

MONITORING OF THE CONTENT OF DANGEROUS CHLORITES IN DRINKING WATER AND THE EFFICIENCY OF THEIR REMOVAL USING THE TRADITIONAL TECHNOLOGY OF CHLORINE DIOXIDE WATER PREPARATION

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

МОНІТОРИНГ ВМІСТУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХЛОРИТІВ У ПИТНІЙ ВОДІ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ ВИДАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДІОКСИДУ ХЛОРУ У ТРАДИЦІЙНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

A

**ПРОКОПОВ В.О.,
ЛИПОВЕЦЬКА О.Б.,
КУЛІШ Т.В.,
СОБОЛЬ В.А.**

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

аналіз наукової літератури свідчить, що нині у багатьох країнах світу у технології підготовки питної води із поверхневих джерел замість традиційного хлорування використовується діоксид хлору як найбільш ефективний засіб забезпечення епідемічної безпеки питної води від патогенних бактерій та вірусів [1-3].

До цього наукові дослідження діоксиду хлору в Україні стосувалися винят-

ково вивчення його як знезаражувального засобу. Досвіду використання діоксиду хлору у технології водопідготовки у країні не було [4].

На цей час вже розроблено гігієнічні нормативи (ГДК) вмісту у питній воді побічних продуктів діоксиду хлору, зокрема хлоритів (0,2 мг/дм³) і хлоратів (20,0 мг/дм³), та методи їх визначення у воді.

За часів незалежної України, яка вже стала кан-

МОНІТОРИНГ ВМІСТУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХЛОРИТІВ У ПИТНІЙ ВОДІ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ ВИДАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДІОКСИДУ ХЛОРУ У ТРАДИЦІЙНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

Прокопов В.О., Липовецька О.Б., Куліш Т.В., Соболь В.А.

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

Мета дослідження. Дослідити особливості та рівні утворення небезпечних хлоритів з застосуванням діоксиду хлору у модернізованій традиційній технології підготовки питної води із поверхневого джерела та оцінити її здатність мінімізувати хлорити до безпечних рівнів.

Матеріали та методи дослідження. Виконано аналіз трирічних (2021-2023) досліджень використання діоксиду хлору у модернізованій традиційній двоступеневій технології підготовки питної води із поверхневого джерела (р. Дніпро). Дослідження включали оцінку питної води за санітарно-хімічними та мікробіологічними показниками на відповідність ДСанПІН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» та на вміст у ній діоксиду хлору та його побічних про-

дуктів – хлоритів. Визначення вмісту у воді діоксиду хлору та хлоритів проводилося лабораторією Дніпровського водопроводу з використанням методу іонної хроматографії, а також нами (окремі проби) з використанням титриметричного методу за Ю.Ю. Лур'є.

Результати. Показано, що традиційна двоступенева технологія підготовки питної води із поверхневого джерела, в якій хлор замінено на діоксид хлору, забезпечуючи у процесі очистки вихідної води епідемічну безпеку та хімічну нешкідливість питної води, супроводжується утворенням у ній небезпечних побічних продуктів, зокрема токсичних хлоритів. Рівні діоксиду хлору у воді підпорядковуються дозо-часовій (сезонній) залежності та притаманному для кожної пори року складу вихідної води за органічними речовинами та її температурному режиму. Вони є найменшими у холодну пору року і найбільшими – у теплу.

За цих доз діоксиду хлору розрахункові концентрації хлоритів у воді з урахуванням 50-70% їх утворення із кожного 1,0 мг діоксиду хлору були взимку 0,87-1,21 мг/дм³, навесні – 0,89-1,24 мг/дм³, влітку – 1,23-1,72 мг/дм³, восени – 1,35-1,89 мг/дм³, що у 5-10 разів більше за національний норматив

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

дидатом на вступ до Європейського Союзу, з'явилися передумови для удосконалення застарілих технологій підготовки питної води на річкових водопроводах, передусім у частині відмови від застосування хлорування та заміни його на діоксид хлору.

На жаль, цей процес відбувається дуже повільно. Нині лише поодинокі водопроводи використовують діоксид хлору або його комбінації з іншими хлорвмісними окиснювачами (газоподібний хлор, гіпохлорит натрію) у різних варіантах та на різних стадіях технологічної схеми водопідготовки [5, 6].

На Дніпровському водопроводі міста Київ, на якому останнім часом впроваджено «діоксидну» технологію підготовки питної води, діоксид хлору використовується і для первинної, і для вторинної оброб-

(0,2 мг/дм³) і мають бути мінімізованими до безпечних рівнів технологією водопідготовки.

