 at the Dnipro waterworks in Kyiv, where chlorine dioxide is used instead of chlorine in water treatment technology. We have analyzed the data of water studies for the content of dioxide and chlorites, carried out at the treatment facilities by the laboratory of the Dnipro water pipeline in order to establish the features of the formation and efficiency of chlorite removal when using the applied water treatment technology. Also, selective studies of chlorine dioxide and chlorites in the water supply were carried out by titrimetric and photometric methods, the results of which coincide with the data obtained on the water supply using the ion chromatography method.

Main results: A positive hygienic assessment of the modern new technology for the preparation of drinking water from surface sources using chlorine dioxide instead of chlorine gas is given. It is shown that with high purifying and disinfecting effects of water treatment with chlorine dioxide, its by-products, in particular, toxic chlorites, are constantly formed in it, the levels of which are directly dependent on the doses of chlorine dioxide used,

which vary according to the seasons of the year. In general, the primary dose of chlorine dioxide and chlorites in the water after CWR, entering the water supply networks, is reduced by 89.3-92.0% for chlorine dioxide, and by 76.2-85.6% for chlorites. At the same time, the concentration of chlorine dioxide in disinfected water is always within the normal range – at least 0.1 mg / dm³, and chlorites often exceed the national hygienic standard (0.2 mg / dm³), but does not go beyond the standard recommended by WHO (0.7 mg/dm³). The highest concentrations of chlorites are formed in water in summer (on average 0.35 mg/dm³) in accordance with the increased doses of chlorine dioxide during this period (on average 2.51 mg/dm³), and the lowest in winter (on average 0.17 mg/dm³).

Conclusions: As a result of the study, it was found that the process of treating natural water with chlorine dioxide is accompanied by the formation of its by-products in water, mainly toxic chlorites, the levels of which depend on the doses of chlorine dioxide used and are the lowest in winter and the highest in summer. After coagulation treatment of the source water with aluminum sulfate and ferric chloride (ratio 10 : 4-5), settling and filtering the level of chlorites in water (LCW) is intensively reduced, but not always reach the standard values. In summer, the maximum levels of chlorites in water with LCW can be higher than the national hygienic standard (0.2 mg/dm³) and range up to 0.7 mg/dm³, which corresponds to the WHO recommended standard for this substance in drinking water. The issue of revising the national standard for chlorites in water from 0.2 mg/dm³ to 0.7 mg/dm³ after appropriate scientific justification is being raised.

Keywords: water treatment, chlorine dioxide, chlorites, tap drinking water.

для первинної обробки води 1,2-1,4 мг/дм³ (у середньому 1,25 мг/дм³), для вторинної – 0,16-0,23 мг/дм³ (у середньому 0,19 мг/дм³).

У зимові місяці вміст хлоритів у питній воді (РЧВ) становив 0,11-0,25 мг/дм³ (у середньому 0,17 мг/дм³), переважно не перевищуючи 0,2 мг/дм³. Практично такі самі дози діоксиду хлору використовувалися для обробки дніпровської води навесні.

Але у цей період на фоні незначних рівнів хлоритів у питній воді 0,10-0,34 мг/дм³ (у середньому 0,18 мг/дм³) періодично реєструвалися і вищі рівні (0,34 -0,58 мг/дм³, тра-

вень). Влітку для первинної обробки води дози діоксиду хлору становили 1,25-2,70 мг/дм³, для вторинної – 0,23-0,70 мг/дм³. За таких умов рівень хлоритів у питній воді був 0,10-0,69 мг/дм³ (у середньому 0,35 мг/дм³). Порівняно з літніми місяцями дози діоксиду хлору восени були практично такими самими, але хлоритів у питній воді було менше: мінімальні рівні становили 0,09 мг/дм³, максимальні – 0,33 мг/дм³ (у середньому 0,2 мг/дм³).

Питна вода, що надходить після РЧВ до водопровідних мереж міста, в усі сезони року містить залишковий діоксид хлору на рівні не менше

0,1 мг/дм³ і навіть більше (до 0,2-0,3 мг/дм³).

