

УДК (UDC): 66.084+541.182; 628.1; 658.265

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-11>

І. З. КОВАЛЬ, канд. техн. наук, доц.
Національний університет "Львівська політехніка"
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна

e-mail: irykazk@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>

ВПЛИВ ГЕЛІУ ТА КАВІТАЦІЇ НА ПРОЦЕС ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ДРІЖДЖІВ

Мета. Дослідити одночасний вплив кавітації та гелію на життєздатність дріжджів роду *Saccharomyces cerevisiae* у воді. Вивчити зміну чисельності клітин під час кавітаційної обробки водної системи в атмосфері газу.

Методи. Тест-мікроорганізмами слугували дріжджі роду *Saccharomyces cerevisiae*. Для досліджень використовували свіжоприготовлену дистильовану дезаеровану воду, до якої вносили дріжджові клітини мікробіологічною петлею. Об'єм модельного середовища охолоджувався в скляному реакторі протічною водою, температура якого відповідала 298 ± 1 К. Загальна тривалість процесу становила 2 год. Джерелом кавітації слугував ультразвуковий генератор УЗДН-2Т з частотою 22 кГц і потужністю 35 Вт. Досліджувану воду впродовж всієї тривалості процесу барботували газом. Досліджуваним газом слугував гелій. Кількість мікроорганізмів в одиниці об'єму досліджуваної води визначали загальною чисельністю колоній на поживному середовищі на чашках Петрі і виражали в колоній-утворюючих одиницях (КУО).

Результати. В експериментальній частині роботи запропонований процес обробки води з вмістом дріжджових клітин в кавітаційних умовах при одночасній подачі гелію. Встановлена ефективність очищення води від дріжджів в результаті об'єднаної дії гелій/кавітація. Розрахована величина ефективної константи швидкості руйнування мікроорганізмів за кінетичним рівнянням реакції першого порядку. Досліджено життєздатність дріжджів в умовах кавітації та барботуванні аргону через водну систему. Розраховано та здійснено порівняння частки загиблих клітин впродовж двогодинної дії забрудненої дріжджами води при різних режимах обробки. Встановлено активне зменшення чисельності *Saccharomyces cerevisiae* у водному середовищі на початку процесу з досягненням частки загиблих клітин (D_d) 40,48% після 30 хв спільної дії He/кавітація при вихідному мікробіологічному забрудненні води $4,2 \cdot 10^3$ КУО/см³. Після 90-хвилинної обробки води $ЧМ_{кін} = 100$ КУО/см³, що відповідає ступеню очистки води > 97%.

Висновки. Одержані результати вказують на інтенсивне кавітаційне очищення води від досліджених мікроорганізмів в умовах експерименту, що підтверджує вплив природи досліджуваного газу на процес руйнування мікробіологічних забрудників у воді. В кінцевому результаті отримано практично чисту воду, що дозволяє скидати оброблену воду у відкриті водойми.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: дріжджі, *Saccharomyces cerevisiae*, гелій, вода, кавітація

Koval I.Z.

Lviv Polytechnic National University, St. S. Bandery, 12, Lviv, 79013, Ukraine

THE INFLUENCE OF HELIUM AND CAVITATION ON THE PROCESS OF YEAST LIFE

Purpose of the study is to investigate the simultaneous effect of cavitation and helium on the viability of yeast of the genus *Saccharomyces cerevisiae* in water. To study the change in the number of cells during cavitation treatment of the water system in the gas atmosphere.

Methods. Yeast of *Saccharomyces cerevisiae* type were used as test microorganisms. Freshly prepared distilled desaerated water was used for the research, to which yeast cells were introduced with a microbiological loop. The volume of the model medium was cooled in a glass reactor with tap water, the temperature of which corresponded to 298 ± 1 K. The total duration of the process was 2 hours. The cavitation source was an ultrasonic generator UZDN-2T with frequency of 22 kHz and power of 35 W. The test water was bubbled with gas throughout the process. The test gas was helium. The number of microorganisms per unit volume of test water was determined by the total number of colonies on the nutrient medium on Petri dishes and expressed in colony-forming units (CFU).