Встановлено, що з застосуванням водоочисної технології, яка включає коагуляцію (сульфат алюмінію та хлорне залізо), відстоювання та фільтрування, видалення із води діоксиду хлору за усі сезони спостереження відбувалося не менше ніж на 90%, що забезпечувало їх вміст у питній воді на рівні прийнятого у нас нормативу ($\leq 0,1$ мг/дм³). На цьому фоні ефективність видалення із води хлоритів за середньорічними даними не забезпечувала вміст хлоритів у питній воді, зокрема у теплий період року, на рівні національного нормативу (0,2 мг/дм³), але жодного разу не виходила за межі нормативу (0,7 мг/дм³), рекомендованого ВООЗ.

Висновки. Дослідженнями на водоочисних спорудах Дніпровського водопроводу Києва показано, що використання діоксиду хлору супроводжується утворенням у природній воді небезпечних хлоритів.

Показано, що з застосуванням технології водопідготовки, що включає коагуляцію (сульфат алюмінію та хлорне залізо), відстоювання та фільтрування, рівні діоксиду хлору та хлоритів знижуються, хоча у теплий період року хлорити можуть перевищувати національний норматив у питній воді у 2-3 рази.

Науково обґрунтовано доцільність рекомендувати МОЗ України змінити норматив хлоритів у питній воді з 0,2 мг/дм³ на 0,7 мг/дм³, який застосовується нині в європейських країнах.

Ключові слова: поверхнєве джерело, технологія водопідготовки, водоочисні споруди, питна вода, діоксид хлору, хлорити, гігієнічна оцінка.



ФАКТОРИ ДОВКІЛЛЯ ТА ЗДОРОВ'Я

ки води. На цьому об'єкті, що використовується нами як наукова база, протягом трьох років проводилися дослідження з вивчення особливостей та рівнів утворення побічних продуктів діоксиду хлору (хлоритів), дозо-часової залежності їхніх рівнів з урахуванням сезонів року, поведінки хлоритів на очисних спорудах водопроводу, ефективності їх видалення на цих спорудах за традиційною технологією водопідготовки, впливу на процес утворення та видалення хлоритів природних

та технологічних чинників тощо.

Мета дослідження. Дослідити особливості та рівні утворення небезпечних хлоритів з застосуванням у модернізованій традиційній технології підготовки питної води із поверхневого джерела діоксиду хлору та оцінити її здатність мінімізувати хлорити до безпечних рівнів.

Матеріали та методи дослідження. У 2021-2023 роках нами проводилися спостереження та оцінка гігієнічної ефективності модернізованої традиційної технології підготовки питної води із поверхневого джерела, що впроваджена на Дніпровському водопроводі Києва. У двоступеневій технології водопідготовки зміни стосувалися лише заміни хлорування (хлорамонізації) на обробку води діоксидом хлору та використання разом з сульфатом алюмінію додаткового коагулянта – хлорного заліза. Рішення щодо застосування діоксиду хлору замість хлору було прийняте виходячи з позитивного досвіду його використання у водопідготовці у багатьох країнах світу, а також за результатами пілотних досліджень, що проводилися за нашої участі на Дніпровському водопроводі [7].

Для виробництва діоксиду хлору тут використано генератори італійського виробництва T70G 4000, в яких у результаті взаємодії 24-25% хлориту натрію та 32-33% соляної

кислоти утворюється діоксид хлору. Водний розчин діоксиду хлору додатково змішується з водою та подається у питну воду для обробки. Процес виробництва діоксиду хлору, його дозування та контроль повністю автоматизовані.

Обробка води діоксидом хлору на водопроводі проводиться двічі: на початковій стадії технологічної схеми перед надходженням природної води на водоочисні споруди та на заключній стадії для знезараження питної води у резервуарах чистої води (РЧВ). Дози діоксиду хлору для первинної обробки води становлять 1,0-3,0 мг/дм³, для вторинної – 0,2-0,6 мг/дм³. Щодоби на водопроводі обробляється від 150000 м³ до 300000 м³ дніпровської води.

Після первинної обробки природної води контроль діоксиду хлору та його побічних продуктів – хлоритів та залишкових концентрацій цих речовин у питній воді (РЧВ) – проводиться лабораторією водопроводу відповідно до вимог Технологічного регламенту.

Згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [8] у разі знезараження води за допомогою діоксиду хлору вміст залишкового діоксиду хлору у воді з РЧВ після 30 хвилин контакту має бути не менше 0,1 мг/дм³, а концентрація хлоритів – не більше 0,2 мг/дм³.

