

[https://doi.org/10.15407/\\_](https://doi.org/10.15407/_)  
УДК 53.044+628.16

## Забулонов Ю.Л., Чарний Д.В., Одукалець Л.А., Ярошук Д.А., Пугач О.В., Архипенко О.М., Чернова Н.М.

Забулонов Ю.Л., д.т.н., чл.-кор. НАН України, проф., ДУ «ІГНС НАН України», ORCID:0000-0002-4517-9927, Zabulonov@nas.gov.ua

Чарний Д.В., д.т.н., с.н.с., ДУ «ІГНС НАН України», ORCID:0000-0001-6150-6433, dmitriych10@gmail.com

Одукалець Л.А., н.с., ДУ «ІГНС НАН України», ORCID:0000-0003-2569-6406, laoduk@i.ua

Ярошук Д.А., інженер., ДУ «ІГНС НАН України», ORCID:0000-0003-0190-8611, mitya.yaroshchuk@gmail.com

Пугач О.В., м.н.с., ДУ «ІГНС НАН України», ORCID:0000-0002-1378-3820, pav281082@gmail.com

Архипенко О.М., м.н.с., ДУ «ІГНС НАН України», ORCID:0000-0003-0955-3704, Archipenko@nas.gov.ua

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

### ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ УМОВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ХЛОРОФОРМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБРОБКИ ПЛАЗМОЮ В АЕРОЗОЛІ

Сталий розвиток будь-якої країни можливий лише за умови стабільного забезпечення її населення питною водою у відповідній до його потреб кількості та нормативній якості. Це питання є важливим для України як маловодної держави, особливо при негативному впливі кліматичних і антропогенних чинників на якість води. Насамперед це стосується поверхневих джерел водопостачання загалом і передусім Дніпровського каскаду водосховищ. Зарегулювання р. Дніпро, глобальне потепління і збільшення антропогенного навантаження у вигляді значного (у рази) підвищення поліфосфатів і азотних сполук у стоках, що потрапляють у р. Дніпро, провокує катастрофічне розмноження ціанобактерій протягом чотирьох-п'яти місяців на рік. Застарілі технології водопідготовки не здатні боротися з цим фактором і застосовують єдиний можливий технологічний прийом, придатний для боротьби з підвищеним вмістом органічної речовини будь-якого тенеузу – збільшення дози хлору і коагулянтів. Це зазвичай не покращує якість очищення води, а призводить до сталого формування хлорорганічних сполук у процесі очищення і транспортування води. Сталим маркером тригалогенметанів є хлороформ, і його концентрація традиційно визначається лабораторіями водоканалів. Відповідно ми дослідили можливості окиснення хлороформу за допомогою комплексних окисдантів, утворених при плазмовому розряді у водопровідній середовищі в змішувальній камері ежектора. Вивчає вплив рН середовища на процес деструкції хлороформу. Експериментально встановлено, що навіть слабо кисле середовище не дозволяє ефективно окиснювати хлороформ і призводить до його рекомбінації і навіть збільшує його концентрацію. У той же час у лужному середовищі процес окиснення відбувається інтенсивно і з меншими енерговитратами.

**Ключові слова:** вода, водопостачання, фітопланктон, хлорорганіка, хлороформ, плазма, розряд, окиснення.

**Постанова питання.** На сьогодні ризик для здоров'я населення від споживання питної води ненормативної якості в Україні є дуже високим, оскільки стан водопостачання та якість питної води залишаються незадовільними [1–4], а в окремих районах – критичними.

Узагальнення моніторингових досліджень якості водопровідної питної води України за останні роки виявило зростання частоти відхилень від гігієнічних вимог за санітарно-хімічними та бактеріологічними показниками. Збільшення кількості невідповідних за санітарно-хімічними показниками проб відбувається за рахунок хлорорганічних сполук (ХОС). Пріоритетними серед ХОС вважаються тригалогенметани, маркером яких є хлороформ (ХФ). Питома вага проб водопровідної питної води (за даними лабораторії гігієни природних, питних вод ДУ

«Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України») [4, 5], якість яких не відповідає гігієнічним вимогам за санітарно-токсикологічними показниками, найбільша для хлороформу (36,6 %, усього було досліджено 3353 проби).

