

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГУМАНІТАРНО-ПЕДАГОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ

ДИПЛОМНА РОБОТА
МАГІСТРА

Обґрунтування впливу кавітаційно-магнітної обробки води
на мікробіоту та макрофлору

Галузь знань – *10 Природничі науки*

Спеціальність – *101 Екологія*

ДРЕКОЛ.015081.01.16.00

Виконав: студентка 2 курсу, групи ЕКОЛм-19-1 _____ І. С. Сухомлинова

Керівник _____ О. О. Єфремова

Нормоконтролер _____ Б. Б. Артамонов

До захисту допускаю:

Зав. кафедри _____ Н. Г. Міронова

_____ 2020 р.

Хмельницький 2020

АНОТАЦІЯ

Тема – Обґрунтування впливу кавітаційно-магнітної обробки води на мікробіоту та макрофлору.

Автор – студ. ЕКОЛм-19-1 І. С. Сухомлинова.

Керівник – доцент, доцент кафедри екології, канд. техн. наук О.О. Єфремова.

Дипломна робота викладена на 76 сторінках, містить 2 таблиці, 26 рисунків та перелік джерел посилання з 55 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАВІТАЦІЯ, КАВІТАЦІЙНО-МАГНІТНА ОБРОБКА ВОДИ, МІКРООРГАНІЗМИ, МАКРОФЛОРА, ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ, ВОДООЧИЩЕННЯ, ВОДОПІДГОТОВКА.

Досліджено та охарактеризовано теоретичні аспекти кавітаційної обробки води, зокрема основні галузі її застосування. Проаналізовано можливості застосування кавітації для очищення води з різними видами забруднень. Здійснено дослідження та обґрунтування впливу кавітаційно-магнітної обробки води на мікроорганізми та макрофлору. Досліджено можливий генотоксичний вплив кавітаційно-магнітної обробки води на макрофлору.

11.12.2020 р.

І. С. Сухомлинова

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Теоретичні аспекти кавітаційної обробки води... ..	10
1.1 Загальні відомості та основні галузі застосування.....	10
1.2 Вплив кавітації на ріст та розвиток живих організмів.....	19
2 Характеристика об'єктів та методів досліджень	32
2.1 Загальна характеристика об'єкту та предмету дослідження.....	32
2.2 Опис установки для кавітаційно-магнітної обробки рідини.....	37
2.3 Методика експериментальних досліджень.....	42
3 Обґрунтування впливу кавітаційно-магнітної обробки води на мікробіоту та макрофлору.....	49
3.1 Дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на мікробіоту	49
3.2 Дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на макрофлору.....	54
3.3 Дослідження хромосомних порушень у меристематичних клітинах цибулі звичайної.....	61
Висновки.....	64
Перелік джерел посилання.....	68
Додаток А Апробація результатів дослідження.....	77

ВСТУП

Із стрімкою урбанізацією суспільства, розвитком переробних, виробничих, видобувних галузей промисловості, збільшенням об'ємів відходів, викидів і скидів відбувається збільшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Наслідком цього є забруднення довкілля, в тому числі і погіршення якісних та кількісних показників природних вод.

Поверхневий стік, недостатньо очищені та неочищені стічні води, нераціональне ведення водного господарства – все це призводить до забруднення води водних об'єктів, їх виснаження та зменшення здатності до самоочищення. Стічні води містять широкий спектр токсичних забруднювачів, тому актуальним на сьогодні є пошук ефективних технологій та методів водоочищення. Крім того, враховуючи той факт, що майже 70 % населення України користується питною водою, джерелом якої є поверхневі водні об'єкти, актуальним є і пошук новітніх технологій водопідготовки.

У поверхневих водних об'єктах спостерігається підвищений вміст органічних речовин, який у літній період року набуває критичних значень із розвитком «цвітіння» води. Також вода містить велику кількість мікроорганізмів, які є збудниками багатьох інфекційних захворювань, отже становить потенційну небезпеку не лише для навколишнього середовища, а й для людства загалом.

Застосування реагентних способів знезараження води, зокрема хлорування, є високоефективними та широко використовуваними. Але такі методи мають вагомий недолік – це залишковий вміст реагентів у очищеній воді, які можуть утворювати токсичні, канцерогенні сполуки з органічними речовинами води.

Зважаючи на вищенаведене, перспективними для очищення природних і стічних вод є безреагентні технології, в основі яких лежать фізико-хімічні та

фізико-механічні явища такі, як: ультрафіолетове опромінення, електрокоагуляція, озонування, електророзрядна обробка, магнітне та радіаційне опромінення, кавітаційна та інші методи фізичної обробки води. Порівняно з іншими методами кавітаційна очистка води є найбільш економічно доцільною. До того ж, існує досить багато методів збурення кавітації, ефективність застосування яких у водопідготовці та водоочищенні експериментально обґрунтовано та доведено. Такі технології можуть використовуватись для знезараження питної води, стічних вод, для стерилізації та дезінфекції продуктів.

Вивченням процесів кавітації та способів її практичного застосування займаються такі зарубіжні науковці, як: Г. Гельмгольц, Г. Кірхгоф, Л. Бріллюєн, Ф. Мітчелл, М. Жуковський, Д. Бернуллі та інші. Розвитком результатів їх теоретико-практичних досліджень та вдосконаленням хіміко-технологічних процесів задля використання у промисловості та вдосконаленням гідроапаратури займаються такі науковці, як: В. Акулічев, І. Пірсол, А. Пернік, З. Арзуманов, Ю. Левківський, А. Розенберг, Р. Кнеп, М. Маргуліс, І. Ельпінер. Дослідженням кавітаційних процесів займаються і науковці України, зокрема наукові школи Національного університету «Київський політехнічний інститут» (О. І. Некоз, В.М. Івченко, І. М. Федоткін, М. А. Балабуткін, А. Ф. Немчин, М. А. Промтов), Національного університету «Львівська політехніка» (Л. І. Шевчук, Є. М. Мокрий, І. С. Афтаназів, В. Л. Старчевський, І. З. Коваль, О. І. Строган), Тернопільського державного університету ім. І. Пулюя (А. Д. Молчанов, Т. М. Вітенько) та Хмельницького національного університету (Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв) [1].

Практикою промислового використання та експериментальними дослідженнями переконливо доведено високу ефективність застосування кавітаційних явищ у рідинах для ініціювання та активації різноманітних окисно-відновних процесів, зокрема і для операцій водопідготовки та водоочищення. Але, все ще ведуться пошуки простих та економічно вигідних

методів збурення та підтримання кавітації у великих об'ємах рідини в умовах виробництва.

Тому актуальними залишаються дослідження, спрямовані на створення сучасних технологій кавітаційної обробки, на вдосконалення наявних методів кавітаційного водоочищення, на пошук безреагентних методів підготовки води для подальшого використання у сільському господарстві (полив сільськогосподарських культур та водопій тварин).

Щодо теоретичних аспектів кавітаційної обробки води, галузей застосування кавітаційно-обробленої води та впливу кавітації на ріст та розвиток живих організмів, то це питання досить широко вивчається і досліджується. Новаціями у цій сфері може бути вивчення особливостей впливу кавітаційної обробки води на мікробіоту та макрофлору нових або недостатньо вивчених методів збурення кавітації.

Одним із таких методів збурення кавітації є застосування камери пульсацій вібраційного обладнання з одночасною магнітною обробкою, розроблена у Хмельницькому національному університеті. Автори розробки у своїх дослідженнях детально вивчили механізм збурення кавітації, технічні параметри установки, здійснили дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ефективність очищення від хімічних сполук та на зміну структуру води, але дослідження впливу на мікробіоту та макрофлору не проводились. Саме це і зумовлює актуальність обраного дослідження.

Мета дослідження – обґрунтування впливу кавітаційно-магнітної обробки води на мікробіоту та макрофлору. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- вивчити теоретичні аспекти кавітаційної обробки води, зокрема основні галузі застосування;
- проаналізувати можливості застосування кавітації для очищення води з різними видами забруднень;
- дослідити та обґрунтувати вплив кавітаційно-магнітної обробки води на мікроорганізми та макрофлору;

– дослідити можливий генотоксичний вплив кавітаційно-магнітної обробки води.

Об'єктом дослідження: кавітаційно-магнітно-оброблена водопровідна вода та вода поверхневих водних об'єктів.

Предмет дослідження: вплив кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток мікроорганізмів та рослин.

Гіпотеза дослідження – обґрунтування бактерицидної дії на мікроорганізми води та активації процесів росту вищих рослин при обробці води на кавітаційно-магнітній установці (із гідродинамічним збуренням кавітації з одночасною магнітною обробкою) дає підстави щодо ефективного застосування кавітаційно-магнітної обробки води у системах водоочищення та водопідготовки, зокрема для знезараження та поливу сільськогосподарських культур.

Методи дослідження. Теоретичною та методологічною основами дослідження є праці вітчизняних та закордонних вчених у галузі водоочистки та водопідготовки. В процесі дослідження використовувалися теоретичні (аналіз, синтез, системний аналіз), та прикладні (польові – відбір проб води, лабораторні – мікробіологічний аналіз зразків води, біотестування для оцінки схожості насіння та ростових параметрів проростків) методи досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше:

– проведено мікробіологічний аналіз зразків води обробленої на кавітаційно-магнітній установці із гідродинамічним збуренням кавітації з одночасною магнітною обробкою;

– доведено, що кавітаційно-магнітна обробка води чинить бактерицидний вплив;

– встановлено, що кавітаційно-магнітна обробка води має стимулюючий вплив на ріст та розвиток вищих рослин на прикладі крес-салату;

- встановлено відсутність генотоксичного впливу кавітаційно-магнітної обробки води при застосуванні її для пророщування рослин;
- набули подальшого розвитку обґрунтування ефективності застосування кавітаційно-магнітної обробки води у системах водоочищення та водопідготовки, зокрема для знезараження та поливу сільськогосподарських культур.

Практичне значення одержаних результатів. Експериментально підтверджені бактерицидний ефект кавітаційно-магнітної обробки води та активація процесів росту вищих рослин, а також відсутність генотоксичного впливу такої обробки на рослинні організми дають підстави рекомендувати кавітаційно-магнітну установку із гідродинамічним збуренням кавітації з одночасною магнітною обробкою для застосування у процесах водоочищення та водопідготовки. Результати дослідження підтверджують необхідність вдосконалення апробованої установки для підвищення її ефективності щодо знезараження та покращення властивостей обробленої води.

Матеріали дипломної роботи можуть бути використані у фаховій підготовці екологів у закладах вищої освіти при викладанні дисциплін «Організація контролю якості води, ґрунту та повітря», «Моніторинг довкілля», «Основи проектування очисних споруд», «Екологічна безпека».

Особистий внесок автора у роботу. Особистий внесок автора в отриманні результатів, викладених у роботі, є основним і полягає у підборі та опрацюванні літературних джерел, виконанні аналізу, проведенні експериментальних досліджень та узагальненні науково-теоретичних і дослідних даних.

Апробація результатів дипломної роботи і публікації з теми дослідження. Результати дослідження було опубліковано у матеріалах Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми урбоекосистем» (м. Кам'янець-Подільський, 2020 р.), (додаток А).

1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ

1.1 Загальні відомості та основні галузі застосування

Згідно енциклопедичного визначення, кавітація – це утворення всередині рідини порожнин, які заповнені газом, паром або їх сумішшю (так званих кавітаційних бульбашок), тобто порушення суцільності рідин [2]. Кавітація виникає через швидке місцеве зниження тиску в рідині до певного критичного значення, причому зниження тиску може виникати або в результаті збільшення швидкості рідини (тоді це гідродинамічна кавітація), або, якщо інтенсивна акустична хвиля проходить через рідину під час напівперіоду розрідження (тоді це акустична кавітація) [2, 3].

У зоні пониженого тиску утворюються кавітаційні бульбашки та каверни, які при попаданні у зону підвищеного тиску схлопують. Це супроводжується [4]:

- виникненням інтенсивних полів тиску та хвиль розрідження – стиснення під час пульсації та захлопування парогазових каверн і бульбашок;
- утворенням кумулятивних мікроструменів в асиметричному полі тиску на кінцевій стадії захлопування каверни;
- виникненням турбулентних зон у потоці оброблюваної рідини, що заповнені вихорами та лопаючими бульбашками інфразвукового й ультразвукового діапазону частот;
- локальним підвищенням температури майже до 1000 °С та електричними розрядами [4].

Технологічні можливості процесу кавітації обумовлені наступними чинниками:

- періодичним в часі значним енергетичним впливом на рідину, що обробляється;
- явищами утворення ударних мікрохвиль;

- фазовими переходами, які відбуваються на поверхні мікробульбашок;
- хімічними перетвореннями.

В результаті, перелічені вище чинники значно пришвидшують перебіг хімічних реакцій, вони можуть змінити структурну будову матеріалів або середовищ, що обробляються. Саме ці властивості кавітації обумовили її активне дослідження як фізичного явища, та стали передумовою широкого застосування у промисловості (при дегазації, активації, стерилізації, емульгуванні, диспергуванні, біологічному знезараженні).

Кавітаційна обробка рідини характеризується унікальністю технологічних можливостей, що і обумовлює пошук методів її збурення і застосування у різних галузях. Методи збурення кавітації, які були винайдені, досягаються застосуванням перемінного магнітного поля; явища «холодне кипіння»; електричних методів збурення; ультразвукових.

У процесах теплообміну та масообміну широко застосовується явище «холодного кипіння» (коли активно виділяється велика кількість бульбашок розчиненого у рідині газу при умові стрімкого зниження тиску). За необхідності обробки незначних об'ємів рідини використовують електричні методи, за яких кавітація виникає в результаті іскрового розряду та імпульсного пропускання струму високої напруги. Вони обумовлюються електрогідравлічним ударом (відбувається розрив суцільностей потоку у рідині, що обробляється із подальшим поширенням ударних хвиль між зануреними у рідину електродами. Слід зауважити, що такі методи є енергозатратними, до того ж, мають незначну продуктивність. Це може бути обмеженням у використанні на виробництві [5].

Ефективним є ультразвуковий кавітаційний метод, що використовується для створення та активації окисно-відновних реакцій у рідині. Основою використання цього методу для хіміко-технологічних процесів слугували результати експериментальних досліджень явища збурення кавітації у рідині впливом на рідину ультразвуком із частотою

22 кГц або 44 кГц [6]. В основі методу – застосування коливань ультразвукової частоти, які створюють умови росту ядер кавітації. Коли частота власних коливань ядер кавітації збігається із частотою ультразвуку виникає резонанс, який супроводжується миттєвим розширенням і наступним сплескуванням кавітаційних бульбашок. При сплескуванні кавітаційних бульбашок накопичена потенціальна енергія рідини, яка оточує бульбашку, переходить у кінетичну.

Процес завершується, коли руйнуються бульбашки і корисна потужність виділяється у вигляді енергетичного імпульсу. При цьому навколо кожної такої кавітаційної бульбашки зароджується сферична ударна хвиля, а кожна сплеснута бульбашка є джерелом від трьохсот до чотирьохсот, а іноді тисяч чергових зародків кавітаційних каверн, отже процес набуває лавиноподібного характеру. Ударні хвилі сусідніх сплеснутих кавітаційних бульбашок поєднуються між собою і формують у невеликому об'ємі доволі потужне енергетичне поле – як результат, значно інтенсифікуються окисні реакції [7]. Тому ультразвукову кавітацію найбільше застосовують при водоочищенні та знезараженні води.

Але, збурення кавітації ультразвуком є ефективним тільки у малих об'ємах рідини (500 мл і менше). До того ж, такий метод збурення кавітації є енергозатратним і це теж обмежує використання цього методу у промисловості.

Широкий діапазон регулювання інтенсивності поля кавітації, що формується ультразвуком та високий рівень енергетичного впливу на оброблюване середовище дозволяє вважати такий метод еталонним і застосовувати при дослідженні технологічних можливостей кавітаційної обробки, для порівняння ефективності різновидів кавітації, для визначення і порівняння енергетичних та грошових затрат на застосування різних методів обробки рідини [6].

Такі методи збурення кавітації, як гідростатичний і гідродинамічний є поширенішими при обробці великих об'ємів та обсягів рідини та мають ряд

переваг. Гідродинамічний метод збурення кавітації має високу продуктивність, простий у реалізації і енергозатрати тут незначні. Їх найбільше використовуються у промисловості.

Актуальними є дослідження, що спрямовані на створення новітніх технологій кавітаційної обробки, на удосконалення наявних та створення досконалих у забезпеченні високої якості та придатності для промисловості, у тому числі і при водоочищенні, оскільки вони можуть поєднати високий ступінь очищення і високу продуктивність [6].

Так, віброрезонансна кавітаційна обробка питної та побутової води забезпечує відповідність стандартам параметрів та якості. Такий метод має високу продуктивність, отже може широко використовуватись у побуті та промисловості. Однак недостатня вивченість технологічних можливостей даного методу та невизначеність щодо тривалості досягнутого ефекту та умов збереження набутих властивостей рідин поки не забезпечує його широке впровадження.

На сьогодні ультразвук залишається одним з найефективніших методів утворення кавітації. Ультразвукова кавітація (УЗК) – це механічні коливання у твердому, рідкому і газоподібному середовищах з діапазоном частот коливань вище 16 кГц. УЗК поділяються на низькочастотні (від 16 кГц до 80 кГц) і високочастотні (вище 80 кГц) [8].

При поширенні в газах, рідинах і твердих тілах ультразвук породжує унікальні явища, багато з яких знайшли практичне застосування в різних областях науки і техніки [9].

Кавітація – один із важливих факторів, які сприяють інтенсифікації хіміко-технологічних процесів в фармацевтичній, хімічній, харчовій промисловостях. Застосування ультразвуку можна досягати [10]:

- ініціювання вільно-радикальних реакцій;
- прискорення хімічних реакцій;
- підвищення швидкості емульгування рідких компонентів;

- дегазації;
- розчинення;
- запобігати осадженню або коагуляції речовин;
- диспергування твердих компонентів реакції або каталізаторів;
- отримання тонкодисперсних пігментів;
- сприяти екстракції речовин;
- інтенсивного перемішування;
- видаляти або руйнувати певні частинки тощо.

