УДК 57.04:579.64

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВІДПОВІДНІСТЬ ГІГІЄНІЧНИМ ВИМОГАМ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ СПОСОБІВ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ВОДИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Хірна Т.В.

Інститут мікробіології та імунології ім. І.І. Мечникова АМН України, Харків

Збільшення країн з розвинутою економікою створило передумови широкого поширення промислових, сільськогосподарських та побутових відходів. Вказані обставини обумовили необхідність посилення заходів охорони навколишнього середовища і, в першу чергу, водних ресурсів. Адже мікробне забруднення довкілля насамперед впливає на якість питної води, що є однією з найбільш частих причин виникнення масових захворювань гострими кишковими інфекціями (ОКІ) – дизентерією та ентероколітами, черевним тифом і паратифами, вірусними гепатитами А та Е, іншими ентеровірусними інфекціями [1].

Серед процесів кондиціонування якості води найбільш значимим, з погляду профілактики епідемічних захворювань, є знезаражування. Знезаражування, як метод водопідготовки, привертає пильну увагу не тільки гігієністів, але й інженерно-технічних працівників, хіміків, фізиків, мікробіологів і багатьох інших спеціалістів. У цьому зв'язку вважають, що знезаражування води варто розглядати як комплексну проблему, успішне вирішення якої залежить від обліку всіх складових аспектів [2]. Оцінюючи знезаражування води як комплексну проблему, варто безпосередньо зупинитися на існуючих способах, об'єктивний аналіз яких дозволить оцінити з гігієнічних позицій їхні переваги і недоліки, та визначити перспективність подальших досліджень у цьому напрямку.

У практиці водопідготовки способи знезаражування води умовно розділяють на реагентні (хімічні), безреагентні (фізичні) і комбіновані [3].

До **хімічних** способів знезаражування питної води відноситися: хлорування, озонування, використання препаратів срібла, міді, йоду і деяких інших реагентів. І якщо перші два способи одержали широке поширення на очисних спорудах водопроводів, то наступні знайшли застосування, як правило, при знезаражуванні невеликих обсягів води на автономних об'єктах, у польових і екстремальних умовах водопостачання [4].

Хлорування найбільш відомий спосіб знезаражування води як у нашій країні, так і за кордоном. Хлорування води здійснюється газоподібним хлором або речовинами, що містять активний хлор: хлорним вапном, гіпохлоритами, хлорамінами, діоксидом хлору й ін. В останні роки в практику знезаражування природних вод впроваджується електрохімічний спосіб [5].

Хлорування характеризується широким спектром антимікробної дії у відношенні вегетативних форм мікроорганізмів, економічністю, простотою технологічного оформлення, наявністю способу оперативного контролю за процесом знезаражування. Відповідно до сучасних уявлень, для активного хлору характерним є комплексний характер його впливу на різні структури мікроорганізму: цитоплазматичну мембрану, білки цитоплазми, ядерний апарат клітини. Установлено, що хлор знищує ферменти дихального ланцюга бактерій – дегідрогенази, блокуючи SH-групи. Поряд з іонним характером окисних процесів розглядається і вільнорадикальний механізм ушкоджень, що приводить до аналогічних результатів [6].

Разом з тим хлорування має ряд істотних недоліків. Хлор і його препарати є токсичними сполуками, тому робота з ними вимагає строгого дотримання техніки безпеки. Хлор впливає в основному на вегетативні форми мікроорганізмів, при цьому грампозитивні форми бактерій більш стійкі до його дії, ніж грамнегативні. У літературі є численні повідомлення про реактивацію мікроорганізмів у хлорованій питній воді, появу хлоростійких штамів [5, 6]. Для одержання гарантованого бактерицидного ефекту застосовують свідомо надлишкові дози хлору, що погіршує органолептичні показники і приводить до денатурації води.

Спороцидний ефект виявляється при відносно високих концентраціях активного хлору (200-300 мг/л) і експозиції від 1,5 до 24 годин. Що стосується віруліцидної дії хлоровмісних препаратів, то, за даними різних авторів, загибель вірусів спостерігається при концентраціях активного хлору від 0,5 до 100 мг/л. Високорезистентними до дії хлору є також цисти найпростіших і яйця гельмінтів [5]. Необхідно відзначити, що ефективність знезаражуючої дії хлору і його препаратів істотно залежить не тільки від біологічної характеристики мікроорганізмів (вид, штам, щільність зараження й ін.), але і від хімічного складу води, а також експозиції. Різні хімічні речовини антропогенного походження можуть істотно впливати на ефективність процесу знезаражування. Так, поверхнево-активні речовини перешкоджають реалізації бактерицидного ефекту хлору і навіть виявляють стимулюючу дію, викликаючи розмноження мікрофлори [7].

У процесі обробки газоподібним (зрідженим) хлором, іншими хлоративними сполуками відбувається утворення побічних токсичних продуктів хлорування – летючих галогенорганічних сполук (ЛГС), чотирьоххлористого вуглецю й ін., серед яких найбільшої уваги заслуговує хлороформ, що перевищує концентрацію інших токсикантів, як правило, на 1-3 порядки. На процес утворення ЛГС у водному середовищі впливає реакційна здатність і концентрація органічних сполук. Джерелом найбільшої кількості ЛГС у воді є гумінові кислоти, фульвокислоти, хіноїни, похідні фенолу, аніліну, а також продукти метаболізму водоростей. Крім того, значну роль грає доза і форма активного хлору. Нагромадження в питній воді ЛГС представляється небезпечним для здоров'я населення в зв'язку з їхньою біологічною активністю. ЛГС не тільки володіють вираженими загальтоксичними властивостями, але і дають віддалені ефекти – ембріотоксичний, мутагенний, канцерогенний [8, 9].