© Коваль І. З., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Results. In the experimental part of the work the process of water treatment with the content of yeast cells under cavitation conditions with simultaneous supply of helium is proposed. The efficiency of water purification from yeast as a result of the combined action of helium/cavitation has been established. The value of the effective rate constant of microorganisms destruction according to the kinetic reaction equation of the first order is calculated. The viability of yeast under cavitation conditions and bubbling of helium through the water system has been studied. The proportion of destroyed cells during the two-hour action of yeast-contaminated water at different treatment regimes was calculated and compared. An active decrease in the number of *Saccharomyces cerevisiae* in the aqueous medium at the beginning of the process with the achievement of the proportion of destroyed cells (D_d) 40.48% after 30 min of combined He/cavitation action at the initial microbiological water contamination of $4.2 \cdot 10^3$ CFU/cm³. $NM_{end} = 100$ CFU/cm³ after 90 minutes of water treatment, that corresponds to the water purification degree > 97%. The end result is almost pure water, which allows to discharge treated water into natural water.

Conclusions. The obtained results indicate intensive cavitation purification of water from the studied microorganisms in the experimental conditions. The influence of the studied gas nature on the process of destruction of microbiological contaminants in water is described.

KEY WORDS: yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, helium, water, cavitation

Коваль И.З.

Национальный университет "Львовская политехника", ул. С. Бандеры, 12, г., 79013, Украина

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИЯ И КАВИТАЦИИ НА ПРОЦЕСС ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДРОЖЖЕЙ

Цель. Исследовать одновременное воздействие кавитации и гелия на жизнеспособность дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae* в воде. Изучить изменение численности клеток при кавитационной обработки водной системы в атмосфере газа.

Методы. Тест-микроорганизмами служили дрожжи рода *Saccharomyces cerevisiae*. Для исследований использовали свежеприготовленную дистиллированную деаэрированную воду, в которую вносили дрожжевые клетки микробиологической петлей. Объем модельного среды охлаждался в стеклянном реакторе проточной водой, температура которого соответствовала 298 ± 1 К. Длительность процесса составляла 2 ч. Источником кавитации служил ультразвуковой генератор УЗДН-2Т с частотой 22 кГц и мощностью 35 Вт. Исследуемую воду на протяжении всей продолжительности процесса барботировали газом. Исследуемым газом служил гелий. Количество микроорганизмов в единице объема исследуемой воды определяли общей численностью колоний на питательной среде на чашках Петри и выражали в колонии-образующих единицах (КОЕ).

Результаты. В экспериментальной части работы предложен процесс обработки воды с содержанием дрожжевых клеток в кавитационных условиях при одновременной подаче гелия. Установлена эффективность очистки воды от дрожжей в результате объединенной действия гелий/кавитация. Рассчитанная величина эффективной константы скорости разрушения микроорганизмов с кинетическим уравнением реакции первого порядка. Исследована жизнеспособность дрожжей в условиях кавитации и барботирования гелия через водную систему. Рассчитано и проведено сравнение доли погибших клеток в течение двухчасового действия загрязненной дрожжами воды при различных режимах обработки. Установлено активное уменьшение численности *Saccharomyces cerevisiae* в водной среде в начале процесса с достижением доли погибших клеток (D_d) 40,48% после 30 мин совместной воздействию He/кавитация при исходном микробиологическом загрязнении воды $4,2 \cdot 10^3$ КОЕ / см³. После 90-минутной обработки воды $ЧМ_{конеч} = 100$ КОЕ/см³, что соответствует степени очистки воды > 97%. В конечном итоге получено практически чистую воду, что позволяет сбрасывать обработанную воду в открытые водоемы.

