ПРИРОДНИЧІ ТА ТЕХНІЧНІ НАУКИ
NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES

УДК 628.1.033:628.196(477.42-21Житомир)
DOI: 10.31339/2617-0833-2018-2(25)-9-18

**ХЛОРОФОРМ У ПИТНІЙ ВОДІ ТА АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ
ДО ЙОГО УТВОРЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ЖИТОМИРА)**

Башинська І.Л.

**CHLOROFORM IN DRINKING-WATER AND ANALYSIS OF FACTORS THAT
LEAD TO ITS FORMATION (ON EXAMPLE OF CITY OF ZHYTOMYR)**

Bashinskaya Irena

В статті наведена оцінка якості поверхневої води у водосховищі «Відсічне» за вмістом органічного забруднення (біохімічне споживання кисню, хімічне споживання кисню, перманганатна окиснюваність) відповідно до вимог СанПіНу 4630-88 та ДСТУ 4808:2007. Виявлений та оцінений вплив наявного органічного забруднення на утворення хлороформу у питній воді, а також вплив інших факторів (часу контакту хлору з водою, дози хлору та температури води). Проведена санітарно-гігієнічна оцінка якості водопровідної питної води на вміст хлороформу відповідно до вимог ДСанПіНу 2.2.4-171-10 та розрахункове визначення канцерогенного ризику, пов'язаного із вживанням питної води з хлороформом для жителів міста Житомир.

Ключові слова: органічне забруднення води, органічні сполуки, якість поверхневої води, якість питної води, хлор, канцерогенний ризик.

In the article is given the estimation of a surface-water quality in a storage pool "Vidsichne" on the content of biocontamination (biochemical consumption of oxygen, chemical consumption of oxygen, permanganate oxidation) in accordance with the requirements of SanPiN 4630-88 and DSTU 4808:2007. Detected and assessed influence of the existed biocontamination on formation of chloroform in a drinking-water, and also influence of other factors (time of contact of chlorine with water, doses of chlorine and temperature of water). It was conducted sanitary - hygienical estimation of quality of drinkable tapwater on content of chloroform in accordance with the requirements of DSanPiN 2.2.4-171-10 and calculation determination of the carcinogenic risk related to the use of drinking-water with a chloroform for the habitants of city Zhytomyr.

Keywords: biocontamination of water, organic compounds, quality of surface-water, quality of drinking-water, chlorine, carcinogenic risk.

В Україні на водопостачальних підприємствах в технологіях водопідготовки, як метод знезараження та дезінфекції води частіше всього застосовують знезараження за допомогою хлору. Традиційний метод хлорування, з одного боку, забезпечує мікробіологічну та епідемічну безпеку питної води під час проходження її по водопровідним розподільчим мережам за рахунок ефекту пролонгованої дії хлору (вода є безпечною у будь-який час, на будь-якому відрізку водопровідної мережі, аж до водопровідного крану в помешканні споживача). З іншого боку, використання хлорування обов'язково призводить до утворення побічних продуктів дезінфекції (ППД) у воді. Утворені у воді ППД є токсичними хлорорганічними сполуками (ХОС). В основному, проблема забруднення питної води ХОС, більшість з яких припадає саме на хлороформ (біля 70-80% з утворення усіх побічних продуктів хлорування), постає перед водопостачальними підприємствами, які в якості джерела водопостачання вимушені використовувати воду з поверхневих джерел. Саме в

перші хвилини введення хлору в річкову воду, яка багата різноманітними органічними сполуками природного та антропогенного походження і виникає велика кількість ХОС. Кількість утворених летких ХОС залежить, насамперед, від концентрації природних органічних сполук у природній воді джерела водопостачання, дози хлорвмісного реагенту, часу його контакту з водою та ін. [4,5].

Природні органічні речовини у воді джерела водопостачання можуть утворюватися шляхом вимивання з ґрунту гумусових речовин (гумінових та фульвокислот), розкладання водних організмів та водоростей. У поверхневих водах джерела водопостачання концентрація гумусових речовин, в деяких випадках, може сягати більше як 50 мг/дм^3 і складати більшу частину наявної органічної речовини у джерелі. Саме наявність гумінових речовин у воді обумовлює високу концентрацію хлороформу, оскільки вони активніше реагують з хлором, ніж фульвокислоти. Різноманітність видів утворених у питній воді хлорорганічних сполук залежить від фізико-хімічних характеристик води у джерелі водопостачання та наявності фітопланктону. Визначна роль у утворенні належить природі та концентрації органічних речовин [6,8]. Але ХОС можуть потрапляти у питну воду не тільки в результаті взаємодії природних органічних речовин вододжерела з хлором. Вони також можуть потрапляти з органічними речовинами антропогенного походження, із стічними водами промислових підприємств та з сільськогосподарських угідь і комплексів.