На думку ряду вітчизняних і закордонних авторів, такі способи знезаражування питної води, як **озонування й обробка перекисом водню**, позбавлені ряду недоліків, властивих хлоруванню [8, 10, 11, 12]. Технологія озонування набула широкого застосування у всьому світі. Сьогодні існує більш ніж 1000 водопровідних станцій у Європі, США, Канаді, Японії та ін., на яких застосовується озонування як складова частина загального технологічного процесу підготовки води [13].

Особливістю озону є легкість його розпаду з утворенням атомарного кисню – одного з найбільш сильних окислювачів. Атомарний кисень знищує бактерії, спори, віруси, руйнує розчинені у воді органічні речовини. Це дозволяє використовувати озон не тільки для знезаражування, але і для дезодорації питної води, видалення токсичних органічних речовин. Надлишок озону, на відміну від хлору, не денатурує воду. При озонуванні мінеральний склад , лужність, pH води залишаються без змін [14].

Знезаражуюча дія озону в 15-20 разів, а на спорові форми бактерій приблизно в 300-600 разів, сильніша за дію хлору [5]. Високий віруліцидний ефект озону відзначається при реальних для практики водопостачання концентраціях 0,5-0,8 мг/л і експозиції 12 хвилин. Дослідження останніх років показали високу ефективність озону при знищенні у воді патогенних найпростіших [15]. До переваг озонування варто віднести наявність способу оперативного контролю за ефективністю знезаражування, відпрацьовані технологічні схеми одержання реагенту.

Механізм бактерицидної дії озону дотепер залишається предметом дискусії. Одні автори припускають, що озон інактивує бактеріальні ферменти, приводячи до порушення обмінних процесів і загибелі мікробної клітини. Інші вважають, що під дією озону відбуваються значні зміни структури і морфології бактерій, а також незворотні порушення в бактеріальній ДНК [5, 16].

Озонування, як і хлорування, не позбавлене недоліків. Озон є вибухонебезпечним і токсичним для людини реагентом, що вимагає строгого дотримання техніки безпеки і надійного устаткування на станціях водопідготовки. Озонування більш дорогий, ніж хлорування, спосіб знезаражування води. Швидке розкладання

озону в обробленій воді (20-30 хвилин) обмежує його застосування в якості кінцевого дезинфікуючого засобу [17]. В окремих повідомленнях підкреслюється, що навіть високі дози озону (20 мг/л) і тривала експозиція (1,5-2 години) не забезпечували повного ефекту знезаражування у відношенні бактеріальних спор. Ефективність знезаражування озоном істотно залежить від якості води і технологічних параметрів процесу [18].

Недоліком озону, як окислювача, є також утворення побічних продуктів, які можуть впливати на здоров'я людини. Наприклад, деякі карбонільні сполуки, ідентифіковані серед продуктів озонування природних вод, проявляють мутагенну активність, але в значно меншій мірі, ніж сполуки хлору [19]. Озонування також впливає на склад продуктів, що утворюються при заключному знезараженні води хлором чи хлораміном. Показано, що озонування руйнує попередники більшості галогенорганічних побічних продуктів (тригалогенметанів, хлороцтових кислот, хлорацетонітрилів) [20]. Це забезпечує істотне зниження загального вмісту галогенорганічних сполук в очищеній воді. Однак, відмічається деяке підвищення вмісту хлорпікрину і хлорціану.

Побічні продукти, що утворюються, можуть викликати мутагенний і інші несприятливі ефекти. Більш глибокі зміни хімічного складу води спостерігаються, якщо в схемі водопостачання після озонування застосовують хлорування води. У цьому випадку хлорування побічних продуктів озонування води приводить до утворення тригалометанів – відомих мутагенів і канцерогенів. Аналізуючи стан даного питання, автори робіт підкреслюють, що проблема впливу продуктів озонолізу на здоров'я людини залишається недостатньо вивченою [16].

В даний час зріс інтерес до перекису водню як знезаражуючому агенту, що забезпечує здійснення технологічних процесів без утворення токсичних продуктів, що забруднюють зовнішнє середовище. Основним механізмом антибактеріальної дії перекису водню вважають утворення супероксидних і гідроксильних радикалів, що мають або пряму цитотоксичну дію, або опосередковану, що приводить до ушкодження ДНК [21].

Практичний досвід застосування **срібла** і його препаратів з метою знезаражування і консервації питної води накопичувався людством протягом багатьох століть. Роботами вітчизняних і закордонних авторів був установлений високий бактерицидний ефект іонів срібла вже в концентрації 0,05 мг/л. Було показано, що срібло має широкий спектр антимікробної дії, пригнічуючи ріст бактерій і вірусів [5, 22].