Выводы. Полученные результаты указывают на интенсивную кавитационную очистку воды от исследованных микроорганизмов в условиях эксперимента. Описано влияние природы исследуемого газа на процесс разрушения микробиологических загрязнителей в воде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дрожжи, *Saccharomyces cerevisiae*, гелий, вода, кавитация

Вступ

Знезараження промислових вод надалі не втрачає актуальності, оскільки й досі немає єдиного методу її обробки, який забезпечить повне очищення води від біологічних забрудників. Одним з найдешевших методів знезараження води є хлорування, що

характеризується достатньо високою ефективністю очищення води від мікроорганізмів (МО). Цей метод ідеально підходить для застосування в системах централізованого водопостачання, води в басейнах тощо. Хлорування води здійснюють

газоподібним хлором, рідким хлором або речовинами, що містять активний хлор: хлорним вапном, гіпохлоритами натрію [1] і кальцію, хлорамінами [2], діоксидом хлору [3] тощо. Інактивація вірусів досягнена при дозі хлору 1 та 5 мг/дм³ при рН 6 [4]. За даними [5], у відношенні до спор *Bacillus anthracoides* летальна концентрація знаходиться в межах 0,2-0,3 г/дм³ активного хлору при тривалості процесу 1,5 год. Хоча дія хлору забезпечує тривалий пролонгований ефект, однак автори [6-10] повідомляють про реактивацію МО. Тому пошук новітнього методу очистки води як від біологічних забрудників триває й до сьогодні.

Численними позитивними результатами в галузі водоочистки характеризується кавітаційна обробка водного середовища, що засвідчують наукові публікації вітчизняних та закордонних авторів [11, 12-16]. Промислові стічні води забруднюють природні води різними видами бактерій, дріжджами, пліснями, водоростями тощо. Найбільш поширеними біооб'єктами для досліджень є бактеріальні види забрудників води, що засвідчує огляд літературних джерел [12, 15, 17, 18]. Тому, в

даній роботі пропонується розглянути процес очищення води від дріжджів.

Вплив кавітаційної дії на дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* представлено в роботі [11], в якій дія ультразвуку низької частоти (частота 28 кГц, потужність 140 Вт/л) тривалістю 1 година суттєво зменшує кількості дріжджових клітин. Вплив кисню та вуглекислого газу на дріжджів в кавітаційних умовах описано в [19], де досягнуто ступеня знезараження води в межах 80,0-80,77% після тривалості обробки 7200 с. В [11] спостерігали відмирання клітин *Saccharomyces cerevisiae* на 55% після 30-секундного оброблення суспензії п'єзоквацевим генератором (частота 800 кГц, інтенсивність 7 Вт/см²) при концентрації дріжджів 3·10⁵ кл/см³, після 2 хв – 77%, після 10 хв – 90%. При подачі водню в аналогічних умовах експерименту виявлено виживання клітин *Sacch. cerevisiae*. Про вплив кисню на аеробні бактерії говориться в роботі [20].

Однак, вплив гелію на дріжджі в поєднанні з кавітаційною обробкою води в літературі нами не знайдено. Тому доцільно вивчити вплив цього газу на життєздатність дріжджів в кавітаційних умовах.

Методика

Досліджуваними МО слугували дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, клітини яких додавали до дистильованої дезаерованої води за допомогою мікробіологічної петлі, створюючи, таким чином, модельні водні середовища. Для вивчення процесу зміни числа мікроорганізмів (ЧМ) в одиниці об'єму води використовували дріжджі саме такого роду, оскільки *Saccharomyces cerevisiae* були ідентифіковані в домінуючій кількості серед біологічних забрудників у стічних водах пивоварного та дріжджового виробництва [21].

Для досліджень використовувався гелій, який барботували через воду впродовж всього процесу зі швидкістю 0,2 см³/с.

