

<https://doi.org/10.15407/10.15407/geotech2021.34.099>

УДК 53.047+628.16

## Чарний Д.В., Ярошук Д.А., Пугач О.В., Смірнова Г.Ф., Мусіч О.Г., Стоколос М.О., Ніколенко В.А., Тіщенко І.В. Чернова Н.М.,

**Чарний Д.В.**, д.т.н., с.н.с., Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID:0000-0001-6150-6433, dmitriyuch10@gmail.com

**Ярошук Д.А.**, інженер., Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID:0000-0003-0190-8611, mitya.yaroshchuk@gmail.com

**Пугач О.В.**, м.н.с., Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID:0000-0002-1378-3820, pav281082@gmail.com

**Смірнова Г.Ф.**, с.н.с., кандидат біологічних наук, «Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України» ORCID:0000-0001-9402-9821, gf-smirnova@ukr.net

**Мусіч О.Г.**, с.н.с. кандидат біологічних наук, ДУ «ІГНС НАН України» ORCID:0000-0003-3874-741X, nad79eva@ukr.net

**Стоколос М.О.**, м.н.с., Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» ORCID:0000-0002-0471-1526, IGNS\_Stokolos@nas.gov.ua

**Ніколенко В.А.**, провідний інженер, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID:0000-0002-9714-147X, borey@i.ua

**Тіщенко І.В.**, головний технолог, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» ORCID:0000-0002-1943-5333, biriuk@i.ua

**Чернова Н.М.**, к.т.н., доцент, Національний університет харчових технологій, ORCID: 0000-0002-5197-3430, notochka@ukr.net

## ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАЗМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ

На сьогоднішній день через низьку ефективність використовуваних технологій знезараження сполуками, які містять хлор, враховуючи зростаючу кількість хлоррезистивних мікроорганізмів, актуальним є питання впровадження альтернативних методів знезараження у сфері водопостачання та водовідведення. Одним із таких альтернативних методів є обробка рідин плазмою розряду електричного струму. У статті описано наші дослідження з обробки різних типів води з поверхневих джерел у м. Києві та води, навмисно зараженої кишковою паличкою (*Escherichia coli* (*E. coli*)). Дослідження проводилися на лабораторній установці з циркуляційним насосом та реактором ежекторного типу з інтегрованими електродами, в якому відбувається формування водопровідної суміші, якою проходить електричний розряд. Реактором знезараження і одночасно пристроєм утворення гетерогенного водопровідного середовища слугує ежектор із введеними у нього електродами, на які надходять імпульси електричного струму. Розряди ініціюють цілий спектр різних фізико-хімічних явищ, таких як сильне електричне поле, інтенсивне ультрафіолетове випромінювання, ударні хвилі надлишкового тиску і, особливо, утворення різних високоактивних хімічних речовин, таких як радикали ( $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}\cdot$ ,  $\text{O}\cdot$ ) і молекули ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ). Усі ці фізико-хімічні процеси, які відбуваються протягом самого розряду, наприклад, утворення і дія короткоживучих радикалів, та дія порівняно довгоживучих окислювачів. Вивчення впливу концентрації мікроорганізмів на швидкість і повноту знезараження води проводили на технічній (водопровідній) воді з внесеним до реакційної ємності змиву з двох пробірок тест-культури. Це забезпечило початкову концентрацію *E. coli*  $3,4 \cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>. Обробка води протягом 30 секунд знизила концентрацію мікроорганізмів на два порядки (до  $5,4 \cdot 10^4$ ). Через 1 хвилину обробки цей показник знизився до  $1,7 \cdot 10^2$ , а після закінчення 3 хвилин у пробах реєстрували  $5,2$  КУО/см<sup>3</sup>, тобто оброблена вода відповідала показникам практично чистої води. Дослідження довели ефективність знезараження плазмовим методом навіть для рідин із концентрацією мікроорганізмів, яка значно перевищує гранично допустимі. Вміст мікроорганізмів до та після обробки встановлювали методом граничного розведення зразків із подальшим висіванням на поживному середовищі в чашках Петрі