Найбільше поширення одержало використання електролітичного або анодорозчинного срібла. Електролітичне введення реагенту дозволяє автоматизувати процес знезаражування води, а іони, що утворяться при цьому на аноді, гіпохлорити і перекісні сполуки підсилюють бактерицидну дію анодорозчинного срібла. До достоїнств способу відноситься можливість автоматизації процесу і точного дозування реагенту. Срібло має виражену післядію, що дозволяє консервувати воду на термін до 6 місяців і більше [23]. За сучасними уявленнями, іони срібла збираються клітинною оболонкою і після досягнення надлишкової концентрації проникають у мікробну клітину. Іони срібла блокують функціональні групи основних ферментних систем клітини, розташованих у цитоплазматичній мембрані або в періплазматичному просторі [24].

Разом з тим срібло є дорогим і досить дефіцитним реагентом, на антимікробну дію срібла помітно впливають фізико-хімічні властивості оброблюваної води [24]. Срібло не має спороцидної дії, але, на думку окремих авторів, проростання спор у присутності іонів срібла затримується. Віруліцидна дія іонів срібла виявляється тільки при високих концентраціях – 0,5-10 мг/л [5]. Необхідний бактерицидний ефект при концентрації срібла 0,06-0,1 мг/л досягається після експозиції 2-6 годин, а в ряді випадків – через 24 години [25]. Можливий розвиток стійкості до срібла в патогенних мікроорганізмів [26]. Показано, що в багатьох випадках резистентність до срібла в бактерій обумовлена присутністю генетичних детермінант – R-плазмід, що

збільшують толерантність до даного реагенту в 100 і більш раз. Ефектними робочими концентраціями срібла, особливо в практиці знезаражування води на кораблях і інших автономних об'єктах, є 0,2-0,4 мг/л і вище. Разом з тим ПДК у воді цього металу, встановлена по токсикологічній ознаці шкідливості, складає 0,05 мг/л. Цей норматив прийнятий не тільки в нашій країні, але й у більшості країн світу, наприклад у США. І хоча деякі дослідники повідомляють про відсутність негативного впливу срібла в концентрації 0,2-2,0 мг/л на організм лабораторних тварин і культуру тканини, у «Посібнику з контролю якості питної води» ВООЗ (1994) підкреслюється, що такий вміст срібла є не байдужним для здоров'я людини [24]. У силу вище перерахованих обставин обробка сріблом рекомендується для знезаражування і консервації невеликих обсягів води на об'єктах з автономними системами водопостачання [5].

У практиці знезаражування води усе більше місце знаходить застосування **іонів міді**. Мідь, як і срібло, будучи олігодинамічним металом, інактивує бактерії і віруси, але у більших концентраціях, ніж срібло [27]. Антимікробні спектри срібла і міді збігаються [28]. Установлено, що під впливом іонів міді екстремально змінюється електрокінетичний потенціал мікробної клітини [29]. На думку деяких авторів, іони міді порушують бар'єрні функції бактеріальних мембран, що у свою чергу приводить до зміни їхньої проникності. Автори іншої публікації токсичну дію іонів міді пояснюють їхню взаємодію з SH-групами бактеріальних білків і ферментів, що приводять до утворення дисульфідних зв'язків. Можливий зворотний процес – відновлення SH-групи речовинами, що генеруються клітиною в процесі її життєдіяльності. У цьому випадку дію іонів міді можна визначити як бактеріостатичну. Інактивація мікроорганізмів міддю протікає повільніше, ніж вільним хлором або хлораміном. На ефективність знезаражування води міддю впливають фізико-хімічні показники якості води [29].

Для знезаражування індивідуальних невеликих кількостей води можуть бути використані **препарати йоду**, що, на відміну від препаратів хлору, діють швидше, не погіршують органолептичні властивості води. Бактерицидний ефект забезпечується при концентрації 0,3-1,0 мг/л і експозиції 20-30 хвилин. Віруліцидна дія йоду залежить від температури води, pH, експозиції і відзначається в діапазоні концентрацій 0,5-2,0 мг/л. Є повідомлення про паразитоцидну дію йоду. У зв'язку з високими бактерицидними властивостями, наявністю віруліцидної і паразитоцидної дії, препарати йоду розглядаються як один з перспективних засобів знезаражування питної води [29].

До **фізичних способів** знезаражування питної води відноситься використання ультрафіолетового й іонізуючого випромінювання, ультразвукових коливань, термічної обробки.

В даний час **ультрафіолетове випромінювання (УФВ),** що має бактерицидну, віруліцидну і спороцидну дію, знайшло широке застосування в практиці знезаражування природних вод. Показано, що УФВ з довжиною хвилі 250-260 нм володіє найбільшою антимікробною дією. Чутливість мікроорганізмів до УФВ в цьому діапазоні добре вивчена і визначається по зоні випромінювання, що звичайно виміряється в мДж/см^2. Доза, що забезпечує 90% інактивацію E.coli, складає 3 мДж/см^2. Для більш глибокого знезаражування, тобто зменшення кількості мікроорганізмів на 99,0; 99,9; 99,99%, потрібні дози УФВ відповідно 6,9 і 15 мДж/см^2. Однак антимікробний ефект у відношенні інших видів мікроорганізмів, за даними ряду авторів, знаходиться в діапазоні доз від 2,5 до 440 мДж/см^2 [30].

У практиці водопідготовки прийнято вважати, що для ефектного заключного знезаражування води УФ-установки повинні забезпечувати дозу опромінення не менш 16 мДж/см^2 [31].