При очищенні стічних вод обробку ультразвуком застосовують в хемосорбційних, ректифікаційних, адсорбційних процесах і в озонаторних установках. До переваг використання ультразвукового очищення в промисловості можна віднести [9]:

- підвищення швидкості очищення у водному середовищі, або в розчиннику;
- конструкція реактора спрощується, підвищується його надійність і довговічність;
- потрібні менший простір і менші витрати праці;
- можливість застосування даного методу для очищення небезпечних речовин;
- високий рівень безпеки;
- покращення якості очищення води завдяки одночасній дезінфекції, дезодорації і знебарвленні;
- не відбувається забруднення навколишнього середовища [9].

Все це обумовлює різноманітність кавітаційних ефектів.

Крім вищеперелічених методів збурення кавітації, застосовують також і акустичний метод. У фазі розрідження акустичної хвилі у рідині утворюється розрив у вигляді порожнини, яка заповнюється насиченою парою даної рідини. У фазі стиснення під дією підвищеного тиску і сил поверхневого натягу порожнина зхлопується, а пара конденсується на межі

розділу фаз. Станом на сьогодні єдина думка щодо фізичного пояснення фази руйнування кавітаційних бульбашок відсутня. Вважається, що відбувається досить швидко «місцеве перегрівання», причому стиснення газу та пари у бульбашках є адіабатичним процесом [9].

Акустична кавітація у рідинах породжує різні фізико-хімічні явища; хімічні ефекти (звукохімічні реакції); сонолюмінесценцію (свічення рідин) [11]. Модель фізико-хімічних процесів, які відбуваються у кавітаційних бульбашках, наступна – у кавітаційну порожнину проникають пари води, розчинені гази, речовини із високою пружністю пари, але не можуть проникати йони або молекули нелетких розчинених речовин. Газоподібні молекули води, які потрапили у зростаючі мікропухирці, руйнуються, при цьому утворюють радикальні високоактивні частинки, в тому числі гідроксильні радикали [9, 12].

Сонолюмінісцентні процеси та звукові хімічні реакції генетично-пов'язані процеси, і можуть чинити взаємний вплив [13]. Люмінесценція і світіння, що викликані ультразвуком в виникають при кавітації, близькі за своєю природою процеси. Існуючі теорії сонолюмінісценції – свічення рідин за ультразвукового впливу поділяють на дві умовні групи: «теплові» і «електричні». Причину світіння складно виявити через взаємозв'язок теплових та електричних ефектів так як, сильний розігрів середовища призводить до іонізації середовища, електричний пробій – до розігріву середовища [14]. Теорія локальної електризації кавітаційних бульбашок була розроблена Маргулісом у 80-х роках 20-го століття і дозволила обґрунтувати електричний механізм виникнення високоенергетичних ефектів в ультразвукових полях, що відповідав більшості експериментальних даних [9, 15].

На сучасний період кавітаційні явища широко вивчаються і впроваджуються у інноваційні технології, для розробки обладнання, що використовується у водоочищенні та водопідготовці. До того ж, новітні методи обробки рідини повинні відповідати і сучасним вимогам – бути

енергоощадними та ресурсозберігаючими, забезпечувати дотримання основних вимог екологічної безпеки [9, 16].

Кавітаційний вплив дозволяє прискорювати хіміко-технологічні процеси, синтезувати нові речовини (каталізатори, біологічні матеріали, наноматеріали) [17, 18]. Такі наукові дослідження слугували зародженню молекулярної акустики, яка вивчає молекулярну взаємодію звукових хвиль з речовинами. Завдяки таким дослідженням галузі використання ультразвуку значно розширились – це і інтроскопія, і голографія, і квантова акустика, і ультразвукова фазометрія, і акустична електроніка [19].

Також кавітаційні технології є актуальні у галузях енергетики, хімічної та харчової промисловостей, машинобудування [6]. Проте, найбільш ефективно застосування кавітації характерне для очистки стічних вод, що містять органічні речовини [20].

В очистці стічних вод кавітацію можливо використовувати в якості одного з етапів очищення [21]. Так, для стічних вод м'ясопереробних виробництв одним із етапів очистки є кавітаційно-флотаційна. За наявності забруднювача натрію стеарата з використанням суспензії кальцію гідроксиду, в результаті гідродинамічної кавітації, продукти реакції спливають на поверхню рідини, при цьому утворюється стійка щільна піна. Отже, супутній процес кавітації в даному випадку – флотація. Слід зауважити, що флотація відбувається без додаткової енергії для диспергування газу на відміну від традиційних флотаційних процесів. Газу, які призводять до флотації, виділяються під час попередньої стадії кавітаційної обробки рідини. Ступінь очищення стічних вод за використання даного методу становить 85 % [22].

Ефективним в галузі водоочистки є застосування ультразвукової кавітації, яка чинить вплив на органічні та біологічні об'єкти [23]. Наприклад, бісфенол А (БФА), який міститься як у промислових стоках, так і у природних водах, при дії ультразвуку інтенсивністю 20 Вт/см^2 розкладається до 33,2 % бісфенолу, при інтенсивності 40 Вт/см^2 – 44,9 %, при

інтенсивності 60 Вт/см^2 – 51,1 %, а при інтенсивності 80 Вт/см^2 розкладається до 55,0 % бісфенолу [24].

При обробці побутових стічних вод (основний забруднювач – органічні речовини) ультразвуком, виникає кавітація, яка знижує значення ХСК від 25 % до 30 %. Також встановлено, що нерозчинні сполуки при такому впливі переходять в розчинні, леткі речовини, що утворюються – спалюються теплом кавітаційних пухирців у газовій фазі, що потім руйнуються.

Одночасно із вивченням методів збурення кавітації здійснюють дослідження щодо підсилення кавітації за одночасної дії газу та ультразвуку [23]. При подачі в кавітаційну зону газів різної природи відбувається вплив на хіміко-акустичний вихід радикалів, спостерігається зміна механізму процесів та змінюється перебіг ультразвукових хімічних процесів. Але інтенсивність впливу певних газів на кінетичні закономірності хімічних реакцій в кавітаційному полі ще не достатньо досліджені і не мають досконалого теоретичного обґрунтування [23].

Передовим методом, який широко застосовується в очистці водних середовищ від різних органічних забруднювачів є сонохімічне окислення. Значна кількість експериментів доводять, що хімічні ефекти ультразвуку пов'язані із кавітацією. В екстремальних умовах забезпечення протікання хімічних реакцій відбувається за рахунок високих місцевих температур та тиску, що поєднуються із надзвичайно швидким охолодженням, яке обумовлює кавітація [19]. Сонохімічні реакції зазвичай характеризують одночасну появу піролізу і радикальних реакцій. При цьому, за рахунок кавітації утворюються гідроксильні радикали, які мають високу реакційну здатність і можуть окислювати практично всі забруднюючі речовини, що містяться у воді.

Такі досить поширені забруднювачі, як феноли, нітрофеноли, хлорфеноли, алкілфеноли, нітробензен, пестициди і гербіциди розпадаються при кавітації на прості органічні кислоти, неорганічні іони, окис вуглецю, двоокис вуглецю та воду [9]. Ультразвук також спричинює розклад багатьох

хлорорганічних сполук. Так, при обробці водних розчинів дихлорметанів, тетрахлорметанів, хлороформів, трихлоретиленів у концентраціях в межах від $50 \cdot 10^{-6}$ до $350 \cdot 10^{-6}$, ультразвуком частотою 20 кГц при інтенсивності 100 Вт/дм^3 , тривалістю обробки 30 хвилин, відбувається деструкція цих хлорорганічних сполук до значень від 72 % до 100 % [9].

Відомі два види хімічної дії акустичних коливань, звідки виділяють два види ультразвукових реакцій.

До першого виду належать реакції, що прискорюються в ультразвуковому полі, але вони можуть протікати і за його відсутності із меншими швидкостями. Сюди відносять прискорення гідролізу диметилсульфату і персульфату калію, окислення альдегідів, розкладання діазосполук, прискорення емульсійної полімеризації, зміну активності каталізаторів.

До другої групи ефектів відносять реакції, які без впливу ультразвукової кавітації взагалі не протікають. Реакції такого типу залежно від механізмів первинних і вторинних елементарних процесів, розділяють на наступні класи [9]:

- окисно-відновні реакції, що відбуваються у рідкій фазі між розчиненими речовинами і продуктами ультразвукового розщеплення води, які виникають у кавітаційній бульбашці і переходять в розчин після їх зплескування;
- реакції між розчиненими газами і речовинами з високою пружністю пари в середині кавітаційних бульбашок;
- ланцюгові реакції в розчині, вони викликаються не радикальними продуктами розщеплення чи другими речовинами, що присутні у системі і які розщеплюються в кавітаційній порожнині;
- реакції за участі макромолекул, як приклад, можна навести деструкцію молекули полімеру і початок його полімеризації, що можуть відбуватися і за відсутності кавітації. В такому випадку значну роль

відіграють мікропотоки, які виникають під дією ультразвуку (високі градієнти тиску і температури);

- спричинення вибуху у рідких або твердих вибухових речовинах.

Головну роль у цих процесах відіграє виникнення ударних хвиль та високих температур при зплескуванні кавітаційних бульбашок;

- звукохімічні реакції у неводних середовищах.

Ультразвукова кавітація також прискорює реакції механохімічного походження. Одночасно з цим відбувається ініціація специфічних звукохімічних реакцій, які без впливу ультразвуку не можуть здійснюватись і в їх основі лежить механізм розриву хімічних зв'язків. Завдяки звукохімічним реакціям, що відбуваються в результаті кавітації в рідині можливо досягти змін просторової орієнтації і властивостей молекул, а також деформації та розриву міжмолекулярних ланцюжків на окремі фрагменти [8].

Наступний метод отримання гідрокавітації – це застосування камери пульсацій вібраційного обладнання. В цьому випадку припускається, що пухирці отримують додаткову енергію під час відриву від великого деформованого пухирця або від вільної поверхні рідини. Також допускають, що в такому разі відбувається розщеплення та локальна електризація пухирців [25].

1.2 Вплив кавітації на ріст та розвиток живих організмів

Вплив кавітації на ріст та розвиток живих організмів ще не достатньо вивчений. Одним із найбільш вивчених тут можна вважати бактерицидний ефект при обробці рідини, що обумовлений загибеллю мікроорганізмів в результаті руйнування цілісності організму.

Знезараження в основному використовують для підготовки води для питного водопостачання, водоочищення при скиді стічних вод у водні об'єкти, деякі методи знезараження використовують для стерилізації та дезінфекції продуктів.

На сьогодні, до основних та найбільш застосовуваних методів знезараження води (видалення патогенних мікроорганізмів) можна віднести наступні:

- реагентні (хімічний спосіб знезараження);
- безреагентні (фізичний спосіб знезараження);
- комбіновані (поєднання фізичних і хімічних способів знезараження).

Вибір методу знезараження залежить від витрат та якості води, ефективності та надійності процесу, умов постачання та зберігання реагентів, необхідності попередньої очистки (прояснення, знебарвлення, відстоювання, фільтрування), можливості механізації складних робіт, автоматизації процесу та техноеколого-економічного обґрунтування [26].

При хімічному способі знезараження використовуються окисники (хлор, хлорне вапно, перманганат калію, озон, аргентум та ін.), рисунок 1.1 [26]. При такому способі знезараження важливим є чітке дотримання дозування реагентів та часу контакту реагенту із рідиною. Недостатня кількість реагенту не забезпечить необхідного ефекту, а зайва доза призведе до накопичення у воді реагенту (вторинне забруднення, наприклад, при знезараженні хлором та його сполуками), що погіршить якість води. Зазвичай дозу реагенту розраховують із надлишком, що забезпечує більший знезаражуючий ефект. Показником достатності використаної дози хлору є наявність у воді залишкового хлору, для питної води вона становить $0,5 \text{ мг/дм}^3$ [26].

До переваг хлорування можна віднести доступність методу та реагентів та післядія хлорування. Оскільки залишкова доза хлору від $0,3 \text{ мг/дм}^3$ до $0,5 \text{ мг/дм}^3$ попереджає повторне зростання мікроорганізмів у воді.

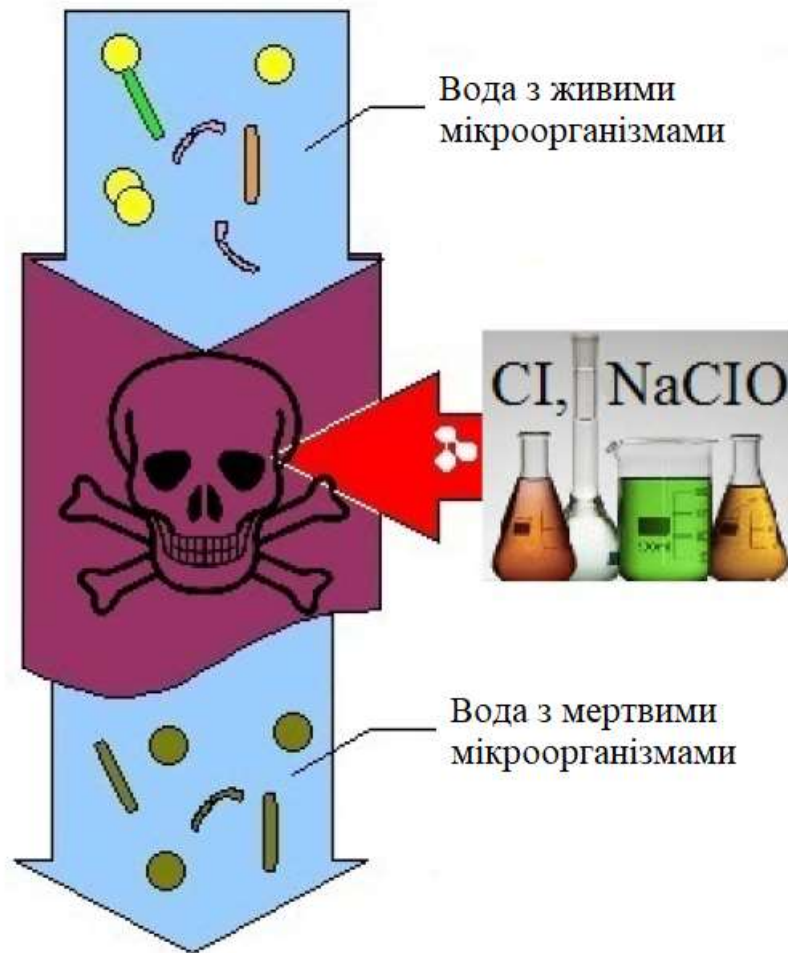


Рисунок 1.1 – Знезараження води хлоруванням [27]

До недоліків методу відносять окислення органічних сполук надлишковою дозою хлору з утворенням хлорорганічних сполук, які є токсичними і стійкими. Стійкі органічні сполуки належать до стійких органічних забруднювачів (СОЗ), які накопичуються в організмі та навколишньому середовищі і є канцерогенами. Ще один недолік хлору – сильнодіючість і токсичність, створює велику небезпеку при транспортуванні, зберіганні і використанні.

Більш безпечним реагентним методом знезараження води є озонування, що здійснюється шляхом пропускання через воду озонованого повітря.

Озон взаємодіє з водою, в результаті чого утворюється атомарний кисень, рисунок 1.2. Він руйнує ферментну систему мікробних клітин, а при окисленні гумінових сполук утворюється неприємний запах. Достатня доза

озону знаходиться в межах від 0,6 мг/л до 3,5 мг/л, тривалість контакту з водою від 8 хвилин до 15 хвилин. Залишковий озон не повинен перевищувати значень від 0,3 мг/л до 0,5 мг/л, інакше вода набуває специфічного запаху, починається корозія елементів систем водопостачання. При роботі з озоном слід дотримуватись правил техніки безпеки, оскільки озон при концентрації у повітрі вищій за $0,0001 \text{ мг/дм}^3$ є токсичним.

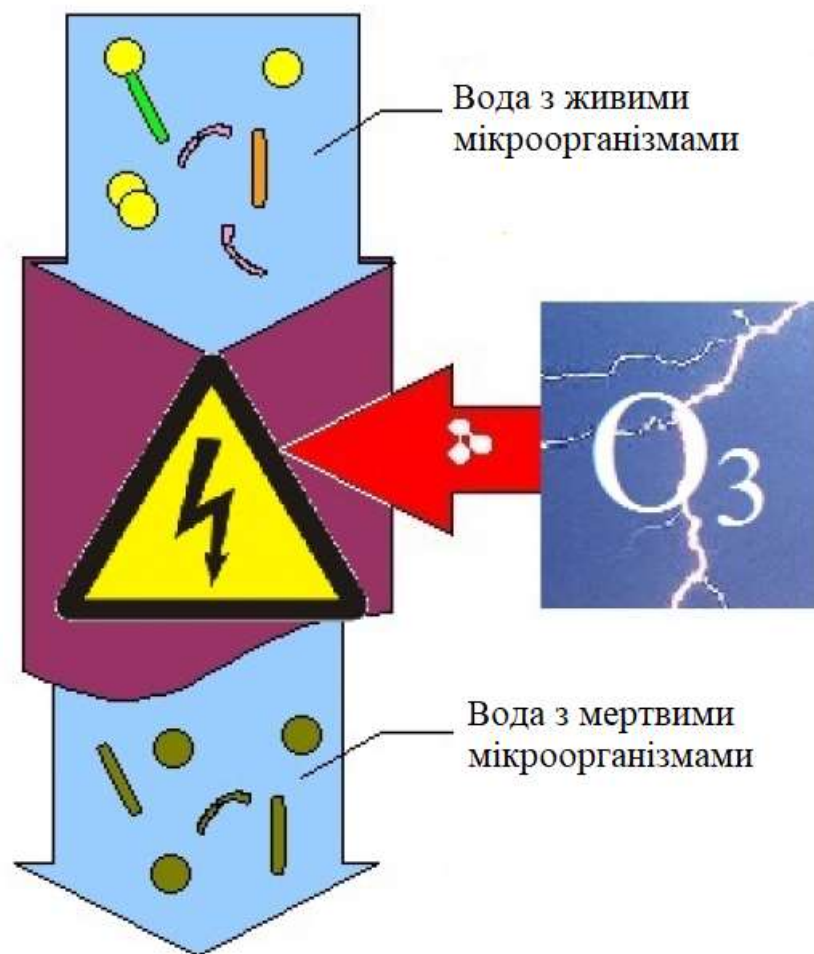


Рисунок 1.2 – Озонування води [27]

При застосуванні озонування забезпечуються стійкі органолептичні показники води, в очищеній воді не утворюються високотоксичні елементи. Використання даного методу знезараження води вимагає великої кількості електроенергії, складної апаратури, висококваліфікованого обслуговування, що підвищує його вартість і в сучасних умовах є недоліком.