Використання населенням питної води, забрудненої ХОС несе небезпеку їх здоров'ю, і тому вчені різних країн, в т.ч. і України приділяють велику увагу вивченню цієї проблеми. Найбільша увага надається вивченню групи летких ХОС, зокрема тригалогенметанів, та їх впливу на організм людини, оскільки вони є найбільш небезпечними. Відповідно до американських досліджень, постійне вживання питної води, яка містить хлорорганічні сполуки може призвести до розвитку у людини біля 20 видів онкологічних захворювань. В Росії прийшли до висновків, що при хлоруванні води максимальними дозами, ризик виникнення онкологічних захворювань досягає 470 випадків на 1млн. населення. Це переважно онкологічні захворювання стравоходу, прямої і ободової кишки, легенів, молочної залози, тіла матки, щитоподібної залози та сечового міхура [7].

Проблемам, які пов'язані з утворенням у питній воді токсичних хлорорганічних сполук та наслідками, до яких призводить споживання хлорованої води присвячено чимало статей та наукових робіт, як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників та науковців. В деяких закордонних епідеміологічних дослідженнях, які згадані в статті [10] виявлено вплив хлорованої питної води із вмістом хлороформу у концентраціях більше за $0,08\text{--}0,1 \text{ мг/дм}^3$ на репродуктивну функцію жінок, який проявляється у підвищенні частоти порушень перебігу вагітності, внутрішньоутробного розвитку плоду (розвиток таких аномалій, як дефект міжшлуночкової перегородки серця, ущелини у твердому нобі і аненцефалії) та появі вроджених каліцтв.

Дослідник Кеннет Кантор з Національного інституту ракових захворювань (США) з колегами провів дослідження 3 тисяч чоловіків та жінок із різних штатів США, які пили хлоровану воду та прийшов до висновку про тісний зв'язок споживання хлорованої питної води та раком сечового міхура.

Статті український дослідників Мокеєнко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.І. присвячені як аналітичному огляду літературних джерел за темами: використання хлору в якості засобу знезараження води, утворення продуктів хлорування води та наслідкам впливу хлорованої води на організм людини, так і власним дослідженням в цій області. Зокрема, працями встановлено, що в питній воді, яка пройшла очищення та знезараження хлором утворюються хлорорганічні сполуки, такі як хлороформ, чотирихлористий вуглець, дихлоретан, трихлоретан, трихлоретилен, тетрахлоретилен та багато інших. Ці сполуки утворюються в результаті взаємодії вільного хлору із органічними речовинами природного походження, які присутні у воді джерела господарсько-питного водопостачання. Ці твердження підтвердили в своїх дослідженнях Прокопов В.О., Зоріна О.В., Липовецька О.Б.

За власними дослідженнями Прокопова В.О. та його команди встановлено вплив хлорованої питної води, забрудненої хлорорганічними сполуками в результаті тривалого її споживання на онкозахворюваність населення, зокрема, на рак ободової кишки та органів сечовидільної системи. За результатами досліджень останніх років, щодо ймовірної мутагенної та канцерогенної дії хлорорганічних речовин на організм людини, в більшості країн нормативи на ці речовини встановлюються більш жорсткіші [9].

Метою дослідження було проведення аналізу та визначення ступеню впливу основних факторів (вмісту органічного забруднення, часу контакту води з хлором, дози хлору та температури води) на утворення хлороформу у питній воді та проведення санітарно - гігієнічної оцінки якості самої водопровідної питної води по токсикологічному показнику «хлороформ».

Завдання полягало у визначенні та аналізі показників, які характеризують вміст органічного забруднення джерела водопостачання і можуть призвести до утворення понаднормативної концентрації хлороформу у водопровідній воді.