Загибель мікроорганізмів під дією УФВ з довжиною хвилі 50-260 нм відбувається за рахунок незворотних ушкоджень бактеріальної ДНК. Основними мішенями при цьому є азотисті основи нуклеотидів – пурини і піримідини. Дані отримані в останні десятиліття, показують, що не тільки короткохвильове, але й

УФВ в області 280-400 нм здатне індукувати фотодеструктивні реакції в ДНК. У результаті обробки УФВ поряд із ДНК ушкоджуються РНК, мембранні і білкові структури бактеріальної клітини [30].

Аналіз літературних даних дозволив виявити як позитивні, так і негативні сторони використання УФВ в практиці знезаражування питної води. До позитивного можна віднести наступне: широкий спектр антимікробної дії, відсутність небезпеки передозування; УФВ не денатурує воду, не змінює запах і смак води; відрізняється високою продуктивністю і простотою експлуатації; потрібно мінімальний контактний час (секунди) для знезаражування води; ефективність знезаражування не залежить від pH і температури води; установки УФ-знезараження компактні, працюють у проточному режимі надійні у відношенні техніки безпеки; спосіб економічний, порівняно по вартості з хлоруванням.

Негативними сторонами знезаражування води УФВ є: залежність бактерицидного ефекту від мутності і кольоровості оброблюваної води, виду мікроорганізмів, їхньої кількості, дози опромінення; відсутність надійного способу оперативного контролю за ефективністю знезаражування. Крім того, ефективна доза УФВ за інших рівних умов залежить від типу установки і, отже, необхідно перевіряти ефективність роботи устаткування в кожному конкретному випадку. До числа негативних особливостей способу відноситься і можливість осадження гумінових кислот, заліза і солей марганцю, що знаходяться у воді, на кварцовому чохлі ламп, що зменшує інтенсивність випромінювання. Дана технологія не має ефекту післядії, що уможливлює вторинний ріст бактерій в оброблюваній воді. Реактивація мікрофлори виникає в тих випадках, коли інтенсивність УФВ нижче необхідного рівня, оброблена вода піддається вторинному забрудненню або наступному опроміненню видимим світлом (фотореактивація). Поряд з фотореактивацією можливий і фотозахист – зростання стійкості до дії короткохвильового УФВ у мікроорганізмів, попередньо опромінених довгохвильовим УФ-світлом [31].

Для знезаражування води можна використовувати **іонізуюче випромінювання**. Показано, що γ-випромінювання має виражену бактерицидну дію. За даними літератури, доза γ-випромінювання порядку 25000-50000 Р викликає загибель практично усіх видів мікроорганізмів, а доза 100000 Р звільняє воду від вірусів. Вирішальна роль у враженні бактеріальних клітин і вірусів під дією іонізуючого випромінювання належить вільнорадикальним продуктам, що виникають у результаті радіолізу води. Перевагами даного способу знезаражування є: велика проникаюча здатність γ-променів, незалежність бактерицидної дії від хімічного складу і фізичних властивостей води, відсутність впливу на органолептичні показники, відносна дешевина. До числа недоліків способу відносяться: строгі вимоги до техніки безпеки для обслуговуючого персоналу, обмежене число подібних джерел випромінювання, відсутність післядії і способу оперативного контролю за ефективністю знезаражування [32].

Застосуванню **ультразвукових коливань (УЗК)** для знезаражування питної води була присвячена велика кількість робіт як вітчизняних, так і закордонних авторів. Особливістю даного фізичного фактора є велика інтенсивність коливань, що обумовлює його фізико-хімічну і біологічну дію. Як джерело УЗК використовують різні п'єзоелектричні і магнітострикційні генератори. У літературі є одиничні повідомлення про можливості знезаражування води впливом імпульсних УЗК. Єдиної теорії, що пояснює бактерицидну дію УЗК у воді, дотепер не існує. Одні дослідники вважають, що біологічна дія УЗК обумовлена механічними коливаннями в результаті ультразвукової кавітації; інші, поряд з механічним впливом, підкреслюють роль хімічних реакцій, викликаних впливом даного фізичного фактора [33].

УЗК виявляють згубну дію на найрізноманітніші мікроорганізми – патогенні і непатогенні, анаеробні й аеробні, вегетативні і спорові, а також руйнують продукти їхньої життєдіяльності. Ефективність бактерицидної дії УЗК залежить від цілого ряду обставин: параметрів даного фізичного фактора (інтенсивності, частоти

коливань, експозиції); деяких фізичних особливостей середовища, що озвучується, (температура, в'язкість); морфологічних особливостей збудника (розмірів і форми бактеріальної клітини, наявності капсули, хімічного складу мембрани, віку культури) [17]. Бактерицидний ефект УЗК не залежить від мутності (у межах до 50 мг/л) і кольоровості води, що озвучується, поширюючись рівною мірою як на вегетативні, так і на спорові форми мікроорганізмів [5].

