

УДК 504.45(477.74):613.34  
DOI©Л. Й. Ковальчук<sup>1</sup>, А. В. Мокієнко<sup>2</sup>, Н. Ф. Петренко<sup>2</sup>Одеський національний медичний університет<sup>1</sup>  
Державне підприємство “Український науково-дослідний інститут медицини транспорту  
Міністерства охорони здоров'я України”, м. Одеса<sup>2</sup>

## ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА НАСЛІДКІВ ХЛОРУВАННЯ ВОДИ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМ УКРАЇНСЬКОГО ПРИДУНАВ'Я

ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА НАСЛІДКІВ ХЛОРУВАННЯ ВОДИ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМ УКРАЇНСЬКОГО ПРИДУНАВ'Я – У роботі представлено результати гігієнічної оцінки наслідків хлорування води поверхневих водойм Українського Придунав'я. Встановлено, що хлорування води озер Кагул, Ялпуг, Катлабух супроводжується достовірним ( $p < 0,05$ ) ростом утворення високих рівнів хлороформу залежно від дози введеного хлору, які в 2 (при хлоруванні води озера Кагул дозою хлору  $1 \text{ мг/дм}^3$ ) – 20 разів (при хлоруванні води озера Катлабух дозою хлору  $7 \text{ мг/дм}^3$ ) перевищують чинний норматив цієї сполуки для питної води. Це створює додатковий ризик канцерогенної захворюваності населення. Висловлено думку, що хлороформ та інші тригалометани (ТГМ) є тільки складовою токсичного та віддалених впливів на стан здоров'я споживачів хлорованої води поверхневих водойм. Обґрунтовано необхідність досліджень хлорвмісних сполук та продуктів трансформації забруднювачів у процесі хлорування та доцільність дослідження і впровадження альтернативних хлоруванню засобів знезараження води, наприклад діоксиду хлору.

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ХЛОРИРОВАНИЯ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ УКРАИНСКОГО ПРИДУНАВЬЯ – В работе представлены результаты гигиенической оценки последствий хлорирования воды поверхностных водоемов Украинского Придунавья. Установлено, что хлорирование воды озер Кагул, Ялпуг, Катлабух сопровождается достоверным ( $p < 0,05$ ) ростом образования высоких уровней хлороформа в зависимости от дозы введенного хлора, которые в 2 (при хлорировании воды озера Кагул дозой хлора  $1 \text{ мг/дм}^3$ ) – 20 раз (при хлорировании воды озера Катлабух дозой хлора  $7 \text{ мг/дм}^3$ ) превышают действующий норматив этого соединения для питьевой воды. Это создает дополнительный риск канцерогенной заболеваемости населения. Высказана мысль, что хлороформ и другие тригалометаны являются только составляющей токсичного и отдаленных влияний на состояние здоровья потребителей хлорированной воды поверхностных водоемов. Обоснованы необходимость исследований хлорсодержащих соединений и продуктов трансформации загрязнителей в процессе хлорирования и целесообразность исследования и внедрения альтернативных хлорированию средств обеззараживания воды, например диоксида хлора.

HYGIENIC ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF SURFACE WATERS CHLORINATION OF UKRAINIAN DANUBE REGION IMPOUNDMENT – The results of hygienic assessment of the effects of surface water chlorination in Ukrainian Danube Region are presented. It has been found that chlorination of Kagul, Ialbug, Katlabuh lakes are accompanied by a significant ( $p < 0.05$ ) increase in the formation of high levels of chloroform depending on the dose and chlorine, which is 2–20 times exceeds the current standard of this compound for drinking water. For the chlorination of lake Kagul water chlorine dose of  $1 \text{ mg/dm}^3$  was used, in chlorination of lake Katlabuh water chlorine dose of  $7 \text{ mg/dm}^3$  was used. This creates an additional risk of general population carcinogenic morbidity. It suggested that chloroform and other trihalomethanes are only part of the toxic and long-term effects on the health of the consumers of chlorinated surface water. The necessity of studies of chlorine compounds and transformation products of contaminants in the chlorination process and feasibility studies and the introduction of alternative means of water disinfection, such as chlorine dioxide have been substantiated.