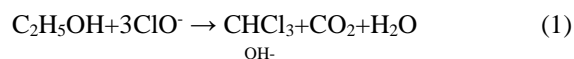
Причиною підвищених концентрацій ХОС у питній воді є високі концентрації органічних речовин у поверхневій воді, що використовується на водопровідних очисних спорудах в якості вихідної, а також технології її очищення, де одними з головних реагентів виступають хлор або хлорвмісні сполуки. В Україні майже 80 % населення використовує для господарсько-питних потреб очищену воду р. Дніпро [6] з високим вмістом органічних речовин. Це обумовлено цілою низкою природних та антропогенних чинників. У вихідній дніпровській воді водопровідних станцій середня концентрація

органічних речовин за ХСК у 1,5-2,0 рази більша за максимально допустиму (15 мг/л) [4, 7, 8]. Саме на ці 15 мг/л розраховані традиційні технології водоочищення. У майбутньому, зокрема через зміни клімату, прогнозується подальше підвищення показників органічного забруднення дніпровської води. До того ж традиційні підходи обробки питної води на водопровідних станціях не змінюються з кінця 50-тих років минулого сторіччя. Відповідно до цих технологій хлор використовують для первинного хлорування і знебарвлення вихідної води та для її кінцевого знезараження. Використання хлору для знезараження водопровідної питної води поширене в усьому світі. Таким чином, в Україні наявні всі передумови до подальшого загострення проблем, пов'язаних із підвищеним вмістом ХОС у питній воді. За результатами проведених співробітниками лабораторії гігієни природних питних вод Зоріної О.В., Прокопова В.О. та ін. досліджень встановлено, що у населених пунктах, де на водопровідних станціях використовують дніпровську воду в якості вихідної та рідкий хлор для знезараження, рівні ХФ у питній воді становлять 2-5 ГДК (ГДК – 60 мкг/л) [5, 9], що є небезпечним для здоров'я споживачів. Водопровідна питна вода України, яка містить ХФ у концентраціях 120-180 мкг/л, несе ризик виникнення додаткових випадків онкозахворювань у людей ( $1,8-2,4 \times 10^{-4}$ ) [5, 7, 10-13]. Дослідженнями виявлено вплив хлорованої питної води, забрудненої ХФ, на онкозахворюваність населення, зокрема, на рак ободової кишки та органів сечовивідної системи у зв'язку з тривалим вживанням такої питної води. Крім того, останніми роками в усьому світі простежується тенденція до зниження гігієнічних нормативів ХОС у питній воді, що обумовлено результатами медико-біологічних досліджень та накопиченням нових наукових даних з безпеки цих токсикантів.

**Цим підтверджено доцільність проведення дослідів зі зниження концентрації ХОС у питній воді на прикладі ХФ як маркера тригалогенметанів, які синтезуються в процесі підготовки вихідної води.** Синтез ХФ у поверхневій воді в процесі її хлорування можливо пояснити взаємодією хлор газу чи гіпохлориту натрію з органічними домішками, що присутні у природній воді у вигляді як розчинних сполук, так і нерозчинних біологічних об'єктів [9, 14-18], подібних до фітопланктону.

Під час взаємодії з цими органічними чинниками хлоровмісних реагентів у процесі окиснення утворюються такі проміжні продукти, як кетони (ацетон) та спирти. Відповідно ми маємо наступні реакції [18–20], які пояснюють шляхи формування ХФ:

- 1) Взаємодія водного розчину хлору (гіпохлориту) з етанолом



- 2) Взаємодія водного розчину хлору з ацетоном



Традиційним шляхом зниження концентрації ХФ є застосування адсорбентів, найчастіше активованого вугілля. Проте, попередня адсорбція не вирішує питання зниження ХФ у водопровідних мережах під час транспортування води до кінцевого споживача. Цей підхід майже непридатний для використання в сучасних економічних умовах України, оскільки є досить дорогим процесом, що сильно здорожує воду.

Кращими в цьому відношенні виглядають безреагентні методи з використанням сильних окисників, здатних окиснювати ХФ. Найбільш перспективними є методи високоенергетичної обробки води за допомогою низькотемпературної плазми.

Плазма, отримана за допомогою імпульсного електричного розряду, утворює високоактивні частинки з окисними потенціалами  $\phi$  вище, ніж у кисню  $O_2$  (1,2 В): пероксид водню  $H_2O_2$  (1,8 В), озон  $O_3$  (2,1 В), гідроксильний радикал  $OH^\cdot$  (2,7 В) (символ  $^\cdot$  означає, що частинка знаходиться в високоенергетичному збудженому стані) [21-23]. Присутність цих речовин та їх концентрація є визначальними факторами для окиснювання забруднень у воді.