Знезараження води можливо також досягти при обробці води, в якій міститься від $0,05 \text{ мг/дм}^3$ до $0,2 \text{ мг/дм}^3$ срібла протягом часу від 30 хвилин до 60 хвилин. Серед способів розчинення срібла у воді найбільшого поширення набув метод електролітичного розчинення металічного срібла, який ґрунтується на анодному розчиненні. Для знезараження промислових вод можлива заміна срібла міддю.

На сьогодні, у промислових масштабах використовують два типи іонаторів срібла:

- для індивідуального користування в побутових умовах;
- для знезараження води невеликих господарсько-питних водогонів, підприємств харчової промисловості та громадського харчування;
- для розливу мінеральних вод;
- для знезараження плавальних басейнів [26].

До фізичних методів знезараження належать методи з використанням ультрафіолетового та іонізуючого випромінювання, ультразвуку, фільтрування. Сюди можна віднести і кип'ятіння.

Ультрафіолетове опромінення – найпопулярніший метод знезараження, при якому використовується бактерицидна дія хвиль довжиною від 200 нм до 295 нм. Максимальний ефект мають хвилі довжиною 260 нм, які здатні впливати на шар води товщею до 25 см за умов її безбарвності та прозорості, рисунок 1.3. Отже цей метод вимагає попередньої підготовки води (фільтрування чи відстоювання).

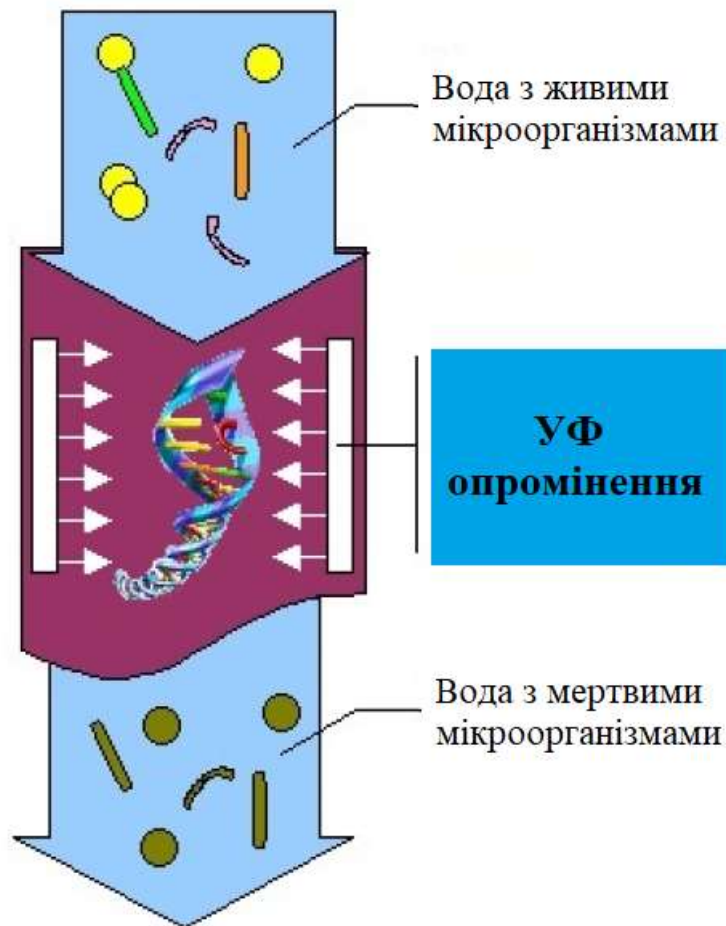


Рисунок 1.3 – Знезараження води шляхом ультрафіолетового опромінення [27]

Ультрафіолетові промені викликають у мікроорганізмів незворотні зміни в результаті порушення молекулярних та міжмолекулярних зв'язків, пошкодження ДНК, РНК, клітинних мембран. Руйнуються вегетативні та спорові форми бактерій, віруси, яйця гельмінтів, зберігаються органолептичні властивості води та її хімічний склад. Збільшення часу ультрафіолетового опромінення не призводить до утворення токсичних речовин та підвищує знезаражуючий ефект, що робить цей метод безпечним порівняно із хлоруванням чи озонуванням.

До переваг методу також можна віднести швидкість досягнення ефекту знезараження (від кількох секунд), відсутність запаху, присмаку, незначні витрати електроенергії [26]. Вважається, що ультрафіолетове опромінення не

володіє ефектом післядії, але є відомості, що при достатній дозі опромінення не спостерігається активації мікроорганізмів, що дозволяє не використовувати консервуючих доз хлору [26].

Досягається бактерицидний ефект також і за рахунок ультразвукової кавітації (рисунок 1.4). Інші методи збурення кавітації в рідині активно досліджуються.

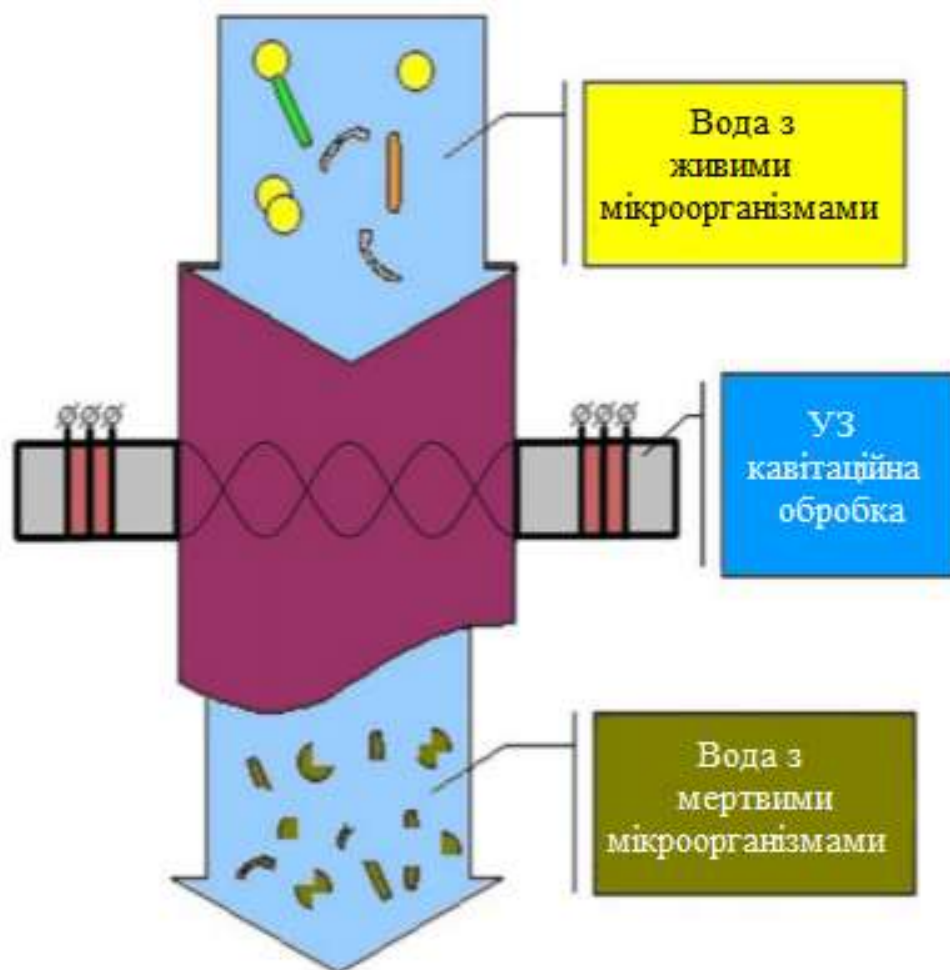


Рисунок 1.4 – Ультразвуковий спосіб знезараження води [27]

Єдиної теорії, яка пояснює це явище досі не існує. Вважається, що ультразвук механічно руйнує бактерії в результаті ультразвукової кавітації.

Кавітація виникає в першу чергу там, де міцність рідини найменша, тобто на межі розділу середовищ клітина-рідина. При цьому виникають мікророзриви, заповнені паром і газом [9], які призводять до теплового і

механічного пошкодження стінок клітини. Додатковим механізмом бактерицидної дії ультразвуку виступає активація вільно-радикального окислення, деполяризація і зміни проникності клітинних мембран [4, 28].

Залежно від параметрів ультразвуку з різною ефективністю на біологічні системи впливають механічні, теплові, хімічні та електрофізичні фактори [28]. Первинним ефектом є вплив на тканини і внутрішньоклітинні процеси; спостерігається зміна процесів дифузії і осмосу, проникність клітинних мембран, інтенсивність ферментативних процесів, окислення, змінюється кислотно-лужна рівновага [8]. Також відбувається зміна в'язкості цитоплазми, порушення градієнту концентрацій речовин поблизу клітинних мембран, що викликає структурні зсуви, зміни умов транспортування молекул, порушення структури цитоплазми, що у сукупності призводить до порушення цілісності клітинних мембран [28, 9].

Механізм дії ультразвукового опромінення на клітини [9] представлено на рисунку 1.5.

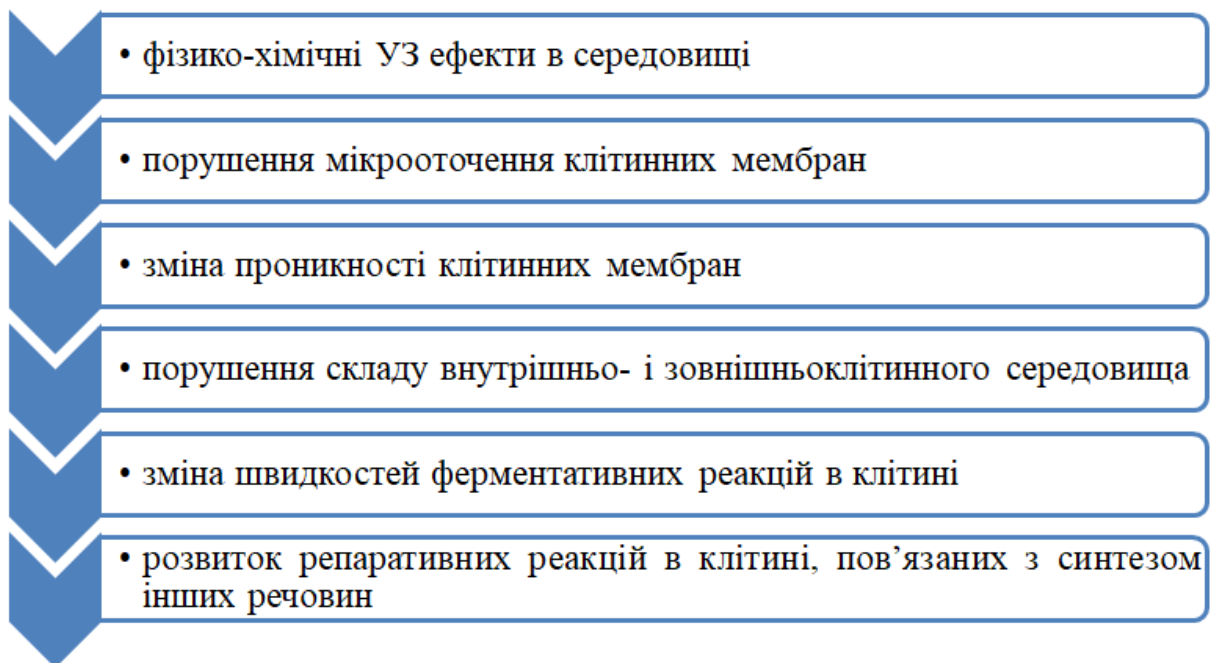


Рисунок 1.5 – Механізм дії ультразвуку на клітини

При дії ультразвуку практично всі мікроорганізми гинуть. Тому цей метод можна використовувати як альтернативний та безпечний шлях для водопідготовки та знезараження і дезінфекції продуктів харчування [8].

Так, стерилізація молока протягом 12 хвилин при температурі 60 °С забезпечує загибель патогенних бактерій *Enterobacteriae* [9], при температурі 70 °С у 105 разів знижується загальне мікробне число, повністю знищуються вегетативні форми дріжджів і цвілевих грибів, патогенних мікроорганізмів групи кишкової палички.

За деякими даними при ультразвуковій обробці підвищується чутливість мікроорганізмів до дезінфікуючих речовин (відповідно потрібні значно менші дози хлору та інших дезінфікуючих речовин, що забезпечить менші економічні витрати та економію реагентів [9]).

Кавітаційний вплив чинить згубну дію на практично всі групи мікроорганізмів та руйнує продукти їх життєдіяльності. Досліджено і доведено бактерицидний вплив ультразвукової кавітації на:

- кишкову паличку (*Escherichia coli*);
- черевнотифозну паличку (*Salmonella typhi*);
- дифтерійну паличку (*Corynebacterium diphtheriae*);
- сінну паличку (*Bacillus subtilis*);
- синьогнійну паличку (*Pseudomonas aeruginosa*);
- паличку правця (*Tetanus bacillus*);
- паличку легіонелли (*Legionella pneumophila*);
- коки (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus*);
- трипаносоми (*Trypanosoma bacillus*);
- трихомонади (*Trichomonas*);
- збудник тифу (*Typhus recurrens*);
- лістеріозу (*Listeria monocytogenes*);
- кишковий ерсиніоз (*Yersinia enterocolitica*) тощо [29].

Ефективність впливу ультразвуку залежить від природи мікроорганізмів, частоти коливань, тривалості та інтенсивності обробки. Особливо чутливими є нитчасті форми мікроорганізмів, а найменш чутливі – кулясті. Основна маса бактерій гине під дією ультразвукових коливань частотою від 20 кГц до 30 кГц при тривалості обробки від 2 с до 5 с. Для досягнення санітарних норм якості води необхідно застосовувати ультразвук частотою коливань 46 кГц та інтенсивністю 2 Вт/см². Ще однією перевагою даного методу є незалежність від каламутності та забарвленості води, яку піддають обробці [26].

Механізм виникнення бактерицидного ефекту під впливом ультразвукового опромінення пояснюють такими теоріями, як кавітаційно-механічна та кавітаційно-електрохімічна [30]. Згідно кавітаційно-механічної теорії у клітині утворюються величезні тиски, які механічно руйнують цитоплазматичну структуру і спричиняють загибель клітини. За кавітаційно-електрохімічною теорією електро-кавітаційні процеси провокують низку хімічних перетворень всередині клітини, в результаті яких утворюються такі сполуки як: активний кисень, пероксид водню, азотиста і азотна кислоти. Ці сполуки інактивують ферменти та коагулюють білки, що і призводить до загибелі мікробних клітин [31].

Ультразвукові хвилі частотою понад 16000 Гц зумовлюють розпад високомолекулярних сполук, токсинів [32], дезактивують ферменти, призводять до коагуляції білка та розриву клітинної стінки. Практично всі прокаріоти в різній мірі є чутливими до дії ультразвуку. Широкого практичного застосування отримала ультразвукова кавітація при виробництві інактивованих вакцин, при стерилізації харчових продуктів, знезараженні питних та стічних вод [30, 33].

Ефективність ультразвукової кавітації і її вплив на мікроорганізми залежить в першу чергу від кількості клітин в одиниці об'єму рідини, тобто від концентрації мікроорганізмів та від частоти ультразвуку [17].

При пригніченні кавітації бактерицидний ефект знижується. Такий ефект досягається при зміні в'язкості середовища чи при накладенні великого зовнішнього тиску (від 4 атм до 5 атм). Це можна пояснити тим, що в рідині кавітація може виникати лише в місці знаходження мікробульбашок газу. При цьому, природа газу, яким насичений водний розчин мікроорганізмів не впливає на бактерицидний ефект ультразвукових коливань. Основним виявляється відстань між біологічним організмом та бульбашкою. Чим менша відстань між ними, тим більш інтенсивна ударна хвиля, що виникає в результаті утворення газової бульбашки [6, 9, 17].

Неоднорідний розподіл інтенсивності ультразвукових коливань у об'ємі такого пристрою обмежує об'єм водного середовища, що підлягає обробці. Це є недоліком даного методу, який можливо усунути лише за рахунок збільшення часу експозиції [34].

При вивченні впливу кавітації на мікроорганізми слід враховувати те, що мікроорганізми, як правило, містяться у складних за вмістом сполук розчинах (вода природних водних об'єктів чи стічні води), де присутні і органічні сполуки. У таких водах постійно відбуваються процеси окислення органічних сполук як за рахунок реакцій з іншими хімічними сполуками, так і за рахунок обмінних процесів мікроорганізмів [35]. В результаті автолізу (виникає у мікроорганізмів при старінні чи пошкодженні) клітини мікроорганізмів виділяють різні за складом органічні сполуки. Тому відділити вплив кавітаційної обробки від впливу інших чинників досить складно [36].

Отже, основна проблема, що виникає при визначенні ефективності впливу ультразвуку на процеси водоочищення, полягає у забезпеченні ультразвуковою кавітацією ефективного й одночасного знешкодження хімічних сполук та мікроорганізмів, що, в свою чергу, забезпечує необхідний ступінь очищення води за основними показниками якості [36].

Для інтенсифікації процесу кавітації досліджуються впливи одночасної дії газу та ультразвуку [23]. За умов насичення рідини газом у кавітаційній

зоні спостерігається активне перемішування суспензії, турбулізація потоку, з'являється синергічний ефект, генеруються додаткові зародки кавітації. Такий синергічний ефект дозволяє зменшити енергетичні витрати на кавітаційну обробку рідини, оскільки час зменшується. До того ж, це обумовлює підвищення ефективності очисних процесів.

До фізичних методів знезараження води також можна віднести рентгенівське і радіоактивне опромінювання, обробку води електричним струмом високої частоти, термічний спосіб. Але ці методи недостатньо вивчені, тому практично не використовуються.

Термічний спосіб (кип'ятіння) використовують для знезараження невеликих об'ємів води. Бактерицидний ефект досягається при кип'ятінні від 5 хвилин до 10 хвилин. Саме за цей час гинуть практично всі патогенні бактерії. Недоліком методу, окрім малих об'ємів, є і велика кількість енергії, що витрачається.

У більшості випадків найбільш ефективним є комплексне застосування реагентних та безреагентних методів знезараження води.

Так, поєднання ультрафіолетового знезараження з наступним хлоруванням малими дозами забезпечує найвищий ступінь очищення, до того ж відсутнє вторинне біологічне ураження води. Аналогічним є поєднання озонування з подальшим хлоруванням незначними дозами. При такому способі різко скорочується утворення токсичних хлорорганічних речовин.