Тривалість дослідження становила дві години, впродовж якого загальна витрата газу відповідала 1,4 дм³. Модельне середовище заливали в скляний реактор і охолоджували протічною водою впродовж всього процесу. Температура досліджуваної водної системи становила 298±1 К. Генератором кавітаційного процесу був ультразвуковий апарат УЗДН-2Т, частота якого становила 22 кГц, а потужність - 35 Вт.

Підрахунком колоній, які вирости на поживному середовищі (сусло-агарі) на чашках Петрі визначали ЧМ до і після експериментів. Методику кількісного визначення МО у воді детально представлено в [22].

Результати досліджень

Вплив газу на перебіг процесу життєдіяльності МО в умовах кавітації вивчали при концентрації дріжджів 4,2·10³ КУО в одиниці об'єму води. Зміну величини ЧМ в залежності від тривалості обробки води занесено до таблиці. Згідно з табличними даними,

кількість живих клітин після одно-годинної обробки (3600 с) зменшилась в 8,4 рази, а після півтора години (5400 с) – в 42 рази, відносно вихідного мікробіологічного навантаження. Тобто досягнуто показника ЧМ_{кін} = 100 КУО/см³, що відповідає нормативам

питної води. Подальше озвучування в атмосфері гелію підтвердило ефективність обробки води.

Рисунок демонструє стрімке зростання частки загиблих клітин на початку процесу, тривалістю до однієї години. На тривалості обробки води 3600 с частка загиблих клітин становить 88,09%, а через 5400 с – уже 97,62%. Після дії He/кавітація тривалістю 5400 с крива частки загиблих клітин виходить на плато.

Кінцеве ЧМ не перевищує 100 КУО/см³, яке було досягнуто вже через 1,5 години, а розрахована величина ефективної константи швидкості загибелі дріжджів (k_d) становить $5,73 \pm 0,08 \cdot 10^{-4}$, с⁻¹. Ці дані вказують на практично повне очищення води та на ефективність барботування гелію в кавітаційних умовах, тоді як після обробки води в умовах He/кавітація з вмістом спорогенних бактерій *Bacillus cereus* величина k_d становить $2,89 \pm 0,04 \cdot 10^{-4}$, с⁻¹ в аналогічних умовах експерименту [22]. В роботі [20]

досліджено дію самого гелію, але без застосування кавітації на бактерій *Bacillus cereus* з вихідним ЧМ = $4,8 \cdot 10^4$ КУО/см³ та розраховано величину k_d , яка становить $8,16 \pm 0,07 \cdot 10^{-5}$, с⁻¹ що засвідчує синергічний ефект при одночасній дії досліджуваного газу та кавітації.

Таким чином, при барботуванні гелію в кавітаційних умовах вдалося досягнути практично повного очищення води від дріжджів. Високу ефективність дії газу можна обґрунтувати тим, що гелій характеризується високим виходом продуктів піролізу [18]. Тобто насичення водного середовища з вмістом дріжджів інертним гелієм веде до утворення додаткових кавітаційних зародків в реакційній зоні, що зумовило активне руйнування МО. Також величина іонізаційного потенціалу гелію становить 24,5 еВ, що полегшує електронний пробій в каверні, сприяє більш інтенсивному розпаду молекул води в ній, в результаті якого збільшується ефективність знезараження води.

Таблиця

Життєздатність клітин *Saccharomyces cerevisiae* в залежності від тривалості обробки

Table

Viability of *Saccharomyces cerevisiae* cells depending on the duration of treatment

Тривалість He/УЗ обробки, с	ЧМ, КУО/см ³
0	$4,2 \cdot 10^3$
1800	$2,5 \cdot 10^3$
3600	$5 \cdot 10^2$
5400	$1 \cdot 10^2$
7200	$1 \cdot 10^2$