**Ключові слова:** вода, поверхневі водойми, хлорування, хлороформ, тригалометани, Українське Придунав'я.

**Ключевые слова:** вода, поверхностные водоемы, хлорирование, хлороформ, тригалометаны, Украинское Придунавье.

**Key words:** water, surface water, chlorination, chloroform, trihalomethanes, Ukrainian Danube region.

**ВСТУП** Як відомо, хлорування є переважно засобом для знезараження води як у всьому світі, так і в Україні. Результати наукових досліджень свідчать, що хлорування води має істотні недоліки, до яких, насамперед, відносять формування хлоррезистентної мікрофлори, неефективність відносно пріоритетних контамінантів питної води, перш за все вірусної та паразитарної етіології, утворення хлорорганічних сполук із токсичними та віддаленими (канцерогенним, мутагенним тощо) ефектами [1]. Гирлова зона річки Дунай та придунайські озера (Кагул, Катлабух, Кугурлуй, Ялпуг, Китай, Сасик) останніми роками зазнають інтенсивного антропогенного забруднення. Цей регіон, як депресивний, характеризується напруженою соціально-екологічною та загрозливою санітарно-епідеміологічною ситуацією, зумовленою відсутністю регіональної природоохоронної політики, евтрофікацією та “цвітінням” водойм, низькою якістю питної води, високим рівнем захворюваності населення [2–5].

Як показує аналіз щорічних звітів Одеської обласної державної санітарно-епідеміологічної служби, технології хлорування води поверхневих водойм у населених пунктах Українського Придунав'я вкрай застарілі, не передбачають коагулювання, а тільки фільтрацію, що створює додаткові ризики утворення побічних продуктів у вигляді галогенорганічних сполук, зокрема тригалометанів [6]. Однак за нашими даними, визначення рівнів утворення таких сполук у воді після хлорування поверхневих вод даного регіону досі не проводились, що зумовило мету даної роботи, яка полягала у гігієнічній оцінці наслідків хлорування води поверхневих водойм Українського Придунав'я.

**МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ** Зразки води озер Кагул, Ялпуг, Катлабух, які влітку найбільш потерпають від надмірного “цвітіння”, відбирали у 3-х повторностях 23, 24 липня 2014 р. у точках моніторингу стану поверхневих вод, який виконує лабораторія Дунайського басейнового управління водних ресурсів (м. Ізмаїл Одеської області).

У роботі застосовували хімічні та статистичні методи досліджень.

Робочі розчини активного хлору отримували шляхом розбавлення основного розчину рідкого гіпохлориту натрію, який додають на водоканалах для хлорування води до концентрацій, що забезпечують дозу активного хлору 1, 3, 5, 7 мг/дм<sup>3</sup>.

Дозу активного хлору та концентрацію залишкового активного хлору визначали стандартним методом за ДСТУ ISO 7393-1-2003 [7].

Хлороформ, як індикаторну сполуку тригалометанів (ТГМ), визначали за ДСТУ ISO 10301:2004 [8] на хро-

матографі "Кристал-Люкс-4000" з електронно-захватним детектором (ЕЗД).

Кожне дослідження проводили у 3-х повторностях. Отриманий матеріал обробляли статистичними методами непрямих різниць. Вірогідними змінами вважалися ті, що знаходилися за таблицями Стьюдента у межі вірогідності <0,05 [9].

#### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати досліджень вмісту хлороформу в хлорованій воді озер Кагул, Ялпуг, Катлабух представлено у таблиці, де наведено рівні загального органічного вуглецю (ЗОВ), які ми визначили у роботі [6].

Як свідчать отримані дані, хлорування води озер супроводжується очікуваним [1] достовірним ( $p < 0,05$ ) ростом утворення високих рівнів хлороформу залежно від дози введенного хлору, які в 2 (при хлоруванні води озера Кагул дозою хлору 1 мг/дм<sup>3</sup>) – 20 разів (при хлоруванні води озера Катлабух дозою хлору 7 мг/дм<sup>3</sup>) перевищують чинний норматив цієї сполуки для питної води [10]. Певним чином це підтверджує результати попередніх досліджень (1998 р.) якості води м. Болград [11], джерелом водопостачання якого є озеро Ялпуг. Технологічна схема підготовки води включала фільтрацію води на швидких піщаних фільтрах та знезараження хлором. Встановлено, що концентрація суми ТГМ у водопровідній воді перевищувала чинний на той час гігієнічний норматив [12] майже у 9 разів (877 мкг/л), що пояснюється високим вмістом природних органічних сполук, лужним середовищем природної води та високими концентраціями хлору, що застосовуються для знезараження.