Визначення у воді діоксиду хлору та хлоритів проводиться на водопроводі методом іонної хроматографії. Вибіркові проби води на вміст цих речовин після РЧВ досліджувалися нами з використанням титриметричного методу за Ю.Ю. Лур'є. Результати визначення побічних продуктів діоксиду хлору оцінювалися згідно з національним нормативом хлоритів (0,2 мг/дм³), який поки що залишається незмінним, та з тимчасово дозволеним в Україні нормативом ВООЗ (0,7 мг/дм³).

Наказом МОЗ України від 22.04.2022 № 683 [9] в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуацій іншого характеру для контролю якості питної води

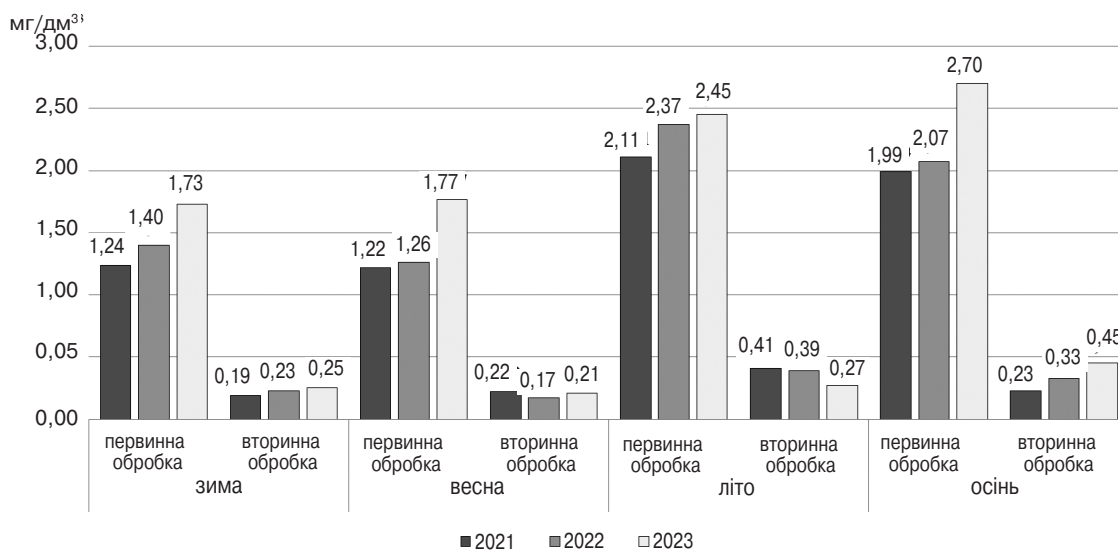
щодо хлоритів та хлоратів у країні дозволено застосовувати однаковий норматив – 0,7 мг/дм³, рекомендований ВООЗ та прийнятий в Європейському Союзі (Директива ЄС 2020/2184/ЄС) [10].

Окрім визначення у природній та питній воді (РЧВ) специфічних хімічних речовин (діоксид хлору та хлорити) досліджується також якість та безпечність води за мікробіологічними та санітарно-хімічними показниками з використанням загальноприйнятих методів лабораторного контролю відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10. Результати цих досліджень висвітлюються на сайті «Київводоканалу» та аналізуються нами за визначений період спостереження (2021-2023).

Статистичну обробку даних досліджень проводили з використанням програмної системи «Microsoft Office Excel 2007». Розраховувалися значення середньої величини, середньоквадратичного відхилення та стандартної похибки середньої величини. Для оцінки значущості від-

Рисунок 1

Показники середньосезонних доз діоксиду хлору для первинної та вторинної обробки води за роки спостереження



MONITORING OF THE CONTENT OF DANGEROUS CHLORITES IN DRINKING WATER AND THE EFFICIENCY OF THEIR REMOVAL USING THE TRADITIONAL TECHNOLOGY OF CHLORINE DIOXIDE WATER PREPARATION

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

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

Objective. To investigate the features and levels of dangerous chlorites formation when applied in the modernized traditional technology of preparation of drinking water from a surface source of chlorine dioxide and to evaluate its ability to minimize chlorites to safe levels.

Research materials and methods. An analysis of three-year (2021-2023) studies of the use of chlorine dioxide in the modernized traditional two-stage technology for the preparation of drinking water from a surface source (Dnipro River) was performed. The studies included the assessment of drinking water according to sanitary-chemical and microbiological indicators for compliance with DSanPiN 2.2.4-171-10 «Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption», and the determination of chlorine dioxide and its by-product - chlorites.