**Ключові слова:** вода, водопостачання, знезараження, бактерії, плазма, електричний розряд.

**Вступ.** Сучасний напружений санітарно-епідемічний стан обумовлений низкою факторів, у тому числі і зниженням ефективності дії класичних хлорвмісних дезінфектантів. Це зумовлено масовим розповсюдженням хлоррезистивних форм патогенних мікроорганізмів, прискоренням їх еволюції з утворенням усе більш стійких штамів. Відповідно масове поширення хлоррезистивних мікроорганізмів поки що провокує екстенсивний розвиток систем знезараження, здебільшого проблему намагаються

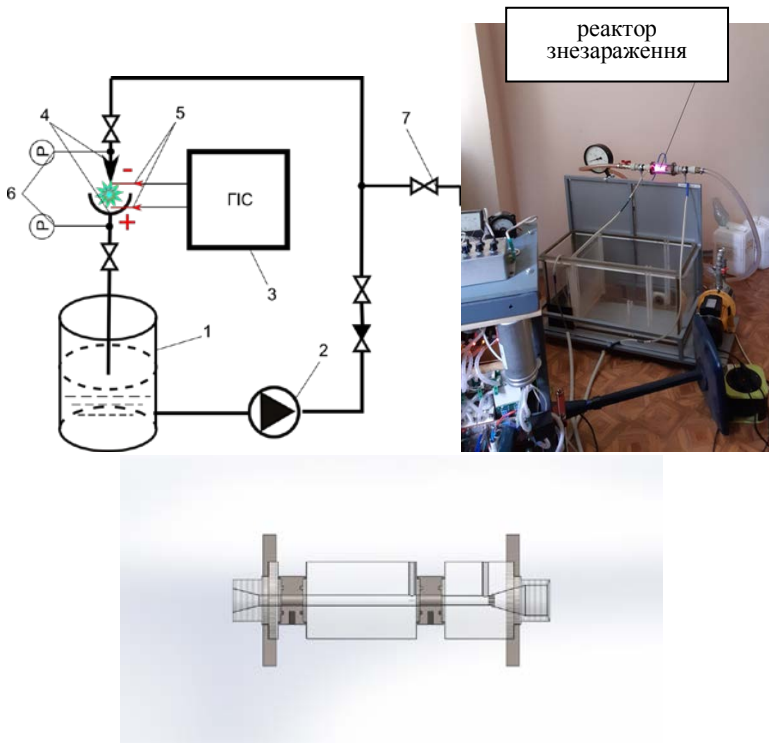
вирішити, застосовуючи все більш токсичні, дорогі і шкідливі у всіх відношеннях дезінфектанти.

Відповідно, розробка підходів і апаратів на нових технологічних засадах, що гарантують стабільне знезараження широкого спектру мікроорганізмів у природній та стічній водах, а також в інших супутніх рідких середовищах, є надзвичайно актуальним напрямом досліджень.

Одним із можливих технологічних напрямів є використання високоенергетичної обробки води під

час електричного розряду. Особливо привабливим цей напрям стає, якщо врахувати існування значного, недостатньо задіяного у сфері водоочищення, вітчизняного потенціалу енергогенеруючих потужностей, у тому числі (можливо, і головним чином) АЕС.

**Метою роботи** була експериментальна перевірка гіпотези щодо ефективності застосування методу знезараження води за допомогою впливу холодної плазми імпульсного електричного розряду у гетерогенному водоповітряному середовищі.



**Рис. 1.** Принципова схема установки обработки воды плазмой импульсного искрового разряда. 1 - резервуар для воды; 2 - водяной насос; 3 - генератор высокочастотного импульсного тока; 4 - эжектор (реактор обеззараживания); 5 - электроды; 6 - манометры; 7 - кран для отбора проб.

**Fig. 1.** Schematic diagram of the unit for water treatment with plasma pulsed spark discharge. 1 - water tank; 2 - water pump; 3 - high-frequency pulse current generator; 4 - ejector (disinfection reactor); 5 - electrodes; 6 - manometers; 7 - crane for sampling.