Аналіз механізмів розкладання органічних домішок у воді показує, що основними окиснювачами є  $O_3$ ,  $OH^\cdot$  та  $H_2O_2$ . Ці реакції та їх інтенсивність визначаються параметрами розряду в газовій частині міжелектродного проміжку. Так, наприклад, реакції, внаслідок яких утворюється озон у газі, що містить кисень, можливі тільки тоді, коли енергія електрону  $e$ , яку він отримує в електричному полі, буде вища за порогову енергію порогу  $O$ , що становить 5,14 еВ і потрібна для дисоціації кисню [22, 24, 25]. Швидкість утворення  $O^*$  визначається рівнянням(3):

$$d[O^*]/dt = k[n_e][O_2], \quad (3),$$

де  $[O^*]$ ,  $[O_2]$ ,  $[n_e]$  – відповідно концентрації  $O^*$ ,  $O_2$  та електронів,  $k$  – константа швидкості реакції (3), яка має експонентну залежність від напруженості електричного поля  $E$  в газі.

У свою чергу, внесок реакційних частинок у розкладання хлорорганічних домішок у воді залежить не тільки від їх потенціалу  $\phi$ , а й від їх концентрацій. Так, наприклад, при реакції окислення домішки  $D$

озоном, згідно основного рівняння хімічної кінетики, швидкість зменшення концентрації домішки  $[D]$  буде дорівнювати:

$$d[D]/dt = -k_p[D][O_3], \quad (4),$$

де  $k_p$  – константа швидкості реакції (4), яка залежить від окисного потенціалу озону та виду домішки,  $[O_3]$  – концентрація озону,  $t$  – час.

Таким чином, напруженість електричного поля  $E$  є одним із головних параметрів, що визначає швидкість деструкції домішок під дією плазми.

#### Методика проведення експериментів.

Експерименти з плазмової обробки води з підвищеними концентраціями ХФ проведено на модельних розчинах. Модельний розчин № 1 моделює вихідну воду р. Дніпро після первинного хлорування і знебарвлення в період максимального «цвітіння» фітопланктону. Модельний розчин № 2 моделює склад води, який за вмістом ХФ відтворює воду, що формується у тупикових відгалуженнях водопровідних мереж м. Києва.

Модельний розчин № 1: вода, відібрана з р. Дніпро, із вмістом клітин фітопланктону 1978722 кл/см<sup>3</sup>, була оброблена розчином 15% гіпохлориту натрію в пропорції 120 мл на 5 л вихідної води і відстояна 3 доби до повного окиснення колоній ціанобактерій (до досягнення візуальної прозорості). Після цього модельний розчин заливався в реактор і оброблявся протягом 8 хв. Для аналізу концентрацій ХФ періодично відбирались проби води через 2; 4 та 8 хвилин.

Модельний розчин № 2: водопровідна вода м. Києва (район зупинки м. Академмістечко), де концентрація ХФ була сформована додаванням розчину ХФ в межах 300 мкг/дм<sup>3</sup>, проба води оброблялась 7 хв. Для аналізу концентрацій ХФ періодично відбирались проби води через 1; 2; 3; 5; 7 хвилин.

Генерація плазми проводилася за допомогою дослідної установки Cold Plasma у розрядній камері, спроектованій у формі ежектору для формування водоповітряної суміші. У камері змішування води і повітря ежектора у сформованій водоповітряній суміші підтримується плазмовий розряд. Фото плазмового реактору установки наведено на рисунку 1.

Концентрації ХФ у воді вимірювались за допомогою газового хроматографа ЦВЕТ-500М (рис. 2). Методика визначення концентрації ХФ відповідає методиці виробника хроматографу.



