

5. Shevchuk R.V., Rovna H.F. (2014). *Tekhnologichni sposoby vyroshchuvannya rapaku ozymoho dlia vyrobnytstva biopalyva* [Technological methods of cultivation of winter rapeseed for biofuel production]. *Visnyk ahrarnoi nauky* [Bulletin of Agricultural Science]. No. 9, pp. 19–22 (in Ukrainian).
6. Khivrych O., Kuryo V., Kvak V., Kaskiv V. (2011). *Enerhytychni roslyny yak syrovyna dlia biopalyva* [Energy plants as raw material for biofuels]. *Propozytsiia Publ.*, No. 6, pp. 68–73 (in Ukrainian).
7. Titei V. et al. (2013). The Perspective of Cultivation and Utilization of the Species *Silphium Perfoliatum* L. and *Helianthus Tuberosus* L. in Moldova // *Bulletin UASMV serie Agriculture*, Vol. 70(1), pp. 160–166 (in English).
8. Franzaring J. et al. (2014). Investigations on plant functional traits, epidermal structures and the ecophysiology of the novel bioenergy species *Sida hermaphrodita* Rusby and *Silphium perfoliatum* L., *Journal of Applied Botany and Food Quality* 87, pp. 36–45, DOI:10.5073/JABFQ.2014.087.006 (in English).

УДК 504.445

ЗАБРУДНЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ХЛОРОФОРМОМ УНАСЛІДОК ЇЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ

І.В. Данилова

Житомирський національний агроекологічний університет

Проаналізовано показники якості питної води, що впливають на вміст у ній хлороформу. Встановлено, що концентрацію розчиненого кисню та каламутність слід розглядати як найважливіші показники, які свідчать про рівень забруднення води, на основі яких визначаються відповідні заходи з її знебарвлення та знезараження. Досліджено інтенсивність розмноження синьо-зелених, діатомових та зелених водоростей у водозаборі «Відсічне» р. Тетерів у 2014 р. Обґрунтовано, що активний розвиток планктонних водоростей спричиняє необхідність збільшення доз реагентів, які додаються у воду під час її підготовки. Виявлено особливості співіснування різних відділів фітопланктону у водозаборі та їх вплив на зміни показників каламутності води та концентрації розчиненого кисню.

Ключові слова: *питна вода, хлороформ, води водозабору, розчинений кисень, каламутність, водорості.*

Проблема вмісту тригалометанів (ТГМ) у питній воді досі залишається актуальною, оскільки майже всі водоканали України для знезараження та знебарвлення води продовжують використовувати хлор чи хлорвмісні сполуки. За підготовки води органічні речовини, що входять до її складу, взаємодіють з дезінфектантами, внаслідок чого утворюється декілька видів ТГМ, серед яких переважає хлороформ. Ця небезпечна речовина розглядається як індикатор умісту у питній воді продуктів хлорування [1].

Наприкінці минулого століття з'явилася низка публікацій про виявлення галогеновмісних сполук у воді, призначеній для питних цілей [2]. Однак питання щодо їх впливу на здоров'я населення фактично не розглядалися. Доволі тривалий час спостерігалася недооцінка однієї з найбільш значущих аспектів їх біологічної дії — віддалених наслідків, зокрема мутагенної та канцерогенної дій. Хоча в експериментах на вищих тваринах були отримані дані про канцерогенну дію хлороформу на організм, і за класифікацією МАВР (Франція) ця речовина було віднесено до групи 2 (чинники, ймовірно канцерогенні для людини),

проте в епідеміологічних дослідженнях збільшення захворюваності на рак у людей, які вживали хлоровану питну воду, у половині випадків спостережень чітко не підтверджувалось [3].

Пізніше було встановлено [4], що хлорована питна вода знижує еластичність кровоносних судин людини, що своєю чергою спричиняє порушення роботи серцево-судинної системи. Також втрачена еластичність кровоносних судин, як відомо, викликає атеросклероз, захворювання серця [5]. На думку низки авторів, ризик розвитку раку у людей і тварин, які вживають хлоровану воду, істотно зростає [3, 4, 6].