Отже, наведені на рисунках результати досліджень свідчать про «дозо-часову» залежність використання діоксиду хлору у технології обробки води на дніпровському водопроводі. Найменші його дози застосовуються взимку, найбільші – влітку, в останній місяць весни й на початку осені. У ці періоди року в окремих пробах питної води (РЧВ) максимальні рівні хлоритів можуть бути у 2-3 рази вищими за прийнятий для них національний гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³).

Процес обробки дніпровської води діоксидом хлору та

утворення при цьому хлоритів з подальшим їх зниженням на очисних спорудах водопроводу відбувається таким чином. Вода для первинної обробки діоксидом хлору надходить до резервуару насосної станції першого підйому, де відбувається окислення органічних сполук та утворення побічних його продуктів – переважно хлоритів та незначної кількості хлоратів. Звідси оброблена вода потрапляє до змішувача, де коагулюється з використанням сульфату алюмінію та

хлориду заліза. Дози цих реагентів 2021 року коливалися, за середніми даними, у межах 70,5-159,7 мг/дм³ та 18,7-37,3 мг/дм³ відповідно (співвідношення 10 : 4-5) залежно від сезону року. Після відстоювання та фільтрування очищена вода перед РЧВ знезаражується діоксидом хлору (вторинна обробка води) у дозах у середньому у 10 разів нижчих (0,1-0,2 мг/дм³) за первинні дози діоксиду хлору (1,0-2,5 мг/дм³). Загалом первинна концентрація діоксиду хлору та утво-

рених хлоритів у воді на очисних спорудах водопроводу знижується за діоксидом хлору на 89,3-92,0%, а за хлоритами – на 76,2-85,6% залежно від сезонів року (табл. 2). При цьому концентрація діоксиду хлору у знезараженій питній воді після РЧВ завжди визначається у межах норми (не менше 0,1 мг/дм³), а хлоритів – найчастіше перевищує національний гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³), але не виходить за межі рекомендованого ВООЗ нормативу (0,7 мг/дм³).

Таким чином, можна зробити висновок, що коагуляція води сульфатом алюмінію та хлоридом заліза, подальше її очищення у відстійниках та на фільтрах з традиційним завантаженням не завжди гарантують зниження хлоритів в очищеній воді (РЧВ) до безпечних рівнів, особливо у теплий період року згідно з вітчизняними нормативом (0,2 мг/дм³), оскільки вторинна обробка води діоксидом хлору лише додає до води діоксид хлору та хлорити, а не знижує їх.

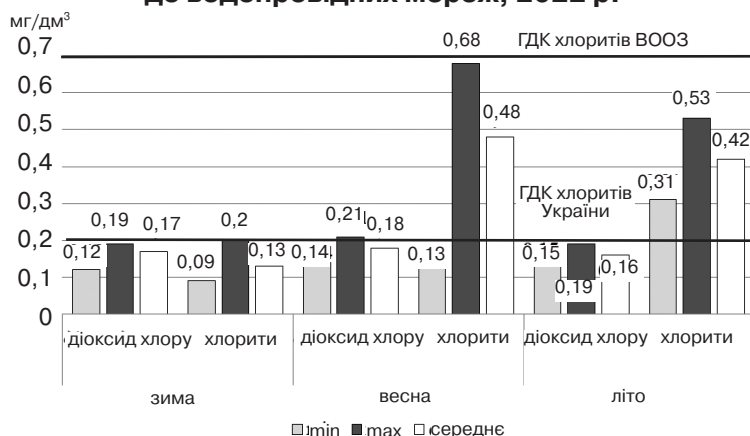
Нами піднімається питання перед МОЗ України про зміну застарілого радянського нормативу хлоритів 0,2 мг/дм³ на 0,7 мг/дм³, який, за рекомендаціями ВООЗ, дозволений використовувати в Європі та на особливий період у нашій країні (Наказ МОЗ № 683 від 22.04.2022). Для наукового обґрунтування нормативу хлоритів (та хлоратів) у питній воді нами заплановане проведення хронічного токсикологічного експерименту, що дозволить внести корективи у вітчизняні нормативи цих речовин для води водних об'єктів.