До переваг УЗК можна віднести наступні: широкий спектр антимікробної дії, відсутність негативного впливу на органолептичні властивості води, незалежність бактерицидної дії від основних фізико-хімічних параметрів води, можливість автоматизації процесу. Разом з тим багато теоретичних, наукових і технологічних основ використання УЗК дотепер не розроблені. У результаті виникають труднощі при визначенні оптимальної інтенсивності коливань і їхньої частоти, часу озвучування й інших параметрів процесу. Недоліком УЗК також є відсутність післядії і методу оперативного контролю за ефективністю знезаражування. Процес знезаражування води УЗК залишається в 2-4 рази більш дорогим, чим обробка УФВ, при енерговитратах 2-2,5 кВт. Стримуючим моментом широкого застосування даного фізичного фактора залишаються труднощі конструювання установок великої продуктивності, що відрізняються надійністю в експлуатації і прийнятній собівартості [5].

Для **термічного знезаражування** питної води використовують відкрите полум'я (у тому числі і високотемпературну плазму), гаряче повітря, перегрітий пар [5]. Серед видів термічної обробки води найбільше часто застосовують її кип'ятіння. Кип'ятіння протягом декількох хвилин звільняє воду від вегетативних форм мікроорганізмів, руйнує різні бактеріальні ендо- і екзотоксини, інактивує віруси [34]. Спори інактивуються за більш тривалий час: для збудника сибірської виразки він складає 10 хвилин, правцю – біля 1 години, Cl.botulinum – 1-5 годин [28]. Загибель мікроорганізмів після кип'ятіння незворотна, що в сполученні з можливістю автоматизації дозволяє відмовитися від оперативного контролю за ефективністю знезаражування.

Достоїнствами кип'ятіння є: надійність і швидкість знезаражуючої дії, незалежність ефекту від фізико-хімічних показників води, що знезаражується, простота контролю за ефективністю обробки, можливість автоматизації. До недоліків способу відноситься: дорожнеча в силу значних витрат електроенергії або палива, мала продуктивність. Кип'ячена вода легко піддається вторинному мікробному забрудненню, тому що відсутній ефект післядії і конкуруючі сапрофіти, а температура води довго залишається сприятливою для росту мікроорганізмів. У силу економічних і технологічних труднощів, кип'ятіння розглядають як спосіб знезаражування індивідуальних (групових) запасів питної води в домашніх умовах, на автономних об'єктах і транспорті, при складній епідемічній ситуації [32, 18].

У науковій літературі є повідомлення про можливості використання для знезаражування води і деяких інших фізичних факторів: електромагнітних полів, лазерного випромінювання, вакуумування [35]. Однак дотепер вивчення цих способів перебуває в стадії лабораторних досліджень.

До альтернативних методів відносяться технології обробки води, пов’язані із застосуванням **електронного пучка** [36, 37, 38]. Особливо перспективним є використання електронних пучків для стерилізації та очищенню стічних вод. Під впливом їх створюються компоненти (гідратовані електрони e^-, H^+_{aq}, OH^-_{aq}, H_2, H_2O_2), які активно руйнують різні токсиканти [38, 39]. Обробка електронними пучками промислових та комунальних скидів може дозволити не тільки звільнюватися від патогенних бактерій, але і очищати стоки від біологічних та синтетичних домішок. Привабливість такого очищення води полягає у тому, що ефективність знезараження не залежить від прозорості води, тому енергія пучка використовується на сто відсотків.

Відповідно до однієї з розповсюджених точок зору, до способів знезаражування води зараховуються тільки ті, котрі впливають на мікроорганізми бактерицидно або бактеріостатично. Тому такий процес

водопідготовки, як **фільтрація**, деякі автори пропонують не вважати способом знезаражування. Фахівці, що представляють іншу точку зору, зараховують процеси фільтрації і сорбції до повноцінних способів знезаражування питної води та відносять їх у групу фізичних або механічних [32, 40].

Відомо, що в процесі фільтрації за рахунок абсорбційних і адгезивних механізмів, явищ сорбційної взаємодії мікроорганізмів з різними матеріалами відбувається очищення води від бактеріальних і вірусних агентів. Ультрафільтрація, сорбційна і мембранна технології знаходять в останні роки усе більше застосування в практиці водопідготовки, показуючи високу ефективність при звільненні води від патогенних мікроорганізмів, вірусів, найпростіших [41].

Недоліки традиційних способів знезаражування води змушують дослідників шукати нові, засновані, як правило, на комбінованій дії двох або декількох факторів. У комбінації можуть бути присутнім тільки хімічні агенти або фізичні фактори, пропонуються також фізико-хімічні способи.

У якості **комбінованих хімічних способів** розглядаються використання хлору й озону, препаратів хлору з перекисом водню, іонами срібла і міді, перекису водню з озоном, іонами срібла і міді, а також ряд інших комбінацій. Дані технології дозволяють знизити концентрації застосовуваних реагентів, зменшити час обробки води при незмінному, а іноді і більш вираженому антимікробному ефекті [29, 42, 43].

Для знезаражування питної води пропонуються **комбіновані фізичні способи**, зокрема, сполучення УФВ та УЗК, термічна обробка з УЗК або γ-випромінюванням, комплекс електричних впливів [32]. Характерними недоліками комбінованих фізичних способів є відсутність післядії і способу оперативного контролю за ефективністю знезаражування води [44].

