

ВСТАНОВЛЕННЯ РІВНЯ ХЛОРОФОРМУ У ПИТНІЙ ХЛОРОВАНІЙ ВОДОПРОВІДНІЙ ВОДІ

В.В. Зайцев¹, Н.І. Рублевська¹, В. Д. Рублевський²

¹Державний заклад «Дніпропетровська медична академія Міністерства охорони здоров'я України»,
м. Дніпро, Україна

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

РЕЗЮМЕ. Понад 80 % населення України забезпечується питною водою за рахунок поверхневих водозаборів, для знезараження води яких, як правило, застосовується скраплений хлор. При застосуванні такого методу знезараження внаслідок взаємодії органічних речовин з хлором утворюються хлорорганічні сполуки (ХОС), серед яких переважають тригалометани (ТГМ), а серед останніх 60-90 % вмісту становить хлороформ. З січня 2015 року в Україні діє гігієнічний норматив хлороформу у водопровідній воді та обґрунтовано обов'язкову програму щоденного контролю за вмістом хлороформу під час хлорування води, тому виникла необхідність пошуку нетрудомістких, економічно доступних для використання методів визначення хлороформу в хлорованій водопровідній воді.

Ключові слова: питна водопровідна вода, хлорорганічні сполуки, хлороформ, перманганатна окиснюваність.

Вступ. Понад 4/5 населення України забезпечується питною водою за рахунок поверхневих водозаборів, для знезараження води яких у 85%: застосовується хлорвмісні сполуки. При хлоруванні води поверхневих водозаборів (насамперед річок) внаслідок хімічної взаємодії органічних речовин з іоном гіпохлориду утворюються чисельні хлорорганічні сполуки (ХОС), серед яких переважну частину становить хлороформ. Згідно з Державними санітарними нормами і правилами 2.2.4.171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» на водопроводах, де проводиться хлорування води, у питній воді повинно систематично визначатися концентрація хлороформу, для чого необхідні сучасні, достовірні методи визначення хлороформу у хлорованій питній воді.

Найпоширеніший спосіб визначення рівня хлороформу у питній хлорованій водопровідній воді [1] базується на хімічному аналізі проби води методом газової хроматографії за допомогою сучасного високоточного газового хроматографа. Пробу води поміщають до термостату в герметично замкнутому просторі та аналізують газову фазу газохроматографічним методом з використанням детектора електронного захоплення.

Недоліком способу є необхідність застосування спеціального приладу – газового хроматографа та іншого обладнання, яке відсутнє у переважній більшості виробничих лабораторій водоочисних споруд, тому є економічно недоступним та трудомістким для більшості водопроводів України, що не дозволяє його широко використовувати з метою оцінки та прогнозування безпечності питної води за вмістом хлороформу.

Мета роботи. Підвищити достовірність та оперативність способу визначення рівня хлороформу у питній хлорованій водопровідній воді та запропонувати метод визначення хлороформу шляхом регресійного аналізу окремих показників якості питної води, які пов'язані з вмістом хлороформу у питній воді.

Об'єкт та методи дослідження. В якості «основних» або експериментальних об'єктів було обрано питну хлоровану водопровідну воду КП «Аульський водовід» та КП «Дніпроводоканал» (Дніпропетровська область). Обробка отриманих даних проводилась з використанням пакету програм Statistica v6.1 (Statsoft Inc., США), ліцензійний номер AJAR909E415822FA.

Результати дослідження та їх обговорення. За нашими попередніми дослідження-

ми виявлені систематичні перевищення рівня хлороформу у питній хлорованій воді, що подається населенню міст Дніпро та Кам'янське [2]. На вказаних водопроводах відсутні прилади для визначення хлороформу у воді, внаслідок чого щомісячно проби доставляються у відповідні лабораторні структури МОЗ України. Результати досліджень отримуються із суттєвим запізненням та після оплати аналізів. Виникає необхідність більш оперативного одержання результатів досліджень вмісту хлороформу у питній воді. Нами проаналізовані протоколи вимірювань вмісту хлороформу у питній воді, а також показники рівня забарвленості та окиснюваності у воді вододжерела (р. Дніпро) та питній воді на виході до розподільної мережі. На підставі результатів проведеного регресійного аналізу запропоновано двофакторну модель для непрямого встановлення рівня хлороформу у хлорованій питній воді:

$$Y = I + 3 \cdot a + PO \cdot v + Pk \cdot c,$$

де: Y – вміст хлороформу у питній хлорованій водопровідній воді, мкг/дм^3 ;

3 – забарвленість у воді вододжерела, град;

PO – перманганатна окиснюваність води вододжерела, мг/дм^3 ;

Pk – річний тренд (дві останні цифри поточного року);

I, a, v, c – коефіцієнти регресії, зокрема, $I = 78,17 \text{ мкг/дм}^3$; $a = 0,706 \text{ мкг/дм}^3/\text{град}$; $v = -4,04 \text{ мкг/дм}^3/\text{мг/дм}^3$; $c = 2,311 \text{ мкг/дм}^3$.