Рис. 1. Експериментальна установка Cold Plasma для плазмової обробки води

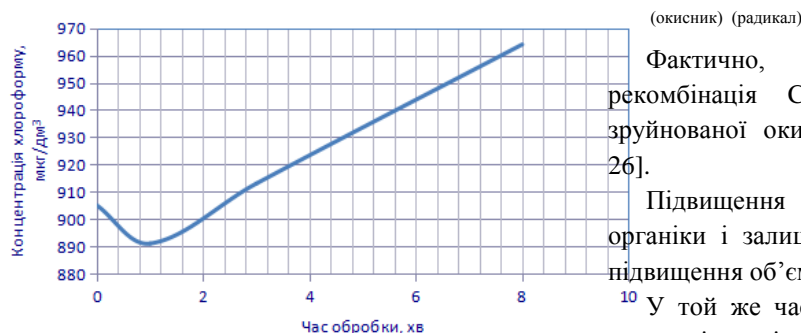
Fig. 1. Experimental installation of Cold Plasma for plasma water treatment



Рис. 2. Газовий хроматограф ЦВЕТ-500М з температурою випарника 70°C, температура колонки 35°C, температура детектору 280°C, витрата газу-носія 40 см<sup>3</sup>/хв.

Fig. 2. Gas chromatograph FLOWER-500M with evaporator temperature 70°C, column temperature 35°C, detector temperature 280°C, the consumption of carrier gas 40 cm<sup>3</sup>/min.

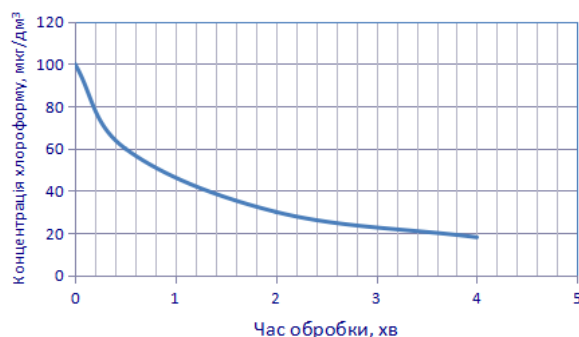
**Результати експерименту і обговорення.** На рисунку 3 наведено зміни концентрацій ХФ у результаті експериментальної обробки плазмою модельного розчину № 1.



**Рис. 3.** Зміна концентрації хлороформу за рН 6,9 в залежності від часу обробки

**Fig. 3.** Change in the concentration of chloroform at pH 6.9 depending on the processing time

На рисунку 4 наведено зміни концентрацій ХФ у результаті експериментальної обробки плазмою модельного розчину № 2.

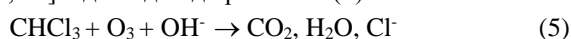


**Рис. 4.** Зміна концентрації хлороформу за рН 8,6 у залежності від часу обробки

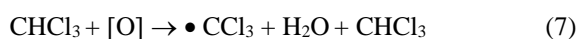
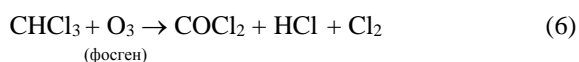
**Fig. 4.** Change in the concentration of chloroform at pH 8.6 depending on the processing time

В процесі окиснення ХФ у водоповітряній суміші під впливом плазми частинки переходять в високоенергетичний збуджений стан (озон, гідроксильний радикал) з вищим окисними потенціалом ніж у кисню. Присутність цих речовин та їх концентрація є визначальними факторами для окиснення забруднень у вод.

Загальний результат обробки водного розчину ХФ сильними окисниками, утвореними в процесі плазмової обробки природної води з суттєвим вмістом органічних сполук і залишковим хлором, суттєво залежить від рН водного середовища. Так, при лужному рН відбувається успішний гідроліз хлороформу до вуглекислого газу, води і хлоридів [18, 26] відповідно до рівняння (5):



У випадку нейтрального або кислого середовища можливі наступні реакції:



(окисник) (радикал)

Фактично, в рівнянні (7) відбувається рекомбінація  $\text{CHCl}_3$  і нове утворення щойно зруйнованої окисником молекули хлороформу [18, 26].

Підвищення затрат енергії за умови надлишку органіки і залишкового хлору призводить лише до підвищення об'ємів синтезу молекул хлороформу.

У той же час, розміщення на рециркуляційному водоводі дослідної установки фільтру з вапняковим фільтрувальним завантаженням дозволяє запускати реакцію згідно рівняння (5) з мінімальними енергетичними витратами.

Відповідно реакція відбувається за рівняннями (6,7), внаслідок чого ми отримали збільшення концентрації ХФ.

