

УДК 628.3

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЗАЄМОДІЯХ ІЗ ВОДОЮ В ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ЇЇ ОЧИЩЕННЯ ТА ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ

*Воронкін О.С., інженер I к., Єгізарян О.Д., старший лаборант
Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Луганськ
91034 м. Луганськ, кв. Молодіжний 20-а
E-mail: alex.voronkin@gmail.com*

Розглянуто фізико-хімічні процеси та ефекти, що їх супроводжують при застосуванні перспективних методів енергетичних взаємодій з водою для її очищення та знезаражування.

Ключові слова: енергетичні взаємодії, окисник, електричні розряди

Considering of this article is physical chemical processes and concomitant effects in applications of perspective methods of energy interactions with water for water purification and disinfection.

Key words: energy interactions, oxygen carrier, electrical discharge

Вступ. У цей час виникла потреба пошуку й впровадження нових високоефективних - альтернативних методів очищення, знезаражування й кондиціонування води.

Існуючі способи знезаражування розділяють на хімічні (хлорування, озонування, використання препаратів аргентуму, купруму, йоду та ін.), фізичні (ультрафіолетове, лазерне та іонізуюче випромінювання, термічна обробка, обробка електромагнітними полями і ін.) та комбіновані [1].

Найбільший інтерес мають фізичні способи знезаражування. При цьому необхідно відзначити можливість прояву ряду ефектів, механізми яких залишаються нерозкритими й досі. Паралельним напрямком є вивчення "інформаційної" складової води, тобто можливості передачі інформації біологічним об'єктам.

Аналіз попередніх досліджень. Проблемі очищення присвячена велика кількість робіт. Однак ряд питань залишається відкритим: пам'ять води та можливість передачі інформації біооб'єктам, можливість утворення складних полімерних молекул, питання програмування макромолекул води, вивчення фізико-хімічних зрушень, що супроводжують фізичні ефекти й дослідження їхнього впливу на життєдіяльність організму.

Оскільки не розкриті механізми старіння біооб'єктів, а також істинні причини багатьох захворювань, питання здобуває статус понад актуального.

Мета роботи. Інтегральне дослідження існуючих даних про фізичний вплив на воду з метою її очищення, які були отримані в експериментальних дослідженнях.

Матеріал і результати дослідження. Багато фізичних явищ та ефектів не мають вичерпного наукового пояснення сьогодні. Дослідження, проведені докт.біол.наук С.В. Зеніним, показали, що вода є собою ієрархією правильних об'ємних структур, в основі яких лежить кристалоподібний «квант води». Експериментально доведено, що вода є системою,

яка самоорганізується (Антонов, Глебова, 1992). Перші дослідження, пов'язані з «пам'яттю» води, виконані Дерягінін і Чураєвим (1971). Японський вчений доктор Емото дослідив розташування молекул води в кластерах при її заморожуванні. У певних умовах можна говорити й про «активовану» воду. Це твердження, однак, породжує сумніви у деяких вчених. Є докази того, що ракові клітини «розривають» найбільш високоенергетичні водневі зв'язки між молекулами води (Антонов, Глебова, 1992).

Найпоширенішим методом обробки води в Україні сьогодні є хлорування. При цьому утворюються хлорорганічні сполуки, які мають канцерогенні та мутагенні властивості [2]. Використовується також хлорування з попередньою амонізацією.

На думку багатьох вчених, такі способи знезаражування питної води, як озонування й обробка перексидом гідрогену, позбавлені ряду недоліків, властивих хлоруванню [3,4].

Особливістю озону є легкість його розпаду з утворенням атомарного кисню - одного з найбільш сильних окисників. Атомарний кисень знищує бактерії, віруси, руйнує розчинені у воді органічні речовини. Це дозволяє використовувати озон не тільки для знезаражування, але й для дезодорації питної води, видалення токсичних органічних речовин. Знезаражуюча дія озону (руйнує цитоплазму) в 15-20 разів сильніше порівняно з дією хлору (впливає тільки на ферменти мікробної клітини) [5, 6].