Електроди з нержавіючої сталі розташовано у вакуумній зоні камери змішування ежектору. В ежекторі відбувається кавітаційне «скипання» потоку оброблюваної води, що забезпечує утворення водоповітряної суміші у вакуумній зоні ежектору. Утворена таким чином водоповітряна суміш дозволяє суттєво зменшити витрати електроенергії на генерацію і підтримку плазми у порівнянні з розрядами у чисто водному середовищі [1–4]. У процесі генерації плазми електричними розрядами у водоповітряному середовищі виникає ціла низка фізичних і хімічних чинників, які можуть сприяти знезараженню води.

Розряди ініціюють цілий спектр різних фізико-хімічних явищ, таких як сильне електричне поле, інтенсивне ультрафіолетове випромінювання, ударні хвилі надлишкового тиску і, особливо, утворення різних високоактивних хімічних сполук, таких як радикали ( $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{H}^\bullet$ ,  $\text{O}^\bullet$ ,  $\text{HO}_2^\bullet$ ) і молекули ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ) [5–7]. Усі ці фізико-хімічні процеси, які

відбуваються як протягом самого розряду, наприклад, утворення і дія короткоживучих радикалів, а також дія порівняно довгоживучих окиснювачів, подібних до  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ , обумовлюють ефект знезараження води від мікроорганізмів, що піддається подібній обробці. Зокрема загально відомим є те, що молекулярні види окиснювачів, такі як озон ( $\text{O}_3$ ), перекис водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) та  $\text{OH}^\bullet$  радикал є основними окислювачами у процесах очищення води, вони ефективно деструктують цілі спектри органічних сполук, таких як феноли, нафтопродукти, жири, ліпіди, синтетичні барвники тощо. Відповідно існує об'єктивне підґрунтя для припущення, що застосування подібної обробки забезпечить високу ефективність під час знезараження води фактично від усіх видів і форм мікроорганізмів: вірусів, бактерій, грибів, водоростей, цист, простіших тощо.

Експериментальну установку реалізовано на базі камери реактору у формі ежектору. Його продуктивність  $0,45 \text{ м}^3/\text{год}$  за робочого тиску на вході

ежектора 0,3 МПа. Об'єм води, яка піддавалась обробці, становив 5 літрів. Загальна тривалість вихідних імпульсів генератору струму становила  $5 \div 7$  мкс, частота проходження імпульсів 15 кГц, амплітуда імпульсів близько 5 кВ.

Перед початком роботи, а також після кожного досліду установка промивалася водою, оброблялася сумішшю з рівних об'ємів спирту  $C_2H_5OH$  (96%) і перекису водню  $H_2O_2$  (30%), потім триразово промивалася простерилізованою водопровідною водою і стерильною дистильованою водою.

Тест-об'єктом слугувала культура *Escherichia coli*, штам В-926, із колекції Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ.

Досліди проводилися на модельних зразках водопровідної води (надалі технічної) з висіванням добової культури *E. coli*, вирощеної на м'ясо-пептонному агарі (МПА), а також на природних водах: річкової – річки Дніпро, що була відібрана в середині липня 2020 р. у прибережній зоні парку ім. Примакова м. Києва поблизу мосту ім. Патона. Проби озерної води було відібрано у той же період року з озера Середнє, яке входить до каскаду Голосіївських озер. Додатково було проведено дослідження з річковою водою, витриманою (відстояною) в лабораторних умовах протягом 21 доби.

Для водопровідної води змив культури переносили в стерильний флакон і ретельно струшували, щоб уникнути утворення в реакційній ємності стійких конгломератів, грудочок біомаси, що могло б призвести до викривлення результатів. Після внесення бактеріальної культури вміст ємності добре перемішували і асептично відбирали пробу для визначення початкової концентрації у воді тест-культури. Початкова концентрація мікробної культури, а також вміст мікроорганізмів після впливу плазми в дослідах визначали методом граничних розведень води.

Вплив концентрації мікробного забруднення вивчали на зразках технічної води, куди вносили змив із двох пробірок культури *E. coli* В-926 на МПА, а також подвійну кількість біомаси.

Воду з природних джерел відбирали в стерильні ємності і доставляли у лабораторію в охолодженому стані. До обробки зразки води зберігалися в холодильнику.