Висновки

1. Дано позитивну гігієнічну оцінку сучасної нової технології підготовки питної води з використанням діоксиду хлору замість хлор-газу, що впроваджена на Дніпровському водопроводі Києва. Показано, що після первинної обробки природної води діоксидом хлору дозами 1,22-2,10 мг/дм³, встановленими відповідно до сезонних коливань якості води водой-

Рисунок 4

Сезонні коливання концентрацій діоксиду хлору та хлоритів у питній воді (РЧВ), що надходить до водопровідних мереж, 2022 р.



Таблиця 2

Видалення хлоритів на очисних спорудах водопроводу за різних сезонних доз діоксиду хлору, що використовуються для первинної обробки питної води (усереднені дані, 2021 р.)

Найменування показників	Одиниці виміру	Період спостереження			
		зима	весна	літо	осінь
Первинна доза (концентрація) діоксиду хлору	мг/дм ³	1,25	1,22	2,10	1,99
Вторинна доза (концентрація) діоксиду хлору	мг/дм ³	0,19	0,23	4,10	0,23
Первинна та вторинна доза (сума) діоксиду хлору	мг/дм ³	1,44	1,45	2,51	2,22
Концентрація утворених хлоритів з діоксиду хлору*	мг/дм ³	0,88	0,85	1,47	1,39
Залишкова концентрація діоксиду хлору (РЧВ)	мг/дм ³	0,13	0,13	0,19	0,16
Залишкова концентрація хлоритів (РЧВ)	мг/дм ³	0,17	0,18	0,35	0,20
Ефективність видалення діоксиду хлору	%	89,6	89,3	91,0	92,0
Ефективність видалення хлоритів	%	80,6	78,9	76,2	85,6

Примітка: * – концентрацію хлоритів розраховано за даними, що з 1 мг діоксиду хлору утворюється 0,7 мг хлоритів [5].

ми, наступного реагентно-механічного її очищення та заключного знезараження діоксидом хлору дозами 0,19-0,41 мг/дм³ вода за санітарно-хімічними та мікробіологічними показниками набуває якості питної та не несе загрозу здоров'ю населення.

2. Встановлено, що процес первинної обробки природної води діоксидом хлору супроводжується утворенням у воді його побічних продуктів, переважно токсичних хлоритів, рівні яких залежать від застосовуваних доз діоксиду хлору і є найменшими взимку, найбільшими – влітку. У літній період максимальні рівні хлоритів у питній воді із РЧВ можуть бути вищими за національний гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³) і коливатись у межах до 0,7 мг/дм³, що відповідає рекомендованому ВООЗ нормативу для цієї речовини у питній воді.

3. Показано, що утворені під час первинної обробки природної води діоксидом хлору хлорити з застосуванням на водопровіді технології підготовки питної води інтенсивно видаляються із води, чому сприяє використання разом з коагулянтном сульфатом алюмінію іншого коагулянту – хлориду заліза, який здатний мінімізувати вміст у воді залишкових концентрацій хлоритів та діоксиду хлору (співвідношення 10 : 4-5). Проте у питній воді після РЧВ, яка надходить до водопровідної мережі, концентрації хлоритів не завжди відповідають національному гігієнічному нормативу, особливо у теплий період року. Піднімається питання про перегляд національного нормативу хлоритів у питній воді з 0,2 мг/дм³ до 0,7 мг/дм³ після відповідного наукового обґрунтування.

REFERENCES

1. Sorlini S., Gialdini F., Biasibetti M. and Collivignarelli C. Influence of Drinking Water Treatments on Chlorine Dioxide Consumption and Chlorite/Chlorate Formation. *Water Research*. 2014 ; 54 : 44-52.