Відомо, що пероксид гідрогену широко використовується у практиці водопідготовки як активний та екологічно чистий окисник, що не тільки не погіршує якість обробленої їм води, але навіть насичує її киснем [7]. Пероксид гідрогену має бактерицидні властивості, однак менші, ніж в озону й хлору. Тому, щоб підвищити бактерицидну активність пероксиду водню, його комбінують із іонами деяких металів (гомогенні каталізатори) або частками деяких нерозчинних у воді сполук (гетерогенні каталізатори). Перелік деяких прийнятних каталізаторів наведений у моногра-

фії [8]. Серед перших відзначаються, наприклад, іони феруму, купруму [9], аргентуму, серед других - двооксиду мангану, оксид феруму і ін.

Експериментально було виявлено, що навіть короткочасний вплив магнітного поля на воду збільшує швидкість кристалізації розчинених у ній речовин, коагуляції домішок і утворення осаду. Сутність цих явищ до кінця не з'ясована.

На сьогоднішній день активно розвиваються технології, засновані на спільному впливі окисників (озон, пероксид гідрогену) та ультрафіолетових променів (УФ). Із інших методів слід зазначити взаємодію з ультразвуковими хвилями (УЗХ), електричними розрядами, струмами високої частоти, а також застосування радіаційних методів.

Змінний тиск, створюваний ультразвуком у рідині, пов'язаний з інтенсивністю УЗХ – так при інтенсивності ультразвукового впливу $0,5 \text{ Вт/см}^2$ у воді – тиск складе $0,4 \text{ атм}$. При кавітаційному впливі на воду (вплив кумулятивних струменів рідини при стисканні-імпульсі кавітаційних бульбашок) руйнуються колоїди й частки, всередині яких можуть знаходитись бактерії.

Вплив кавітації на водяні розчини зводиться до розщеплення молекул води в кавітаційних бульбашках. Дія кавітації на воду приводить до зміни її фізико-хімічних властивостей: збільшенню рН, електропровідності води, збільшенню числа вільних іонів та активних радикалів, структуризації й активації молекул.

Світіння в рідині (у воді виникає при інтенсивності УЗХ від $0,2 \text{ Вт/см}^2$ й частоті УЗ коливань 880 кГц), було відкрито у 1934 р. Френцелем і Шультесом. Зміна статичного тиску істотно впливає на інтенсивність світіння води. Це явище залучає багатьох дослідників своєю багатогранністю і суперечливістю й сьогодні. Відповідно до гіпотези Грифінг [10], світіння у воді виникає при рекомбінації радикалів Н, ОН, що утворилися при термічній гемолітичній дисоціації води. Нолтінг і Непайрас у 1950 р. запропонували теорію, відповідно до якої при адіабатичному схлопуванні кавітаційної бульбашки всередині неї розвивається температура порядку 10^4 К , причому вже $\sim 2000^0 \text{ К}$ виявляється досить, щоб $0,01 \%$ молекул H_2O усередині бульбашки дисоціювали на $\dot{\text{H}}$ й $\dot{\text{OH}}$ радикали. У публікаціях Я.І. Френкеля (гіпотеза мікророзрядів) передбачається, що бульбашка являє собою “лінзоподібну тріщину” у воді. На його думку, на одній зі стінок такої мікротріщини повинне виявитися більше негативних зарядів, а на протилежній - позитивних (конденсатор). Пізніше в процесі кавітації починається електричний розряд. Існують також й інші теорії і гіпотези: балоелектрична (balloelectric effect), механохімічна і термохімічна гіпотези, гіпотеза “гарячих зон”, гіпотеза ударних хвиль і ін.