У літературі розглядається можливість використання **імпульсних електричних розрядів (ІЕР)** для знезаражування води. Пріоритетні дослідження в цьому напрямку здійснив у 50-70-х роках XX сторіччя гігієніст Жук Е.Г. ІЕР виникає у відповідному пристрої в результаті виділення великої кількості енергії між електродами, поміщеними в судину з оброблюваною рідиною. Високовольтний розряд (20-100 кВ) відбувається за лічені частки секунди і супроводжується могутніми гідравлічними процесами з утворенням ударних хвиль і явищ кавітації, виникненням імпульсних і електричних полів [32].

У літературі немає однозначної думки про механізм дії ІЕР на бактеріальну клітину і про ролі кожної його складової в реалізації бактерицидного ефекту. Разом з тим більшість дослідників розцінюють ІЕР як комбінований фізичний спосіб знезаражування води. Накопичені дотепер матеріали свідчать про високу ефективність бактерицидного, віруліцидного і спороцидного ефекту високовольтних ІЕР [28]. Знезаражування настає після надзвичайно малої експозиції (секунди), практично не залежить від концентрації мікроорганізмів і їхнього виду, мало залежить від органічних і неорганічних домішок, що є присутнім в оброблюваній воді [45]. На виразність бактерицидного ефекту ІЕР впливають величина робочої напруги і міжелектродного проміжку, ємність конденсаторів, сумарна щільність енергії обробки і ряд інших технічних параметрів. У літературі є повідомлення про бактерицидну дію не тільки високовольтних ІЕР, але і ІЕР малої потужності і напруги (до 0,5 кВ), поверхневих ІЕР і коронних розрядів [32, 46].

До недоліків знезаражування води високовольтними ІЕР відносяться: порівняно висока енергоємність і складність використовуваної апаратури, недосконаліть методу оперативного контролю за ефективністю знезаражування, недостатній ступінь вивченості механізму дії розряду на мікроорганізми, а виходить, і ролі кожної складової даного комбінованого способу.

Останнім часом у нашій країні і за кордоном усе більше уваги приділяється **фізико-хімічним способам знезаражування** води. Особливо зріс інтерес до сполучення УФВ з хімічними дезінфектантами. Пропонується спільне використання УФВ з іонами срібла і міді, показана можливість використання УФВ з хлором і

перекисом водню, УЗК і хлору. Крім одержання більш високого антимікробного ефекту, у такий спосіб можна усунути один з недоліків УФВ – відсутність післядії [47].

Установлено, що в результаті попереднього введення у воду окислювачів (озону, перекису водню) і наступної її обробки УФВ утворяться вільні радикали, що у свою чергу є більш могутніми окислювачами. При спільній дії УФВ й окислювачів відзначене значне посилення швидкості і ступеня інактивацій бактерій у порівнянні з дією кожного агента окремо. Крім того, використання в якості окислювачів природних для навколишнього середовища речовин – озону і перекису водню, здатних легко розкладатися під дією світла, забезпечує екологічну чистоту цих способів на відміну від традиційного хлорування і комбінованих хімічних технологій [30].

Серед інших перспективних фізико-хімічних способів знезаражування води, що знаходяться на стадії лабораторних досліджень, можна відзначити: вплив постійного електричного поля з іонами срібла і міді; УЗК із перекисом водню; γ-випромінювання з перекисом водню або хромом; лазерне випромінювання з іонами міді [48]. З'явились повідомлення, що прогнозують взаємний посилюючий вплив на біооб'єкти дії озону та електронного пучка [39].

Таким чином, аналіз приведеної літератури показує, що використовувані в даний час хімічні і фізичні способи знезаражування води по ряду істотних показників не відповідають сучасним гігієнічним вимогам. Недоліки традиційних способів змушують шукати нові шляхи знезаражування води.

Література

1. Никоненко П.Н., Белойваненко В.И., Кулишов Н.И. Вода как источник инфекционных заболеваний // Медицинские вести. – 1997.- №3 . - С.14-15.
2. Зайцева О.В., Резуненко Ю.К. Проблемы совершенствования очистки промышленных сточных вод // Медицина сегодня и завтра. – 2000.- №4.– С.147-150.
3. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г. Современное состояние проблемы обеззараживания воды // Химия и технология воды. – 1998.- №2.– С.190-217.
4. Пасль Л.Л., Кару Я.Я., Мельдер Х.А., Репин Б.Н. Справочник по очистке природных и сточных вод. - М.: Медицина, 1994.– С.36-39.
5. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды - К.: Здоровье, 1991.– С.6-89.
6. Рахманин Ю.А., Жолдакова З.И., Полякова Е.Е., Кирьянова Л.Ф., Мясников И.Н., Тульская Е.А., Артемова Т.З., Иванова Л.В., Дмитриева Р.А., Доскина Т.В. Совместное применение активного хлора и коагулянтов для очистки и обеззараживания питьевой воды // Гигиена и санитария. – 2004. - №1. – С.449-458.
7. Гончарук В.В., Гордиенко А.С., Глоба Л.И., Гвоздяк П.И. Биотехнология в подготовке питьевой воды // Химия и технология воды. – 2003.- №4. – С.363 – 374.
8. Чичирова Н.Д., Евгеньев И.В. Технологии очистки воды и смежные проблемы химической технологии и теплоэнергетики // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 1999. – №2. – С.1-8.
9. Крисник-Кинней Е. Влияние хлорирования очищенных сточных вод на различные группы колиформных бактерий / Химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1983. – С.146-152.
10. Жуков Н.Н., Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Озонирование воды в технологии водоподготовки // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – №1. – С.2-4.