Отже, серед бактерицидних методів обробки води кавітаційні методи досить поширені. Але найбільш вивченим та впровадженим є ультразвукова кавітація, в той час, як низькочастотна кавітація у поєднанні із магнітною обробкою [37] не достатньо вивчена щодо бактерицидної дії.

Ще одним напрямком застосування кавітації, збурення якої може здійснюватись різними шляхами, є підвищення якісних властивостей та структури води [14, 1]. Пояснюють покращення якості води явищем активації.

Фізична суть активації води пояснюється руйнуванням кластерних структур задля насичення води мономолекулами. Саме в мономолекулярному стані вода має підвищену хімічну активність, збільшується її розчинна здатність і проникність. В результаті потужного енергетичного впливу на воду, який виникає в результаті зхлопування порожнин у воді, формується її нова структура. Новій структурі притаманний вміст переважної більшості молекул у вільному (незв'язаному) стані. Автори робіт [38, 35] відзначають, що активована вода за дисоціативними властивостями наближається до апротонних розчинників. Це пояснюється послабленням енергії водневих зв'язків між молекулами та збільшенням рухливості молекул [40].

На сучасний період актуальними є дослідження, що спрямовані на вдосконалення процесів водопідготовки для зрошення та поливу сільськогосподарських культур, для підвищення їх врожайності та опору несприятливим погодним умовам [41]. Дослідження низки авторів доводять позитивний вплив кавітаційної обробки води на швидкість пророщування насіння та ріст вищих рослин (на прикладі сільськогосподарських культур і кімнатних рослин) [42].

За тими ж дослідженнями, найпридатнішими для активації росту рослин вважаються методи магнітної та кавітаційної [15, 39, 43] обробки води. В результаті такої обробки підвищується розчинна здатність, проникність води, змінюється її в'язкість, поверхневий натяг, покращується здатність засвоювати поживні речовини живими організмами та рослинами.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Загальна характеристика об'єкту та предмету дослідження

В результаті аналізу літературних джерел щодо теоретичних аспектів кавітаційної обробки рідини, галузей застосування кавітаційно-обробленої води та впливу кавітації на ріст та розвиток живих організмів, було з'ясовано, що це питання широко вивчається і досліджується. Новаціями у цій сфері може бути вивчення особливостей впливу кавітаційної обробки рідини на мікробіоту та макрофлору нових або недостатньо вивчених методів збурення кавітації.

Одним із таких методів збурення кавітації є застосування камери пульсацій вібраційного обладнання з одночасною магнітною обробкою, що розроблена у Хмельницькому національному університеті [25, 39, 44]. Автори розробки у своїх дослідженнях детально вивчили механізм збурення кавітації, технічні параметри установки, здійснили дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ефективність очищення від хімічних сполук та на зміну структуру води [25, 39, 43 – 45].

Нами було з'ясовано, що дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води, отриманої із застосуванням камери пульсацій вібраційного обладнання з одночасною магнітною обробкою, на мікробіоту та макрофлору не проводились.

Саме тому, предметом дослідження було обрано вплив кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток мікроорганізмів та рослин.

Об'єктом дослідження даної роботи є кавітаційно-оброблена водопровідна вода та вода поверхневих водних об'єктів.

Вплив кавітаційно-магнітної обробки на мікроорганізми вивчали із використанням природних вод.

Вплив кавітаційно-магнітної обробки на ріст та розвиток рослин вивчали із використанням водопровідної води. Рослинним об'єктом обрали крес-салат, який вважається еталонним тест-об'єктом.

У першому розділі роботи, в результаті огляду літератури з даної теми, було з'ясовано, що кавітаційна обробка досить широко та ефективно може застосовуватись у водопідготовці та водоочищенні, оскільки відбувається одночасне знешкодження хімічних сполук та бактерицидний вплив на мікроорганізми.

Для оцінки бактерицидного ефекту кавітаційно-магнітної обробки води обрали воду Хмельницького водосховища, що розташоване у центрі міста і зазнає значного антропогенного тиску [46]. Проби води відбирали в районі міського пляжу (лівий берег).

Хмельницьке водосховище є важливою складовою ландшафту міста, яке виконує господарські, рекреаційні, естетичні та природоохоронні функції. Водосховище знаходиться у зоні безпосереднього впливу діяльності людини.

Водосховище розташоване на території м. Хмельницького в межах заплави р. Південний Буг в 755 км від гирла річки [47]. Тип водосховища – русловий. Регулювання стоку – сезонне. Водосховище експлуатується з 1956 року. Площа водного дзеркала – 0,8 км²; повний об'єм – 2,8 млн м³. Довжина водосховища в межах міста – біля 4,5 км. Призначення водосховища – для рекреаційних цілей і промислового комунального водопостачання.

Мілководна зона водосховища і зона водно-болотної рослинності на момент створення водосховища становила близько 2 % його площі.

Праве узбережжя – паркова зона. Ліве – міський пляж. Лісозахисна смуга – відсутня. Водосховище, пляж на лівому березі і парк на правому – складають зону відпочинку для жителів міста Хмельницького та належать до природно-заповідного фонду.

Прибережна захисна смуга р. Південний Буг у межах м. Хмельницького є складовою національного Бузького меридіанного екологічного коридору, Південнобузького екологічного коридору екомережі Хмельницької області та міста Хмельницького.

Водосховище також використовується для спортивної риболовлі та занять водними видами спорту.

Лівобережна захисна смуга верхньої частини водосховища майже повсюдно вкрита заростями очерету та верболозом, в середній частині знаходяться будівлі Морської школи, а нижня її частина зайнята під міський пляж.

Правобережна захисна смуга верхньої частини водосховища переважно залужена, частково покрита заростями верболозу. Невеликі окремі ділянки захисної смуги розорані під городи жителями мікрорайону міста.

В середній частині водосховища до прибережної захисної смуги примикають будівлі приватного житлового сектору. Жителі даної вулиці порушують режим господарської діяльності в межах прибережної захисної смуги. Порушення стосуються пункту 6 статті 89 Водного кодексу України, яким забороняється влаштовувати звалища сміття [21].

На даний час рівень води у водосховищі відповідає нормальному підпірному рівню. Скид води в нижній б'єф здійснюється через дев'ятипролітний водоскид відкритого типу [22].

Водосховище використовується за своїм основним призначенням – для рекреації. Промисловими підприємствами мікрорайону Гречани міста здійснюється забір води для виробничих потреб, який на даний час суттєво не впливає на рівень води у водосховищі. Рівень води водосховища понижається після закінчення сезону відпочинку (жовтень-листопад).

Постійний лабораторний контроль води річки Південний Буг в районі міського пляжу на всі види досліджень з початку купального сезону здійснює ДУ «Хмельницький обласний лабораторний центр МОЗ України» [48]. Проби води відбираються один раз на два тижні. За результатами досліджень

від 2 серпня 2019 року [48] встановлено, що індекс лактозопозитивних кишкових паличок (ЛКП) знаходиться в межах допустимих норм, колі-фаги та патогенні мікроорганізми (в тому числі сальмонели та шигели) не виявлені, що відповідає вимогам Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 р. №173 за показниками епідемічної безпеки.

Вода будь-якого природного водного об'єкта містить велику кількість мікроорганізмів, в деяких випадках і санітарно-показові. У літній період для Хмельницького водосховища характерним є щорічне масове «цвітіння» води і, як наслідок, зниження у воді розчиненого кисню та зростання показників, що характеризують органічне забруднення.

Природні води водних джерел, які зазнають антропогенного впливу (надходження поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь та території населених пунктів, неочищених або недостатньо очищених стічних вод) в середньому містять від 100 КУО/см³ до 15000 КУО/см³ [49]. Загальне мікробне число (ЗМЧ) є непрямим показником бактеріального забруднення води, оскільки характеризує загальний вміст мікроорганізмів у воді без їх якісної характеристики. Таким чином природні води є зручним об'єктом дослідження бактерицидного ефекту кавітації.

Для вивчення впливу кавітаційно-магнітної обробки на ріст та розвиток рослин використовували водопровідну воду, для виключення впливу різних сполук, що містяться у природній воді.

Якість води для поливу та зрошення відіграє ключову роль у рості та плодючості, у опірності рослин до несприятливих умов навколишнього середовища. Вода впливає на умови формування кореневої системи, на засвоєння поживних речовин, що надходять до рослин із ґрунту, вона є основним джерелом капілярного транспортування від коренів до стебел мінеральних речовин та біогенних елементів для росту та формування рослини [42].

Як відомо, кавітаційна обробка змінює структурну будову води і оброблена вода може змінити структуру із кластерної на мономолекулярну. Мономолекулярна структура води є притаманною для джерельної води, води гірських річок на високогір'ї, для талої води льодовиків та снігових покривів високогір'я [42]. Структурна будова води прісних природних водних джерел може переходити від мономолекулярної до кластерної. Зворотний процес – дуже складний та тривалий, оскільки вода має пройти весь тривалий цикл природного кругообігу від скиду забрудненої води до виходу у вигляді джерела.

Поряд з цим, мономолекулярна вода має найкращу розчинну здатність та проникність, що і впливає на засвоюваність поживних елементів, які містяться у воді, живими організмами та рослинами. Тому зрошення та полив сільськогосподарських культур водою мономолекулярної структури може забезпечувати істотно вищу врожайність, порівняно із поливом необробленою водою [42].

В якості рослинного об'єкту обрали насіння крес-салату (*Lepidium sativum* L.).

Крес-салат – це однорічна рослина родини капустяних, холодостійка культура, яка пред'являє помірні вимоги до вологи.

Для біотестування крес-салат використовують досить часто, і він є еталонним тест-об'єктом. Відрізняється швидким ростом і майже стовідсотковим проростанням. Він рекомендується для дослідження ґрунту на шкідливі речовини, для визначення забруднення повітря, наприклад, вихлопними газами. Крім того, цей тест-об'єкт широко використовують для визначення токсичності води, він є чутливим до забруднення свинцем.

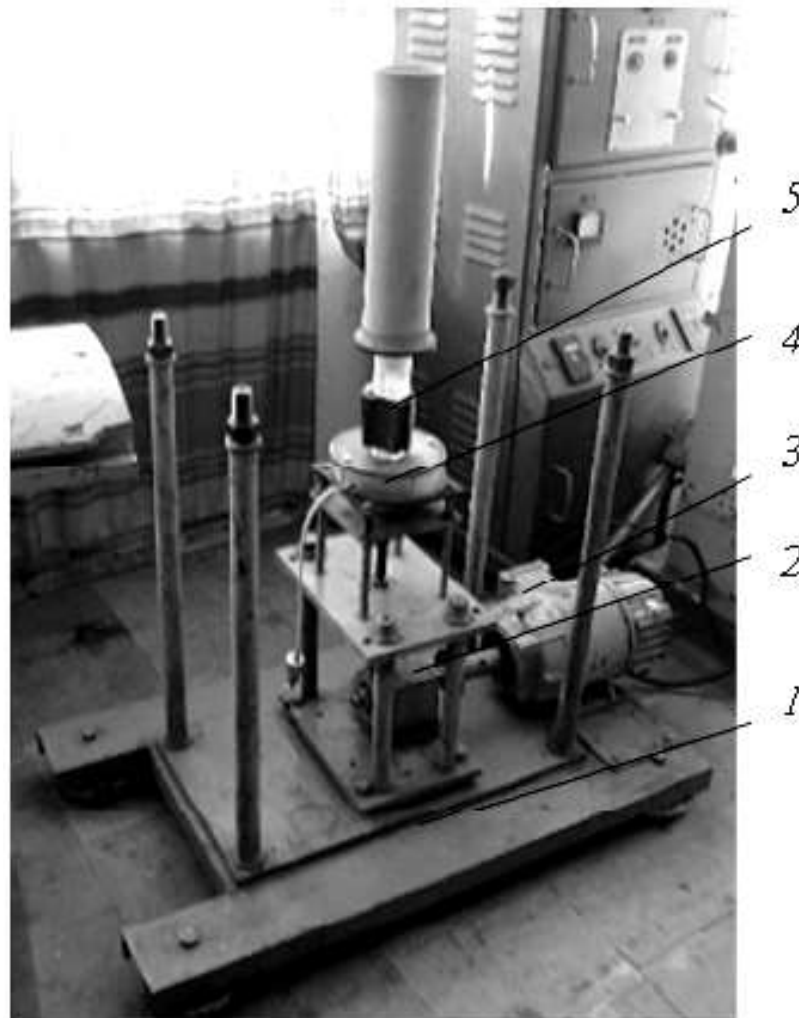
Вищі рослини (насіння) – зручний тест-об'єкт, основними показниками якого є схожість та енергія проростання, умовна середня довжина (УСД) та морфофізіологічні зміни проростків.

Для оцінки можливого мутагенного впливу кавітаційно-магнітної обробки використовували цибулю звичайну (*Allium cepa*), яка є еталонним

тест-об'єктом для вивчення хромосомних порушень у меристематичній частині коріння рослини.

2.2 Опис установки для кавітаційно-магнітної обробки рідини

Камера пульсацій вібраційного обладнання з одночасною магнітною обробкою, яка використовувалась для кавітаційно-магнітної обробки досліджуваних проб води, загальний вигляд якої наведено на рисунку 2.1 [44].



1 – корпус, 2 – кулачковий вібропривід, 3- двигун постійного струму,
4 – мембрана камери, 5 – блок постійних магнітів.

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд кавітаційно-магнітної установки [44]

Кулачковий вібропривід установки обрано із тих міркувань, що він дає можливість переналагодження амплітуди коливань, окрім того, забезпечується стабільність величини амплітуди коливань при зміні їх частоти, що у порівнянні з іншими конструкціями вібропривоприводів, є перевагою при проведенні експериментальних досліджень [43 – 45].

Установка складається з корпусу, на якому змонтовано кулачковий вібропривод, що приводиться в рух від двигуна постійного струму. Зміна амплітуди коливань віброприводу реалізується заміною кулачків з ексцентриситетом від 0,5 мм до 3 мм. Частота коливань регулюється в межах від 0 Гц до 30 Гц зміною напруги, що подається на обмотки двигуна типу ГПШ-3 за допомогою ЛАТР. Для контролю частоти обертання ротора двигуна використовується міліамперметр М 903 1,0 кл. ГОСТ 8711-80, шкала якого проградуєвана в Гц. Вібропривід з'єднаний штоком з мембраною камери формування пульсуючого потоку, на якій встановлено циліндр-насадок з прозорими стінками для візуальних спостережень. Стінки немагнітного циліндра охоплюють постійні магніти.

Установка працює наступним чином: при русі мембрани вниз у камері відбувається зниження тиску і рідина з циліндричної ємності через насадок втягується в камеру. При русі мембрани вгору тиск у камері зростає і рідина через насадок повертається назад в циліндричну ємність. При протіканні рідини через насадок утворюється кільцева кавітаційна порожнина, яка руйнується при досягненні максимального значення тиску рідини в камері пульсації. Гідрокавітація і магнітне поле енергетично впливають на структуру води, змінюючи її властивості.

Досліди проводилися на установці (рисунок 2.1), яка оснащена тензометричним датчиком тиску. Працює установка наступним чином: вода заливається у циліндричну ємність, після чого вона закривається кришкою. Вмикається вібропривід.

Завдяки коливанням гумової мембрани із дисками рідина багатократно зворотно-поступально переливається через отвір між камерою і ванною. При

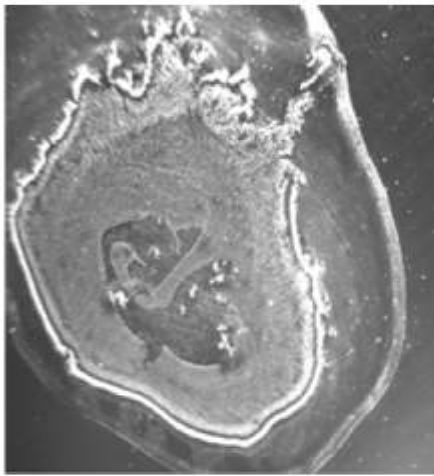
проходженні рідини через отвір завдяки підбраному за умов виникнення резонансу системи співвідношенню діаметра диска D і діаметра d отвору ($D/d=12$), а також амплітуді і частоті коливань вібропривода в отворі періодично утворюються кавітаційні порожнини.

Блок постійних магнітів створює магнітний неоднорідний потік із значним градієнтом напруженості завдяки загостреним пластинам, що встановлені через немагнітні прокладки. Після певного терміну багатократного проходження крізь отвір вода зливається через кран [43 – 45].

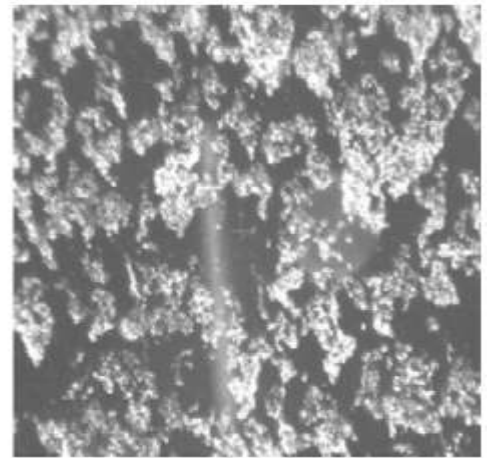
При дослідженні використовувалась вода з температурою 20 °С. На основі результатів проведених досліджень авторами [43 – 45] запропоновано ряд конструкцій вібраційних установок, що використовують ефект впливу кавітаційного і магнітного полів при обробці води. Конструкція вдосконаленого кавітаційно-магнітного пристрою для обробки води наведена на рисунку 2.2.

Принцип дії пристрою описано далі. Вода (12) заливається у ванну (8), після цього ванна (8) закривається кришкою (13) і вмикається вібропривод (2). Відбуваються коливання гумової мембрани (5) з дисками (6) і рідина (12) піддається багаторазовому зворотно-поступальному руху через отвір (9). При певних співвідношеннях діаметру диску D до діаметру d отвору ($D / d = 12$) в отворі періодично утворюються кавітаційні порожнини (завдяки підібраним амплітуді і частоті коливань вібропривода відповідно з резонансом системи). Блок постійних магнітів (11) створює магнітний неоднорідний потік із значним градієнтом напруженості завдяки загостреним пластинам (10), які встановлені через немагнітні прокладки. Гідрокавітація і магнітне поле енергетично впливають на структуру води, змінюючи її властивості. Після певного терміну багаторазового проходження крізь отвір (9) вода зливається через кран (14).