УЗХ впливають на різноманітні мікроорганізми - патогенні й непатогенні, анаеробні й аеробні, вегетативні й спорові, а також руйнують продукти їхньої життєдіяльності. Ефективність бактерицидної дії

УЗХ залежить від цілого ряду обставин: параметрів даного фізичного фактора (інтенсивності, частоти коливань, експозиції); морфологічних особливостей збудника (розмірів і форми бактеріальної клітини, наявності капсули, хімічного складу мембрани, віку культури). Бактерицидний ефект УЗХ не залежить від мутності (у межах до 50 мг/л) і кольоровості води, що озвучується. Разом із тим, багато теоретичних, наукових і технологічних основ використання УЗХ не розроблені й досі. При турбулентному завихренні потоку води виникає також кавітація – гідродинамічна. В [11,12] відзначено, що кавітація активує молекули води й розчинені в ній газу, а також призводить до дисоціації H_2O (при жорстких режимах спостерігається у т.ч. і рентгенівське випромінювання). Отримано дані, що величині інтенсивності світіння відповідають найбільші концентрації пероксиду водню, що утворюється у присутності кисню, а це свідчить також про хімічні перетворення при гідродинамічній кавітації [13,14]. Відбувається вивільнення водневих зв'язків та деструктуризація каркаса води. Однак, у цей час ці процеси також вивчені недостатньо. В [13] представлені результати вивчення механізму активуючої дії гідродинамічної кавітації на воду, що були отримані при проведенні експериментів за різних швидкостей обертання крильчатки.

На даний час ультрафіолетове випромінювання знайшло широке застосування в практиці знезараження питної води. Показано, що УФХ із довжиною хвилі $250\text{-}270 \text{ нм}$ мають найбільшу антимікробну дію. Знезаражуючий ефект заснований на летальних фотохімічних реакціях у живій матерії мікроорганізмів (бактеріальних вірусів, мікробів і найпростіших), що приводять при опроміненні великими дозами УФ випромінювання до інактивації біосинтетичного апарату відтворення життєво важливих макромолекул ДНК, РНК і білків, загибелі амінокислот, пептидів, uszkodженню ДНК, порушенню проникності мембран і ін. До позитивних сторін використання УФХ варто віднести - широкий спектр антимікробної дії, відсутність небезпеки передозування, УФХ не змінюють запах і смак води, ефективність знезараження не залежить від рН і температури води.

Реактивація мікрофлори виникає у тих випадках, коли інтенсивність УФХ нижче необхідного рівня, оброблена вода піддається вторинному забрудненню або наступному опроміненню видимим світлом (фото реактивація). Спектр дії УФ випромінювання, що приводить до загибелі клітини, максимальний при $260\text{-}265 \text{ нм}$ (результат uszkodження нуклеїнових кислот, що переважно поглинають випромінювання в зазначеному спектральному діапазоні), для окремих “білкових” мікроорганізмів – 280 нм (білковий максимум), для змішаних – 260 й 280 нм . Летальний ефект УФ випромінювання з довжиною хвилі більше 320 нм незначний. При довжинах хвиль менш 200 нм ефективність інактивації зростає [15]. Установлено, що в результаті введення у воду

окисників (озону, пероксиду гідрогену) і наступної її обробки ультрафіолетом утворюються вільні радикали, які, у свою чергу, є більш могутнішими окисниками.

Для опромінення води при використанні радіаційних методів застосовують електрони з енергіями від 0,15 МеВ (глибина проникнення у воді – 140 мкм) до 10 МеВ (глибина проникнення – 48 мм), гамма-випромінювання (при 0,1 МеВ глибина проникнення – 30 см) радіоактивних нуклідів ^{60}Co й ^{137}Cs і гальмове рентгенівське випромінювання. З моменту проникнення випромінювання у воду починається складний процес радіолізу [16]. На хімічній стадії у воді існують вільнорадикальні продукти ($\dot{\text{O}}$, $\dot{\text{H}}$, $\dot{\text{OH}}$, e_{aq}^-) і молекулярні (H_2 й H_2O_2). Значні перспективи мають озono-радіаційні методи - присутність озону в опромінюваній воді дає можливість додатково генерувати активні окислювальні частинки. Внаслідок цього стає можливим здійснення ланцюгових радіаційно-хімічних процесів окиснення органічних речовин.