Утворення хлороформу у питній воді спричиняє і присутність у водах джерел водопостачання органічних речовин, уміст яких часто зумовлено «цвітінням» води внаслідок активного розвитку фітопланктону від надходження у водне середовище біогенних речовин. Серед біогенів найпоширенішими є продукти розпаду добрив, детергентів, пестицидів тощо [7, 8].

Як відомо, масовий розвиток фітопланктону спричиняє утворення на поверхні водойм слизеподібних плівок, унаслідок з'єднання яких утворюються «плями цвітіння». Ці плями є доволі складними утвореннями (альгобактеріальні), де відбуваються переважно деструкційні процеси розкладання біомаси. У їх складі концентрується і основна біомаса патогенної мікрофлори водойм. З огляду на це, визначення основних закономірностей протікання евтрофних процесів у водоймах господарсько-побутового призначення забезпечує відповідні служби необхідною інформацією про мікробіологічне забруднення цих водойм для вжиття необхідних заходів зі знищення під час водопідготовки небезпечних мікроорганізмів. Отже, введення хлору дає змогу одночасно з очищенням води проводити її знезараження.

Вищевикладене обумовлює актуальність проблеми безпеки для людини і тварин забруднення питної води хлороформом унаслідок її знезараження та знебарвлення рідким хлором під час водопідготовки.

Метою досліджень було визначити основні чинники, що впливають на утворення хлороформу у питній воді.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відбір проб води у лабораторії КП «Житомирводоканал» проводили у кількості 1 дм³ з водозабору «Відсічне» р. Тетерів та резервуарів чистої води (РЧВ) упродовж січня — грудня 2014 р. (взимку — один раз на місяць, в інші періоди року — двічі на місяць).

Кількість хлороформу визначали згідно зі Стандартом підприємства «Методика виконання вимірювання концентрацій складових тригалометанів (ТГМ): хлороформу та тетрахлорвуглецю в питних, поверхневих водах» (1995) газохроматографічним методом. Розчинений кисень (РК), з урахуванням впливу температури і тиску, — йодометричним, каламутність — фотометричним методами.

Визначення якісного та кількісного складу водоростей у водозаборі «Відсічне» р. Тетерів здійснювали шляхом гідробіологічного аналізу, в основі якого лежить метод концентрації фітопланктону на мембранних фільтрах, з подальшим підрахунком кількості водоростей (клітин/см³) у камері Нажотта [9].

Відбір проб води та визначення вказаних показників здійснювали за участю співробітників КП «Житомирводоканал».

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На КП «Житомирводоканал» під час підготовки води для її знезараження та знебарвлення упродовж тривалого часу використовували рідкий хлор. З 2012 р. вторинне хлорування почали здійснювати гіпохлоритом натрію, який є дешевшим окиснювачем, ніж хлор. Тому доцільно проаналізувати, наскільки чинники, визнані як вирішальні у проведенні хлорування, зумовлюють утворення хлороформу у питній воді. Показниками якості води вважають її каламутність та вміст РК [1]. Саме від їх значень залежить застосування необхідного ступеня очищення води на основі хлорування, тобто які дози хлору будуть введені

після першого етапу фільтрації води і, зрештою, який уміст хлороорганічних сполук залишиться у питній воді (рис.).

Каламутність води свідчить про наявність у природних поверхневих джерелах зважених частинок (мулу, глини, піску тощо), що може підвищуватись внаслідок збільшення чисельності живих чи відмерлих мікроорганізмів. Допустимі норми каламутності не повинні перевищувати рівень 1,5 мг/дм³ води [10, 11].