зоні вказує на певну впорядкованість кластерної структури води зі значним поверхневим натягом.



a



б

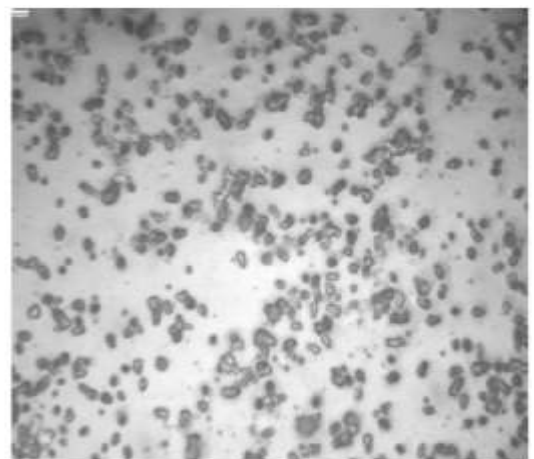
a – ціла крапля, *б* – характерна ділянка краплі за 150-ти кратного збільшення

Рисунок 2.3 – Структура кристалів осаду краплі необробленої води [44]

Структура кристалів осаду води, обробленої протягом 20 хвилин кавітацією з одночасною дією магнітного поля, представлена на рисунку 2.4.



a



б

a – 250-ти кратне збільшення; *б* – 660-ти кратне збільшення

Рисунок 2.4 – Структура кристалів осаду краплі води, що піддавалась обробці кавітацією із одночасною дією магнітного поля [44]

Як видно, на різних ділянках осаду спостерігається рівномірний розподіл і врівноважена форма кристалів. Це пояснюється низьким поверхневим натягом, розривом водневих зв'язків та структуризацією такої води.

У ході дослідження авторами також встановлено, що отриманий стан активованої води зберігається протягом трьох діб. Після трьох діб відзначається стабілізація показників рН та окисно-відновного потенціалу, але на значно вищому, ніж вихідний, рівні для рН і нижчому, ніж вихідний, для окисно-відновного потенціалу, показник загальної концентрації вмісту розчинених солей теж зменшується від 400 одиниць до 300 одиниць, що свідчить про поліпшення якості питної води [44].

2.3 Методика експериментальних досліджень

Для дослідження бактерицидної дії кавітаційно-магнітної обробки води використовували воду річки Південний Буг, відібрану біля міського пляжу.

Дослідження впливу кавітації на розвиток мікроорганізмів у річковій воді проводилося у трикратній повторюваності. Кавітаційно-магнітна обробка тривала протягом 15 хвилин, 30 хвилин, 45 хвилин та 60 хвилин. Для контролю використовували необроблену річкову воду.

Основним завданням визначення мікробіологічного складу досліджуваної води є оцінка наявності патогенних мікроорганізмів (бактерій, вірусів, грибів). Ідентифікація та визначення їх кількості досить складне завдання. Тому широкого використовують методи непрямой оцінки епідеміологічного благополуччя води, а саме – виявлення санітарно-показових мікроорганізмів і визначення загального мікробного числа (ЗМЧ).

Визначення ЗМЧ проводили методом глибинного посіву води у поживний агар і враховували усі колонії мікроорганізмів, які можна побачити при 2-кратному чи 5-кратному збільшенні. Вирощували колонії при

температурі $(36 \pm 1) ^\circ \text{C}$ протягом (24 ± 2) годин в глибині та на поверхні поживного агару [50].

Стерильні чашки Петрі підписували і розташовували на строго горизонтальній поверхні столу. Воду ретельно перемішували. З кожної проби води робили посів у кількості 2 об'ємів по 1 см^3 натуральної проби у дві паралельні чашки.

Після внесення води в чашки Петрі в кожен з них заливали від 10 см^3 до 12 см^3 охолодженого поживного агару і, обережно обертаючи, перемішували вміст чашки на поверхні столу, запобігаючи утворенню бульбашок повітря, неповному заповненню дна чашки агаром, попаданню середовища на краї та кришку чашки. Чашки залишали на горизонтальній поверхні до застигання середовища, потім перевертали дном догори і ставили у термостат.

Чашки з посівами розташовували в термостаті таким чином, щоб відстань між чашками та стінками термостату була не менше 3 см.

Колонії, які вирости як на поверхні, так і в глибині агару, підраховували за допомогою лупи з 2-кратним збільшенням або за допомогою пристрою для підрахунку колоній.

При посіві 1 см^3 нерозведеної проби води враховують всі колонії, що вирости, але не більше 300.

Підраховували кількість колоній мікроорганізмів в кожному з паралельних посівів натуральної проби. За результатами визначали середньоарифметичне значення числа колоній в посівах натуральної проби.

Результат виражали у колонієутворюючих одиницях (КУО) в 1 см^3 досліджуваної проби води і заносили у таблицю.

Для дослідження росту рослинних організмів використовували спосіб вирощування рослин без ґрунту на поживних розчинах.

Об'єктом дослідження була рослина родини Хрестоцвітих Хрiниця Посiвна (*Lepidium Sativum*) або Крес-салат. Для дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток рослин у досліді

використовували водопровідну воду. Водопровідна вода відповідала нормативним значенням за органолептичними показниками. Воду обробляли на кавітаційно-магнітній установці протягом 15 хвилин, 30 хвилин, 45 хвилин, 60 хвилин. В якості контролю використовували необроблену водопровідну воду.

Методом трикратної повторюваності в чашки Петрі висівали по 100 насінин, де за допомогою фільтрувального паперу створювали штучне середовище для росту й вирощували насіння протягом 7 діб.

Показником ступеню впливу кавітаційно-магнітної обробки води на проростання насіння крес-салату є зниження або підвищення (у порівнянні з контролем) схожості насіння, енергії проростання насіння за перші 3 дні досліду. При цьому найбільш інформативним для проведення лабораторних дослідів є тест на інгібування або стимуляцію росту насіння [51].

Кількісну оцінку проводили за відсотком стимулювання відгуку тест-об'єкту (S) по аналогії із визначенням відсотку інгібування [51].

Відсоток стимулювання відгуку тест-об'єкту визначали за формулою 2.1:

$$S = (K_1 \cdot 100 / K_2) - 100, \quad (2.1)$$

де S – відсоток стимулювання тест-відгуку тест-об'єкту (%),

K_1 – середнє значення тест-відгуку тест-об'єкту у досліді,

K_2 – середнє значення тест-відгуку тест-об'єкту у контролі.

Для збільшення точності оцінки ефекту стимуляції кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток рослин в якості тест-відгуку використовували наступні показники:

- загальну схожість насіння (%),
- середню швидкість росту (мм/год),
- довжину надземної частини рослин (мм),

- масу надземної частини рослин (г),
- довжину підземної частини рослини (мм),
- масу підземної частини рослин (г).

За кожним з показників визначали відсоток стимулювання. Загальне значення ефекту стимуляції обробленої води на ріст та розвиток рослин визначали, як середнє арифметичне суми S за всіма тест-відгуками по кожній пробі.

Для оцінки можливого мутаційного впливу кавітаційно-магнітної обробки води на живі організми (рослини) застосовували методику *Allium test*.

Allium test – це рослинна тест система для оцінки мутагенної, мітозмодифікуючої та токсичної дії чинників хімічної та фізичної природи на основі рослини *Allium cepa L.* (Цибуля ріпчаста). *Allium test* – в якому в якості матеріалу використовуються корінці проростків ріпчастої цибулі *Allium cepa L.*, вперше запропонований Шведської Королівської Академією Наук як стандартний тест-об'єкт [52].

Даний метод не вимагає знання каріотипу та ідентифікації типів пошкоджень хромосом, є простим, економічним і досить чутливим для визначення «мутагенний» чи «не мутагенний» фактор.

Allium test рекомендований експертами ВООЗ як стандарт в цитогенетичному моніторингу навколишнього середовища, оскільки отримані результати показують кореляцію з тестами, що здійснюються на інших організмах.

Цибулина – видозмінений підземний дуже вкорочений пагін (денце), до якого кріпляться зближені листки. Останні мають вигляд лусочок, в яких накопичуються органічні речовини та вода. На верхівці денця є брунька, яка може розвиватися в надземний пагін або нову цибулину. Вниз від денця відходять корінці, які і є тест-об'єктом у даних дослідженнях [53].

Цибулини *Allium cepa L.* добре зберігаються в сухих умовах при температурі від 10 °С до 12 °С. Однак, деякі цибулини висихають або

ушкоджуються, тому загальна кількість цибулі повинна бути приблизно в 3 або 4 рази більшою, ніж необхідно для експериментів [54].

Перед початком тестування цибулини ретельно очищали від лусочок і розміщували на верхньому кінці пробірок діаметром від 15 мм до 18 мм, які заповнювали досліджуваними зразками води так, щоб дещо цибулини торкалося рідини в посудині.

Тест виконували за умов нормальної кімнатної температури (близько 20 °C) і захищеності від прямого сонячного світла.

Перші мітози починаються у корінцях лише після досягнення ними певних розмірів, те ж стосується й інтенсивності мітотичної активності, максимум якої настає лише на певній стадії. Тому матеріал для дослідження зрізали з пророслої цибулини за умов досягнення корінцями довжини близько 2 см.

Перед фіксацією зрізані з рослин корінці витримували у холодильнику протягом ночі для поліпшення якості препаратів – збільшується кількість мітотичних клітин, хромосоми більш чітко видно під мікроскопом.

Фіксування меристемних тканин *Allium* *sepa* L. проводили за допомогою фіксатора Кларка. Він складається з етилового спирту (96 %) і льодяної оцтової кислоти у співвідношенні 3 до 1. Фіксатор повинен бути більшим за матеріал по об'єму у 2 рази та готуватися у витяжній шафі. Для фарбування ядерного матеріалу у клітинах використовували розчин 2 % ацетоорсеїну та 45 % оцтової кислоти [54].

Корінці пінцетом переносили у фарфоровий тигель з барвником і нагрівали. Тигель залишали на столі на час від 5 хвилин до 10 хвилин. Потім розчин зливали і наливали 1 % розчин ацетоорсеїну. Корінці ще залишали в розчині на 3 години. Далі, для отримання препарату для мікроскопічного дослідження, корінець витягували з розчину фарбника та поміщали на предметне скло. На скло капали краплю 45 % оцтової кислоти і накривали покривним склом. Притримуючи покривне скло, обережно розчавлювали

корінець сірником до отримання моношару клітин – готували роздавлену краплю. Після цього препарат аналізували під мікроскопом.

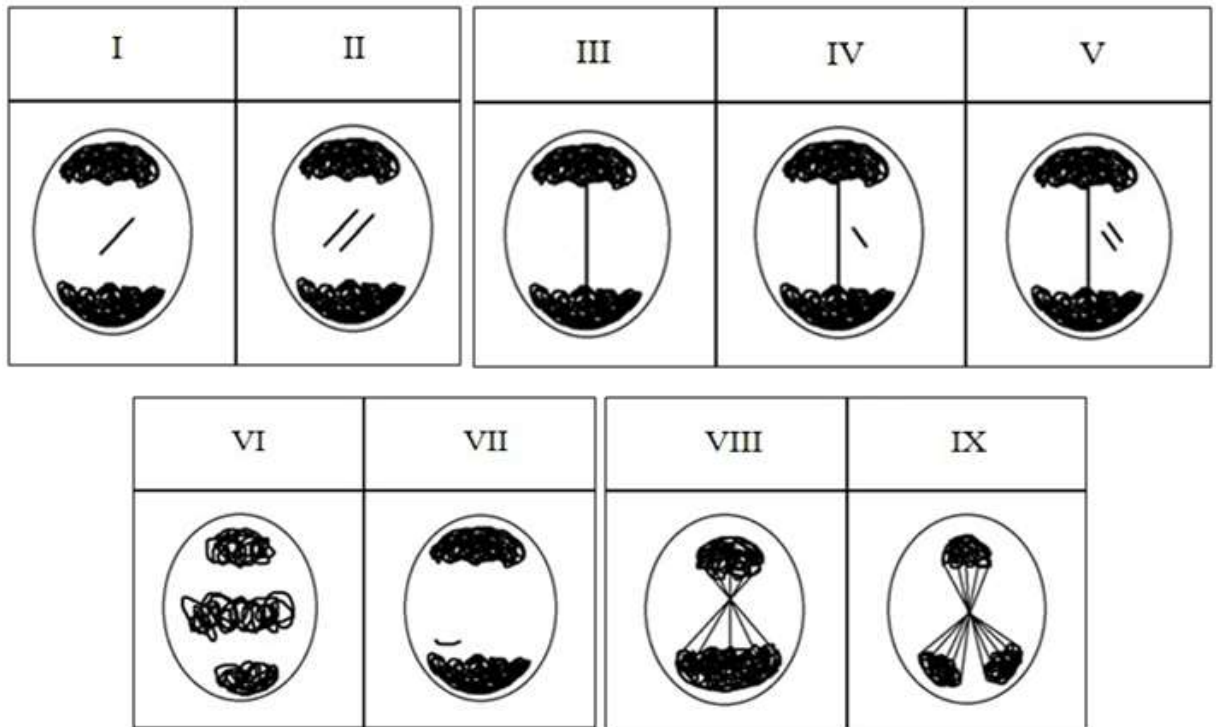
Для цього при малому збільшенні знаходили ділянку, де розташовані дрібні, майже квадратної форми клітини. Це молоді клітини які активно діляться. Спочатку потрібно було знайти і уважно розглянути клітини в інтерфазі, профазі, метафазі, телофазі, та визначити порушення хромосом.

При порушенні нормального перебігу мітотичного поділу можливий розвиток патології мітозу, яка веде до розвитку мутацій. Процеси мітозу можуть припинятися з причин дезорганізації або руйнування мітотичного апарату. За морфологічними ознаками та цитохімічними порушеннями мітотичного процесу виділяють три основні групи патології мітозу:

- патологія, пов'язана з пошкодженням хромосом;
- патологія, пов'язана з пошкодженням мітотичного апарату;
- порушення цитокінезу [53].

Мутації хромосом або хромосомні порушення (аберації) вивчають на стадії метафазі (метафазний метод), на стадії анафазі та ранньої телофазі (анафазний метод). Ці методи дозволяють виявляти мутагенну активність того чи іншого фактора.

Типи хромосомних порушень у меристематичних клітинах рослини наведено на рисунку 2.5 [53].



I – одинарний фрагмент; II – парний фрагмент; III – міст;

IV – міст та фрагмент; V – міст та парний фрагмент;

VI – трьохгрупова метафаза; VII – відставання хромосом;

VIII – асиметричний мітоз; IX – трьохполюсний мітоз.

Рисунок 2.5 – Типи хромосомних порушень у клітинах рослин

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ КАВІТАЦІЙНО-МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ НА МІКРОБІОТУ ТА МАКРОФЛОРУ

3.1 Дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на мікробіоту

Для дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на мікробіоту використовували воду річки Південний Буг.

Воду, відібрану з р. Південний Буг, піддавали обробці у кавітаційно-магнітній установці, розробленій авторами [43]. Слід зазначити, що основний вплив на зміну якості води чинить саме процес кавітації, а магнітна обробка прискорює її перебіг, що було зазначено у роботах авторів [31, 34]. Методика дослідження детально описана у розділі 2 даної роботи.

Загалом було досліджено 4 проби і контроль:

- контроль (необроблена річкова вода);
- проба 1 – річкова вода, оброблена на кавітаційно-магнітній установці протягом 15 хвилин;
- проба 2 – річкова вода, оброблена на кавітаційно-магнітній установці протягом 30 хвилин;
- проба 3 – річкова вода, оброблена на кавітаційно-магнітній установці протягом 45 хвилин;
- проба 4 – річкова вода, оброблена на кавітаційно-магнітній установці протягом 60 хвилин.

В результаті витримування чашок Петрі із пробями (трикратна повторюваність) у термостаті протягом доби, отримали зразки із колоніями мікроорганізмів, кількість яких визначали у колонієутворюючих одиницях (КУО) в 1 см³.

Розвиток мікроорганізмів на живильному середовищі залежно від тривалості кавітаційно-магнітної обробки проб річкової води наведено на рисунках 3.1 – 3.5.



Рисунок 3.1 – Колонії проби 1 (тривалість кавітації 15 хвилин)



Рисунок 3.2 – Колонії проби 2 (тривалість кавітації 30 хвилин)



Рисунок 3.3 – Колонії проби 3 (тривалість кавітації 45 хвилин)



Рисунок 3.4 – Колонії проби 4 (тривалість кавітації 60 хвилин)



Рисунок 3.5 – Колонії контролю (необроблена вода)

Результати дослідження проб річкової води та контролю наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати мікробіологічного дослідження річкової води, що підлягала кавітаційно-магнітній обробці (усереднені показники)

Досліджувана проба	Тривалість кавітаційно-магнітної обробки, хв.	КУО в 1 см ³				Степінь бартеридного ефекту, %
		повтор 1	повтор 2	повтор 3	середнє значення	
1	2	3	4	5	6	7
Контроль (необроблена вода)	0	160	169	169	166	0
Проба 1	15	144	150	152	149	10,3
Проба 2	30	100	102	115	106	36,1
Проба 3	45	92	92	98	94	43,4
Проба 4	60	68	67	70	68	59,1

Отже, після проведеного дослідження можна стверджувати, що обробка на кавітаційно-магнітній установці призводить до зменшення кількості живих мікроорганізмів, тобто чинить бактерицидний вплив.

При цьому спостерігається пряма залежність бактерицидного ефекту кавітаційно-магнітної обробки від тривалості такої обробки, що представлено на діаграмах (рисунок 3.6 та 3.7).