Наявність хлорорганічних сполук у питній воді, насамперед хлороформу, пов'язана із присутністю природних органічних сполук – гумінових і фульвокислот. Останні визначають рівень забарвленості та значною мірою її перманганатну окиснюваність. Тому вміст хлороформу безпосередньо залежить від величин забарвленості та перманганатної окиснюваності – інтегрального показника органічного забруднення води. Проведено кореляційно-регресійний аналіз масиву фактичних показників органічного забруднення води із р. Дніпро на водозаборі КП «Аульський водовід» (забарвленість, перманганатна окиснюваність) і вмісту хлороформу у хлорованій питній воді. За допомогою спеціального обладнання в динаміці за 2002-2015 рр. (загальна кількість спостережень 158) встановлено наявність прямого кореляційного зв'язку між кон-

центрацією хлороформу у питній воді і показниками забарвленості та окиснюваності. Крім того, встановлено тенденцію до щорічного збільшення рівня забарвленості та перманганатної окиснюваності води, що свідчить про наявність інших неврахованих факторів або річного тренду у змінах цих показників. Перевагою запропонованої корисної моделі є економічна доступність та точність визначення хлороформу у хлорованій питній воді без проведення додаткових хімічних досліджень, що дозволяє його широко використовувати на водопроводах з метою оцінки та прогнозування безпечності питної води.

Результати проведених досліджень свідчать, що чим вищою є величина перманганатної окиснюваності та забарвленості у воді вододжерела господарчо-питного водопостачання, тим достовірніше ($p < 0,05$) вищий вміст хлороформу у питній хлорованій водопровідній воді. Рівень значущості коефіцієнтів регресії за критерієм Стюдента становить $p < 0,001$. Адекватність моделі оцінювали за критерієм Фішера (F): $F = 22,09$, $p < 0,001$.

Спосіб визначення вмісту хлороформу у питній хлорованій водопровідній воді здійснюється такою чином. Спочатку інструментально визначають рівні забарвленості та перманганатної окиснюваності у воді джерела питного водопостачання. Згідно з ГОСТ 3351-74. «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности» забарвленість визначається фотометричним методом шляхом порівняння кольору води зі стандартною шкалою. Згідно з ГОСТ 23268.12-91. «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения перманганатной окисляемости» окиснюваність визначається титриметричним методом. Отримані значення підставляють в формулу $Y = I + 3 \cdot a + PO \cdot v + Pk \cdot c$, де: Y – вміст хлороформу у питній хлорованій водопровідній воді, мкг/дм^3 ; 3 – забарвленість у воді вододжерела, град; PO – перманганатна окиснюваність води вододжерела, мг/дм^3 ; Pk – часовий (річний) тренд (дві останні цифри поточного року); I, a, v, c – коефіцієнти регресії. Коефіцієнт $I = 78,17 \text{ мкг/дм}^3$ характеризує постійну величину вмісту хлороформу у питній воді; коефіцієнти $a = 0,706 \text{ мкг/дм}^3/\text{град}$ і $v = -4,04 \text{ мкг/дм}^3/\text{мг/дм}^3$ показують на скільки одиниць зміниться вміст хлороформу (мкг/дм^3) при відповідній зміні

показника забарвленості води вододжерела на 1 град. і показника окиснюваності води на 1 мг/дм³. Коефіцієнт $c=2,311$ мг/дм³, помножений на дві останні цифри року здійснення розрахунків, показує зміни вмісту хлороформу під впливом інших неврахованих факторів.

Отриманий результат являє собою прогнозовану концентрацію хлороформу у питній воді.

Приклад 1. Рівень забарвленості та перманганатної окиснюваності у воді р. Дніпро на водозаборі КП «Аульський водовід» у жовтні 2012 року становив 42,1 градуса та 10 мг/дм³ відповідно. За розрахунком відповідно пропонованого способу концентрація хлороформу у питній хлорованій воді повинна становити 95,22 мг/дм³. При хроматографічному визначенні у тій же пробі питної води концентрація хлороформу склала 97 мг/дм³, що збігається з його прогнозованою концентрацією з точністю -1,8 %, що свідчить про достовірність нового методу у порівнянні з прототипом за умов відсутності можливості визначати вміст хлороформу хроматографічним методом, що значно спрощує та здешевлює відповідні дослідження.

Приклад 2. Рівень забарвленості та перманганатної окиснюваності у воді р. Дніпро на водозаборі КП «Аульський водовід» у квітні 2015 року становив 36,3 градуса та 11,3 мг/дм³ відповідно. За розрахунками концентрація хлороформу у питній хлорованій воді повинна становити

92,81 мг/дм³. При хроматографічному визначенні у тій же пробі питної води концентрація хлороформу становила 96,9 мг/дм³, що збігається з його прогнозованою концентрацією з точністю - 4,2 %. Зазначене свідчить про достовірність нового методу у порівнянні з прототипом за умов відсутності можливості визначати вміст хлороформу хроматографічним методом, що значно спрощує та здешевлює відповідні дослідження.

Висновки

1. Вміст хлороформу залежить від величини інтегрального показника органічного забруднення води – перманганатної окиснюваності.