Досліджуваний період складав 14 років (2004-2017 роки). За цей період було відібрано та досліджено поверхневу воду водосховища «Відсічне» на вміст БСК_п – 167 проб, на ХСК – 48 проб, на перманганатну окиснюваність – 681 проба, на вміст хлороформу у питній воді 1515 проб. Відбір проб питної води для дослідження на вміст хлороформу здійснювали з резервуарів питної води - 3 рази на тиждень, відбір проб поверхневої води на дослідження на перманганатну окиснюваність проводився з водосховища 3-4 рази на місяць (кожний понеділок), на визначення на вміст БСК_п та ХСК – 1 раз на місяць при повному аналізі. Визначення санітарно - токсикологічного показника якості води «хлороформ» проводили на газовому хроматографі «Цвет-800» відповідно до методичних вказівок № 0052-98 «Газохроматографічне визначення тригалогенметанів (хлороформу) у воді», затверджених постановою державного санітарного лікаря України від 01.02.1999 №2»; перманганатна окиснюваність - ГОСТ 23268.12-91, БСК_п - ДСТУ ISO5815-2:2009, ХСК - СЭВ «Унифицированные методы исследования качества вод».

Оцінку якості питної води проводили шляхом порівняння фактично отриманих даних із нормативом ДСанПіНу 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [1]. Оцінку якості поверхневої води проводили шляхом порівняння фактично отриманих даних із нормативами СанПіН 4630-88 «Санітарних правил і норм охорони поверхневих вод від забруднення» [2] та ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання» [3]. Всі лабораторні дослідження проводилися в контрольно-вимірній лабораторії за додержанням санітарно-гігієнічних норм водопостачання комунального підприємства «Житомирводоканал». Статистична обробка моніторингових даних проводилася з використанням пакету прикладних програм Microsoft Excel.

На комунальному підприємстві «Житомирводоканал» знезараження та дезінфекція води в технології водопідготовки проводиться традиційним методом в два етапи: перший етап - це первинне знезараження поверхневої води з джерела водопостачання - водосховища «Відсічне» на першому підйомі проводиться рідким хлором, на другому етапі - вторинне знезараження відбувається вже на другому підйомі і використовується гіпохлорит натрію. Кількість утвореного хлороформу залежить, як згадувалося вище, від концентрації органічних сполук природного походження у поверхневій воді джерела водопостачання, дози хлорвмісного реагенту, часу його контакту з водою, температури води та ін. Ступінь забруднення природних вод водосховища органічними сполуками характеризується показниками БСК_п (біохімічне споживання кисню), ХСК (хімічне споживання кисню) та перманганатна окиснюваність (ПО). Показник ХПК дає більш правильне подання про вміст у воді органічних речовин, оскільки при визначенні ХПК окислюється близько 90% органічних домішок, а при визначенні ПО – 30-50%. Дані проведеного моніторингу по забрудненню водосховища «Відсічне» органічними сполуками представлений в таблиці 1.

Таблиця 1.

Моніторинг якості поверхневої води у водосховищі «Відсічне» на вміст органічних сполук (в чисельнику - середнє значення $\pm$ станд. відхилення, в знаменнику – мінімальне та максимальне значення)

Назва показника	Роки досліджень							
	Норматив СанПіН 4630-88	2004 n ¹ =12 n ¹¹¹ =12	2005 n ¹ =12 n ¹¹¹ =49	2006 n ¹ =12 n ¹¹¹ =56	2007 n ¹ =12 n ¹¹¹ =50	2008 n ¹ =12 n ¹¹¹ =49	2009 n ¹ =12 n ¹¹¹ =48	2010 n ¹ =12 n ¹¹¹ =54
БСК _{повне} , мгО ₂ /дм ³	не більше 3,0	<u>4,91</u> $\pm$ <u>1,42</u> 2,85 – 7,1	<u>5,07</u> $\pm$ <u>1,63</u> 3,15 – 7,76	<u>5,37</u> $\pm$ <u>1,4</u> 3,0 – 7,86	<u>5,49</u> $\pm$ <u>1,06</u> 3,92 – 7,28	<u>5,04</u> $\pm$ <u>1,03</u> 3,2 – 6,96	<u>4,94</u> $\pm$ <u>1,55</u> 3,06 – 7,92	<u>5,66</u> $\pm$ <u>1,59</u> 3,46 – 7,8
ХСК, мгО ₂ /дм ³	не більше 15,0	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.
Перманганатна окиснюваність, мгО ₂ /дм ³	не нормується	<u>9,11</u> $\pm$ <u>1,64</u> 7,04 – 12,8	<u>13,71</u> $\pm$ <u>4,49</u> 8,32 – 32,0	<u>14,96</u> $\pm$ <u>5,05</u> 8,16 – 33,2	<u>8,32</u> $\pm$ <u>1,35</u> 5,74 – 12,48	<u>12,37</u> $\pm$ <u>3,31</u> 8,0 – 21,74	<u>9,33</u> $\pm$ <u>1,2</u> 6,88 – 13,76	<u>11,13</u> $\pm$ <u>2,09</u> 7,2 – 16,32

Продовження таблиці 1.