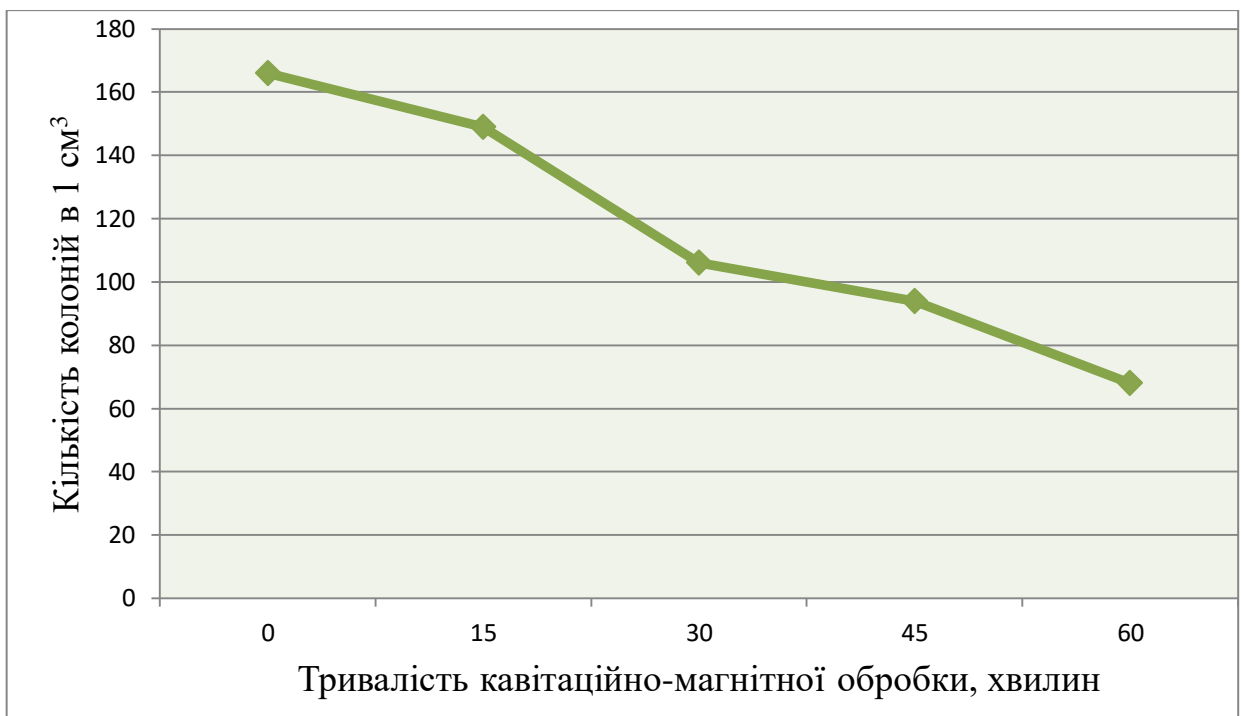


Рисунок 3.6 – Зміна кількості колоній бактерій залежно від тривалості кавітаційної обробки

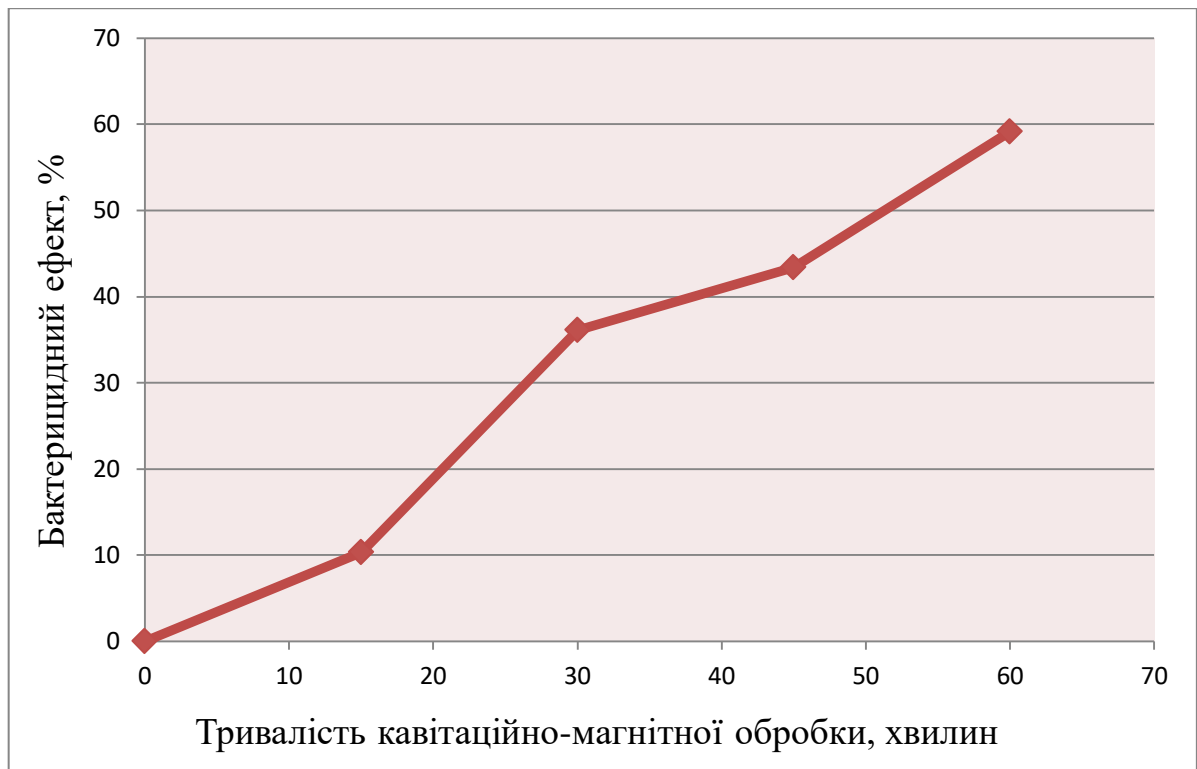


Рисунок 3.7 – Бактерицидний ефект кавітаційно-магнітної обробки води залежно від тривалості обробки

Найвищий бактерицидний ефект при кавітаційно-магнітній обробці води спостерігається при тривалості обробки 60 хвилин і становить 59,1 %.

Отже, дослідивши вплив кавітаційно-магнітної обробки води на мікроорганізми води Південного Бугу ми підтвердили бактерицидні властивості кавітації (у даному випадку підсиленої магнітною обробкою) та встановили, що кількість мікроорганізмів у воді зменшується із збільшенням тривалості обробки води.

3.2 Дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на макрофлору

Для дослідження росту рослинних організмів використовували спосіб вирощування рослин без ґрунту на поживних розчинах.

Об'єктом дослідження була рослина родини Хрестоцвітих Хрiниця Посiвна (*Lepidium Sativum*) або Крес-салат. Для дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток рослин у досліді використовували водопровідну воду. Водопровідна вода відповідала нормативним значенням за органолептичними показниками. Воду піддавали кавітаційно-магнітній обробці протягом 15 хвилин (проба 1), 30 хвилин (проба 2), 45 хвилин (проба 3), 60 хвилин (проба 4). В якості контролю використовували необроблену водопровідну воду.

Методом трикратної повторюваності в чашки Петрі висівали по 100 насінин, де за допомогою фільтрувального паперу створювали штучне середовище для росту й вирощували насіння протягом 7 діб (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Пророщування крес-салату

У ході експерименту після закінчення росту до оптимальних меж для підрахунків, ми вимірювали довжину та вагу кореня та стебла крес-салату, й порівнювали показники із контролем за методикою, описаною у розділі 2 даної роботи. На рисунку 3.9 представлено результат пророщування крес-салату на воді, що піддавалась кавітаційно-магнітній обробці протягом 30-ти хвилин.



Рисунок 3.9 – Пророщування крес-салату на воді, що піддавалась кавітаційно-магнітній обробці протягом 30-ти хвилин

Результати дослідження впливу води, що підлягала кавітаційно-магнітній обробці на насіння крес-салату наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати дослідження впливу води, що підлягала кавітаційно-магнітній обробці на насіння крес-салату (середні значення трикратних повторювань)

Дослід-жуваний проба води	Результати досліджень						
	кількість насіння (вихідна)	схо-жість насіння	довжина стебла рослини, мм	маса стебла рослини, г	довжина коріння рослини, мм	маса коріння рослини, г	середня швид-кість росту, мм/год
1	2	3	5	6	7	8	9
Контроль	100	98	31,5	2,7	29,0	1,7	0,50
Проба 1	100	99	36,0	3,5	31,5	2,2	0,54
Проба 2	100	98	43,5	4,4	39,0	3,1	0,53
Проба 3	100	98	49,5	4,8	40,0	3,5	0,51
Проба 4	100	99	29,0	3,5	28,0	2,4	0,55

Зміна довжини коріння крес-салату залежно від тривалості обробки води, що використовувалась для пророщування представлена на рисунку 3.10.

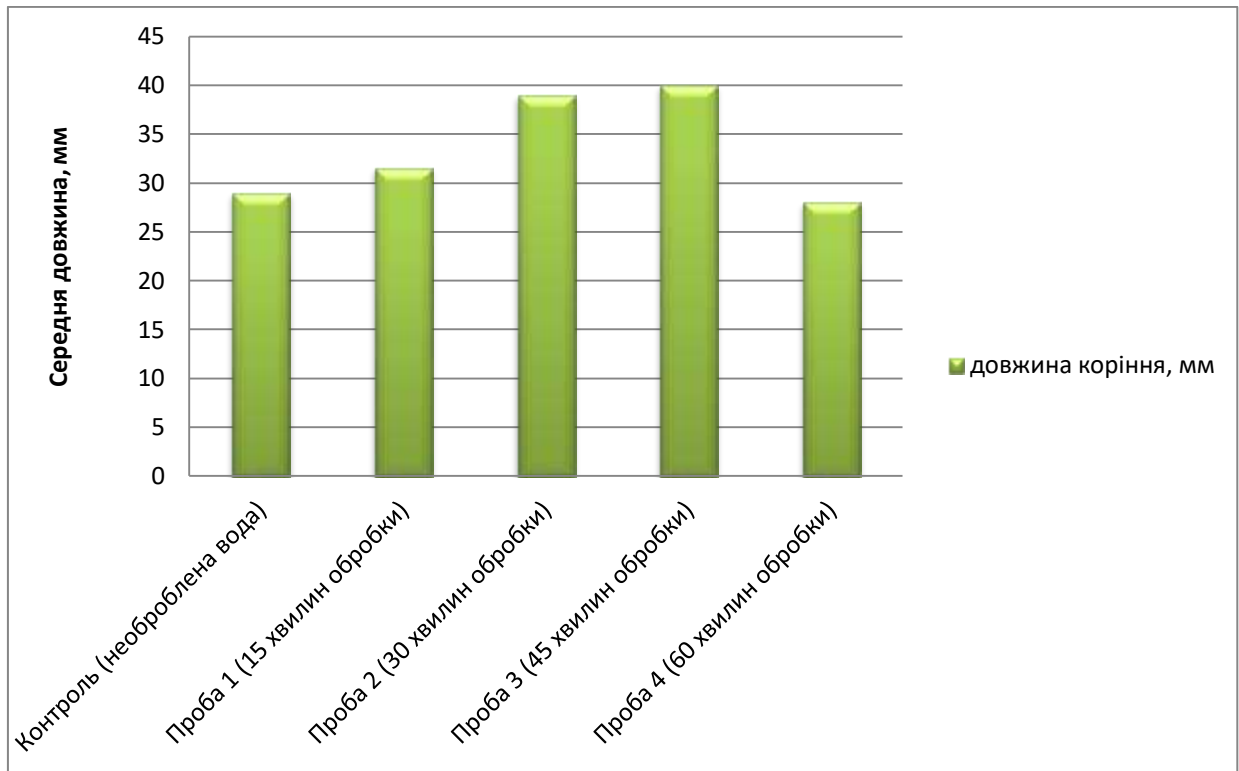


Рисунок 3.10 – Зміна довжини коріння крес-салату залежно від часу обробки

Зміна значень ваги коріння крес-салату залежно від тривалості обробки води, що використовувалась для пророщування представлена на рисунку 3.11.

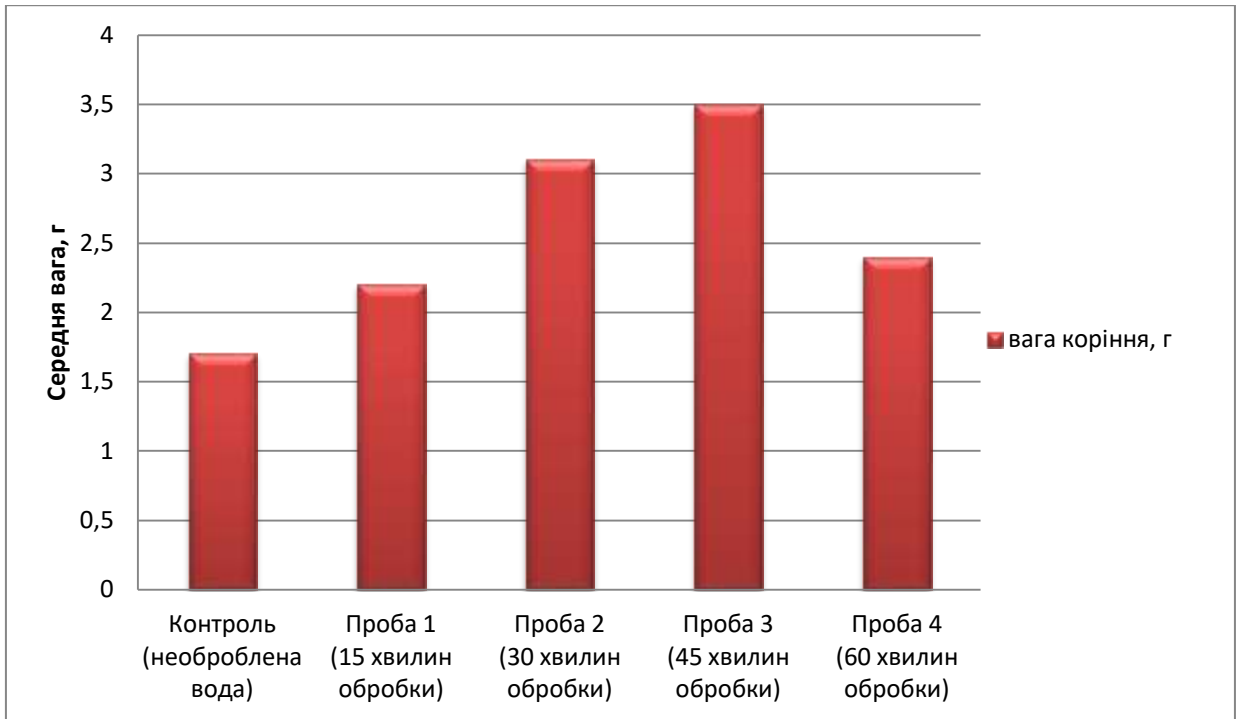


Рисунок 3.11 – Зміна ваги коріння крес-салату залежно від часу обробки

Зміна дожини стебла крес-салату залежно від тривалості обробки води, що використовувалась для пророщування представлена на рисунку 3.12.

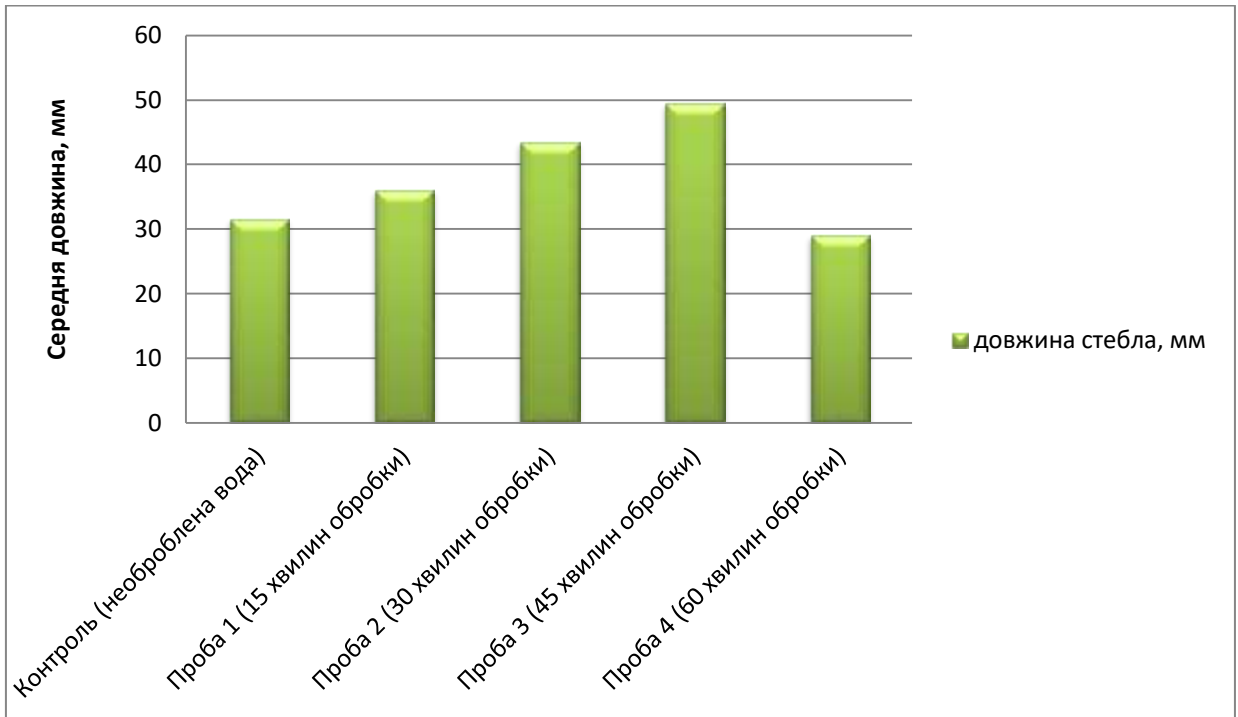


Рисунок 3.12 – Зміна довжини стебла крес-салату залежно від часу обробки

Зміна значень ваги стебла крес-салату залежно від тривалості обробки води, що використовувалась для пророщування представлена на рисунку 3.13.