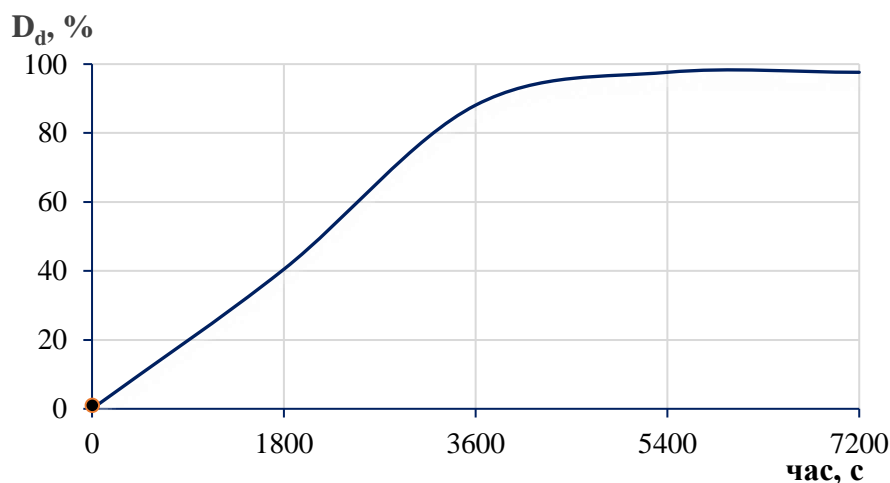


Рис. – Залежність частки загиблих клітин від тривалості одночасної дії гелію та кавітації
 Fig. – Dependence of the proportion of dead cells on the duration of simultaneous action of helium and cavitation

Представлені дослідження дозволяють описати процеси відмирання дріжджових клітин в умовах спільної дії гелію та кавітації. Наведені експериментальні дані також узгод-

жуються з результатами наших попередніх дослідів [19, 20, 22], де представлена дія інертних газів на бактерії *Bacillus cereus*.

Висновки

Наведено експериментальні дані одночасного впливу гелію, барботованого зі швидкістю 0,2 см³/с через водне середовище (об'єм 75 см³) та кавітації (частота 22 кГц, потужність 35 Вт) на дріжджові клітини *Saccharomyces cerevisiae* впродовж двогодинної тривалості процесу. Визначено відсоткову частку зруйнованих клітин від тривалості обробки води.

Відзначено практично повне руйнування дріжджів у водному середовищі (D_d

= 97,62%), що вказує на високу ефективність застосування спільної дії He/кавітація в процесах водоочищення.

Обґрунтовано дію гелію на руйнування дріжджів в кавітаційних умовах.

Виявивши високу ефективність гелію в процесі руйнування дріжджових клітин, його доцільно застосовувати в поєднанні з кавітаційною обробкою на стадії знезараження води.