Назва показника	Роки досліджень							
	2011 n ¹ =12 n ¹¹¹ =48	2012 n ¹ =12 n ¹¹¹ =52	2013 n ¹ =12 n ¹¹¹ =53	2014 n ¹ =12 n ¹¹ =12 n ¹¹¹ =52	2015 n ¹ =12 n ¹¹ =12 n ¹¹¹ =52	2016 n ¹ =12 n ¹¹ =12 n ¹¹¹ =52	2017 n ¹ =12 n ¹¹ =12 n ¹¹¹ =55	2004-2017 n ¹ =167 n ¹¹ =48 n ¹¹¹ =681
БСК _{повне} , мгО ₂ /дм ³	<u>6,19</u> $\pm$ <u>2,2</u> 2,62 – 9,6	<u>6,11</u> $\pm$ <u>1,2</u> 4,22 – 7,8	<u>4,83</u> $\pm$ <u>0,8</u> 3,8 – 5,96	<u>3,75</u> $\pm$ <u>1,61</u> 1,1 – 6,8	<u>4,32</u> $\pm$ <u>1,52</u> 1,8 – 6,8	<u>4,22</u> $\pm$ <u>1,99</u> 1,9 – 7,6	<u>4,49</u> $\pm$ <u>1,35</u> 2,09 – 6,75	<u>5,03</u> $\pm$ <u>1,58</u> 1,1 – 9,6
ХСК, мгО ₂ /дм ³	не визнач.	не визнач.	не визнач.	<u>31,67</u> $\pm$ <u>10,23</u> 20,0 – 48,0	<u>23,59</u> $\pm$ <u>19,38</u> 9,6 – 78,0	<u>25,83</u> $\pm$ <u>14,27</u> 10,0 – 60,0	<u>22,92</u> $\pm$ <u>9,88</u> 10,0 – 40,0	<u>26,0</u> $\pm$ <u>13,96</u> 9,6 – 78,0
Перманганатна окиснюваність, мгО ₂ /дм ³	<u>9,52</u> $\pm$ <u>2,07</u> 6,88 – 17,2	<u>8,82</u> $\pm$ <u>1,96</u> 5,12 – 19,2	<u>10,49</u> $\pm$ <u>1,85</u> 8,0 – 17,68	<u>11,98</u> $\pm$ <u>3,04</u> 8,0 – 19,0	<u>9,59</u> $\pm$ <u>1,82</u> 6,72 – 13,76	<u>9,62</u> $\pm$ <u>1,1</u> 7,84 – 13,6	<u>9,46</u> $\pm$ <u>1,48</u> 7,2 – 15,68	<u>10,7</u> $\pm$ <u>3,26</u> 5,12 – 33,2

n¹ – кількість відібраних проб для визначення БСК_п;n¹¹ – кількість відібраних проб для визначення ХСК;n¹¹¹ – кількість відібраних проб для визначення перманганатної окиснюваності.

Розглянемо чотири основних фактори, які впливають на утворення хлороформу у питній воді. За результатами проведеного дослідження встановлено, що вода у водосховищі «Відсічне» за весь термін спостереження (протягом 2004-2017 рр.) по середньому вмісту органічних речовин відповідала 2-3 класу якості води згідно класифікації ДСТУ 4808:2007, а по максимальному вмісту – 4 класу. Був зафіксований стабільно підвищений вміст органічної речовини. Значення БСК_п варіювало в межах 1,1 - 9,6 мгО₂/дм³. Середньорічні показники вмісту БСК_п стабільно перевищували норматив - 3,0 мгО₂/дм³ (СанПіН 4630-88) в 1,3-2,1 рази, а середній багаторічний вміст був на рівні 5,03 $\pm$ 0,12 мгО₂/дм³, що в 1,7 рази вище за