Загальне мікробне число вихідних зразків води, а також після впливу на них плазми обчислювали методом граничних розведень, тобто в усіх проведених дослідах із відібраних зразків готували десятикратні розведення, а саме для отримання розведень брали кілька пробірок, що містять по  $9 \text{ см}^3$  стерильної водопровідної води. Досліджувану воду

об'ємом  $1 \text{ см}^3$  вносили в першу пробірку, отримавши розведення 1:10, потім із цієї пробірки переносили  $1 \text{ см}^3$  у наступну і т.д. Для приготування кожного розведення використовували нову стерильну піпетку. Далі  $0,1 \text{ см}^3$  води кожного розведення висівали на відповідне середовище (Ендо або МПА) з триразовою повторюваністю. Посіви інкубували 24 години за температури  $37^\circ\text{C}$ . Після інкубації підраховували сумарну кількість колоній і вираховували загальне мікробне число за формулою:

$$X = \frac{A \cdot B}{V}, (1),$$

де: X - загальне мікробне число, КУО/см<sup>3</sup>; A – середня кількість колоній з повторень, B – розведення проби, V – кількість посівного матеріалу, (см<sup>3</sup>).

Технічну воду висівали на середовище Ендо, елективне для кишкової палички, а зразки природних вод – на МПА для визначення загального мікробного числа, а також на середовище Ендо для реєстрації наявності свіжого фекального забруднення.

Проби шифрувалися наступним чином: загальне мікробне число – ZM; D – проба річкової води з річки Дніпро; O – проба з озера; T – проба технічної води; D21 – проба річкової води з річки Дніпро, що була відстояна 21 добу; вміст *E. coli* - Ecol. Тобто ZMD21 відповідає пробі води річкової на загальне мікробне число, яка була відстояна 21 добу; EcolD21 відповідає пробі води річкової, яка була відстояна 21 добу на вміст *E. Coli*.

### Результати і обговорення

Вивчення впливу концентрації мікроорганізмів на швидкість і повноту знезараження води проводили на технічній (водопровідній) воді зі внесенням до реакційної ємності змиву з двох пробірок тест-культури. Це забезпечило початкову концентрацію *E. coli*  $3,4 \cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>. Обробка води протягом 30 секунд знизилася концентрація мікроорганізмів на два порядки (до  $5,4 \cdot 10^4$ ). Через 1 хвилину обробки цей показник знизився до  $1,7 \cdot 10^2$ , а після закінчення 3 хвилин у пробах реєстрували  $5,2$  КУО/см<sup>3</sup>, тобто оброблена вода відповідає показникам практично чистої води [8–12].

Для з'ясування впливу ступеня забруднення на характер знезараження води, в технічну воду було внесено збільшену кількість тест-культури. Це забезпечило початкову концентрацію клітин  $8 \cdot 10^7$  КУО/см<sup>3</sup>, що відповідає характеристиці «сильно забруднена вода» [13]. Це призвело до зниження швидкості знезараження води. Результати дослідів наведено у вигляді графіків (рис. 2, 3) залежності зміни кількості колонієутворюючих одиниць, життєздатних мікроорганізмів у досліджуваних пробах від часу впливу плазми електричного розряду.

Проби озерної води були прозорі, злегка жовтуваті, також іноді зустрічалися залишки рослин. Проби було перевірено на загальне мікробне число, а також на наявність свіжого фекального забруднення. Аналізи показали, що вода, відібрана в парковій зоні на відстані від джерел потрапляння забруднень, за мікробіологічними показниками була досить чистою, КУО в пробах виявилось не набагато порядків більшим за вимоги до питної води 100 КУО/см<sup>3</sup> [8]. Для з'ясування впливу тривалого відстоювання природної річкової води на мікробіологічні показники і ефективності плазмового знезараження даної води проведено дослідження обробки відстоюної 21 добу дніпровської води. Результати обробки зразків наведено (рис. 2,3).