У цей час широко обговорюється можливість використання електричних розрядів у технологіях очищення, у тому числі й стічних вод. Для очищення води досліджуються різні типи розряду: іскровий [17], анодний мікророзряд [18], коронний розряд над поверхнею води, тліючі розряди атмосферного тиску та ін. Провідність води впливає на процеси ініціювання розряду (провідність водопровідної води $\sim 10^{-4}$ 1/Ом·см). Академік Ф.Г. Рутберг електричними розрядами очищав воду ("Вісник Російської академії Наук", 2002 р.). Було встановлено, що вода має пам'ять, вода здобувала бактерицидні властивості.

Ідея застосування імпульсного електричного розряду для знезараження води належить Л.О. Юткіну. Завдяки високій температурі й тиску плазми в каналі імпульсні електричні розряди у воді можуть служити джерелом світла високої яскравості [19, 20]. Той факт, що розряд у рідині може мати руйнівну силу, відзначили ще в 1767-1769 р. Лейн і Прістлі. У випадку застосування потужних імпульсних розрядів (енергія в імпульсі декілька кДж) основним фактором впливу на мікроорганізми стає ударна хвиля - деструкція мікроорганізмів настає при однократному впливі розряду [19]. Промислове використання імпульсних розрядів багато в чому стримується відсутністю оптимальної конструкції електророзрядної камери з тривалим ресурсом роботи електродів (обмежується ерозією електродів).

Також існують дані, що імпульсні розряди у воді незалежно від енергії одного імпульсу мають здатність очищати воду від мікробного й хімічного забруднення. У цей час ці властивості розряду починають використовувати в різних технологіях очищення води в промислових умовах. Однак фізичні механізми впливу розряду у воді на мікроорганізми та органічні й неорганічні речовини, що перебувають у воді, до кінця не з'ясовані [21]. Це, насамперед, стосується тривалого збереження бактерицид-

них властивостей води, обробленої електричними розрядами. Існує припущення, що імпульсний розряд (при температурі $T \sim (10-20) \cdot 10^3$ К, тиску $P \sim 10^7 - 10^9$ Па плазмового стовпа розряду [21]) є потужним імпульсним випромінювачем УФХ. Причому частка випромінювання в діапазоні довжин хвиль 100 – 200 нм може бути досить значною через те, що саме на уїй ділянці спектру електромагнітного випромінювання, що поглинає вода, викликає реакцію фотолізу. Поряд із генерацією H_2O_2 при опроміненні води плазмою імпульсного розряду одночасно йде процес розкладання H_2O_2 (в результаті впливу УФ випромінювання, а також у результаті реакцій з домішками – іонами феруму або купруму, що утворюються в результаті ерозії електродів). Дослідження показали (розряд здійснювався в кюветі циліндричного типу діаметром 50 мм із використанням електродів типу вістря-площина), що зниження концентрації H_2O_2 до практично нульового рівня відбувається протягом декількох днів.

У роботах Голубничого П.І, Кругова Ю.М., Громченко В.М уперше описаний ефект утворення догоіснуючих світних об'єктів усередині пульсуючої порожнини, що утворилася в дистильованій воді при електричному розряді [22]. Дослідження цих утворень указує на те, що вони складаються з незвичайних сполук кисню й (або) гідрогену [23].

Проведені дослідження в Інституті джерел струму (1985 – 1990 р.р.) показали, що молекули води можуть перетворюватися в сполуку H_{10}O_8 з виділенням енергії: позитивні іони H_2O^+ (по Ф. М. Канареву, що займається проблемами одержання енергії з води й акад. РАПН Л. П. Фомінському), зіштовхуючись у воді з негативними іонами OH^- й нейтральними $\dot{\text{O}}\text{H}$ -радикалами, цілком можуть утворювати асоціати $(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_6$.