Determination of the content of chlorine dioxide and chlorites in water was carried out by the laboratory of the Dnipro water supply using the ion chromatography method, and by us (separate samples) using the titrimetric method according to Lurie.

Results. It is shown that the traditional two-stage technology for preparing drinking water from a surface source, in which chlorine is replaced by chlorine dioxide, ensures epidemic safety and chemical harmlessness of drinking water in the process of purifying the source water. But it is accompanied by the formation of dangerous by-products in it, in particular, toxic chlorites.

The levels of chlorine dioxide in water are subject to the dose-time (seasonal) dependence and the composition of the source water in terms of organic substances and its temperature regime inherent in each season. They are the smallest in

the cold season and the largest in the warm season.

At these doses of chlorine dioxide, the calculated concentrations of chlorites in water, taking into account 50-70% of their formation from every 1.0 mg of chlorine dioxide, were: in winter 0.87-1.21 mg/dm³, in spring – 0.89-1.24 mg /dm³, in summer – 1.23-1.72 mg/dm³, in autumn – 1.35-1.89 mg/dm³, which is 5-10 times more than the national standard (0.2 mg/dm³) and should be minimized to safe levels by water treatment technology.

It was established that with the applied water purification technology, which includes coagulation (aluminum sulfate and ferric chloride), settling and filtering, removal of chlorine dioxide from water in all seasons of the observation years occurs by no less than 90%, which ensured their content in drinking water at the level standard accepted by us ($\leq 0,1$ mg/dm³).

Against this background, the efficiency of chlorite removal from water according to average annual data did not ensure the content of chlorites in drinking water, in particular in the warm period of the year, at the level of the national standard (0.2 mg/dm³), but never exceeded the standard (0.7 mg/dm³), recommended by WHO.

Conclusions. Studies at the water treatment facilities of the Dnipro water supply in Kyiv have shown that the use of chlorine dioxide is accompanied by the formation of dangerous chlorites in natural water.

At the same time, it is shown that with water treatment technologies that include coagulation (aluminum sulfate and iron chloride), settling and filtering, the levels of chlorine dioxide and chlorites decrease, although in the warm period of the year, chlorites can exceed the national standard in drinking water by 2-3 times.

The expediency of recommending the Ministry of Health of Ukraine to change the norm of chlorites in drinking water from 0,2 mg/dm³ to 0,7 mg/dm³, which is used today in European countries, is scientifically justified.

Keywords: surface source, water treatment technology, water treatment facilities, drinking water, chlorine dioxide, chlorites, hygienic evaluation.

мінностей між вибірками використовували параметричні методи (t-критерій Ст'юдента). Відмінності вважали статистично значущими за $p < 0,05$ [11].

Результати досліджень. З відомих варіантів застосування діоксиду хлору у водопідготовці на Дніпровському водопроводі Києва, на нашу думку, за-

стосовано найкращий. Тут діоксид хлору використовується у традиційній двоступеневій технологічній схемі водопідготовки, яка включає етапи передокис-

лення вихідної води (діоксид хлору), її коагуляційну обробку двома коагулянтами (сульфатом алюмінію та хлорним залізом), відстоювання води на фільтрах з традиційним завантаженням (пісок), її знеза-

раження (діоксид хлору) у РЧВ, після чого питна вода спрямовується до водопровідних розподільчих мереж міста.

Протягом трьох років (2021-2023) нами проводилися спостереження за

ефективністю застосування «діоксидної» технології водопідготовки, що включали оцінку утворення за різних сезонних доз діоксиду хлору рівнів небезпечних хлоритів, ефективністю видалення на очисних спорудах водопроводу самого окиснювача та його побічного продукту – хлоритів та впливом на цей процес пріоритетних природних та технологічних чинників.

На рисунках 1 та 2 представлено середньосезонні фактичні дози діоксиду хлору, що використовувалися для обробки природної та очищеної води у 2021-2023 роках (рис. 1), та середньосезонні концентрації у питній воді діоксиду хлору і хлоритів за аналогічний період спостереження (рис. 2).