11. Самойлович В.Г. Передовые окислительные технологии. Современное состояние вопроса // Информационный центр озонирования. – 1999. – Вып. 12. – С.35-40.

12. Nakayama S. Esaki K. Namba K. Improved Ozonation in Aqueous System // Ozone Sci. Eng. – 1979. – Vol., №2. – P.119-131.

13. Singer P.C. Assesing ozonation research needs in water treatment // J. Amer. Water Works Assos. – 1990. – Vol.82, №10. – P.78-88.

14 .Handbook of ozone technology and application Vol.2. Ozone for drinking water treatment / Ed. R. G. Rice, Netzer.- Boston etc.: Ann. Arbor Science Publ., 1984. – 378 p.

15. Минц О.Д., Королева М.В. Использование озона в системах оборотного водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. - №2. – С.30-31.

16. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г., Савлук О.С., Косинова В.Н., Сова А.Н. Совместное антимикробное действие озона с УФ – излучением, генерированным различными источниками // Химия и технология воды. – 2004. - №2. – С.202 - 213.

17. Терентьев В.И., Гриценко В.К., Лопатин С.А., Кирьянова Л.Ф., Раевский К.К., Фоканов В.П., Шаларь А.В. Перспективы совершенствования технологии обеззараживания воды поверхностных источников // Гигиена и санитария. – 2002. -.№3. – С.29 -36.

18. Мищук Н.А., Гончарук В.В., Вакуленко В.Ф. Теоретический анализ процессов, протекающих при озонировании воды, содержащей органические вещества // Химия и технология воды. – 2003. - №1. – С.3 - 29.

19. Goncharuk V.V., Potapchenko N.G., Vakulenko V.F. Ozonation as the method of drinking water treatment: possible by-products and toxicological estimation // J. of Water Chem. And Technol. – 1995. – Vol.17, №1. – P.1-23.

20. Krasner S.W., McGuire M.J., Jacangelo J.G. The occurance of disinfection by-products in US drinking water // J. Amer. Water Works Assoc. – 1989. – Vol.81, №8. – P.41-53.

21. Миронец Н.В., Савина Р.В., Власова П.П., Мартышенко Н.В. Гигиеническое изучение качества питьевой воды, обеззараженной перекисью водорода // Гигиена и санитария. – 1984. - №3. – С.86-87.

22. Потапченко Н.Г., Григорьева Л.В., Савлук О.С., Кульский Л.А. Дозо – временная зависимость серебра в воде на патогенные эшерихии // Химия и технология воды. – 1989. - №4. – С.366-369.

23. Шмутер Г.М., Изотова П.В., Масленко А.Л.,Фурман А.А., Соболевская Т.Т. Гигиеническая оценка электрохимического метода обеззараживания воды серебром // Гигиена и санитария. – 1986. - №12 - С.10-11.

24. Кульский Л.А. Серебряная вода. – К.: Здоровье, 1987. – С.13-17.

25. Барков Г.Д., Эльпинер Л.И. О необходимости ограничения количества серебра в питьевой воде // Гигиена и санитария. – 1968. - №6. – С.16-21.

26. Григорьева Л.В., Потапченко Н.Г., Савлук О.С., Ерусалимская Л.Ф. , Русакова Л.Т., Глушкевич Т.Г. Устойчивость к серебру и антибиотикам у патогенных эшерихий, выделенных из окружающей среды // Гигиена и санитария. – 1988. - №8. – С.22-23.

27. Савлук О.С., Бухарская Л.П., Томашевская И.П. Антимикробные свойства меди // Химия и технология воды. – 1986. - №6. – С.65-67.

28. Гончарук В.В., Маляренко В.В. О механизме действия магнитного поля на водные системы // Химия и технология воды. – 2003. - №3. – С.212 – 227.

29. Авчинников А.В., Рахманин Ю.А., Жук Е.Г., Рыжова И.Н. О способах консервации питьевой воды на автономных объектах (обзор) // Гигиена и санитария. – 1996. - №2. – С.9-13.

30. Потапченко Н.Г., Томашевская И.П., Илляшенко В.В. Оценка совместного действия УФ – излучения и хлора на выживаемость микроорганизмов в воде // Химия и технология воды. – 1993. - №9-10. – С.678-682.

31. Фрайкин Г.Я. Молекулярные механизмы биологического действия оптического излучения. - М.: Медицина, 1988. – С.154-164.

32. Веселов Ю.С., Лавров И.С., Рукобратский Н.И. Водоочистное оборудование: конструирование и использование. - Л.: Медицина, 1985, - С.34-42.

33. Гончарук В.В., Маляренко В.В., Яременко В.А. О механизме воздействия ультразвука на водные системы // Химия и технология воды. – 2004. - №3. – С.275 – 286.

34. Колесов А.М., Глаголев Л.С. Термический метод обеззараживания сточных вод // Гигиена и санитария. – 1978. - №3. – С.104.

35. Кульский Л.А., Сайгак Е.И., Савлук О.С. Методы обеззараживания воды вакуумированием. – К.: Здоровье, 1975. – С.3 – 17.

36.Котов Ю.А., Соковнин С.Ю. Использование частотных сильноточных электронных пучков (СЭП) для водоподготовки и очистки сточных вод // Тезисы докладов междунар. выставки «Чистая вода Урала-95», Екатеринбург, 1995 – С.55.

