

## СИНЕГРІЧНІ ЕФЕКТИ ПРИ ЗНЕЗАРАЖЕННІ ПРИРОДНИХ ВОД ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНИМИ РЕАГЕНТАМИ

*Саприкіна М., Мельник Л., Болгова О.*

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
м. Київ, Україна  
lumel2903@gmail.com

В останні десятиліття вимоги до якості питної води значно зросли, що обумовлює необхідність пошуку альтернативних, екологічно доцільних і ефективних технологій її підготовки, що гарантує отримання води, безпечної для споживання населенням. Це, в першу чергу, стосується процесу знезараження, оскільки традиційні процеси (хлорування, озонування), забезпечуючи високу інактивацію мікроорганізмів у воді, можуть супроводжуватися утворенням особливо токсичних побічних продуктів, що складають серйозну загрозу здоров'ю людини [1].

У зв'язку з цим особливий інтерес викликають дослідження з вивчення можливості застосування для знезараження води екологічного "green" реагента - вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), що є життєво-важливим компонентом атмосфери, кінцевим продуктом повного окислення органічного вуглецю і ключовим субстратом процесу фотосинтезу [2]. Слід відмітити, що CO<sub>2</sub> при тиску від 7,0 до 40,0 МПа в наш час широко використовується для знезараження продуктів харчування [3].

Нами вперше встановлена можливість дезінфекції *E.coli* у воді з використанням CO<sub>2</sub> низького тиску (0,05-0,20 МПа) в діапазоні температур 14-42°C [4]. Показано, що інактивація *E.coli* в дистильованій воді досягає 4,0-5,5-log порядків (початкове бактеріальне навантаження  $1,3 \cdot 10^4$ - $9,0 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup>) через 5 діб з моменту обробки та витримки при заданому тиску при всіх досліджуваних значеннях тиску та температурах. Найвищі показники дезінфекції спостерігалися при максимальних досліджуваних температурі та тиску. Реалізація вказаного способу знезараження води передбачає можливість використання стандартного (замість стійкого при високих тисках) обладнання при кімнатних температурах, що суттєво спрощує технологію, підвищує її доступність та скорочує затрати на реалізацію.

Однак, як було показано нами далі в дослідженні [5], знезараження *E.coli* в процесі обробки природної води гідрокарбонатного типу вуглекислим газом низького тиску (0,2 МПа) при температурах 14-37 °С є менш ефективним у порівнянні зі знезараженням дистильованої води. Виявлено, що при вихідному навантаженні культури  $1,3 \cdot 10^5$  -  $9,0 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup> у воді бювету ступінь знезараження *E.coli* на 6 добу спостереження становить лише 1,2; 2,3 та 2,7 логарифмічних порядки при температурі, відповідно, 14, 22 та 37° С.

Для підвищення ефективності знезараження *E.coli* у природній воді гідрокарбонатного типу вуглекислим газом низького тиску нами запропоновано використання сумісної дії CO<sub>2</sub> та хітозану.

Хітозан, який отримують із природного полімеру хітину шляхом деацетилювання, є ще одним, наряду з вуглекислим газом, перспективним екологічно-безпечним реагентом знезараження води на сучасному етапі завдяки високій

зnezаражуючій дії по відношенню до грам-позитивних та грам-негативних бактерій, здатності до біодеградації та відсутності токсичності щодо клітин ссавців.

Нами вперше встановлено, що у випадку обробки реальної природної води вуглекислим газом при низькому тиску (0,1-0,2 МПа) в присутності високомолекулярного хітозану (молекулярна маса (Mw) 300 кДа, ступінь деацетилювання 95%, концентрація - 1,0 мг/дм<sup>3</sup>) досягається повне зnezараження води від санітарно-показового мікроорганізму *E.coli* при витримуванні обробленої води при заданому тиску протягом 5-6 діб, що обумовлено синергічною дією вказаних реагентів, яка забезпечує більш високий ефект сумісної дії реагентів у порівнянні з сумою ефектів їх індивідуальної дії [5].

Метою даного дослідження є встановлення ефективності сумісної дії CO<sub>2</sub> та хітозану (молекулярна маса (Mw) 300 кДа) в процесі зnezараження води від одного із найбільш небезпечних для здоров'я людини дріжджоподібних грибів – *C. albicans*.

Результати дослідження сумісної бактерицидної дії вуглекислого газу низького тиску та високомолекулярного хітозану при зnezараженні *C.albicans* в дистильованій воді наведено на рис. 1. З метою порівняння, на графіках наведено також результати зnezараження *C.albicans* при індивідуальній дії зnezаражуючих агентів.