Аналіз даних, наведених на рисунку 1, свідчить, що дози діоксиду хлору для первинної обробки вихідної води залежать від сезону року і пов'язаною з ним її якістю передусім за

Особливості утворення та видалення хлоритів у процесі водопідготовки на очисних спорудах водопроводу 2021 року

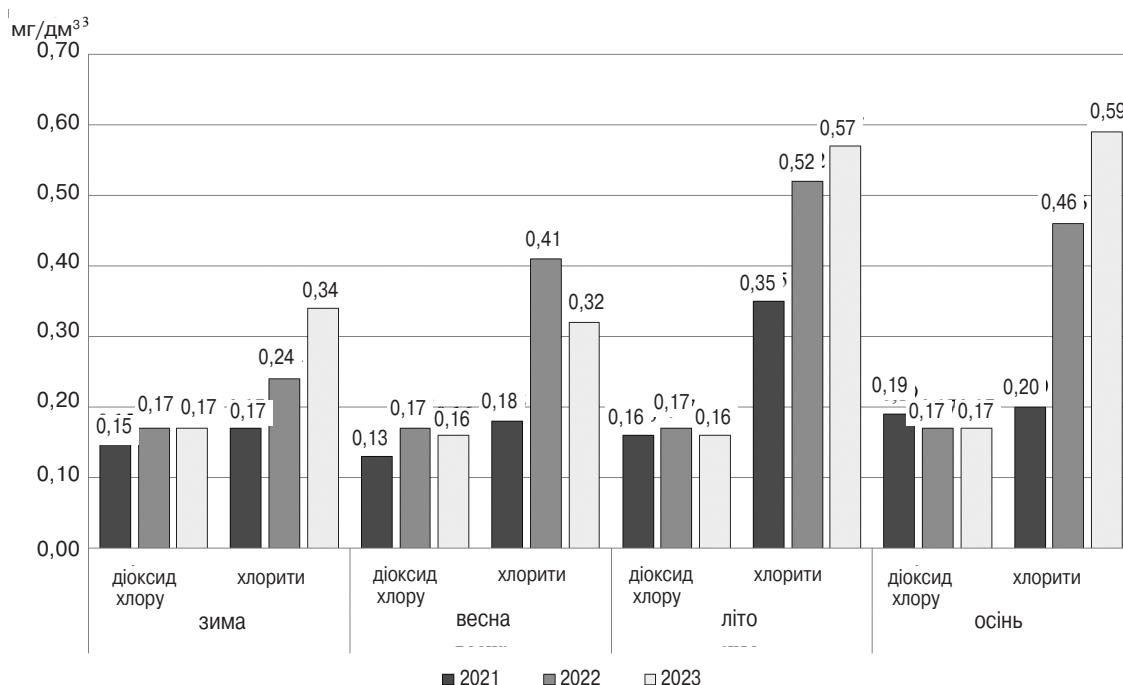
Таблиця 1

Показник	зима	весна	літо	осінь	за рік
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (50%)*, мг/дм ³	0,6	0,6	1,1	1,0	0,8
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (60%)*, мг/дм ³	0,7	0,7	1,3	1,2	0,1
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (70%)*, мг/дм ³	0,9	0,9	1,5	1,4	1,2
Залишкова концентрація хлоритів (РЧВ), мг/дм ³	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2
Ефективність видалення хлоритів за їх 50% утворення, %	72,6	70,5	66,8	79,9	71,9
Ефективність видалення хлоритів за їх 60% утворення, %	77,2	75,4	72,4	83,3	76,6
Ефективність видалення хлоритів за їх 70% утворення, %	80,4	78,9	76,3	85,6	80,0

Примітка: * – у таблицях 1-3 концентрацію хлоритів розраховано з розрахунку, що із кожного 1,0 мг діоксиду хлору утворюються від 50% до 70% хлоритів [12].

Рисунок 2

Показники середньосезонних концентрацій діоксиду хлору та хлоритів у питній воді (РЧВ), що надходить до водопровідних мереж, за роки спостереження



вмістом органічних речовин. За роки спостереження дози діоксиду хлору становили взимку від 1,24 мг/дм³ до 1,73 мг/дм³, навесні – від 1,22 мг/дм³ до 1,77 мг/дм³, влітку – від 2,11 мг/дм³ до 2,45 мг/дм³, восени – від 1,99 мг/дм³ до 2,70 мг/дм³. Вони були найменшими взимку, а найбільшими – влітку. Восени рівні діоксиду хлору були наближеними до літнього періоду переважно за рахунок серпневої та вересневої якості річкової води. Для цих сезонних періодів характерні й підвищені дози діоксиду хлору для вторинної обробки води, що становили 0,27-0,41 мг/дм³ та 0,23-0,45 мг/дм³ відповідно. Взимку та навесні дози окиснювача були помітно нижчими та коливалися у межах 0,17-0,25 мг/дм³.