Як зазначено у цій роботі [11], вода після швидких піщаних фільтрів має значно більше мікробне забруднення (за загальним мікробним числом), порівняно з природною водою до фільтрів, що є результатом їх мікробного обростання. Хлорування фільтрату не забезпечує мікробіологічної якості водопровідної води ( $ЗМЧ > 100$  КУО/см<sup>3</sup>).

Гігієнічна інтерпретація отриманих результатів можлива на основі критеріальної шкали для безпосереднього визначення канцерогенного ризику здоров'ю населення при вживанні питної хлорованої води з високим вмістом хлороформу (ХФ), яка є модифікацією загальноприйнятої методики Агенства охорони навколишнього середовища США (ЕРА) [13]. Розрахунки показали, що при вмісті у воді ХФ на рівні 120–180 мкг/дм<sup>3</sup> (2–3 ПДК) ризик виникнення додаткових випадків онкозахворювань є високим і становить  $1,8–2,4 \times 10^{-4}$ . Це означає, що при вживанні протягом життя питної води з таким вмістом ХФ, можна чекати 180–240 додаткових випадків захворювання на рак у когорті населення 1 млн.

З гігієнічної точки зору, є необхідність врахування певних принципових обставин. По-перше, високі рівні ціанобактерій у воді озер [3], у тому числі видів, які спричиняють "цвітіння" води, є фактором ризику утворення ціанотоксинів. Висловлено припущення, що ціанотоксини, які за своєю органічною природою є олігопептидами, алкалоїдами, ліпополісахаридами, можуть створювати токсичні органомінеральні комплекси [14]. Ці речовини, у свою чергу, можуть реагувати з хлором із утворенням інших, вірогідно, більш токсичних сполук. По-друге, як встановлено у роботі [15], при хлоруванні біомаси зелених та синьо-зелених водоростей генотоксичними є проміжні продукти хлорування, а не тригалометани та галооцетові кислоти. По-третє, хлор може вступати в реакції з антропогенними забруднювачами, наприклад виявленими нами хлороорганічними пестицидами з утворенням більш токсичних сполук [1]. По-четверте, концентрації залишкового активного хлору ( $0,54 \pm 0,13$ )–( $0,81 \pm 0,15$ ) мг/дм<sup>3</sup> при різних дозах активного хлору недостатні для забезпечення епідемічної безпеки питної води при аварійному стані водорозвідних мереж населених пунктів даного регіону.

Таблиця. Вплив хлорування води озер Кагул, Ялпуг, Катлабух на кількість хлороформу, що утворюється

Водний об'єкт	Концентрація ЗОВ (мг/дм <sup>3</sup> )	Вміст хлороформу (мкг/дм <sup>3</sup> ) при різних дозах активного хлору (мг/дм <sup>3</sup> )				Концентрація залишкового активного хлору (мг/дм <sup>3</sup> ) при різних дозах активного хлору (мг/дм <sup>3</sup> )			
		1	3	5	7	1	3	5	7
Озеро Кагул	18,65	124±13	421±23*	735±32*	896±44*	< 0,05	0,12±0,02	0,43±0,05	0,77±0,12
Озеро Ялпуг	16,53	113±9	396±11*	684±23*	817±41*	< 0,05	0,15±0,03	0,54±0,07	0,81±0,15
Озеро Катлабух	26,22	189±10	486±21*	935±43*	1237±67*	< 0,05	0,14±0,06	0,35±0,08	0,54±0,13

Примітка. \*  $p < 0,05$ .

**ВИСНОВКИ 1.** Хлорування води поверхневих водойм Українського Придунав'я слід розглядати як чинник утворення хлороформу та вірогідно інших ТГМ, які є фактором ризику канцерогенної захворюваності населення.

2. Зважаючи на дані літератури, можна зробити висновок, що ТГМ є тільки складовою токсичного та віддалених (канцерогенних, мутагенних, тератогенних, генотоксичних) впливів на стан здоров'я споживачів хлорованої води поверхневих водойм, забруднених комплексами органічних та неорганічних ксенобіотиків.