Тому електричний розряд широко використовується не тільки для виробництва озону в технологіях очищення води [24], а також може слугувати джерелом ряду короткоіснуючих часток, таких як гідроксильний радикал (ОН), атомарний кисень (О), атомарний водень (Н), H_2O_2 [25] і ін.

У результаті потужних високоенергетичних взаємодій з водою руйнуються водневі зв'язки, утворюються вільні радикали, змінюються структури кластерів - розриваються довгі молекулярні ланцюжки $(\text{H}_2\text{O})_n$.

Більш перспективним є використання розрядів із малою щільністю струму. Енергія в таких розрядах переважно вкладається в збудження та дисоціацію молекул середовища й основний вплив на розчинені у воді домішки роблять хімічно активні частки, вільнорадикальні і молекулярні продукти, що утворюються - $\dot{\text{O}}$, O^* , $\dot{\text{H}}$, $\dot{\text{OH}}$, H_2O_2 та ін. Відносно високою ефективністю відрізняються установки на основі стримерного коронного розряду в газі (повітрі) над поверхнею води. При цьому контакт плазми розряду й оброблюваної води здійснюється по поверхні рідини, яка використовується як один з електродів. Ефективність обробки води може бути підвище-

на шляхом забезпечення контакту оброблюваної води й плазми розряду не тільки на поверхні електродів, але й у повному обсязі міжелектродного проміжку. У НДІ високих напруг при Томському політехнічному університеті створений пристрій для очищення води, у якому вода диспергується в повітрі на краплі, що піддаються впливу розряду.

В [26] встановлено, що основним фактором, сприяючим очищенню води імпульсним бар'єрним розрядом у водоповітряному потоці, є вироблені розрядом окисники - гідроксильні радикали, атомарний кисень, а також у меншому ступені озон. Гідроксильні радикали в електронно-збудженому стані були виявлені в плазмі розряду методом емісійної спектроскопії. Концентрація $\dot{\text{O}}\text{H}$ -радикалів лінійно зростає з підвищенням енергії розряду, частоти й амплітуди імпульсів напруги.

У роботі Корнева Я.І., Яворовського Н.А., Хаскельберга М.Б. і ін. [27] отриманий емісійний спектр бар'єрного розряду у водоповітряному середовищі (сформований полідисперсний водоповітряний потік із діаметром крапель води до декількох міліметрів, що падають на систему електродів, і піддаються впливу розряду). Спектр зображено на рис. 1.

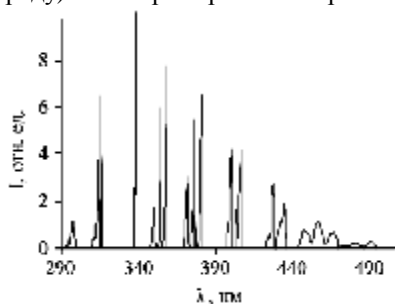


Рисунок 1 – Емісійний спектр бар'єрного розряду у водоповітряному середовищі

У роботах Е.А. Азізова, А.І. Ємельянова та ін. досліджуються особливості плівкового розряду вздовж поверхні затопленого струменя води. У їхній роботі [28] уперше показано, що електричний пробій у воді, що рухається, істотно полегшується, тобто спостережувані пороги пробою виявляються істотно нижче, ніж у нерухомій воді. В їхніх роботах також показано, що спостережувані плівкові розряди є потужним джерелом ультрафіолетового випромінювання [29]. На думку Піскарева І.М. (НДІЯФ МДУ) під дією імпульсного електричного розряду можливо також і знесолення води.