Концентрація РК у воді водойм є доволі інформативним показником щодо її забруднення. Хоча це непрямий показник, однак саме він дає змогу визначити рівень загального забруднення водного середовища і вказує на особливості окиснення шкідливих речовин, у т.ч. органічних. Більшість токсикантів можуть доволі швидко окислюватись і тим самим зумовлювати зменшення концентрації РК. Уміст РК у воді джерел водопостачання за нормативом повинен бути не меншим ніж 4,0 мгО₂/дм³ [3, 10, 11]. Однак наведені дані свідчать, що у липні та серпні він був набагато нижчий за норму (3,5 та 2,8 мг О₂/дм³ відповідно) (рис.).

Найвищий рівень каламутності (7,7 мг/дм³) спостерігався у вересні – жовтні. У цей період почала збільшуватись величина РК у воді водозабору і, навпаки, зменшуватись кількість хлороформу у питній воді.

Найнижчі показники концентрації РК упродовж року співпали з найвищим рівнем хлороформу (0,2 мг/дм³). Це свідчить

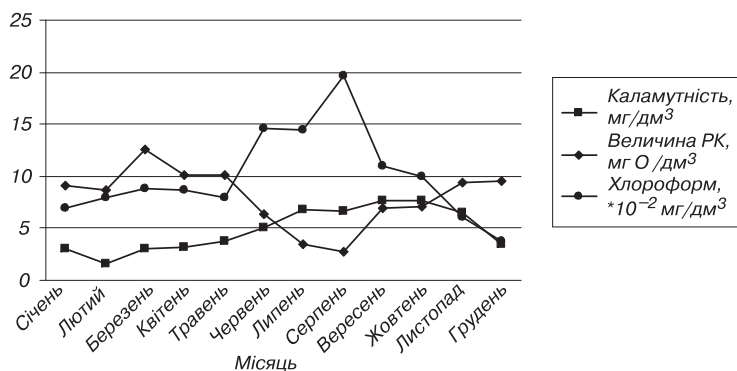
про наявність у воді біологічно активних речовин, які швидко окислюються зумовлювали зменшення рівня РК.

Процес окиснення зумовлено діяльністю аеробних бактерій у воді, здебільшого, щодо органічних речовин. Останні використовуються ними як їжа для задоволення енергетичних потреб. Унаслідок процесів окиснення органічні рештки перетворюються на окиснені форми CO₂, H₂O, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻. Однак іноді ці окиснювальні реакції настільки знижують вміст у воді РК, що аеробні бактерії вже не можуть існувати в такому середовищі. Тоді реакції окиснення здійснюються анаеробними бактеріями. Останні розкладають органічні речовини до CH₄, H₂S, NH₃, PH₃. Продукти розкладу в цьому разі є токсичними для гідробіонтів і мають неприємний запах.

Істотний вплив на величину РК, згідно з нашими дослідженнями, мають евтрофні процеси, зумовлені інтенсивністю розмноження водоростей у водозаборі «Відсічне» р. Теретів.

Фітопланктон водозабору складається з діатомових, зелених, синьо-зелених, золотих, евгленових та динофітових водоростей, серед яких переважають синьо-зелені (91,4%), діатомові (4,9) та зелені (3,6%).

Так, у серпні 2014 р. спостерігалось інтенсивне розмноження синьо-зелених водоростей у водозаборі (692740 клітин/см³), що співпало з найнижчим значенням РК і найвищим – каламутності. Найвищий рівень хлороформу у воді також було зафік-



Сезонні зміни рівня каламутності, концентрації розчиненого кисню та вмісту хлороформу у воді у 2014 р.

совано у серпні, який почав знижуватись лише після зменшення кількості синьо-зелених водоростей.

Збільшення кількості діатомових водоростей у квітні супроводжувалось підвищенням рівня каламутності води. Пікові значення розмноження діатомових та зелених водоростей (19100 та 31960 клітин/см³ відповідно) спостерігались у вересні – жовтні після незначного зниження активності синьо-зелених (655080 клітин/см³), оскільки угруповання цього типу бактерій пригнічує розвиток у водоймах водоростей інших родів. Унаслідок цього рівні каламутності та хлороформу у воді у цей період були значно вищими за норму.