Дослідами встановлено, що тривале зберігання асептично відібраної проби води призвело до зниження загального мікробного осіменіння, значно знизилася видова різноманітність бактерій; після зберігання на середовищі МПА спостерігалось зростання 2-3 видів колоній, часто з ростом, характерним для спорових бактерій, хоча під час висіву свіжої річкової води на одній чашці можна було спостерігати 7-12 колоній різних видів, без переваги спорових бактерій. На середовищі Ендо кишкова паличка перестає висіватися досить швидко; спостерігалось зростання грамнегативних, оксидазопозитивних мікроорганізмів, однак для остаточного висновку про приналежність цих бактерій до кишкової групи необхідно провести додаткові дослідження.

У той же час вода, що пройшла обробку плазмою і зберігалася 7 діб в умовах лабораторії без дотримання стерильних умов, показала сплеск осіменіння, в тому числі і кишкової палички. Висів цієї води на МПА показав  $1,9 \cdot 10^5$ , на середовищі Ендо –  $4,1 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup>.

Для встановлення статистично достовірних показників зв'язку часу обробки плазмою з кількістю життєздатних колонієутворюючих одиниць мікроорганізмів, було проведено кореляційний аналіз за параметричним методом Пірсона і непараметричним методом Спірмена. Результати кореляційного аналізу наведено у вигляді таблиці 1.

**Таблиця 1.** Результати кореляційного аналізу зв'язку часу обробки плазмою – кількість колонієутворюючих одиниць мікроорганізмів отримані методами Пірсона і Спірмена

**Table 1.** The results of correlation analysis of the relationship of plasma treatment time - the number of colony-forming units of microorganisms obtained by the methods of Pearson and Spearman.

Методи	t	ZMT	ZMO	E. coli O	ZMD	E col D	ZMDV21	E. coli D21
Пірсона	1,000	-0,656	-0,634	-0,625	-0,665	-0,675	-0,638	-0,625
Спірмена	1,000	-1,000	-1,000	-0,894	-1,000	-1,000	-0,986	-0,655

Відповідно сила зв'язку, встановлена за методом Пірсона між часом обробки плазмою і кількістю колонієутворюючих одиниць мікроорганізмів, відповідає середньому значенню. У той же час кореляція за Спірманом показує майже досконалий зв'язок між часом обробки плазмою і кількістю колонієутворюючих одиниць мікроорганізмів.

### Висновки і обговорення

1. Усі типи зразків були досить швидко знезаражені, також було статистично достовірно підтверджено суттєвий зв'язок між часом обробки плазмою і кількістю колонієутворюючих одиниць мікроорганізмів поза залежністю від генезу проби, виду та роду мікроорганізмів.

2. Вміст мікроорганізмів суттєво знижується під час зберігання необробленої води, що можливо пояснити тим, що відібрана природна мікрофлора була здебільшого аеробною, а умови зберігання проковували суттєве зниження вмісту розчинного кисню у пробі води, а також знижували її температуру.

3. Вихідна концентрація мікроорганізмів у межах, що ми досліджували, не була визначальним фактором для встановлення часу обробки води. За нашими спостереженнями, склад води, головним чином присутність додаткової органічної складової, суттєво впливає на час обробки. Це можливо пояснити тим, що значна частина синтезованих оксидантів спрацьовується на окислення органічної складової, наприклад, фульвокислот, які формують забарвлення дніпрові чи озерної води. Тобто суттєва частка енергії витрачалась на знебарвлення води.