норматив. Що стосується показника ХСК, то його значення в продовж періоду 2014-2017рр. коливалося в межах 9,6 - 78,0 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$. Значення середньорічних показників ХСК було в межах 22,92 – 31,67 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$, що перевищувало гігієнічні вимоги - 15 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ (СанПіН 4630-88) у 1,5-2,1 рази, а середній багаторічний його вміст був на рівні $26,0 \pm 2,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, що також в 1,7 рази перевищує норматив. Показник перманганатної окиснюваності був зафіксований на рівні 5,12 – 33,2 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$, а значення багаторічного середнього вмісту було $10,7 \pm 0,12 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, що відповідає 3 класу якості води. Вся проаналізована нами інформація свідчить про середній та високий рівень органічного забруднення поверхневої води єдиного джерела водопостачання м. Житомира. Самий високий рівень спостерігався в літні місяці та на початку осені, що пояснюється посиленням процесів евтрофікації у водосховищі «Відсічне» через його зарегульованість, уповільненням та майже відсутністю природного обміну води, збільшенням площі мілководдя, особливо вздовж берегів, яке добре прогрівається сонцем. Також забруднення водосховища органічними речовинами відбувалося і в результаті несанкціонованих скидів стічних вод підприємствами, домогосподарствами та змивів із сільськогосподарських угідь, що розташовані вздовж р. Тетерів.

Другий фактор, який впливає на кількість утвореного хлороформу у питній воді - це час контакту води із хлором (в нашому випадку – це час транспортування води по трубах з першого до другого підйому). При підвищених дозах хлору концентрація утвореного хлороформу зростає із збільшенням часу контакту хлору із водою, так як хлор вступає в реакцію, окрім органічних речовин, ще із біоплівкою на стінках водопровідних труб. Час контакту становив в середньому біля 2 годин. Це досить велика тривалість часу контакту та оскільки на першому підйомі відсутній процес очищення води від органічних речовин, окрім окислення їх хлором і на стінках трубопроводів знаходиться біоплівка не одного року утворення, то, по суті, більша частка хлороформу у воді утворюється саме під час транспортування її з першого підйому до другого.

Третій фактор – це температура води. В холодний період року утворення хлороформу у воді зменшується, а при підвищенні температури швидкість взаємодії хлору з органічними речовинами збільшується і збільшується вміст хлороформу у питній воді. Наглядно таку залежність можна продемонструвати на рисунку 1, де показана залежність концентрації хлороформу у водоводі сирій води (вода у трубопроводах з першого до другого підйому) та температурою води помісячно за 2015 рік.

Рис.1 Залежність утворення концентрації хлороформу у водоводі сирій води від температури води.

Четвертий фактор – це доза хлору, яка застосовувалася для первинного хлорування на першому підйомі. За період 2014-2017рр. доза становила: від 2,9 мг/дм³ (мінімальне значення) до 21,82 мг/дм³ (максимальне значення). Значення середньорічних доз хлору коливалися в межах 8,09-9,41 мг/дм³. Залежність утворення концентрації хлороформу від дози хлору з першого підйому в водоводі сирій води та в питній воді у 2017 році можна спостерігати на рис.2 та рис.3.

Рис.2 Залежність утворення концентрації хлороформу у водоводі сирій води від дози хлору.

На рисунку 3 видно, що при одній і тій же дозі хлору з першого підйому концентрація хлороформу у питній воді та водоводі сирій води відрізняється. Це пояснюється тим, що після надходження води на другий підйом, вона проходить другий етап знезараження (вторинне знезараження) гіпохлоритом натрію і, відповідно, концентрація хлороформу збільшується, оскільки водопровідні споруди виявилися не ефективними в очищенні питної води від понаднормативних концентрацій хлороформу.

Рис.3 Залежність утворення концентрації хлороформу у питній воді від дози хлору.

Сукупність всіх перелічених та проаналізованих вище факторів, які характеризувалися високими та понаднормативними значеннями, у підсумку, і призводили до понаднормативного утворення у питній воді хлороформу. При проведенні моніторингового дослідження якості питної води по хлороформу (таблиця 2), ми отримали дані, які дозволили розрахувати середньорічні показники концентрації хлороформу у питній воді. Вони варіювали в межах від $0,063 \pm 0,037$ мг/дм³ до $0,139 \pm 0,091$ мг/дм³, що в порівняння

із нормативною концентрацією (0,06 мг/дм³) в 1,1 - 2,3 рази вищі за норматив. Дані розрахованих середньорічних концентрацій хлороформу у питній воді представлені на рисунку 4.

Таблиця 2.

Моніторинг якості питної води по санітарно-токсикологічному показнику «хлороформ».