37. Соковнин С.Ю., Котов Ю.А., Месяц Г.А., Рукин С.Н. Исследование действия импульсного частотного электронного пучка на микроорганизмы в водных растворах // Экология. – 1996. – №3. – С.222-224.

38. Getoff N. Electron Beam Remediation of Water // Short Review. Paper presented at AOTs-1 First Intl. Conf. on Advanced Oxidation Technologies for Water and Air Remediation. London, Ontario, Canada, June 25-30, 1994. – P.128-129.

39. Gehringer P. Grounwater Remediction by Ozone // Electron Beam Irradiation Treatment. Paper presented at AOTs-1 First Intl. Conf. on Advanced Oxidation Technologies for Water and Air Remediation. London, Ontario, Canada, June 25-30, 1994. – P.130.

40. Халявка Т.А., Карпенко Г.Ф., Опенько Н.М., Денисова Т.И., Швец Д.И. Углеродные и синтетические сорбенты для обеззараживания питьевой воды от хлорного вибриона // Химия и технология воды. – 1998. - №3. – С.330 – 334.

41. Маляренко В.В., Яременко В.А., Жукова Е.Н., Гончарук В.В. Использование ультразвуковой обработки для снижения ХПК при очистке сточных вод углем // Химия и технология воды. – 2004. - №5. – С.459-470.

42. Потапченко Н.Г., Томашевская И.П., Илляшенко В.В., Косинова В.Н. Изучение антимикробного действия пероксида водорода в присутствии различных металлов // Химия и технология воды. – 1994. - №2. – С.203-209.

43. Сложенко Е.Г., Соболева Н.М., Гончарук В.В. Применение каталетической системы H2O2-Fe 2+ (Fe 3+) при очистке воды от органических соединений // Химия и технология воды. – 2004. - №3. – С.219-246.

44. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г., Савлук О.С., Косинова В.Н., Сова А.Н. Совместное действие озона и ультрафиолетового излучения для обеззараживания воды // Химия и технология воды. – 2003. - №2. – С.179-190.

45.Гончарук В.В., Баштан С.Ю., Чеботарева Р.Д. Электрохимическое обеззараживание морской воды в плавательном бассейне // Химия и технология воды. – 2003. - №4. – С.334-341.

46. Кравченко А.В., Подгорный О.А., Царенко В.В., Нестеренко А.Ф., Рахманин Ю.А., Кублановский В.С. Влияние тлеющего разряда на гибель колифагов и вирусов в питьевой воде // Химия и технология воды. – 1996. - №4. – С.430-435.

47. Савлук О.С., Потапченко Н.Г., Калиниченко И.Е. Воздействие ультрафиолетового излучения и тяжелых металлов на выживаемость E.coli в воде // Гигиена и санитария. – 1992. - №11. – С.28-29.

48. Музычук Н.Т. Обеззараживание воды ионами тяжелых металлов в электрическом поле в малых населенных местах // Гигиена и санитария. – 1990. - №1. – С.24-27.

УДК 57.04:579.64

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВІДПОВІДНІСТЬ ГІГІЄНІЧНИМ ВИМОГАМ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ СПОСОБІВ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ВОДИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Хірна Т.В

Інститут мікробіології та імунології ім.. І.І.Мечникова АМН України, Харків

У зв'язку з різким погіршенням екологічної ситуації, проблема знезараження води набуває все більшої актуальності. Аналіз даних літератури, представлений в огляді, характеризує сучасні способи знезараження води за допомогою хімічних, фізичних та комбінованих чинників. Методи знезараження охарактеризовані як з боку ефективності протимікробної дії, так і з боку оцінки негативних наслідків різноманітних способів обробки води.

Ключові слова: знезаражування води, озонування, хлорування, комбіновані способи.

УДК 57.04:579.64

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И СООТВЕТСТВИЕ ГИГИЕНИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Хирная Т.В

Институт микробиологии и иммунологии им. И.И.Мечникова АМН Украины, Харьков

В связи с резким ухудшением экологической ситуации, проблема обеззараживания воды приобретает все большую актуальность. Анализ данных литературы, представленных в обзоре, характеризует современные способы обеззараживания воды с помощью химических, физических и комбинированных факторов. Методы обеззараживания охарактеризованы как с положительной стороны эффективности противомикробного действия, так и с отрицательной стороны разнообразных способов обработки воды.

Ключевые слова: обеззараживание воды, хлорирование, озонирование, комбинированные способы.

UDK 57.04:579.64

THE EFFECTIVENESS AND ACCORDANCE OF PHYSICOCHEMICAL WAYS OF DISINFECTION OF THE WATER WITH HYGIENIC DEMANDS

Hernaya T.V.

I.Mechnikov Institute of Microbiology and Immunology AMS of Ukraine, Kharkiv

The problem of disinfection of the water is getting more topicality because of the abrupt worsening of the ecology situation. The analysis of the information of scientific literature, which is presented in the review, characterizes modern ways of disinfection of the water with the help of chemical, physical and combined factors. The methods of disinfection are characterized from the positive way of the effectiveness of an antimicrobial action and from the negative way of different ways of processing the water.

Key words: disinfection of the water, chlorination, ozone treatment, combined methods.