**Висновки.** При деструкції ХФ у водному розчині значну роль відіграє рН розчину. Згідно наших дослідів, навіть слабо кислий розчин ХФ у вигляді водоповітряної крапельної суміші при обробці окисниками, утвореними плазмовим розрядом в цій суміші, призводить до підвищення концентрацій ХФ, скоріше за все, шляхом рекомбінації складових ХФ та впливу утворених в процесі розряду окисних сполук азоту. За таких умов збільшення енерговитрат призводить лише до підвищення концентрації ХФ. У той же час, подібна обробка у лужному розчині ХФ призводить до протилежних результатів. Відповідно, застосування заходів, які формують лужне середовище, у нашому випадку циркуляційного фільтру з вапняковим фільтрувальним завантаженням, дозволило запуснути реакцію гідролізу ХФ за рівнянням (5). Завдяки цьому нам вдалося скоротити енерговитрати і отримати суттєве зниження ХФ з 100 до 18 мг/дм<sup>3</sup>, що суттєво нижче за нормативні вимоги ДСанПіН 2.2.4-171-10, які становлять 60 мг/дм<sup>3</sup>.

#### Література

1. Кравченко В.А. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2016. В.А. Кравченко. Київ: ДП «НДКТИМГ», 2016. 407 с.
2. Кравченко В.А. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2017 році. В.А. Кравченко. Київ: ДП «НДКТИ МГ», 2017. 382 с.
3. Лотоцька О.В. Гігієнічні проблеми охорони поверхневих і підземних вод від антропогенного забруднення та їх використання в питному водопостачанні в західному регіоні України. О.В. Лотоцька. Київ: Нац. акад. мед. наук України, Держ. установа «Ін-т громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», 2019. 399 с.
4. Верголяс М.Р. Еколого-токсикологічний моніторинг стану води різних джерел України / М.Р. Верголяс. Дніпро: Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, 2019. 342с.

5. Зоріна О.В. Гігієнічні проблеми питного водопостачання України та шляхи їх вирішення в умовах євроінтеграції. О.В. Зоріна. Київ: Нац. акад. мед. наук України, Держ. установа «Ін-т громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», 2019. 382 с.
6. Чарний Д.В. Розвиток теоретичних засад і удосконалення технологій очищення природних вод в системах сільськогосподарського водопостачання. Д.В. Чарний. Київ: ІВПіМ НААН, 2017. 302 с.
7. Зайцев В.В. Обґрунтування програми моніторингу питної водопровідної води на підставі гігієнічної оцінки впливу хлорорганічних сполук на здоров'я міського населення промислового регіону. В.В. Зайцев. Київ: Нац. акад. мед. наук України, Держ. установа «Ін-т громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», 2019. 210 с.
8. Фединак А. Мутагенність питної води і можливі шляхи її утилізації. А. Фединак, Ю. Козуб, О. Дуган, 2014.
9. Стискал О.А. Аналіз чинників екологічної небезпеки хлорованої питної води. О.А. Стискал, В.Г. Петрук Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. No. 5. С. 69-75. ISSN 1997-9266.
10. Григоренко Л.В. Еколого-гігієнічна оцінка впливу питної води з централізованих, децентралізованих джерел водопостачання та доочищеної питної води на здоров'я сільського населення Дніпропетровської області. Л.В. Григоренко. Київ: Нац. акад. мед. наук України, Держ. установа «Ін-т громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», 2019. 342 с. DOI 10.5281/zenodo.3628400
11. Краснова М.А. Полный справочник санитарного врача / М.А. Краснова, В.Н. Шилов, Е.О. Шальнов. 2015. 116 с. ISBN 978-5-9758-1841-6
12. Zamyadi A. The value of in vivo monitoring and chlorination for the control of toxic cyanobacteria in drinking water production. A. Zamyadi. École Polytechnique de Montréal. 2011. 289 p.
13. Севальнев А.И. Современное состояние питьевого водоснабжения Запорожской области А.И. Севальнев, О.В. Зыкин, В.В. Богдановский, А.В. Шинкарь. Актуальные проблемы транспортной медицины. 2009. № 1(15). С. 88-92.
14. Взаимодействие хлора с примесями воды, токсичность вторичных загрязнителей / 2015.
15. Абдулфаттах Амин Ахмад Амин. Исследование формирования тригалогенметанов в системе водоснабжения Багдада. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2013. 39-52 с.
16. Zamyadi A. Species-dependence of cyanobacteria removal efficiency by different drinking water treatment processes. A. Zamyadi, S. Dorner, S. Sauvé, Water Research. 2013. Vol. 47, No. 8. P. 2689-2700. DOI: 10.1016 / j.watres.2013.02.040.
17. Fan Y. Chlorination of toxic cyanobacterial cells and their associated toxins. Y. Fan. École Polytechnique de Montréal, 2012. 123 p.
18. Chowdhury S.H. Modeling trihalomethane formation in drinking water with application to risk-based decision-making S.H. Chowdhury. Queen's University, 2009. – 275 p.
19. Кузубова Л.И. Химические методы подготовки воды (хлорирование, озонирование, фторирование): Аналитический обзор. Л.И. Кузубова, В.Н. Кобрина. СО РАН, ГННТБ, НИОХ. Новосибирск, 1996. 132 с.
20. Новости химии «blog archive» источники угрозы диоксинов. 2012.
21. T. Sugai, A. Tokuchi, W. Jiang, Y. Minamitani. Investigation for Optimization of an Inductive Energy Storage Circuit for Electrical Discharge Water Treatment IEEE Transactions on Plasma Science. 2014. Volume 42. Issue 10. P. 3101-3108. DOI: 10.1109/TPS.2014.2304543
22. Kostich M.M. Decolorization of reactive textile dyes using water falling film dielectric barrier discharge M.M. Kostich, J. Nesich, D.D. Manojlovich. Journal of Hazardous Materials. 2011. No. 192. P. 763-771. DOI: 10.1016 / j.jhazmat.2011.05.086.
23. 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. – С. 21-27.
24. Божко І.В. Обробка імпульсним бар'єрним розрядом води в крапельному стані. І.В. Божко, В.В. Кобильчак. Технічна електродинаміка. 2015. No. 5. С. 60-66. DOI: 10.15407/ techned2017.06.080
25. Magureanu M. Decomposition of methylene blue in water using a dielectric barrier discharge: optimization of the operating parameters. M. Magureanu, D. Piroi, N.B. Mandache, V. Parvulescu. Journal of Applied Physics. 2008. No. 104. P. 103306-10. DOI: 10.1063/1.3021452
26. Pulido M.E. Evaluation of an electro-disinfection technology as an alternative to chlorination of municipal wastewater effluents. University of New Orleans. 2005. 150 P.