Найбільший інтерес являють дані рисунка 2, що характеризують вміст у питній воді (РЧВ) залишкових концентрацій діоксиду хлору та хлоритів, що утворюються з нього переважно на етапі первинної обробки окиснювачем річкової води. Згідно з даними літератури [12], які підтверджуються нашими дослідженнями [5], із кожного 1 мг діоксиду хлору можуть утворитися 50-70% хлоритів. За вихідних доз діоксиду хлору від 1,0 мг/дм³ до 3,0 мг/дм³ концентрації хлоритів в обробленій воді будуть вищими за його норматив у питній воді, що потребує застосування ефективної технології водопідготовки для видалення хлоритів до нормативних показників.

Як видно з рисунка 2, у процесі водопідготовки на очисних спорудах вміст діоксиду хлору у питній воді знижується до нормативних рівнів. Зниження рівнів діоксиду хлору відбувалося з різною ефективні-

стю залежно від сезону року і становило 2021 року від 87,9% до 92,4%, 2022 – від 86,5% до 92,8%, 2023 – від 90,2% до 93,7%. При цьому середньорічна ефективність кожного року спостереження була не меншою за 90%.

За такої ефективності видалення діоксиду хлору залишкові концентрації у питній воді були практично однаковими у різні сезони кожного року спостереження та становили не менше 0,1 мг/дм³, що відповідає нормативу у питній воді для цієї речовини.

Щодо вмісту хлоритів у питній воді, то за винятком 2021 року, коли в усі сезони концентрація хлоритів в основному, крім літа (0,35 мг/дм³), не перевищувала національний норматив 0,2 мг/дм³, вміст їх у питній воді у 2022 та 2023 роках в усі сезони, навіть взимку (0,24-0,34 мг/дм³), був значно вищим. Навесні концентрація хлоритів у воді становила 0,42 мг/дм³ та 0,32 мг/дм³, влітку – 0,52 мг/дм³ та 0,57 мг/дм³, восени – 0,46 мг/дм³ та 0,59 мг/дм³ відповідно. Щодо національного нормативу, особливо влітку та восени, концентрація хлоритів у

воді була вищою у 2,5-3 рази. Порівняння цих рівнів хлоритів у питній воді з європейським нормативом 0,7 мг/дм³, дозволеним тимчасово за Наказом МОЗ України використовувати у нас, показує, що вони визначаються у межах цього нормативу та жодного разу його не перевищували.

Звідси можна зробити такі висновки: для контролю хлоритів у питній воді у нашій країні використовується дуже жорсткий норматив, розроблений ще за часи Радянського Союзу; традиційна застаріла технологія очистки води, навіть з застосуванням двох коагулянтів, не дозволяє видалити токсикант із води до безпечних рівнів; у водопідготовці у 2022 та 2023 роках, порівняно з 2021 р., на фоні сульфата алюмінію використовувалися зменшені щорічні дози хлорного заліза, яке сприяє відновленню хлоритів до хлоридів, що у літньо-осінні періоди становили 2022 року 16,0 мг/дм³ та 21,5 мг/дм³, 2023 – 9,3 мг/дм³ і 12,0 мг/дм³, 2021 – 26,3 мг/дм³ і 37,3 мг/дм³ відповідно.

Водночас зі зниженням у воді вмісту діоксиду хлору

Таблиця 2

Особливості утворення та видалення хлоритів у процесі водопідготовки на очисних спорудах водопроводу 2022 року

Показник	зима	весна	літо	осінь	за рік
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (50%)*, мг/дм ³	0,7	0,6	1,2	1,0	0,9
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору(60 %)*, мг/дм ³	0,8	0,8	1,4	1,2	1,1
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (70%)*, мг/дм ³	1,0	0,9	1,7	1,5	1,3
Залишкова концентрація хлоритів (РЧВ), мг/дм ³	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4
Ефективність видалення хлоритів за їх 50% утворення, %	65,7	34,9	56,1	55,6	53,9
Ефективність видалення хлоритів за їх 60% утворення, %	71,4	45,8	63,4	63,0	61,6
Ефективність видалення хлоритів за їх 70% утворення, %	75,5	53,5	68,7	68,3	67,1