Проведення вторинного хлорування гіпохлоритом натрію, дозування якого розраховується на основі рідкого хлору, на нашу думку, так само базується на даних про зміни вмісту у воді водозабору РК. А каламутність за подібних умов доцільно розглядати як додатковий показник, проте нехтувати ним не варто, оскільки існують випадки, коли підвищена каламутність «узгоджується» з високою концентрацією кисню, що може спостерігатись, наприклад, у весняний період.

ВИСНОВКИ

Високий вміст хлороформу у питній воді на КП «Житомирводоканал» у деякі періоди 2014 р. був зумовлений забрудненням вод водозабору «Відсічне» р. Тетерів, про що свідчать низький вміст РК у липні і серпні (3,5 та 2,8 мг О₂/дм³ відповідно) та підвищений рівень каламутності у вересні – жовтні (7,7 мг/дм³).

Забруднення вод виникло внаслідок активного розвитку та розкладання фітопланктону, особливо синьо-зелених водоростей (91,4%), що спричинило потрапляння у водне середовище значної кількості органічних речовин, у т.ч. небезпечних метаболітів водоростей. Взаємодіючи з дезінфектантами (хлором та гіпохлоритом натрію) під час підготовки води в умовах водоканалу, органічні речовини беруть участь в утворенні хлороформу.

Для зменшення концентрації хлороформу у питній воді, ми пропонуємо застосувати сорбційні методи доочищення, які проявили оптимальний ефект серед методів вилучення хлорорганічних сполук з водних розчинів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Snishko S.* Wasserwirtschaftliche und oekologische Situation im Dnipro-Einzugsgebiet / S. Snishko // Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. – 2001. – No. 45, H. 1. – S. 2–7.
2. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Chlorinated Drinking-water; Chlorination By-products; Some Other Halogenated compounds; Cobalt and Cobalt Compounds. – Lyons: IARC, 1991. – Vol. 52. – 544 p.
3. *Зоріна О.В.* Вплив технологічних чинників водопідготовки на якість питної води щодо вмісту хлороформу / О.В. Зоріна // Довкілля та здоров'я. – 2003. – № 4 (27). – С. 65–68.
4. *Мокиєнко А.В.* Питьевая вода и водно-обусловленные инфекции. Водоразводящая сеть и заболеваемость населения / А.В. Мокиєнко, Н.Ф. Петренко // Вода і водоочисні технології: Науково-практичний журнал. – 2008. – № 1 (25). – С. 32–36.
5. Комбинированное действие детергентов и приоритетных загрязнений на организм и качество окружающей среды (обзор) / Н.Г. Проданчук, И.В. Мудрый, А.П. Кравчук и др. // Гигиена и санитария. – 2004. – № 2. – С. 24–28.
6. *Земцова Г.Н.* Флавоноиды как лекарственные препараты / Г.Н. Земцова, В.А. Бандюкова // Фармацевт. – 1982. – № 3. – С. 68–70.
7. *Прокопов В.О.* Хлорорганічні сполуки у питній воді: фактори та умови їх утворення / В.О. Прокопов, Г.В. Чичковська, О.В. Зоріна // Довкілля та здоров'я. – 2004. – № 2 (29). – С. 70–73.
8. *Авраменко Н.Л.* Визначення збитків від скиду промстоків у водні об'єкти / Н.Л. Авраменко // Збірка тез доповідей учасників VII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» / Укладач С.С. Кухарів. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. – С. 204.
9. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем / за ред. В.І. Назаренка. – К., 2002. – 51 с.
10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10 / № 452/17747 / Міністерство охорони здоров'я України. – [Чинний від 1.07.2010 р.]. – 50 с. – (Державні стандартні норми та правила).
11. *Запольський А.К.* Водопостачання, водовідведення та якість води: підруч. для студ. вищих навч. закладів / А.К. Запольський. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.