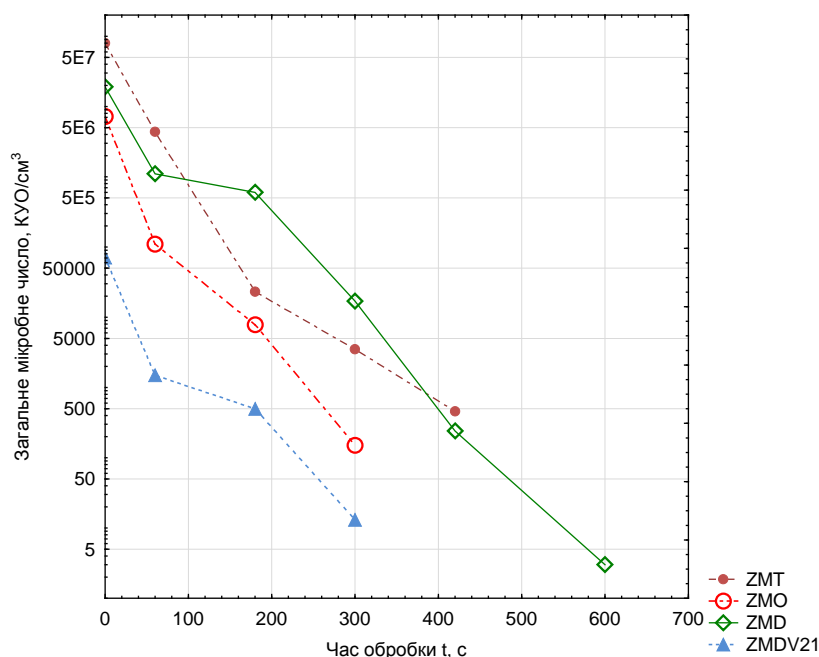
### Скорочення:

КУО – колонієутворюючі одиниці, показник кількості життєздатних мікроорганізмів в одиниці об'єму, наприклад, в 1 см<sup>3</sup> рідини.

МПА – м'ясо- пептонний агар,

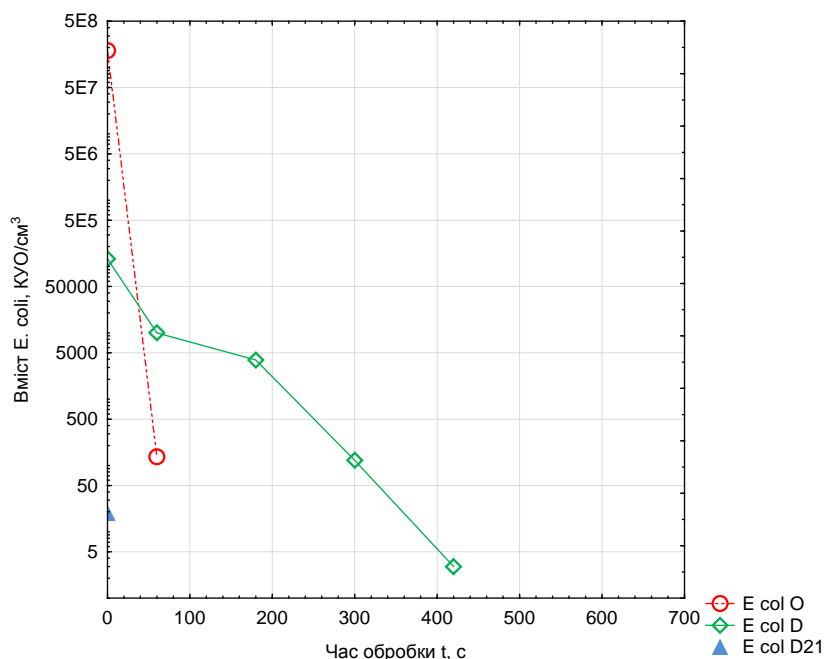
Ендо – (Агар Ендо) поживне середовище яке використовується для виділення та диференціації ентеробактерій за здатністю ферментувати лактозу.

E. coli – Escherichia coli.



**Рис. 2.** Зміна загального мікробного числа колонієутворюючих одиниць, життєздатних мікроорганізмів від часу обробки проби води плазмою електричного розряду.

**Fig. 2.** Change in the total microbial number of colony-forming units, viable microorganisms from the time of treatment of the water sample with electric discharge plasma.



**Рис. 3.** Зміна вмісту колонієутворюючих одиниць, життєздатних E.coli від часу обробки проби води плазмою електричного розряду.

**Fig. 3.** Change in the content of colony-forming units, viable E. coli from the time of processing the water sample with electric discharge plasma.