знижуються й рівні його побічного продукту – хлоритів (табл. 1-3). Ефективність їх видалення на очисних спорудах розрахована щодо концентрацій утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору 50%, 60% та 70%. За період спостереження концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (50%) у різні сезони кожного року та відповідних ним різних первинних доз діоксиду хлору становила 2021 року від 0,61 мг/дм³ до 1,06 мг/дм³, 2022 – від 0,63 мг/дм³ до 1,19 мг/дм³, 2023 – від 0,87 мг/дм³ до 1,35 мг/дм³. Для таких саме умов, як і 2021 року, концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору 60% та 70% становила 2021 р. від 0,73 мг/дм³ до 1,27 мг/дм³ та від 0,85 мг/дм³ до 1,48 мг/дм³, 2022 – від 0,76 мг/дм³ до 1,42 мг/дм³ та від 0,88 мг/дм³ до 1,66 мг/дм³, 2023 – від 1,04 мг/дм³ до 1,62 мг/дм³ та від 1,21 мг/дм³ до 1,89 мг/дм³ відповідно.

Середньорічна концентрація хлоритів за період спостереження з урахуванням зазначених відсотків їх утворення із діоксиду хлору становила 2021 року від

0,82 мг/дм³ до 1,15 мг/дм³, 2022 – від 0,89 мг/дм³ до 1,25 мг/дм³, 2023 – від 1,08 мг/дм³ до 1,51 мг/дм³.

Після очисних споруд водопроводу концентрація хлоритів у питній воді (РЧВ) становила 2021 року від 0,17 мг/дм³ до 0,35 мг/дм³, 2022 – від 0,24 мг/дм³ до 0,52 мг/дм³, 2023 – від 0,32 мг/дм³ до 0,59 мг/дм³. Середньорічна концентрація хлоритів у питній воді за ці роки становила 0,23 мг/дм³, 0,41 мг/дм³ та 0,46 мг/дм³ відповідно.

З таблиць 1-3 також бачимо, що за період спостереження ефективність видалення хлоритів у процесі водоочистки за сезонами року є різною і залежить від вихідної концентрації токсиканта, за середньорічними даними становить 2021 року від 71,9% до 80,0%, 2022 – від 53,9% до 67,1%, 2023 – від 57,4% до 69,6%. За відносно високого відсотка видалення хлоритів влітку та восени залишкові концентрації їх у питній воді у 2022 та 2023 роках були до 2-3 разів більшими порівняно з 2021 роком, що може свідчити про можливі випадки порушення технології водопідготовки або її послаблення

Таблиця 3

Особливості утворення та видалення хлоритів у процесі водопідготовки на очисних спорудах водопроводу 2023 року

Показник	зима	весна	літо	осінь	за рік
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (50%)*, мг/дм ³	0,9	0,9	1,2	1,4	1,1
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (60%)*, мг/дм ³	1,1	1,1	1,5	1,6	1,3
Концентрація утворених хлоритів із первинної дози діоксиду хлору (70%)*, мг/дм ³	1,2	1,2	1,7	1,9	1,5
Залишкова концентрація хлоритів (РЧВ), мг/дм ³	0,3	0,3	0,6	0,56	0,5
Ефективність видалення хлоритів за їх 50% утворення, %	60,7	63,8	53,5	56,3	57,4
Ефективність видалення хлоритів за їх 60% утворення, %	67,2	69,8	61,2	63,6	64,5
Ефективність видалення хлоритів за їх 70% утворення, %	71,9	74,2	66,8	68,8	69,6

через дозвіл використовувати європейський норматив хлоритів у питній воді на період воєнного стану в Україні.

Нами також проаналізовано результати бар'єрної ефективності очисних споруд водопроводу щодо видалення із природної води хімічних та мікробіологічних забруднювачів, які у процесі водоочистки мають бути доведеними до безпечних рівнів у питній воді. Встановлено, що за період спостереження в усі сезони року у мікробіологічному відношенні питна вода (РЧВ) завжди відповідала вимогам епідемічної безпеки, мала добрі органолептичні властивості та була нешкідливою за хімічним складом. Лише у весняно-літньому періоді року тимчасово у дніпровській питній воді можуть підвищуватися забарвленість, каламутність, перманганатна окиснюваність, вміст заліза, марганцю. Проте ці показники нетоксичні за органолептичною лімітальною ознакою шкідливості, тому не несуть прямої загрози здоров'ю водоспоживачів.

Висновки

Встановлено, що утворені із діоксиду хлору на етапі первинної обробки природної води хлорити на наступних етапах водопідготовки (коагуляція, відстоювання, фільтрування) в очищеній воді (РЧВ) в усі сезони року зменшуються за діоксидом хлору до допустимих рівнів (не менше 0,1 мг/дм³), за хлоритами – до безпечних рівнів згідно з європейським нормативом – 0,7 мг/дм³, який дозволено застосовувати і в Україні на період воєнного стану.