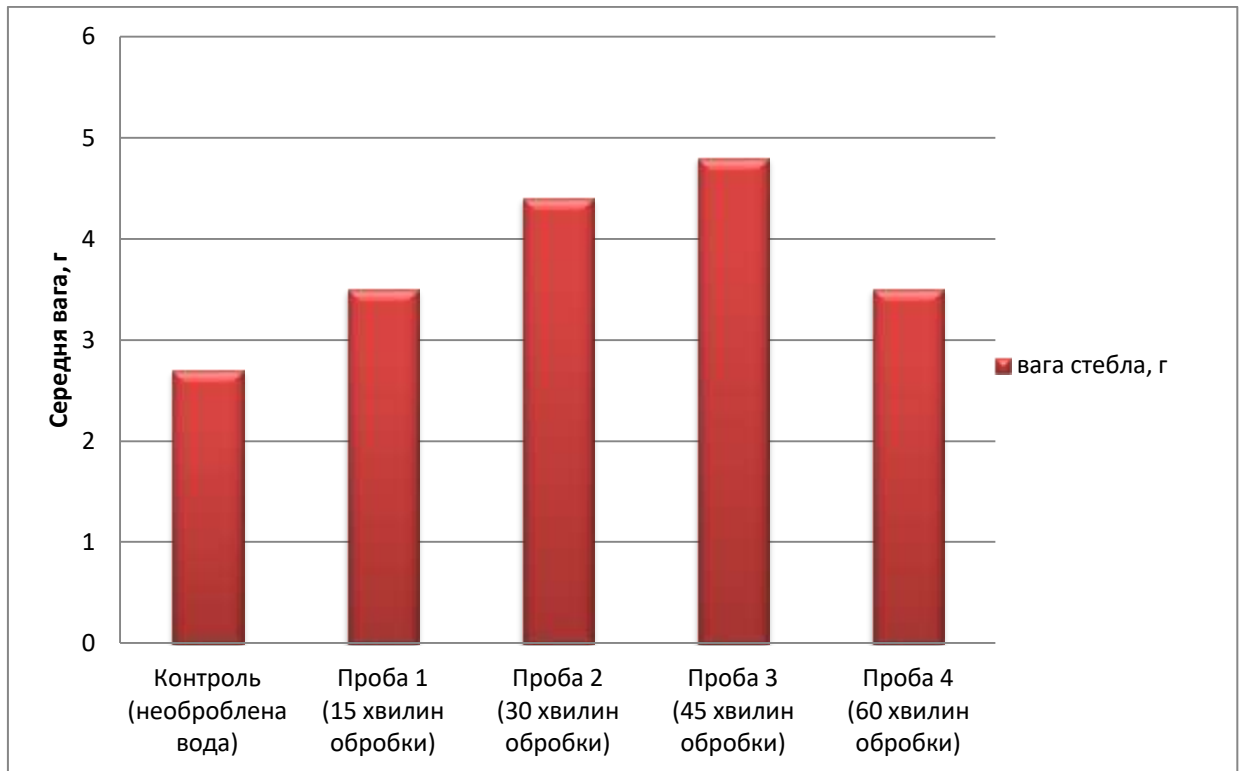


Рисунок 3.13 – Зміна ваги стебла крес-салату залежно від часу обробки

Ступінь впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток рослин визначали за формулою 3.1 окремо для кожної проби, причому враховували п'ять показників: середню швидкість росту, середню довжину стебла рослини, середню масу стебла рослини, середню довжину коріння рослини, середню масу коріння рослини.

По пробі 1 відсоток стимулювання росту крес-салату становить:

$$S = (((36 \cdot 100 / 31,5) - 100) + ((3,5 \cdot 100 / 2,7) - 100) + ((31,5 \cdot 100 / 29) - 100) + ((2,2 \cdot 100 / 1,7) - 100) + ((0,54 \cdot 100 / 0,5) - 100)) / 5 = 18 \%;$$

По пробі 2 відсоток стимулювання росту крес-салату становить:

$$S = (((43,5 \cdot 100 / 31,5) - 100) + ((4,4 \cdot 100 / 2,7) - 100) + ((39,0 \cdot 100 / 29) - 100) + ((3,1 \cdot 100 / 1,7) - 100) + ((0,53 \cdot 100 / 0,5) - 100)) / 5 = 44,8 \%;$$

По пробі 3 відсоток стимулювання росту крес-салату становить:

$$S = (((49,5 \cdot 100 / 31,5) - 100) + ((4,8 \cdot 100 / 2,7) - 100) + ((40,0 \cdot 100 / 29) - 100) + ((3,5 \cdot 100 / 1,7) - 100) + ((0,51 \cdot 100 / 0,5) - 100)) / 5 = 56,2 \ %;$$

По пробі 4 відсоток стимулювання росту крес-салату становить:

$$S = (((29,0 \cdot 100 / 31,5) - 100) + ((3,5 \cdot 100 / 2,7) - 100) + ((28,0 \cdot 100 / 29) - 100) + ((2,4 \cdot 100 / 1,7) - 100) + ((0,55 \cdot 100 / 0,5) - 100)) / 5 = 14 \ %.$$

Ступінь впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток рослин визначена, як відсоток стимуляції, представлена на рисунку 3.14.

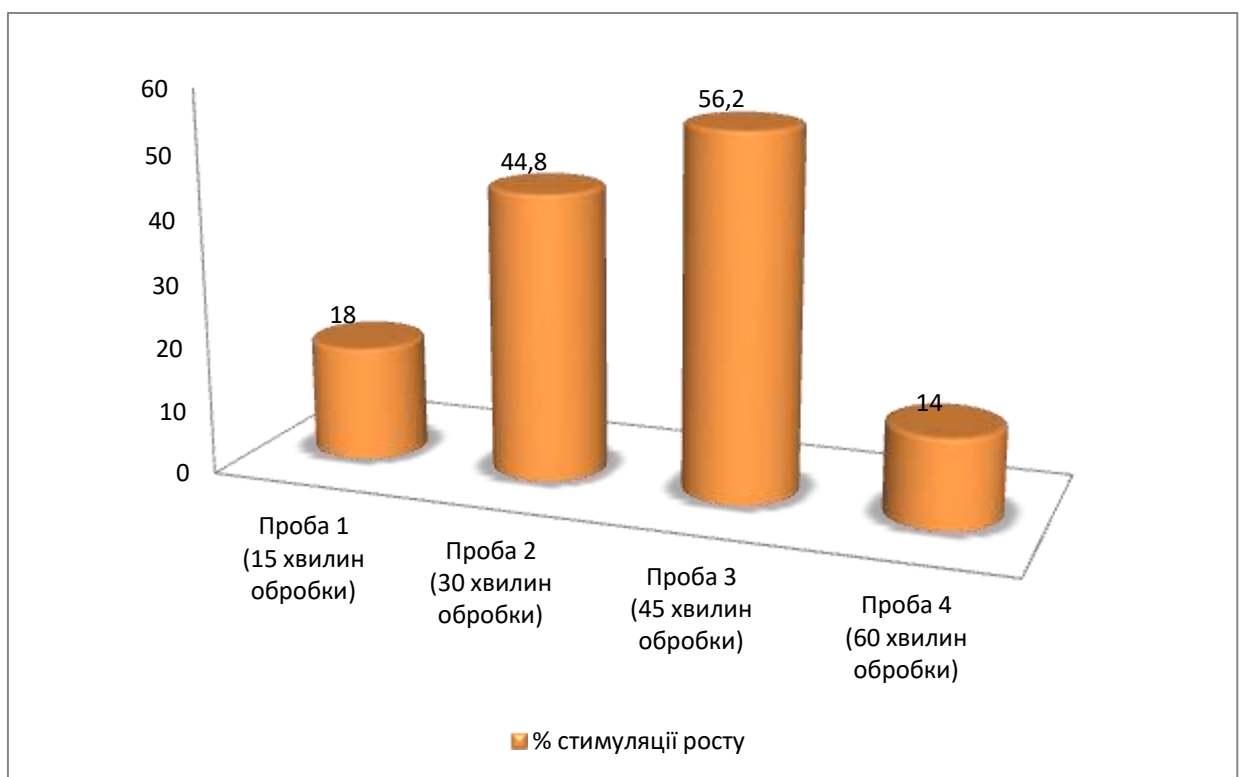


Рисунок 3.14 – Стимулюючий ефект кавітаційно-магнітної обробки води залежно від тривалості обробки

Отже, за результатами дослідження можна зробити висновок, що кавітаційно-магнітна обробка води має стимулюючий вплив на ріст рослин. Найбільший стимулюючий вплив має вода, що підлягала обробці протягом 30 хвилин та 45 хвилин. Менший стимулюючий вплив показали проби води, оброблені 15 хвилин та 60 хвилин.

3.3 Дослідження хромосомних порушень у меристематичних клітинах цибулі звичайної

Встановлення генетичних аспектів мутагенного забруднення та прогнозування віддалених наслідків впливу різних мутагенів на стан живої природи у сучасних умовах стає необхідним етапом дослідження. Саме тому нами було здійснено оцінку можливого генотоксичного впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток рослин. Серед низки методів визначення генотоксичності та мутагенності обрали *Allium test*, який є високочутливим методом визначення хромосомних порушень на різних стадіях мітозу в клітинах апікальної меристеми *Allium cepa*. Цей метод є відносно швидким, інформативним та показує високу кореляцію результатів з результатами, отриманими на інших тест-системах [55].

Для дослідження хромосомних порушень у меристематичних клітинах цибулі звичайної використовували стандартну методику – *Allium test*. Пророщували цибулю на зразках води, далі при досягненні коріння цибулі довжини 2 см готували давлені препарати загальноприйнятим методом.

На препаратах розглядали мілкі, округло-квадратної форми клітини з добре профарбованими ядрами та непошкодженими клітинними стінками.

При оцінці можливого мутагенного ефекту процесу кавітації використовували ана-телофазний аналіз, тобто реєстрували мутації в фазах мітозу, оскільки меристеми протягом усього дослідження знаходяться в контакті із водою, яка була оброблена на кавітаційно-магнітній установці.

Під час дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток корінців цибулі хромосомних порушень не було виявлено. На рисунку 3.15 представлено фрагмент мікропрепарату з процесом мітозу (телофаза).

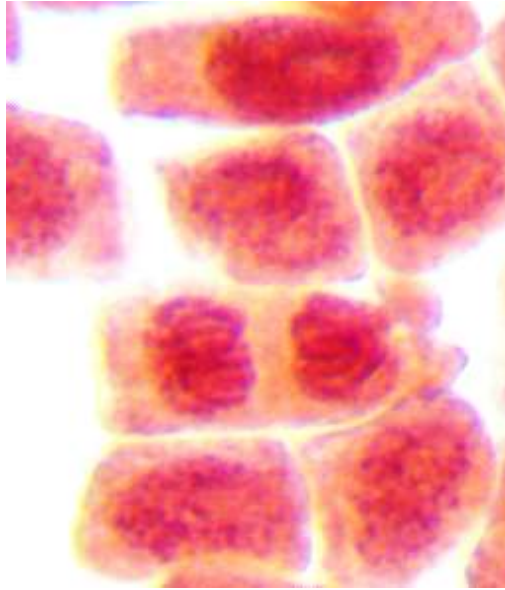


Рисунок 3.15 – Процес мітозу (телофаза)

На рисунку 3.16 представлено поле зору мікропрепарату меристематичної тканини цибулі звичайної.

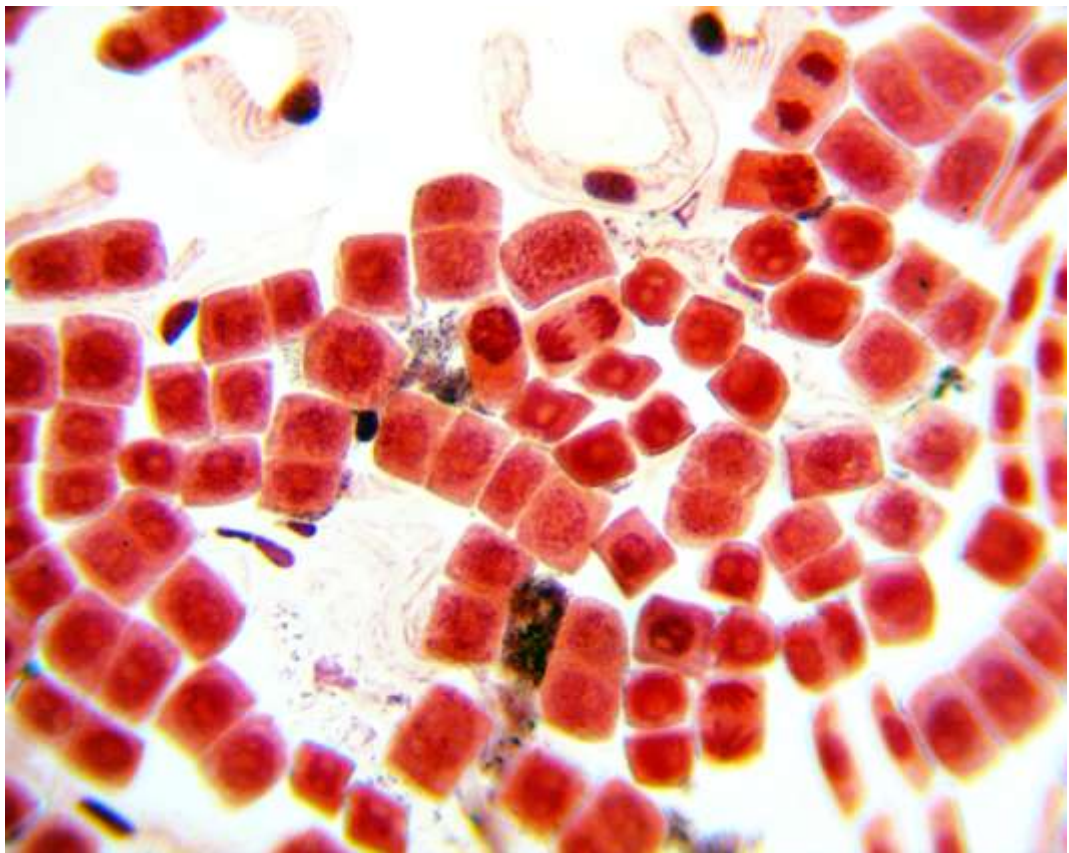


Рисунок 3.16 – Поле зору мікропрепарату меристематичної тканини цибулі

У результаті проведеного мікроскопічного дослідження ми не виявили мутації в корінцях цибулі, що дає підстави стверджувати, що кавітаційно-магнітна обробка води не чинить мутаційного впливу на рослини при їх пророщуванні у такій воді.

Але даний факт не свідчить про відсутність мутацій в клітинах мікроорганізмів та рослин, які піддаються безпосередньому впливу кавітаційно-магнітної обробки. Оскільки знезараження за досліджуваною технологією не забезпечує 100 % загибелі мікроорганізмів, існує вірогідність потрапляння у довкілля мікроорганізмів із певними генетичними порушеннями після прямого впливу на них кавітації. Тому виникає потреба у подальших дослідженнях в даному напрямку.

ВИСНОВКИ

У роботі представлено теоретичні узагальнення та результати експериментальних досліджень щодо обґрунтування впливу кавітаційно-магнітної обробки води на мікробіоту та макрофлору. Наведено результати досліджень щодо бактерицидного ефекту кавітаційно-магнітної обробки води та стимулюючого впливу на ріст рослин при пророщуванні їх у обробленій воді. Досліджено та виявлено відсутність генотоксичного впливу кавітаційно-магнітно-обробленої води на рослини.

За умов посилення антропогенного навантаження на навколишнє природне середовища та зростаючого забруднення природних вод актуальним є пошук ефективних та екологічних методів їх очищення. Серед досить великої кількості методів знезараження та поліпшення якості води слід виділити безреагентні технології, в основі яких лежать фізико-хімічні та фізико-механічні явища такі, як: ультрафіолетове опромінення, електрокоагуляція, озонування, електророзрядна обробка, магнітне та радіаційне опромінення, кавітаційна та інші методи фізичної обробки води. При застосуванні таких методів відсутнє вторинне забруднення, як, наприклад, при реагентних методах, основним недоліком яких є присутність залишкових сполук у воді, досить часто токсичних та канцерогенних.

Перспективним методом очистки та поліпшення якісних показників води є кавітаційні методи, перелік яких досить широкий і основними відмінностями яких є шляхи збурення кавітації. Аналізуючи результати досліджень широкого кола науковців, було визначено, що на теперішній час існує досить багато методів збурення кавітації, ефективність застосування яких у водопідготовці та водоочищенні експериментально обґрунтовано та доведено. Такі технології можуть використовуватись для знезараження питної води, стічних вод, для стерилізації та дезінфекції продуктів.

Однак, експериментальних досліджень та публікацій щодо руйнування мікроорганізмів в умовах кавітації у рідинах (гідрокавітації) із застосування камери пульсацій вібраційного обладнання з одночасною магнітною обробкою та активації росту рослин при їх зростанні у воді обробленій даним способом, практично не знайдено. Дана конструкція установки кавітаційно-магнітної обробки води була розроблена у Хмельницькому національному університеті і автори розробки у своїх дослідженнях детально вивчили механізм збурення кавітації, технічні параметри установки, здійснили дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ефективність очищення від хімічних сполук та на зміну структуру води, але дослідження впливу на мікробіоту та макрофлору не проводились. Саме це і зумовило мету та актуальність обраного дослідження.

Вплив кавітаційно-магнітної обробки на мікроорганізми вивчали із використанням природних вод.

Вплив кавітаційно-магнітної обробки на ріст та розвиток рослин вивчали із використанням водопровідної води. Рослинним об'єктом обрали крес-салат, який вважається еталонним тест-об'єктом.

Для оцінки бактерицидного ефекту кавітаційно-магнітної обробки води обрали воду Хмельницького водосховища, що розташоване у центрі міста і зазнає значного антропогенного тиску. Проби води відбирали в районі міського пляжу (лівий берег). Природні води є зручним об'єктом дослідження бактерицидного ефекту кавітації, оскільки в середньому містять від 100 КУО/см³ до 15000 КУО/см³. В ході дослідження визначали загальне мікробне число (ЗМЧ), яке є непрямим показником бактеріального забруднення води, оскільки характеризує загальний вміст мікроорганізмів у воді без їх якісної характеристики.

Дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на розвиток мікроорганізмів проводилося у трикратній повторюваності. Кавітаційна обробка тривала протягом 15 хвилин, 30 хвилин, 45 хвилин та 60 хвилин. Для контролю використовували необроблену річкову воду. В результаті

дослідження було визначено, що максимальний бактерицидний ефект досягається при обробці води протягом 60 хвилин. При цьому, спостерігається пряма залежність бактерицидного ефекту кавітації від тривалості обробки води, чим триваліша обробка, тим вищий бактерицидний ефект.

Для дослідження впливу обробленої на кавітаційно-магнітній установці води на ріст рослин використовували спосіб вирощування крес-салату без ґрунту у поживному розчині. Кількісну оцінку проводили за відсотком стимулювання відгуку тест-об'єкту, у розрахунку якого враховували показники схожості насіння, енергії проростання насіння за перші 3 дні досліду та приріст біомаси (середня довжина та вага коріння та стебла крес-салату) протягом 7 днів експерименту.