Література

1. Головачев А. В., Абросимова Е. М. Применение гипохлорита натрия при обеззараживании воды. *Водоснабж. и сан. техн.* 2009. № 4. С. 8-12.
2. Буря О. І., Кудина О. Ф. Вода – властивості, проблеми та методи очищення : монографія. Дніпропетровськ : Пороги, 2006. 520 с.
3. Viciña-Reyes J. P., Luh J. and Mariñas B. J. Inactivation of *Mycobacterium avium* with chlorine dioxide. *Water Research*. 2008. Vol. 42, Issues 6-7. P. 1531-1538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.035>
4. Shin G.-A., Sobsey M. D. Inactivation of norovirus by chlorine disinfection of water. *Water Research*. 2008. 42, № 17. P. 4562-4568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.001>
5. Томашевская И. П., Савлук О. С., Корниевская Л. П. Использование хлорирования для обеззараживания питьевой воды. *Химия и технология воды*. 1989. Т. 11, № 5. С. 449-457.
6. Применение смешанных оксидантов при дезинфекции воды в бассейнах и аквапарках. *Вода и водоочистные технологии*. 2013. Т. 67, № 1. С. 70-71.
7. Гончарук В. В. Новая концепция обеспечения населения качественной питьевой водой. *Химия и технология воды*. 2008. Т. 30, № 6. С. 239-252.
8. Гончарук В. В., Потапченко Н. Г. Современное состояние проблемы обеззараживания воды. *Химия и технология воды*. 1998. Т. 20, № 2. С. 190-217.
9. Fei G., Lizhong Z., Jing W. Distribution of chlorination products of phenols under various pHs in water disinfection. *Desalination*. 2008. Vol. 225, No 1-3. P. 156-166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.03.016>
10. Лук'ячук С. В. Забруднення водного середовища: вплив на імунну систему організму. *Довкілля та здоров'я*. 2009. Т. 50, № 3. С. 31-34.
11. Dai Ch., Xiong F., He R., Zhang W. Effects of low-intensity ultrasound on the growth, cell membrane permeability and ethanol tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Ultrasonics Sonochem*. 2017. Vol. 36. P. 191-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.035>
12. Iorio M. C., Bevilacqua A., Corbo M. R. A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 52. P. 477-483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.026>
13. Kong Y., Peng Y., Zhang Zh. Removal of *Microcystis aeruginosa* by ultrasound: Inactivation mechanism and release of algal organic matter. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 56. P. 447-457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.017>
14. Li Y., Shi X., Zhang Zh. Enhanced coagulation by high-frequency ultrasound in *Microcystis aeruginosa* - laden water: Strategies and mechanisms. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 55. P. 232-242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.022>
15. Luhovskyi O. F., Gryshko I. A., Beryk I. M. Enhancing the Efficiency of Ultrasonic Wastewater Disinfection Technology. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2018. Vol. 40. P. 95-101. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X18020078>

16. Park J., Son Y., Lee W. H. Variation of efficiencies and limits of ultrasonication for practical algal bloom control in fields. *Ultrasonics Sonochem.* 2019. Vol. 55. P. 8-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.007>
17. Chaudhry F. N., Malik M. F. Factors affecting water pollution: a review. *J. Ecosyst. Ecography.* 2017. Vol. 7, No 1. P. 225-231. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>
18. Naddeo V., Cesaro A., Mantzavinos D. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review. *Global Nest Journal.* 2014. Vol. 16, No 3. P. 561-577. DOI: <https://doi.org/10.30955/gnj.001350>
19. Коваль І. Вплив кисню та вуглекислого газу на очищення води від бактерій та дріжджів в кавітаційних умовах. *Вісник Харківського нац. універ. ім. В.Н. Каразіна серія «Екологія».* 2020. № 22. С. 75-82. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07>
20. Коваль І. Вплив концентрації аеробних бактерій на процес їх життєздатності в присутності кисню. *Вісник Харківського нац. універ. ім. В. Н. Каразіна серія «Екологія».* 2020. № 23. С. 118-123.
21. Коваль І.З. Переважаюча мікрофлора природних та стічних вод Львівщини. *Chemistry, Technology and Application of Substances.* 2020. Т. 3, № 2. С. 121-126. DOI: <https://doi.org/10.23939/ctas2020.02.121>
22. Koval I.: Correlation between diameter of microorganisms and efficiency of microorganisms destruction under gas/cavitation conditions. *Chemistry & Chemical Technology,* 2021, Vol. 15, No. 1. P. 98–104. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht15.01.098>