## References

1. Kravchenko V.A. (2016), Kyiv, DP «NDKTI MH», 407 p.
2. Kravchenko V.A. (2017). Kyiv, DP «NDKTI MH», 382 p.
3. Lotots'ka O.V. (2019) Kyiv, Nats. akad. med. nauk Ukrayiny, Derzh. ustanova «Ін-т громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», 399 p.
4. Verholiyas M.R. (2019). Dnipro, Dniprovskyy natsional'nyy universytet im. Olesya Honchara, 342 p.
5. Zorina O.V. (2019). Kyiv, Nats. akad. med. nauk Ukrayiny, Derzh. ustanova «Ін-т громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», 382 p.
6. Charnyy D.V. (2017), Kyiv, ІВПіМ НААН, 302 p.
7. Zaytsev V.V. (2019) Kyiv, Nats. akad. med. nauk Ukrayiny, Derzh. ustanova «Ін-т громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», 210 p.
8. Fedynyak A. (2014) *Mutahennist' pytnoyi vody i mozhlyvi shlyakhy yiyi utylizatsiyi*
9. Styskal O.A. (2014), *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu*, No. 5, pp 69-75. ISSN 1997-9266
10. Hryhorenko L.V. (2019) Kyiv: Nats. akad. med. nauk Ukrayiny, Derzh. ustanova «Ін-т громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», 342 p. DOI 10.5281/zenodo.3628400
11. Krasnova M.A. (2015) *Polnyy spravochnyk sanytarnoho vracha*. M.A. Krasnova, V.N. Shylov, E.O. Shalnov, 116 p. ISBN 978-5-9758-1841-6