3. Існує нагальна необхідність досліджень як інших хлорвмісних сполук, так і продуктів трансформації забруднювачів у процесі хлорування, транспортування та зберігання води.

4. Слід вважати за доцільне проведення відповідних досліджень з метою гігієнічного обґрунтування ефективності інших засобів знезараження води, наприклад діоксиду хлору.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокиєнко А. В. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Т. 1. Хлор и его соединения /

А. В. Мокиєнко, Н. Ф. Петренко, А. И. Гоженко. – Одесса : ТЭС, 2011. – 484 с.

2. Ковальчук Л. Й. Сучасний еколого-гігієнічний стан водних об'єктів Українського Придунав'я / Л. Й. Ковальчук, А. В. Мокиєнко // Актуальні проблеми транспортної медицини: навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія. – 2014. – № 3 (37). – С. 171–183.

3. Ковальчук Л. И. Гигиеническая оценка цианобактерий озер Украинского Придунавья / Л. Й. Ковальчук, А. В. Мокиєнко, Д. А. Нестерова // Досягнення біології та медицини. – 2014. – № 2. – С. 10 – 14.

4. Ковальчук Л. Й. Гігієнічна оцінка евтрофікації поверхневих водойм Українського Придунав'я / Л. Й. Ковальчук, А. В. Мокиєнко // Актуальні проблеми сучасної медицини // Вісник Української медичної стоматологічної академії. – 2014. – Т. 14, вип. 4(48). – С. 73–78.

5. Ковальчук Л. Й. Гігієнічна оцінка стану водних об'єктів у місцях водокористування населення Українського Придунав'я / Л. Й. Ковальчук, А. В. Мокиєнко // Медичні перспективи. – 2015. Т. XX. – № 1. – С. 132–139.

6. Ковальчук Л. Й. Еколого-гігієнічна оцінка фізико-хімічного складу та антропогенного забруднення води поверхневих во-

- дойм Українського Придунав'я / Л. Й. Ковальчук, А. В. Мокієнко, Л. Б. Солодова // Вісник морської медицини. – 2015. – № 1. – С. 48–53.
7. ДСТУ ISO 7393-1-2003 Якість води. Визначення незв'язаного хлору та загального хлору. Частина 1. Титрометричний метод із застосуванням N,N-діетил-1,4-фенілендіаміну (ISO 7393-1:1985, IDT): каталог нормативних документів. – 2007. – Т. 1. Держспоживстандарт України (Національний стандарт України).
8. ДСТУ ISO 10301:2004. Якість води; Визначання високолетких галогенованих вуглеводнів методом газової хроматографії (ISO 10301:1997, IDT) / П... Хоружий (пер. і наук.-техн. ред.). – Офіц. вид. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – Т. IV. – 34 с. (Національний стандарт України).
9. Гланц С. Медико-биологическая статистика / пер. с англ. Ю. А. Данилова. под ред. Н. Е. Бузикашвили и Д. В. Самолова. – М. : Практика, 1999. – 459 с.
10. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" 2.2.4-171– 10 : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12 травня 2010 року № 400.
11. Петренко Н. Ф. Гігієнічна оцінка застосування діоксиду хлору для знезаражування води із поверхневих джерел / Н. Ф. Петренко // Вісник морської медицини. – 2002. – № 1 (17). – С. 84–90.
12. СаПіН № 383 "Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання". – Київ : МОЗ України, 1996. – 21 с.
13. Прокопов В. О. Хлороформ у хлорованій воді України та канцерогенний ризик для здоров'я населення від її споживання / В. О. Прокопов, Г. В. Чичковська : матеріали наук.-практ. конфер. IV Міжнарод. водного форуму "АКВА Україна – 2006". – Київ. – 2006. – С. 276–278.
14. Комплексна оцінка функціональних змін в організмі здорових щурів, що споживали в якості питної воду оз. Катлабух / Л. Й. Ковальчук, А. В. Мокієнко, Б. А. Насібуллін [та ін.] // Здобутки клінічної і експериментальної медицини. – 2015. – № 1. – С. 73–76.
15. Genotoxicity of disinfection by-products (DBPs) upon chlorination of nine different freshwater algal species at variable reaction time / Y. L. Zhang, B. P. Han, B. Yan [et al.] // Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA. –2014. –V. 63, № 1. – P. 12–20.

Отримано 18.06.15