## Література

1. *Белинский В.В.* Импульсный коронный разряд на поверхность электропроводящей жидкости и его использование для обработки воды. В.В. Белинский, И.В. Божко, Д.В. Чарный. *Технічна електродинаміка*. – 2010. No. 3. P. 21–27.
2. *Божко И.В.* Исследование эффективности очистки воды от органических примесей импульсными разрядами / И. В. Божко, Д. В. Чарный. *Технічна електродинаміка*. 2013. No. 3. P. 81–86.
3. *Bereka V.* Efficiency of plasma treatment of water contaminated with persistent organic molecules / V. Bereka, I. Boshko, D. Chamy. *Journal of Environmental Engineering and Science*. 2020. Vol. 15, No. 3. 1–8. P. 91–100.
4. *Божко И.В.* SOS-генератор для электроразрядных технологий на основе импульсного бар'єрного разряда / И.В.

Божко, В. И. Зозулев, В. В. Кобильчак. *Технічна електродинаміка*. 2016. No. 2. P. 63–68.

5. *A. Fridman.* Plasma chemistry, Cambridge university press, ISBN 978-0-521-84735-3, 2008.
6. *B.R. Locke, M. Sato, P. Sunka, M.R. Hoffmann, J.S. Chang.* Electrohydraulic discharge and nonthermal plasma for water treatment. *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 20, pp.1-15, 2006 .
7. *Ruma, P. Lukes, N. Aoki, E. Spetlikova, S. H. R. Hosseini, T. Sakugawa and H. Akiyama,* Effects of pulse frequency of input power on the physical and chemical properties of pulsed streamer discharge plasmas in water, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 46, pp. 1-10, 2013.
8. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. 2010.
9. *Кашицева М.Л.* Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (гдк) и

ориентировочно безопасных уровней воздействия (обув) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М. Л. Кашничева, О. А. Черникова, Н. А. Шиленко. М.: ВНИРО, 1999. 304 p.

10. *Красовский Г. Н.* СанПиН no4630–88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения Г. Н. Красовский. 1988.

11. *Захаренко М. О.* Санітарно-гігієнічні вимоги до води та водопостачання сільськогосподарських підприємств. Навчальний посібник. М.О. Захаренко, В.М. Поляковський, Л.В. Шевченко. Вінниця :Видавничий центр ВНАУ, 2012. 244 p.

12. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. 2007.

13. *Антипчук А. Ф.* Водна мікробіологія . А.Ф. Антипчук, І.Ю. Кіреєва. К.: Кондор, 2005. 256 p.

#### Reference

1. Belinskiy V. V., I. V. Bozhko, D. V. Charnyy (2010). *Tekhnichna elektrodinamika*. No. 3. P. 21–27.

2. Bozhko I. V., Charnyy D. V. (2013). *Tekhnichna elektrodinamika*. No. 3. P. 81–86.

3. Bereka V., I. Boshko, D. Charny, (2020) *Journal of Environmental Engineering and Science*. Vol. 15, No. 3. 1-8. P. 91–100.

4. Bozhko Í. V., V. Í. Zozulev, V. V. Kobil'chak (2016) *Tekhnichnayeletrodinamika*. No. 2. P. 63–68.

5. A. Fridman. *Plasma chemistry*. Cambridge university press, ISBN 978-0-521-84735-3, 2008.

6. B. R. Locke, M. Sato, P. Sunka, M.R. Hoffmann, J.S. Chang. *Electrohydraulic discharge and nonthermal plasma for water treatment*. *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 20, pp.1-15, 2006 .

7. Ruma, P. Lukes, N. Aoki, E. Spetlikova, S. H. R. Hosseini, T. Sakugawa and H. Akiyama. (2013) *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 46, pp. 1-10.

8. DSanPiN 2.2.4-171-10. *Gígíєníchní vymogi do vodi pitnoí, priznachenoi dlya spozhivannya lyudinoyu*. 2010.

9. Kashnitseva M. L. (1999). М.: VNIRO, 304 p.

10. Krasovskiy G. N. SanPiN no4630–88. *Sanitamyye pravila i normy okhrany poverkhnostnykh vod ot zagryazneniya* . G. N. Krasovskiy. 1988.