Назва показника	Роки досліджень							
	Норматив ДСанПіН	2004 n=41	2005 n=51	2006 n=71	2007 n=69	2008 n=91	2009 n=83	2010 n=121
Хлороформ, мг/дм ³	0,06	<u>0,075 ± 0,026</u> 0,027 – 0,127	<u>0,139 ± 0,091</u> 0,025 – 0,337	<u>0,095 ± 0,041</u> 0,038 – 0,22	<u>0,098 ± 0,043</u> 0,015 – 0,178	<u>0,09 ± 0,055</u> 0,009 – 0,268	<u>0,063 ± 0,037</u> 0,019 – 0,198	<u>0,087 ± 0,049</u> 0,01 – 0,201
Не відповідність проб води нормативу, %	-	70,7	78,4	71,2	73,9	63,7	39,8	65,3

Продовження таблиці 2.

Назва показника	Роки досліджень							
	2011 n=101	2012 n=148	2013 n=149	2014 n=136	2015 n=151	2016 n=149	2017 n=154	2004-2017 n=1515
Хлороформ, мг/дм ³	<u>0,076 ± 0,043</u> 0,016 – 0,238	<u>0,077 ± 0,034</u> 0,02 – 0,165	<u>0,072 ± 0,036</u> 0,01 – 0,196	<u>0,121 ± 0,049</u> 0,016 – 0,301	<u>0,089 ± 0,004</u> 0,023 – 0,223	<u>0,107 ± 0,05</u> 0,035 – 0,256	<u>0,111 ± 0,041</u> 0,016 – 0,37	<u>0,093 ± 0,051</u> 0,009 – 0,37
Не відповідність проб води нормативу, %	59,4	66,9	56,4	82,2	53,0	78,5	89,0	68,0

Рис.4 Середньорічні показники концентрації хлороформу у питній воді.

Стосовно ж порівняння із максимальними концентраціями хлороформу у питній воді за 2004-2017 роки, то перевищення нормативу реєструвалося у 2,6 – 6,1 разів і становило 0,165 - 0,37 мг/дм³. Середня багаторічна концентрація хлороформу встановлена на рівні 0,093±0,051мг/дм³, що 1,6 рази перевищує норматив ДСанПіНу 2.2.4-171-10 (0,06 мг/дм³). Як правило, максимальні концентрації хлороформу припадали на літній час, коли температура поверхневої води була підвищена та у водосховищі проходило масове розмноження органічної речовини. Як наслідок, для її окислення та знезараження води застосовувалися високі дози хлору. Але отримані нами дані свідчили зовсім про інше – понаднормативні концентрації хлороформу спостерігалися у питній воді не тільки в літній час, а і пізньої осені та ранньої весни, коли температура води була низька.

За досліджуваний період 2004-2017 рр. було відібрано 1515 проб питної води, з яких 1030 проб не відповідало встановленому нормативу по показнику «хлороформ», що становить 68 % від загально відібраного об'єму проб. Щорічно на невідповідність по хлороформу реєструвалося майже 55-89 % відібраних проб. Більшість відібраних проб, що все ж таки відповідали нормативу відбиралися в холодну пору року, тобто зимою, коли вміст органічних речовин у поверхневій воді був мінімальний, а дози хлору застосовувалися невисокі.

Для розрахункового визначення канцерогенного ризику, пов'язаного із вживанням питної води з хлороформом ми використовували методикку US EPA [4], попередньо розрахувавши середньодобову дозу (СДД) шкідливої речовини (хлороформу) в мг/дм³, яка може надходити до організму людини з питною водою за формулою (1):

$$\text{СДД} = [\text{С}_{\text{сер}} * \text{ОП}] : [\text{МТ}], (1)$$

де $\text{С}_{\text{сер}}$ – середня арифметична концентрація токсичної речовини (хлороформу) у воді (0,093мг/дм³);

ОП – можливий об'єм питної води, яку споживають за добу (3дм³);

МТ – маса тіла (в середньому 70 кг).

Середньодобова доза хлороформу для мешканців м. Житомира становила:

$$\text{СДД} = (3\text{дм}^3 * 0,093 \text{ мг/дм}^3) : 70 = 0,00399 \text{ мг/кг}$$

Канцерогенний ризик (R) розраховується за формулою (2):

$$R = \text{SF}_0 * \text{СДД}, (2)$$

де SF_0 – величина потенціалу канцерогенного ризику в разі перорального надходження тієї чи іншої канцерогенної сполуки (мг/кг – доба або мкг/кг – доба)⁻¹; для хлороформу SF_0 складає 0,031.