References

1. Golovachev A. V., Abrosimova Ye. M. (2009). Application of sodium hypochlorite for water disinfection. *Water supply. and sanitary engineering,* 4, 8-12. (In Russia)
2. Burya, O. I., & Kudyna, O. F. (2006). Water - Properties, Problems and Methods of Purification. Dnepropetrovsk : Thresholds. (In Ukrainian)
3. Viciña-Reyes J. P., Luh J. and Mariñas B. J. (2008). Inactivation of Mycobacterium avium with chlorine dioxide. *Water Research.,* 42(6-7), 1531-1538. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.035>
4. Shin G.-A., Sobsey M. D. (2008). Inactivation of norovirus by chlorine disinfection of water. *Water Research.,* 42(17), 4562-4568. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.001>
5. Tomashevskaya I. P., Savluk O. S., Korniyevskaya L. P. (1989). The use of chlorination for the disinfection of drinking water. *Chemistry and technology of water,* 11(5), 449-457. (In Russia)
6. The use of mixed oxidants in the disinfection of water in swimming pools and water parks. (2013). *Water and Water Treatment Technologies,* 67(1), 70-71. (In Russia)
7. Goncharuk V. V. (2008). A new concept of providing the population with high-quality drinking water. *Water Chemistry and Technology,* 30(6), 239-252. (In Russia)
8. Goncharuk V. V., Potapchenko N. G. (1998). The current state of the problem of water disinfection. *Water Chemistry and Technology,* 20(2), 190-217. (In Russia)
9. Fei G., Lizhong Z., Jing W. (2008.) Distribution of chlorination products of phenols under various pHs in water disinfection. *Desalination,* 225(1-3), 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.03.016>
10. Luk"yanchuk S. V. (2009). Aquatic pollution: effects on the body's immune system. *Environment and health,* 50(3), 31-34. (In Ukrainian)
11. Dai Ch., Xiong F., He R., Zhang W. (2017). Effects of low-intensity ultrasound on the growth, cell membrane permeability and ethanol tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Ultrasonics Sonochem.,* 36, 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.035>
12. Iorio M. C., Bevilacqua A., Corbo M. R. (2019). A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrasonics Sonochem.,* 52, 477-483. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.026>
13. Kong Y., Peng Y., Zhang Zh. (2019). Removal of *Microcystis aeruginosa* by ultrasound: Inactivation mechanism and release of algal organic matter. *Ultrasonics Sonochem.,* 56, 447-457. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.017>
14. Li Y., Shi X., Zhang Zh. (2019). Enhanced coagulation by high-frequency ultrasound in *Microcystis aeruginosa* - laden water: Strategies and mechanisms. *Ultrasonics Sonochem.,* 55, 232-242. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.022>
15. Luhovskiy O. F., Gryshko I. A., Bernyk I. M. (2018). Enhancing the Efficiency of Ultrasonic Wastewater Disinfection Technology. *Journal of Water Chemistry and Technology,* 40, 95-101. <https://doi.org/10.3103/S1063455X18020078>
16. Park J., Son Y., Lee W. H. (2019). Variation of efficiencies and limits of ultrasonication for practical algal bloom control in fields. *Ultrasonics Sonochem.,* 55, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.007>
17. Chaudhry F. N., Malik M. F. (2017). Factors affecting water pollution: a review. *J. Ecosyst. Ecography,* 7(1), 225-231. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>

18. Naddeo V., Cesaro A., Mantzavinos D. (2014). Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review. *Global Nest Journal*, 16(3), 561-577. <https://doi.org/10.30955/gnj.001350>
19. Koval I. (2020). Influence of oxygen and carbon dioxide on water purification from bacteria and yeast under cavitation conditions. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series «Ecology»*, 22, 75-82. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07> (In Ukrainian)
20. Koval I. (2020). Influence of Aerobic Bacteria Concentration on the Process of its Survival in the Presence of Oxygen. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, 23, 118-123. (In Ukrainian)
21. Koval I. (2020). Predominant microflora of natural and wastewaters of Lviv region. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 3(2), 121-126. <https://doi.org/10.23939/ctas2020.02.121> (In Ukrainian)
22. Koval I. (2021). Correlation between diameter of microorganisms and efficiency of microorganisms destruction under gas/cavitation conditions. *Chemistry & Chemical Technology*, 15(1), 98-104. <https://doi.org/10.23939/chcht15.01.098>

Отримана 15.03.2021

Переглянуто 22.04.2021

Прийнята до друку 12.05.2021