12. Zamyadi A. (2011) *The value of in vivo monitoring and chlorination for the control of toxic cyanobacteria in drinking water production*, École Polytechnique de Montréal, 289 p.
13. Sevalnev A.I., Zykin O.V., Bogdanovskiy V.V., Shinkar A.V. (2009). Actual problems of transport medicine. No. 1(15), pp. 88-92.
14. *Vzaymodeystviye khloru s pryemesyamy vody, toksychnost' vtorychnykh zahryaznyteley*, (2015).
15. Abdulfattakh Aryn Akhmad Aryn (2013). Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Ynzhenernyy vestnyk Dona», pp. 39-52.
16. Zamyadi A. (2013), *Water Research*, Vol. 47, No. 8., pp. 2689-2700. DOI: 10.1016 / j.watres.2013.02.040.
17. Fan Y. (2012) *Chlorination of toxic cyanobacterial cells and their associated toxins*, Ecole Polytechnique de Montréal, 123 p.
18. Chowdhury M.S.H. (2009). Queens University, 275 p.
19. Kuzubova L.Y. (1996) *Khymycheskye metody podhotovky vody (khloryrovanye, ozonyrovanye, ftoryrovanye)*, Novosybyrsk: SO RAN, HNNTB, NYOKH, 132 p.
20. Novosti khymyy «blog archive» ystochnyky uhrozy dyoksynov / 2012.
21. T. Sugai, A. Tokuchi, W. Jiang, Y. Minamitani (2014), *IEEE Transactions on Plasma Science*, Volume 42, Issue 10, pp. 3101–3108. DOI: 10.1109/TPS.2014.2304543
22. Kostich M.M. (2011) *Journal of Hazardous Materials*, No. 192, P. 763-771. DOI: 10.1016 / j.jhazmat.2011.05.086.
23. Belynskiy V.V., Bozhko Y.V., Charnyy D.V. (2010) *Tekhnichna elektrodynamika*, No. 3, P. 21-27.
24. Bozhko I.V., Kobylchak V.V. (2015) *Technical electrodynamic*, No. 5, P. 60-66. DOI: 10.15407/techned2017.06.080
25. Magureanu M., Piroi D., Mandache N.B., Parvulescu V. (2008), *Journal of Applied Physics*, No. 104, P. 103306. DOI:10.1063/1.3021452
26. Pulido M.E. (2005) *Evaluation of an electro-disinfection technology as an alternative to chlorination of municipal wastewater effluents*, University of New Orleans, 150 P.

#### DETERMINATION OF NECESSARY CONDITIONS FOR EFFICIENT PURIFICATION OF DRINKING WATER WITH HIGH CHLOROFORM CONTENT BY PLASMA TREATMENT IN AEROSOL

Y. Zabulonov, D. Charny, L. Odukalec, D. Yaroshchuk, A. Puhach, O. Arkhyenko, N.Chernova

**Zabulonov Y.**, D.Sc., Corresponding Member NAS of Ukraine, Prof., State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID:0000-0002-4517-9927, Zabulonov@nas.gov.ua

**Charny D.**, D.Sc, Senior Research Fellow, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID:0000-0001-6150-6433, dmitrych10@gmail.com

**Odukalec L.**, Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID:0000-0003-2569-6406, laoduk@i.ua

**Yaroshchuk D.**, Engineer, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID:0000-0003-0190-8611, mitya.yaroshchuk@gmail.com

**Puhach O.**, Junior Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID:0000-0002-1378-3820,pav281082@gmail.com

**Arkhyenko O.**, Junior Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID:0000-0003-0955-3704, Archipenko@nas.gov.ua

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

*Sustainable development of any country is possible only if the stable supply of its population with drinking water in accordance with their needs, quantity and regulatory quality. This issue is extremely relevant for Ukraine as a low-water state, especially with the further negative impact of climatic and anthropogenic factors on the quality of source water. This is especially true of surface water sources in general and the Dnieper cascade of reservoirs in particular. The regulation of the Dnieper River, global warming and the increase in anthropogenic pressure in the form of a significant (at times) increase in polyphosphates and nitrogen compounds in the effluents entering the Dnieper River provokes catastrophic cyanide growth for four to five months a year. Outdated water treatment technologies are unable to combat this factor and use the only possible technological method for them to combat high organic matter of any genesis - increase the dose of chlorine and coagulants. This usually does not improve the quality of water purification, but leads to the sustainable formation of organochlorine compounds in the process of water purification and transportation. Chloroform is a constant marker of trihalogen methanes and its concentration is determined by water supply laboratories. Accordingly, we investigated the possibilities of oxidation of chloroform by means of complex oxides formed by corona discharge in a water-air medium in the mixing chamber of the ejector. The influence of medium pH on the process of chloroform destruction was studied. It has been experimentally established that even a weakly acidic environment does not allow the efficient oxidation of chloroform and leads to its recombination and even increases its concentration. At the same time, in an alkaline environment, the oxidation process is intense and with lower energy consumption*

**Keywords:** water, water supply, phytoplankton, organochlorine, chloroform, plasma, discharge, oxidation.