2. Özdemir K. Chlorine and

Chlorine Dioxide Oxidation of Natural Organic Matter in Water Treatment Plants. *Environment Protection Engineering*. 2020 ; 46 (4) : 87-97.

3. Petrenko N.F. Naukove obgruntuvannya kombinovanykh metodiv znezarazhennia pytnoi vody : avtoref. dys. ... d-ra biol. nauk [Scientific Substantiation of Combined Methods of Drinking Water Disinfection: Abstract of the Dissertation of a Doctor of Biological Sciences]. Odesa ; 2012 : 36 p. (in Ukrainian).

4. Goncharuk V.V. and Potapchenko N.G. Sovremennoye sostoyaniye problemy obezrazhivaniya vody [The Current State of the Problem of Water Disinfection]. *J. Water Chemistry and Technology*. 1998 ; 20 (2) : 190-217 (in Russian).

5. Goncharuk V.V., Klimenko N.A., Savchina L.A. et al. Sovremennyye problemy tekhnologii podgotovki pitevoy vody [Modern Problems of Drinking Water Treatment Technology]. *J. Water Chemistry and Technology*. 2008 ; Special Iss., Pt. 1 : 3-98 (in Russian).

6. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 4rd ed. Geneva : WHO ; 2017 : 541 p.

7. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm i pravyl «Pokaznyky bezpechnosti ta okremi pokaznyky yakosti pytnoi vody v umovakh viennoho stanu ta nadzvychainykh sytuatsiiakh inshoho kharakteru» : Nakaz MOZ Ukrainy vid 22.04.2022 № 683 [On Approval of the State Sanitary Norms and Rules «Safety Indicators and Individual Indicators of the Quality of Drinking Water in Martial Law and Emergency Situations of a Different Nature»: Order of the Ministry of Health of Ukraine dated April 22, 2022 № 683]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0564-22#Text> (in Ukrainian).

8. Ministry of Health of Ukraine. Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї

dlia spozhyvannia liudynoiu : DSanPiN 2.2.4-171-10 [Ministry of Health of Ukraine. Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption: DSanPiN 2.2.4-171-10]. Kyiv ; 2012 : 55 p. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> (in Ukrainian).

9. Padhi R.K., Subramanian S. and Satpathy K.K. Formation, Distribution, and Speciation of DBPs (THMs, HAAs, ClO₂⁻, and ClO₃⁻) during Treatment of Different Source Water with Chlorine and Chlorine Dioxide. *Chemosphere*. 2019 ; 218 : 540-550.

10. Mokiienko A.V. Ekolohohihienichni osnovy bezpechnosti vody, shcho znezarazhena dioksydom khloru : avtoref. dys. ... d-ra med. nauk [Ecological and Hygienic Bases for the Safety of Water Disinfected with Chlorine Dioxide: Abstract of the Dissertation of a Doctor of Medical Sciences]. Kyiv ; 2009 : 34 p. (in Ukrainian).

11. Serdiuk A.M., Prokopov V.O., Hozhenko A.I. et al. Hihienichna otsinka biotsydnoi dii dioksydu khloru yak zasobu znezarazhuvannia pytnoi vody (ohliad literatury ta vlasnykh doslidzhen) [Hygienic Assessment of the Biocidal Action of Chlorine Dioxide as a Means of Disinfecting Drinking Water (Review of Literature and Research)]. *Dovkillia ta zdorovia (Environment & Health)*. 2007 ; 2 (41) : 36-40 (in Ukrainian).

12. Prokopov V.O., Lypovetska O.B., Kulish T.V. et al. Vykorystannia dioksydu khloru v tekhnolohii pidhotovky pytnoi vody na Dniprovskomu vodoprovodi m. Kyieva [The Use of Chloride Dioxide in the Technology of Preparation of Drinking Water Treatment at the Dnipro River Water Pipe-Line in Kiev]. *Dovkillia ta zdorovia (Environment & Health)*. 2018 ; 4 (89) : 15-19 (in Ukrainian).

Надійшло до редакції
14.03.2023