У теплий період року (травень, літні місяці та вересень) рівень хлоритів у питній воді може перевищувати національний нор-

матив (0,2 мг/дм³) у 2-3 рази.

Вміст хлоритів у питній воді на рівні 0,7 мг/дм³, за даними ВООЗ та за результатами наших досліджень, не є критичним для здоров'я населення. Рекомендовано МОЗ України змінити застарілий радянський норматив хлоритів з 0,2 мг/дм³ на 0,7 мг/дм³, що відповідатиме вимогам Директиви (EU) 2020/2184 Європейського Парламенту та Ради від 16.12.2020 щодо якості води, призначеної для споживання людиною.

Внески авторів:

Прокопов В.О. – концептуалізація, редагування;

Липовецька О.Б. – концептуалізація, написання початкового проєкту статті, статистична обробка;

Куліш Т.В. – програмне забезпечення, надання дослідних матеріалів;

Соболь В.А. – ведення, надання дослідних матеріалів.

Фінансування. Дослідження профінансоване за рахунок Державного бюджету України (Академією медичних наук України).

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Srivastav AL, Patel N, Chaudhary VK. Disinfection by-products in drinking water: occurrence, toxicity and abatement. *Environmental Pollution*. 2020 Dec;267:115474. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115474>

2. Gan W, Huang S, Ge Y, Bond T, Westerhoff P, Zhai J, Yang X. Chlorite formation during ClO₂ oxidation of model compounds having various functional groups and humic substances. *Water Research*. 2019 Aug;159:348-57. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.020>

3. Özdemir K. Chlorine and chlorine dioxide oxidation of natural organic matter in water treatment plants. *Environment Protection Engineering*. 2020;46(4):87-97. <https://doi.org/10.37190/ep.e200407>

4. Mokiienko A. Ekoloohihiiienichni osnovy bezpechnosti vody, shcho znezarazhena dioksydom khloru [Ecological and hygienic basis of the safety of water disinfected with chlorine dioxide : extended abstract of MD dissertation]. Kyiv; 2009 : 34 p.

5. Prokopov V, Lypovetska O, Kulish T, Kostiuk L, Avramenko V. [Dangerous chlorites in drinking water: formation and removal with the use of chlorine dioxide in water treatment technology]. *Dovkillia ta zdorovia [Environment & Health]*. 2023;1(106):43-50. <https://doi.org/10.32402/dovkil2023.01.043>. Ukrainian.

6. Novytskyi D, Kostiuk V, Kobylanskiy V. [Chlorine dioxide in the aspect of microbiological safety of tap water]. *Science Review*. 2019;4(21):9-14. https://doi.org/10.31435/global_sr/31052019/6487. Ukrainian.

7. Prokopov V, Lypovetska O, Kulish T, Sobol V, Kostiuk V, Bondarchuk A. [The use of chlorine dioxide in the technology of drinking water preparation at the Dnipro water supply in Kyiv]. *Dovkillia ta zdorovia [Environment & Health]*. 2018;(4):15-9. <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.015>. Ukrainian.

8. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Hihiiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu» (DSanPiN 2.2.4-171-10): Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy [On Approval of State Sanitary Norms and Rights «Hygienic require-

ments for drinking water intended for human consumption» (SSanR&N 2.2.4-171-10): Order of the Ministry of Health of Ukraine №. 400. 2010 May 12. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>. Ukrainian.

9. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm i pravyl «Pokaznyky bezpechnosti ta okremi pokaznyky yakosti pitnoi vody v umovakh voiennoho stanu ta nadzvychainykh sytuatsiiakh inshoho kharakteru» : Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy [Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitary norms and rules «Indicative safety and okremi pokaznyky quality pitnoi vody v umovakh voiennoho stanu ta nadzvychainykh situatsiiakh inshoho kharakteru» : Order of the Ministry of Health of Ukraine № 683. 2022 Apr 22]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0564-22#Text>. Ukrainian.

10. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast). *Official Journal of the European Union*. 2020; (L 62. 435/1):1. <http://data.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>

11. Antomonov M. Matematychna obrobka ta analiz biolohichnykh danykh [Mathematical processing and analysis of biological data]. 2-nd ed. Kiev: Medinform; 2018. 579 p. Russian.

12. Honcharuk V, Potapchenko N. Sovremennoe sostoianie problemy obezrazhivaniia vody [Current state of water disinfection]. *Khimiia i tekhnologiia vody*. 1998;20:190-217. Russian.

Стаття надійшла до редакції 02.09.2024