REFERENCES

1. Snishko S. (2001). *Vaservirtshafliche und oikologishe situation im Dnipro-Aincugsgebit* [Water use and ecological situation on the coast of Dnipro]. *Hydrologie und Vaserbevirftung* [Hydrology and water use]. No. 45, H. 1. pp. 2–7 (in German).
2. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Chlorinated Drinking-water; Chlorination By-products; Some Other Halogenated compounds; Cobalt and Cobalt Compounds, Lyons: IARC, 1991, Vol. 52, 544 p. (in English).
3. Zorina O.V. (2003). *Vplyv tehnologichnyh chymnykiu vodopidgotovky na yakist pytnoi vody shchodo vmistu hloroformu* [The influence of technological factors of water preparation on the drinking water quality of the chloroform content]. *Dovkillya ta zdorovya* [Environment and health]. No. 4 (27), pp. 65–68 (in Ukrainian).
4. Mokienco A.V., Petrenko N.F. (2008). *Pitevaya voda i vodno-obuslovlennye infekcii. Vodorazvodyashchaya set I zaboлеваemost naseleniya* [Drinking water and infections caused by water. Water dividing net and morbidity of population]. *Voda i vodoochysni tehnologii: naukovo-praktychnyj zhurnal* [Water and water purifying technologies: Scientific-practical journal]. No. 1(25), pp. 32–36 (in Russian).
5. Prodanchuk N.G., Mudryj I.V., Kravchuk A.P. (2004). *Kombinirovannoe dejstvie detergentov I prioritetnyh zagryaznenij na organism i kachestvo okruzhayushchej sredy (obzor)* [Combine action of detergents and foreground pollution on organism and environmental quality (overview)]. *Gigienu i sanitariya* [Hygiene and sanitary], No. 2, pp. 24–28 (in Russian).
6. Zemcova G.N., Bandyukova V.A. (1982). *Flavonoidy kak lekarstvennye preparaty* [Flavonoids as medicine]. *Farmaceya* [Pharmacy]. No. 3, pp. 68–70 (in Russian).
7. Prokopov V.O., Chychkovska G.V., Zorina O.V. (2004). *Hlororganichni spoluky u pytnij vodi: factory ta umovy yih utvorenniya* [Chlorine organic substances in drinking water: the factors and conditions of their formation]. *Dovkillya ta zdorovya* [Environment and health]. No. 2 (29), pp. 70–73 (in Ukrainian).
8. Avramenko N.L., Kuhariv S.S. (2004). *Vyznachen-nya zbytkiv vid skydu promstokiv u vodni objekty* [The loss determination from wastes' release into water objects]. *Zbirka tez dopovidej uchasnykiv VII Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferencii studentiv, aspirantiv ta molodyh vchenykh «Ekologiya. Lyudyna. Suspilstvo»* [Proceedings of theses of participant's reports of the 7th International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists «Ecology. Human. Society»]. Kyiv, IBC «Vyd-vo «Politekhnik» Publ., 204 p. (in Ukrainian).
9. Nazarenko V.I. (2002). *Metodychni osnovy gidrobiologichnyh doslidzhen vodnyh ecosystem* [Methodical bases of hydrobiological investigations of water ecosystems]. Kyiv, 51 p. (in Ukrainian).
10. *Gigienichni vymogy do vody pytnoi, pryznachenoj dlya spozhyvannya lyudynoyu, No. 452/17747* [Hygiene demands for drinking water, which is meant for drinking by people, No. 452/17747]. Ministerstvo ohorony zdorovya Ukrainy. Derzhavni standartni normy ta pravyla [Ministry of Health of Ukraine. State standard norms and rules]. 50 p. (in Ukrainian).
11. Zapolskij A.K. (2005). *Vodopostachannya, vodo-vidvedennya ta yakist vody* [Water supply, drainage and water quality]. *Pidruchnyk dlya studentiv vyshchych navchalnyh zakladiv* [Textbook for students of higher educational institutions]. J. Kyiv: Vyshcha shkola Publ., 671 p. (in Ukrainian).