$N_0 = 3,5 \cdot 10^3$  КУО/см<sup>3</sup>;  $t=22-23^\circ\text{C}$ ;  $P=0,2$  МПа;  $C_{\text{ХТЗ}}= 1,0$  мг/дм<sup>3</sup>

Рис. 1 – Кінетика зnezараження *C.albicans* в дистильованій воді в контрольному експерименті (1), при дії: CO<sub>2</sub> (2), високомолекулярного ХТЗ (3), CO<sub>2</sub> та високомолекулярного ХТЗ (4)

Як видно із рис. 1, при порівняно низькій початковій навантаженні культури у дистильованій воді ( $3,5 \cdot 10^3$  КУО/см<sup>3</sup>) ступінь зnezараження *C.albicans* при сумісній дії CO<sub>2</sub> та ХТЗ через 6 діб витримування обробленої води при кімнатній температурі (22-23 °C) практично не відрізняється від аналогічної характеристики, отриманої при дії самого лише хітозану, і досягає 3,0-3,5 порядки (повне зnezараження). Зnezараження вуглекислим газом є менш ефективним і досягає через 6 діб лише 0,3-1,5 порядки. Скорочення тривалості обробки до 2-х діб не впливає на ефективність зnezараження хітозаном, тоді як сумісна дія CO<sub>2</sub> + ХТЗ є менш ефективною, що свідчить про більш високу швидкість зnezараження у першому випадку. При збільшенні концентрації *C.albicans* в дистильованій воді (початкова навантаження культури  $8,2 \cdot 10^4$  та  $1,2 \cdot 10^5$

КУО/см<sup>3</sup>) описані вище закономірності підтверджуються, однак в жодному варіанті обробки знезараження протягом 6 чи навіть 14 діб витримування обробленої води не є повним. Так, при початковій навантаженні культури  $1,2 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup> концентрація мікроорганізмів у воді, обробленій СО<sub>2</sub>, ХТЗ, СО<sub>2</sub> + ХТЗ, складає через 6 діб, відповідно, 4000, 28 та 360 КУО/см<sup>3</sup>. Через 14 діб згадані показники зменшуються до, відповідно, 3, 48 та 3 КУО/см<sup>3</sup>.

При знезараженні реальної природної води гідрокарбонатного типу (початкова навантаження культури  $1 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup>) концентрація мікроорганізмів у воді, обробленій СО<sub>2</sub> чи ХТЗ, складає через 13 діб, відповідно, 6000 та 7000 КУО/см<sup>3</sup>, тоді як при сумісній дії СО<sub>2</sub> + ХТЗ за аналогічних умов спостерігається повне знезараження *C.albicans* (рис.2).



$N_0 = 1,0 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup>;  $t=11-14^\circ\text{C}$ ;  $P=0,2$  МПа;  $C_{\text{ХТЗ}}= 1,0$  мг/дм<sup>3</sup>

Рис. 2. – Кінетика знезараження *C.albicans* в природній воді гідрокарбонатного типу в контрольному експерименті (1) та при дії: СО<sub>2</sub> (2), високомолекулярного ХТЗ (3), СО<sub>2</sub> та високомолекулярного ХТЗ (4)

При знезараженні природної води гідрокарбонатного типу з більш низькою початковою навантаженням *C.albicans* ( $9 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup>) при сумісній дії СО<sub>2</sub> + ХТЗ повне знезараження спостерігається вже через 10 діб обробки, тоді як при індивідуальній дії СО<sub>2</sub> чи ХТЗ за даний період концентрація мікроорганізмів зменшується, відповідно, до 750 та 260 КУО/см<sup>3</sup>. Одержані результати узгоджуються з даними щодо інактивації *E.coli* вуглекислим газом, хітозаном та їх сумісною дією [4,5] і свідчать про наявність синергічного ефекту СО<sub>2</sub> + ХТЗ при знезараженні природної води від досліджених мікроорганізмів.

Таким чином, одержані результати свідчать про можливість повного знезараження природної води від мікроскопічного гриба *C.albicans* (який є значно стійкішим до знезараження у порівнянні з *E.coli*) при високій початковій навантаженні культури сумісною дією СО<sub>2</sub> низького тиску та високомолекулярного хітозану. Зважаючи на те, що, як було показано нами раніше [6], в природних артезіанських водах (скважини м. Києва) кількість мікроскопічних грибів *C.albicans* є незначною і може складати лише одиниці та десятки, їх знезараження “зеленими” реагентами не вимагатиме тривалої обробки.

## Література:

1. Jiang Y., Goodwill J. E., Tobiason J. E., Reckhow D. A. Comparison of ferrate and ozone pre-oxidation on disinfection byproduct formation from chlorination and chloramination. *Water Research*. 2019. doi:10.1016/j.watres.2019.02.051.
2. Yu T., Chen Y. Effects of elevated carbon dioxide on environmental microbes and its mechanisms: A review. *Science of the Total Environment*. 2019. 655. P. 865-879.
3. Vansant J., Rogiers Ch. Chapter 10 - CO<sub>2</sub> Cleaning and pH Control in the Food Industry *Gases in Agro-Food Processes*. 2019. P. 571-581.
4. Goncharuk V. V., Saprykina M. N., Bolgova E. S., Melnyk L.O., Remez S. V. Estimation of efficiency of water disinfection and preservation with low-pressure CO<sub>2</sub> using *Esherihia coli*. *Desalination and Water Treatment*. 2022. V. 258. P. 190-196.
5. Саприкіна М., Болгова О., Мельник Л., Гончарук В.. Знезараження природних вод екологічно-безпечними реагентами. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції “Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки” (25-26 жовтня 2022 р.). Київ: НУХТ 2022. С. 16-19.
6. Сапрыкина М. Н. Оценка качества питьевой воды: микологические аспекты. *Химия и технология воды*. 2019. Т. 41, № 4. С.270-277.