11. Zakharenko M. O., V. M. Polyakovskiy, L. V. Shevchenko. *Vinnitsya :Vidavnichiy tsentr VNAU*, 2012. 244 p.

12. DSTU 4808:2007. *Dzherela tseentralizovanogo pitnogo vodopostachannya. Gígíєníchní ta ekologíchní vymogi shchodo yakosti vodi í pravila vibirannya* . 2007.

13. *Антипчук А. Ф.* *Vodna mikrobiologiya* . A. F. Antipchuk, Y.U. Kíreéva. K.: Kondor, 2005. 256 p.

#### DISINFECTATION OF DRINKING WATER BY ELECTRIC DISCHARGE PLASMA

*D. Charny, D. Yaroshchuk, O. Puhach, G. Smirnova, O. Musich, M. Stokolos, V. Nikolenko, I. Tishchenko, N. Chernova*

**Charny D.V.**, Dr. Sci., senior researcher, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID: 0000-0001-6150-6433, dmitriych10@gmail.com

**Yaroshchuk D.A.**, engineer, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID: 0000-0003-0190-8611, mitya.yaroshchuk@gmail.com

**Puhach O.V.**, junior researcher., State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID: 0000-0002-1378-3820, pav281082@gmail.com

**Smirnova G.F.**, senior researcher, candidate of biological sciences, "Institute of Microbiology and Virology. DK Zabolotny NAS of Ukraine" ORCID: 0000-0001-9402-9821, gf-smirnova@ukr.net

**Musich O.G.**, senior researcher, Candidate of Biological Sciences, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID:0000-0003-3874-741X, nad79eva@ukr.net

**Stokolos M.O.**, junior researcher., State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID: 0000-0002-0471-1526, IGNS\_Stokolos@nas.gov.ua

**Nikolenko V.A.**, leading engineer, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine" ORCID: 0000-0002-9714-147X, borey@i.ua

**Tishchenko I.V.**, main technologist, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine" ORCID: 0000-0002-1943-5333, biriuk@i.ua

**Chernova N.N.**, PhD, associate professor, National university of food technologies, ORCID: 0000-0002-5197-3430, notochka@ukr.net

*For today, taking into account the low efficiency of the disinfection technologies using chlorine-containing compounds and the growing number of chlorine-resistant microorganisms, the question of introducing alternative methods of disinfection in the field of water supply and drainage is relevant. One such alternative method is the treatment of liquids with plasma of electric discharge. This article describes our experiments on the treatment of different types of water from surface sources in Kyiv and water intentionally infected with Escherichia coli (E. coli). The experiments were performed on a laboratory installation with a circulating pump and an ejector-type reactor with integrated electrodes. In the reactor a water-air mixture is formed, in which an electric discharge takes place. The disinfection reactor and at the same time the device for the formation of a heterogeneous water-air environment is an ejector with electrodes inserted into it, which receive pulses of electric current. Discharges initiate a range of different physicochemical phenomena, such as a strong electric field, intense ultraviolet radiation, shock waves of excess pressure and, in particular, the formation of various highly active chemicals such as radicals (OH •, H •, O •) and molecules (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>). All these physicochemical processes occur during the discharge itself, for example, the formation and action of short-lived radicals, as well as the action of relatively long-lived oxidants. The effect of the concentration of microorganisms on the rate and completeness of water disinfection was studied in technical (tap) water with the introduction into the reaction tank of the washoff from two test tubes. This provided an initial concentration of E. coli of 3.4 · 10<sup>6</sup> CFU / cm<sup>3</sup>. Water treatment for 30 seconds reduced the concentration of microorganisms by two orders of magnitude (up to 5.4 · 10<sup>4</sup>). After 1 minute of treatment, this figure decreased to 1.7 · 10<sup>2</sup>, and after 3 minutes to 5.2 CFU / cm<sup>3</sup>, i.e., the treated water corresponded to norms for almost pure water. Experiments have proven the effectiveness of plasma disinfection, even for liquids with a concentration of microorganisms significantly exceeding the maximum allowable concentrations. The content of microorganisms before and after treatment was determined by the method of limiting dilution of samples with subsequent sowing on a nutrient medium in Petri dishes.*

**Key words:** water, water supply, disinfection, bacteria, plasma, electrical discharge.