Канцерогенний ризик для мешканців м. Житомира становив:

$$R = 0,031 * 0,00399 = 0,00012369.$$

Це означає, що за умови вживання протягом життя питної води із вмістом хлороформу 0,093 мг/дм³ можна очікувати розвитку 124 додаткових випадків захворювання на рак у когорті населення чисельністю 1 мільйон ($124 * 10^{-6}$) чи 12,4 додаткові випадки на 100 тис. населення.

Встановлено, що якість води у єдиному джерелі водопостачання водосховищі «Відсічне» за середнім вмістом органічного забруднення відповідає 2-3 класу якості води, а за максимальним вмістом – 4 класу якості води згідно ДСТУ 4808:2007. Відповідно до вимог СанПіНу 4630-88 був зафіксований стабільно підвищений вміст органічної речовини, зокрема середній багаторічний вміст БСК_п був на рівні 5,03±0,12 мгО₂/дм³, що в 1,7 рази вище за норматив, середній багаторічний вміст ХСК був на рівні 26,0±2,0 мгО₂/дм³, що також в 1,7 рази перевищує норматив СанПіНу 4630-88, а значення середнього багаторічного вмісту ПО було 10,7±0,12 мгО₂/дм³, що відповідає 3 класу якості води згідно ДСТУ 4808:2007. Тобто водосховище «Відсічне» характеризується середнім та високим (в літні місяці) рівнем органічного забруднення.

Час контакту води з хлором - біля 2 годин, є не аби яким фактором, що впливає на утворення понаднормативного вмісту хлороформу у воді, оскільки час контакту виявляється

довготривалим. Від температури води та дози хлору існує майже пряма залежність до утворення хлороформу у водоводі сирій води (з першого до другого підйому), що в подальшому технологічному процесі має тенденцію до збільшення, оскільки, проходить другий етап - вторинне знезараження гіпохлоритом натрію, що в результаті збільшує кінцеву концентрацію хлороформу у питній воді до понаднормативної.

Виявлено, що всі чотири фактори, а саме, вміст органічної речовини, час контакту хлору з водою, доза хлору та температура води, що характеризувалися високими та понаднормативними значеннями призводили до понаднормативного утворення у питній воді хлороформу. А саме, середньорічні показники концентрації хлороформу у питній воді коливалися в межах від $0,063 \pm 0,037$ до $0,139 \pm 0,091$ мг/дм³, що в порівняння із нормативною концентрацією ($0,06$ мг/дм³) в 1,1 - 2,3 рази вище за гігієнічний норматив ДСанПіНу 2.2.4-171-10. Його середній вміст, навіть взимку, характеризувався перевищенням нормативу. Максимальні концентрації хлороформу у питній воді за 2004-2017 роки перевищували норматив у 2,6 – 6,1 разів і становили $0,165 - 0,37$ мг/дм³.

Встановлено, що за 14 років із всього обсягу відібраних проб на дослідження хлороформу у питній воді, більше половини, а саме 68% від загального об'єму не відповідали встановленому нормативу. Це дуже високий показник, який вказує, що проблема з хлороформом з'явилася дуже давно і потребувала вирішення останніх 10 років, як мінімум. Однак, на житомирському водоканалі для її вирішення не вживалося ніяких ефективних заходів, оскільки покращення, в плані зниження хлороформу, не спостерігалось. Спостерігалось тільки поступове погіршення якості поверхневої води за вмістом органічного забруднення.

Розрахований канцерогенний ризик від вживання хлорованої водопровідної питної води із понаднормативним вмістом хлороформу для жителів міста Житомир становив 0,00012369, що означає, за умови вживання протягом життя питної води із вмістом хлороформу $0,093$ мг/дм³ можна очікувати розвитку 124 додаткових випадків захворювання на рак у когорті населення чисельністю 1 мільйон ($124 \cdot 10^{-6}$) чи 12,4 додаткові випадки на 100 тис. населення

В подальших дослідженнях буде проведено санітарно-гігієнічну оцінку якості водопровідної питної води міста Житомира по іншим показникам якості води та проведено соціологічне опитування, пов'язане із визначенням відношення населення міста до водопровідної «питної» води та до можливості її споживання.