2. Чим вище величина перманганатної окиснюваності у питній хлорованій воді, тим достовірніше ($p < 0,05$) вищим є вміст хлороформу.

3. Метод непрямого визначення рівня хлороформу у хлорованій питній воді за допомогою рівня перманганатної окиснюваності є простим, достовірним та оперативним у порівнянні з прототипом в умовах відсутності можливості визначення хімічного складу води, можливості визначення рівня хлороформу у будь-якій точці водорозподільної мережі, що зменшує вартість досліджень та відповідно питної води для населення.

Перспективи подальших досліджень.

Планується розробити технічні та технологічні заходи щодо зменшення рівня ХОС у питній хлорованій воді, що споживається міським населенням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gas chromatographic determination of trihalomethanes (chloroform) in water: method. reference number 0052-98 (№ 2, 01.02.1999). – К.: Ministry of Health of Ukraine, 1999. – 9 p.
2. Зайцев В.В. Гігієнічна оцінка вмісту хлороорганічних сполук у питній воді групового водопроводу з поверхневого водозабору / В.В. Зайцев, Н.І. Рублевська, Н.О. Курбатова // Збірник праць співробітників НМАПО імені П.Л. Шупика. – Випуск № 24 (3). – К., 2015. – С. 441–447.
3. Prokopov V.O. Organochlorine compounds in drinking water: factors and conditions of their formation / V.O. Prokopov, G.V. Chichkovska, V.O. Zorina // Environment and health. – 2004. – № 2 (29). – P. 70–73.

REFERENCES

1. Gas chromatographic determination of trihalomethanes (chloroform) in water: method. reference number 0052-98 (№ 2, 01.02.1999). – К.: Ministry of Health of Ukraine, 1999. – 9 p.
2. Zaicev V.V. Hihienichna ocinka vmistu khlororhanichnykh spoluk u pytnii vodi hrupovoho vodoprovodu z poverkhnevoho vodozaboru / V.V. Zaicev, N.I. Rublevska, N.O. Kurbatova // Zbirnyk prac spivrobitnykiv NMAPO imeni P.L. Shupyka. – Vypusk № 24 (3). – K., 2015. – С. 441–447.
3. Prokopov V.O. Organochlorine compounds in drinking water: factors and conditions of their formation / V.O. Prokopov, G.V. Chichkovska, V.O. Zorina // Environment and health. – 2004. – № 2 (29). – P. 70–73.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ХЛОРОФОРМА В ПИТЬЕВОЙ ХЛОРИРОВАННОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЕ

В.В. Зайцев¹, Н.И. Рублевская¹, В.Д. Рублевский²

¹ ГУ Днепропетровская медицинская академия МЗ Украины, г. Днепр, Украина

² Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара, г. Днепр, Украина

РЕЗЮМЕ. Более 80 % населения Украины обеспечивается питьевой водой за счет поверхностных водозаборов, для обеззараживания воды которых, как правило, применяется сжиженный хлор. При применении такого метода обеззараживания вследствие взаимодействия органических веществ с хлором образуются хлорорганические соединения (ХОС), среди которых преобладают тригалометаны (ТГМ), а среди последних 60-90 % содержания составляет хлороформ. С января 2015 году в Украине действует гигиенический норматив хлороформа в водопроводной воде и обоснована обязательная программа ежедневного контроля за содержанием хлороформа при хлорировании воды, поэтому возникла необходимость поиска нетрудоемких, экономически доступных для использования методов определения хлороформа в хлорированной водопроводной воде.

Ключевые слова: питьевая водопроводная вода, хлорорганические соединения, хлороформ, перманганатная окисляемость.

DETERMINATION OF CHLOROFORM LEVEL IN DRINKING CHLORINATED TAP WATER

V. Zaitsev¹, N. Rublevskaya¹, V. Rublevsky²

¹State Institution "Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine", Dnipro, Ukraine

²Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ABSTRACT. More than 80 % of the population of Ukraine is provided with drinking water by means of surface water intakes, for the disinfection of water, as a rule, liquefied chlorine is used. When this method of disinfection is applied due to the interaction of organic substances with chlorine, chlororganic compounds (COC) are formed, among which trigalometanes prevail, and among the latter, 60-90 % of the content is chloroform. Since January 2015, the hygienic norm of chloroform in tap water has been in effect in Ukraine and the obligatory program of daily monitoring of the chloroform content during the chlorination of water has been justified. Therefore, it became necessary to search for chloroform chlorine form in chlorinated water that is labor-consuming and economically accessible for water pipes. The chloroform content depends on the value of the integral index of organic water contamination - permanganate oxidation. The higher the value of permanganate oxidability in drinking chlorinated water, the more reliable ($p < 0.05$) the higher the chloroform content in it. The method of indirect determination of the chloroform level in chlorinated water using the permanganate oxidation level is simple, reliable and operative in comparison with the prototype in the absence of the possibility of determining the chemical composition of water, the ability to determine the level of chloroform at any point in the water distribution network, reduces the cost of research and, accordingly, water for the population.

Key Words: drinking tap water, organochlorine compounds, chloroform, permanganate oxidibility.

Надійшла до редакції 11.06.2018 р.