Підвищення ефективності очищення води порівняно з традиційним хлоруванням (озонуванням) можливо при спільному використанні озону, короткоіснуючих активних часток і інших факторів, супроводжуваних розрядом [30, 31], що може бути досягнуте шляхом безпосереднього впливу плазми розряду на воду. Завдяки малому часу життя часток і сполук ($\dot{\text{O}}\text{H}$, $\dot{\text{O}}$, $\dot{\text{H}}$, розряд є також джерелом пероксиду гідрогену, озону, ультрафіолетового випромінювання), що утворюються при розряді, вони не залиша-

ють меж розрядної камери, що робить їх придатними до використання тільки в місці виробництва.

Висновки. Через те, що жодна структура живої матерії не в змозі обійтися без водного середовища, особливо актуальним є вирішення питання "пам'яті" води й можливості передачі інформації біооб'єктам, що може відігравати вирішальну роль в уповільненні процесів старіння організму при її "перепрограмуванні" - інформаційному очищенню (обумовлено порушенням зв'язку молекулярної структури). У зв'язку з цим стають доцільними подальші дослідження, розробка й глобальне впровадження в практику водопідготовки нових комбінованих ефективних "високоенергетичних" методів обробки води у єдиному технологічному циклі її очищення й знезаражування за рахунок додаткового генерування активних окисників, збільшення числа активних радикалів, структуризації та активації молекул.

ЛІТЕРАТУРА

1. Воронкин А.С. О возможности применения механизмов высокоэнергетических взаимодействий с водой в технологиях ее обеззараживания / А.С. Воронкин, П.И. Голубничий, Ю.М. Крутов // Вода – джерело життя на Землі: матер. II-ої Всеукраїнської наук. конф. Збірник статей. Вид-во Східноукр. нац. університету ім. Володимира Даля, Луганськ, 2008. - С. 36-39.
2. Рахманин Ю.А., Штаников Е.В., Ильин И.Е. // Гигиена и санитария. - 1985. - № 3. - С.4-7.
3. Жуков Н.Н. Озонирование воды в технологии водоподготовки / Н.Н. Жуков, В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – №1. – С. 2-4.
4. Самойлович В.Г. Передовые окислительные технологии. Современное состояние вопроса / В.Г. Самойлович // Информационный центр озонирования. – 1999. – Вып. 12. – С. 35-40.
5. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды / Л.А. Кульский - К.: Здоровье, 1991. – С. 6-89.
6. Мищук Н.А. Теоретический анализ процессов, протекающих при озонировании воды, содержащей органические вещества / Н.А. Мищук, В.В. Гончарук, В.Ф. Вакуленко // Химия и технология воды. – 2003. - №1. – С. 3-29.
7. Селюков А.В. Применение пероксида водорода в технологии очистки сточных вод / А.В. Селюков, Ю.И. Скурлатов, Ю.П. Козлов // Водоснабжение и сан. техника.- 1999. - №12. - С. 25–27.
8. Шамб У. Перекись водорода. Пер. с англ. / У. Шамб, Ч. Сетерфильд, Р. Вентверс. - М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958.
9. Антимикробные свойства меди / И.П. Савлук [и др.] // Химия и технология воды. - 1986. - Т.8, № 6. - С. 65–67.
10. Маргулис М.А.. Сонолюминисценция / М.А. Маргулис // УФН. – 2000. - Том 170, № 3. - С. 263–287.
11. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промыш-

ленности / И.М. Федоткин, И.С. Гулий. – К.: АО “ГЛАЗ”, 2000. – Ч.2. – 898 с.

12. Маргулис М.А.. Основы звукохимии / М.А. Маргулис. – М.: Высшая школа, 1984. – 272 с.

13. Витенько Н.Т. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Н.Т. Витенько, Я.М. Гутницкий // Химия и технология воды. – 2007. – № 5. – С. 422–433.

14. Есиков С.А. // Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Киев, 1987. – 17 с.

15. Базалеев Н. И. Электрофизические технологии: новая концепция обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением / Н. И. Базалеев, В. Ф. Клепиков, В. В. Литвиненко, С. Н. Шаляпин // Наука та інновації. – 2005. – Т.1, № 1. – С. 99-109.

16. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Навч. посіб. / А.К. Запольский, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін [і ін.] – К.: Лібра, 2000. – 552 с.

17. В.Л. Горячев, Ф.Г. Рутберг, В.Н. Федюкович // Известия академии наук: энергетика. – 1998. – №1. – С. 40–55.

18. Л.Т. Бугаенко, Т.А. Калинина, Г.В. Ковалев, А.М. Сизиков // Химия высоких энергий. – 2003. – Т.37. – №5. – С. 397–398.

19. Вилков К.В. Обеззараживающее действие мощного импульсного электрического разряда в воде. I. Зарождение, эволюция и структура ударных волн / К.В. Вилков, Ю.А. Нагель // Письма в ЖТФ. – 2004. – Т.30, вып 5. – С. 88–94.

20. Наугольных К.А. Электрические разряды в воде / К.А. Наугольных, Н.А. Рой. – М.: Наука, 1971. – 155 с.

21. Горячев В.Л. О фотолитических свойствах импульсного разряда в воде / В.Л. Горячев, Ф.Г. Рутберг, А.А. Уфимцев // Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24, № 3. – С. 91-95.

22. Голубничий П.И. Долгоживущие светящиеся образования внутри пульсирующей каверны, иницированной мощным энерговыделением в воде / П.И. Голубничий, В.М. Громенко, Ю.М. Крутов. // ДАН СССР. – 1990. – Т. 311, № 2. – С. 356–360.

23. Голубничий П.И. Спектры послеразрядной плазмы в воде и их анализ / П.И. Голубничий, В.М. Громенко, Т.С. Семиохина, А.П. Снижко // Вестник ВНУ им. В. Даля. – 2006. – № 6, Ч.2. – С. 147–151.

24. Самойлович В.И. Физическая химия барьерного разряда / В.И. Самойлович, К.В. Гибалов, В.К. Козлов. – М.: Изд-во МГУ. – 1989. – 176 с.

25. Иванников А.А. Применение тлеющего разряда для обеззараживания воды / А.А. Иванников, В.М. Лелевкин, А.В. Токарев, В.А. Юданов // Сборник материалов 3-го международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии молодых ученых России и стран СНГ. – С. 463 - 464. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.isuct.ru/istapc2005/proc/6-6.pdf>.

26. Корнев Я.И. Обработка воды импульсными разрядами в водо-воздушном потоке / Я.И. Корнев // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2005.

27. Корнев Я.И. Барьерный разряд в водо-воздушной среде и его применение в технологии очистки воды / Я.И. Корнев, Н.А. Яворовский, М.Б. Хаскельберг, П.А. Хряпов, Б.Н. Чен.

28. Э.А. Азизов, В.А. Годонюк, А.И. Емельянов, А.Ф. Настоящий. // ТВТ. – 1994. – Т. 32, в. 5. – С. 643.

29. Азизов Э.А. Особенности пленочного разряда вдоль поверхности затопленной струи воды / Э.А. Азизов, А.И. Емельянов, А.Ф. Настоящий, В.А. Ягнов. // Материалы ХХІХ Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС. – 2002.

30. Ушаков В.Я. Импульсный пробой жидкостей. Томск, 1975. – 255 с.

31. Баринев Ю.А. О возможности очистки воды от поверхностных загрязнений нефтепродуктами с помощью электрического разряда в открытой атмосфере / Ю.А. Баринев, В.Б. Каплан, С.М. Школьник // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т. 31, в. 16. – С. 26-32.

32. Канарев Ф.М. Вода – источник энергии / Ф.М. Канарев // Труды Конгресса 2000. Фундаментальные проблемы естествознания и техники. – Спб., 2001. – С. 350-374.

Стаття надійшла 30.09.2008 р.

Рекомендовано до друку д.ф.-м.н., проф.
Слізаровим О.І.