Список використаних джерел

1. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»: ДСанПіН 2.2.4-171-10.- К., 2012. – 55с.
2. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН 4630-88. – М., 1988. – 69с.
3. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання: ДСТУ 4808:2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. –36с.
4. Прокопов, В.О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно - гігієнічні аспекти: монографія/ В.О.Прокопов; за ред. А.М.Сердюка. – К.: ВСВ «Медицина», 2016. – 400с.
5. Корінько, І.В. Інноваційні технології водопідготовки: монографія/ І.В. Корінько, Ю.О. Панасенко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. –208с.
6. Полищук, А.А. О проблемах ХОС при обеззараживании воды хлорсодержащими агентами / А.А. Полищук, В.И. Гольцов // Водопостачання та водовідведення. – 2015. – №6. – С. 8-13.

7. Зоріна, О.В. Гігієнічне обґрунтування шляхів мінімізації утворення хлорорганічних сполук при застосуванні хлору у водопідготовці: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук. – К., 2006. – 19с.
8. Стискал, О.А. Аналіз чинників екологічної небезпеки хлорованої питної води/ О.А. Стискал, В.Г. Петрук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – Вип.5. – С.69-275
9. Хлорована питна вода та ризики для здоров'я населення / В.О. Прокопов та ін.// Гігієна населених місць. – 2012. – № 60. – С. 76–86.
10. Гигиеническая оценка комплексного действия хлороформа питьевой воды/ Т.И. Исканова, А.Г. Малышева и др.// Гигиена и санитария. – 2006. – №2. – Режим доступа: <http://www.bsl-med.ru/articles/30/>. (дата звернення: 19.11.18)

References

1. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Hihiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoї»: DSanPiN 2.2.4-171-10[State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption": DsanPin 2.2.4-171-10].2012. K. 55s.
2. Sanytarnye pravyla y norme okhrany poverkhnostnykh vod ot zahriazneniya: SanPyN 4630-88[Sanitary rules and norms of protection of water surface from pollution: SanPiN 4630-88]. 1988. M.69s.
3. Dzherela tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannia. Hihiienichni ta ekolohichni vymohy shchodo yakosti vody ta pravyla vybyrannia: DSTU 4808:2007[Sources of centralized drinking water supply. Hygienic and ecological requirements for water quality and selection rules: DSTU 4808: 2007]. 2007. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 36s.
- 4.Prokopov V.O.2016. Pytna voda Ukrainy: medyko-ekolohichni ta sanitarno - hihiienichni aspekty: monohrafiia[Drinking water of Ukraine: medical-ecological and sanitary-hygienic aspects: monograph]. K.: VSV «Medytsyna». 400s.
5. Korinko I.V., Panasenko Yu.O. 2012. Innovatsiini tekhnolohii vodopidhotovky: monohrafiia[Innovative technologies of water preparation: monograph]. Khark. nats. akad. misk. hosp-va. Kh.: KhNAMH. 208s.
6. Polyshchuk A.A., Holtsov V.Y. 2015. O problemakh KhOS pry obezzarazhyvanny vody khlorosoderzhashchymy ahentamy[On the problems of HOS in disinfecting water with chlorine-containing agents] *Vodopostachannia ta vodovidvedennia*. №6. S. 8-13.
7. Zorina O.V. 2006. Hihiienichne obgruntuвання shliakhiv minimizatsii utvorennia khlororhanichnykh spolk pri zastosuванні khloru u vodopidhotovtsi: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. Nauk[Hygienic substantiation of ways of minimizing the formation of organochlorine compounds in the application of chlorine in water preparation: author's abstract. dis for obtaining scientific degree of Candidate biology Sciences].K. 19s.
8. Styskal O.A., Petruk V.H. 2014. Analiz chynnykiv ekolohichnoi nebezpeky khlorovanoi pytnoi vody[Analysis of factors of ecological danger of chlorinated drinking water] *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. Vyp.5. S.69-275
9. Prokopov V.O. ta in. 2012. Khlorovana pytna voda ta ryzyky dlia zdorovia naselennia[Chlorinated drinking water and risks to the health of the population] *Hihiiena naselenykh mist*. № 60. S. 76–86.
10. Yskanova T.Y., Malysheva A.H. y dr. 2006. Hyhyenycheskaia otsenka kompleksnogo deistviia khloroforma pytevoi vody[Hygienic assessment of complex action of drinking water chloroform]. *Hyhyena y sanytariia*. №2. URL:<http://www.bsl-med.ru/articles/30/>. (application date: 19.10.18)