В результаті було підтверджено активуючий вплив кавітаційно-магнітної обробки води та визначено, що вода оброблена протягом 30 хвилин та 45 хвилин володіє найвищим ефектом активації (стимулювання) росту рослини. Відсоток стимулювання росту крес-салату становив відповідно 44,8 % та 56, 2 %. Менший стимулюючий вплив показали проби води, оброблені 15 хвилин та 60 хвилин – 18 % та 14 % відповідно.

Такі результати свідчать про необхідність подальших досліджень щодо активації росту рослин.

При оцінці можливого мутагенного ефекту процесу кавітації використовували ана-телофазний аналіз, тобто реєстрували мутації в фазах мітозу меристематичної тканини цибулі звичайної, оскільки меристеми протягом усього досліду знаходяться в контакті із водою, яка була оброблена на кавітаційно-магнітній установці.

Під час дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на ріст та розвиток корінців цибулі хромосомних порушень не було виявлено.

Це дає підстави стверджувати, що кавітаційно-магнітна обробка води не чинить мутаційного впливу на рослини при їх пророщуванні у такій воді.

Аналізуючи результати всіх аспектів дослідження впливу кавітаційно-магнітної обробки води на живі організми, можна зробити висновки про необхідність подальших досліджень у таких напрямках:

- тривалості обробки води;
- температури оброблюваної води;
- удосконалення конструкційних складових способу збурення кавітації;
- поєднання гідродинамічної кавітації із насиченням рідини різними газами, яке за результатами аналізу публікацій має збільшити ефект впливу на хімічні процеси у воді та на структуру води.

Отже, за результатами проведеного дослідження метод кавітаційно-магнітної обробки води можливо використовувати у системі водоочистки та водопідготовки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вітенько Т. М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах : монографія. Вступ [Електронний ресурс] / Т. М. Вітенько. – Тернопіль : Вид-во ТДТУ ім. Івана Пулюя, 2009. – 224 с. – Режим доступу: http://vlp.com.ua/files/130863_vstup.pdf (дата звернення: 17.10.2020).
2. Білецький В. С. Кавітація [Електронний ресурс] / В. С. Білецький. – Енциклопедія сучасної України. – Режим доступу: http://esu.com.ua/search_articles.php?id=12013 (дата звернення: 17.10.2020).
3. Вітенько Т. М. Механізм та кінетичні закономірності інтенсифікуючої дії гідродинамічної кавітації у хіміко-технологічних процесах: дис. ... доктора техн. наук : 05.17.08 / Вітенько Тетяна Миколаївна. – Львів, 2010. – 436 с.
4. Бауман К. В. Обґрунтування ефективності кавітаційного очищення стічних вод [Електронний ресурс] / К. В. Бауман // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2017», м. Вінниця, 11-13 жовтня 2017 р. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua> (дата звернення: 18.10.2020).
5. Долінський А. А. Використання кавітаційних технологій при обробці рідких гетерогенних систем [Електронний ресурс] / А. А. Долінський, Л. Ю. Авдєєва, Є. К. Жукотський, А. А. Макаренко // Наукові праці. Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2014 – Вип. 45, Т. 3. С. 9–13. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2014_45%283%29__4 (дата звернення: 18.10.2020).

6. Шевчук Л. І. Кавітація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти / Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 376 с.

7. Старчевський В. Л. Пневмогідролічне кавітаційне очищення води від біологічного забруднення / В. Л. Старчевський, Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2011. – С. 405–413.

8. Хмелев В. Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок, А. В. Шалунов // Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

9. Предзимірска Л. М. Кавітаційне очищення природних і стічних вод від органічних та біологічних забруднень : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 : захищена 28.05.15 / Предзимірска Леся Михайлівна. – Львів, 2015. – 199 с.

10. Neppolian B. Hybrid sonochemical treatments of wastewater: sonophotocatalytic and sonoelectrochemical approaches [Electronic resource] / B. Neppolian, M. Ashokkumar, I. Tudela, J. González-García. Part I: Description of the techniques. In Sharma S. K., Sanghi R. (eds.), *Advances in Water Treatment and Pollution Prevention* // Springer Dordrecht Heidelberg – New York London, 2012. – pp. 267–302. – Access mode: <https://www.springerprofessional.de/en/hybrid-sonochemical-treatments-of-wastewater-sonophotocatalytic-a/4773174> (date of appeal: 18.10.2020).

11. Гордєєв А. І. Природа одночасної дії кавітаційно-магнітного впливу на властивості води [Електронний ресурс] / А. І. Гордєєв, Г. Б. Параска, Є. А. Урбанюк, О. Остроушко // Технічні науки. Галузеве машинобудування. – 2013. – Режим доступу: http://www.rusnauka.com/25_PNR_2013/Tecnic/3_144403.doc.htm (дата звернення: 18.10.2020).

12. Гончарук В. В. Использование ультразвука при очистке воды / В. В. Гончарук, В. В. Маляренко, В. А. Яременко // Химия и технология воды. – 2008. – Т. 30, № 3. – С. 274-277.
13. Saez V. Sonoelectrochemical synthesis of nanoparticles [Electronic resource] / V. Saez, T. J. Mason // *Molecules* – 2009. – Vol. 14, Issue 10. – pp. 4284–4299. – Access mode: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19924064/> (date of appeal: 19.10.2020).
14. Бирюков Д. А. Электризация жидкости при сонолюминесценции / Д. А. Бирюков, Д. Н. Герасимов, О. А. Синкевич // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40, вып. 3. – С. 90–94.
15. Маргулис М. А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях) : учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. вузов. / М. А. Маргулис. – Москва : Высш. шк., 1984. – 272 с.
16. Лозовская Е. Нобелевские премии 2003 года / Е. Лозовская // – Москва : Наука и жизнь, 2003. – № 12. – С.14-15.
17. Некоз О. І. Кавітаційна технологія очищення стічних вод від токсичних речовин / О. І. Некоз, О. А. Литвиненко, Р. В. Логвінський // Вібрації в техніці та технологіях. – 2012. – № 2 (66). – С. 112–115.
18. Лиходумова М. А. Инновационные технологии водоподготовки для производства слабо- и безалкогольной продукции / М. А. Лиходумова [и др.] // Молодой ученый. – 2013. – № 10. – С. 159–161.
19. Suslick K. S. Acoustic cavitation and its chemical consequences [Electronic resource] / K. S. Suslick, Y. Didenko, M. M. Fang, T. Hyeon, K. J. Kolbeck, W. B. McNamara III, M. M. Mdleleni, M. Wong // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. – 1999. – № 357 (1751). – pp. 335–353. – Access mode: <https://suslick.scs.illinois.edu/documents/philtrans99335.pdf> (date of appeal: 18.10.2020).
20. Долінський А. А. Використання кавітаційних технологій при обробці рідких гетерогенних систем [Електронний ресурс] /

А. А. Долінський, Л. Ю. Авдєєва, Є. К. Жукотський, А. А. Макаренко // Наукові праці. Одеської національної академії харчових технологій. – 2014. – Вип. 45, Т. 3. С. 9–13. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2014_45%283%29__4 (дата звернення: 18.10.2020).

21. Савка І. М. Застосування ультразвуку для очищення стічних вод з різними типами забруднень / І. М. Савка, Л. І. Шевчук, І. Є. Никулишин, З. Г. Піх // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2008. – № 609. – С. 197–200.

22. Вашкурак У. Ю. Використання кавітаційних технологій для очищення стічних вод пивоварні / У. Ю. Вашкурак, Т. С. Фалик, Л. І. Шевчук, І. З. Коваль // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. – № 868. – С. 267–272.

23. Фалик Т. С. Дослідження ефективності кавітаційного очищення стічних вод спиртзаводу від органічних забруднень в присутності різних газів / Т. С. Фалик, Л. І. Шевчук, І. Є. Никулишин, С. Р. Мельник // Восточно-Европейский журнал передових технологій. – Харьков : Издательство Технологический центр, 2017. – Т. 3, № 10 (87). – С. 56–62.

24. Guo, Z. Ultrasonic irradiation-induced degradation of low-concentration bisphenol A in aqueous solution [Electronic resource] / Z. Guo, R. Feng // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 163, Issue 2-3. – P. 855–860. – Access mode: <https://www.researchgate.net/publication/231857777> (date of appeal: 18.10.2020).

25. Сілін Р. І. Дослідження природи кавітаційно-магнітного впливу на воду та вібраційне обладнання для зміни її властивостей / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Р. С. Сілін, О. С. Ланець // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : Укр. міжвідом. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2013. – Вип. 47. – С. 133–144.

26. Сорокіна К. Б. Очисні споруди водопостачання : конспект лекцій для студентів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація «Цивільна інженерія (Водопостачання та водовідведення)» / К. Б. Сорокіна; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 84 с.

27. Гришко И. А. Проточный кавитатор с высокой интенсивностью ультразвука для обработки жидких сред [Электронный ресурс] / И. А. Гришко, А. А. Новосад // НТУУ «Київський політехнічний інститут», презентаційні матеріали. – 2014. – Режим доступу: http://www.kdpu-nt.gov.ua/sites/default/files/work_files/protochnyy_kavitator_s_vysokoy_intensivnosti_ultrazvuka_dlya_obrabotki_zhidkih_sred-22_0_0.pdf (дата звернення: 19.10.2020).

28. Макарошкин А. Г. Клинические аспекты использования низкочастотного ультразвука в хирургии панкреонекроза : учебно-методическое пособие / А. Г. Макарошкин, С. А. Чернядьев, Д. В. Айрапетов, Н. Ю. Коробова ; под ред. А. Г. Макарошкина // Уральская медицинская академия. – Екатеринбург, 2011. – 32 с.

29. Шевчук Л. І. Ефективність кавітаційного очищення води в залежності від природи барботованого газу / Л. І. Шевчук, І. Є. Никулишин, Л. М. Предзимірска, Т. В. Чайківський, Т. С. Фалик // Вісник КрНУ – Кременчук, 2016. – №2 (97). – С.102-109. – (Index Copernicus international).

30. Калініченко С. В. Біофізична характеристика впливу електромагнітних та ультразвукових хвиль на біоб'єкти [Електронний ресурс] / С. В. Калініченко, Т. І. Антушева, О. О. Коротких, Є. М. Бабич, Ф. В. Ківва, О. І. Коваленко, Т. А. Рижкова, А. К. Балак // Анналі Мечниковського інституту. – 2015. – № 3. – С. 25–36. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ami_2015_3_4 (дата звернення: 19.10.2020).

31. Antusheva, T. I. Some features of the influence of ultrasound on microorganisms [Electron resource] / T. I. Antusheva // Living and biokosnye

system. – 2013. – № 4. – Access mode: <http://www.jbks.ru/archive/issue-4/article-11> (date of appeal: 19.10.2020).

32. Kalinichenko S. V. Effect of factors on specific activity and safety of derivatives of diphtheria toxin / S. V. Kalinichenko [et al.] // *Epidemiology, ecology and hyhyen conf.* – Kharkov, 2011. – Part 2. – P. 119–124.

33. Методичні вказівки до проведення практичних (семінарських) занять та до виконання самостійної роботи з курсу «Основи мікробіології» для студентів напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / Укл. В.В. Вембер. – 2012. – 85 с.

34. Jambrak, A. Effect of Ultrasound Treatment on Particle Size and Molecular Weight of Whey Protein [Electron resource] / A. Jambrak, T. Mason, V. Lelas, L. Paniwnyk, Z. Herceg // *Journal of Food engineering.* – 2014. – Vol. 121. – P. 15–23. – Access mode: <https://www.academia.edu/24279905> (date of appeal: 21.10.2020).

35. Guy, A. W. Biological Effects of Electromagnetic Radiation : Medical Applications at Sub-Microwave Frequencies [Electronic resource] / Arthur W. Guy, FELLOW // *IEEE Global histori network* – 2013. – Access mode: <http://www.ieeeighn.org/wiki/index.php> (date of appeal: 21.10.2020).

36. Бернацька Н. Л. Встановлення оптимальних умов проведення процесу очищення води за допомогою ультразвуку / Н. Л. Бернацька // *Восточно-Европейский журнал передових технологий.* – Харьков : Издательство Технологический центр, 2015. – Т. 4, № 10 (76). – С. 8–12.

37. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання для зміни властивостей води з одночасним впливом різних енергетичних полів / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв // *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»*, Вінниця. – 2015. – № 4 (80). – с. 64-68.

38. Шевчук Л. І. Активация воды пневмомагнитного кавітаційного оброблення / Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів, О. І. Строган // *Наук. вісн. НЛТУ*

України : зб. наук.-техн. пр. / Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2011. – Вип. 21.11. – С. 132–137.

39. Сілін Р. І. Властивості води та сучасні способи її очищення : монографія / Р. І. Сілін, Б. А. Баран, А. І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 254 с.

40. Шевчук Л. І. Обладнання для активації води пневмо-магнітною кавітаційною обробкою / Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів, О. І. Строган // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – 2011. – Темат. вып., № 23 : Новые решения в современных технологиях. – С. 12–19.

41. Шевчук Л. І. Інноваційні технології водопідготовки для інтенсифікації росту сільськогосподарських культур [Електронний ресурс] / Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський, І. С. Афтаназів, І. З. Коваль, О. І. Строган // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – № 1(2). – С. 3–8. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2013_1%282%29__2 (дата звернення: 22.10.2020).

42. Афтаназів І. С. Ріст сільськогосподарських рослин із новітніми технологіями водопідготовки / І. С. Афтаназів, Л. І. Шевчук, О. І. Строган, Т. С. Фалик // Науковий вісник НЛТУ України, Львів. – 2018. – Том 28, №6. – с. 23–29.

43. Патент на корисну модель 37257 Україна, МПК C02F1/48. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Б. А. Баран, Є. А. Урбанюк (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – № 200806742; Заявл. 16.05.2008; Опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. – 4 с.

44. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання для зміни властивостей води з одночасним впливом різних енергетичних полів / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях», Вінниця. – 2015. № 4 (80). – с. 64–68.

45. Сілін Р. І. Вода під взаємодією різних енергетичних полів: властивості, експериментальні дослідження та вібраційне обладнання /

Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Є. А. Урбанюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2015. – № 5. – С. 76–81.

46. Єфремова О. О. Еколого-гігієнічна оцінка стану р. Південний Буг у межах Хмельницької області за період 2013-2017 рр. / О. О. Єфремова, Н. Г. Міронова, О. П. Матеюк, А. О. Дячук, С. М. Шевченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – № 5. – С. 261-266.

47. Офіційний сайт Хмельницького управління водних ресурсів [Електронний ресурс] / Водні ресурси області. – Режим доступу: <http://vodgosp.km.ua/> (дата звернення: 07.11.2020).

48. Рибак О. А. Про моніторингові лабораторні дослідження води в районі міського пляжу [Електронний ресурс] / О. А. Рибак // ДУ «Хмельницький обласний лабораторний центр МОЗ України». – Хмельницький, 2019. – Режим доступу: <https://xn--d1agleic5aql.xn--j1amh> (дата звернення: 08.11.2020).

49. Ковальчук Л. Й. Характеристика бактерійної контамінації поверхневих водойм Українського Придунав'я [Електронний ресурс] / Л. Й. Ковальчук, А. В. Мокієнко, В. О. Пушкіна, В. О. Самойленко, Л. В. Матусяк, О. В. Ковбасюк // Інфекційні хвороби. – 2015. – № 3. – С. 33–38. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/InfKhvor_2015_3_7 (дата звернення: 09.11.2020).

50. Методичні вказівки «Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води»: [Затверджено наказом МОЗ України від 3 лютого 2005 р. N 60] / Міністерство охорони здоров'я України : чинний від 03.02.2005. – Київ, 2005. – Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/MOZ4196> (дата звернення: 09.11.2020).

51. Багдасарян А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: дис. ...

кандидата биологических наук 03.00.16 / Багдасарян Александр Сергеевич. – Саратов, 2005. – 160 с.

52. Строганов Н. С. Основные принципы биотестирования сточных вод и оценка качества вод природных водоёмов / Н. С. Строганов, О. Ф. Филенко, Г. Д. Лебедева [и др.] // Теоретические вопросы биотестирования. – Волгоград, 1983. – С. 21–29.

53. Прохорова И. М. Оценка митотоксического и мутагенного действия факторов окружающей среды : Методические указания / И. М. Прохорова, М. И. Комарова, А. Н. Фомичева – Ярославль : Яросл. гос. ун-т., 2013. – 32 с.

54. Биология. Allium test. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.muldyr.ru/a/a/allium_test (дата звернення: 17.11.2020).

55. Швець Л. С. Визначення цито- і генотоксичності питної води з різних районів Прикарпаття [Електронний ресурс] / Л. С. Швець // Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. : Медицина. – 2011. – Вип. 3. – С. 155–159. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UNUMED_2011_3_36 (дата звернення: 20.11.2020).

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

Апробація результатів дослідження

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет
імені Івана Огієнка
Університет імені Адама Міцкевича
Ойцовський національний парк
Словацька академія наук
Молдовський державний університет
Міжнародна асоціація екологів університетів
Всеукраїнська екологічна ліга
Кам'янець-Подільська міська рада
Національний природний парк «Подільські Товтри»
Національний природний парк «Хотинський»
Товариство Подільських природодослідників та природолюбів

Міжнародна науково-практична конференція «СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ УРБООКОСИСТЕМ»

Збірник матеріалів науково-практичної конференції
1-2 жовтня 2020 р.

Кам'янець-Подільський, 2020

Рисунок А.1 – Апробація результатів дослідження

2. Іванців В.В., Потішук Б.В. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ РАДОШИНСЬКОГО ПІЩАНОГО КАР'ЄРУ.....	134
3. Єфремова О.О., Гадимба В.В. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СТІЧНИХ ВОД.....	137
4. Єфремова О.О., Сухомлинова І.С. ОЦІНКА БАКТЕРИЦИДНОГО ЕФЕКТУ КАВІТАЦІЙНО-МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ.....	140
5. Кузик І.Р. РОЛЬ КОМПЛЕКСНОЇ ЗЛЕНОЇ ЗОНИ МІСТА У ФУНКЦІОНУВАННІ УРБОЕКОСИСТЕМИ ТЕРНОПОЛЯ.....	144
6. Матеюк О.П., Пастушок В.В. АСПЕКТИ ВПЛИВУ МОЛОКОПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ НА ДОВКІЛЛЯ НА ПРИКЛАДІ ТОВАРИСТВА З ДОДАТКОВОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ДУНАЄВЕЦЬКИЙ МАСЛОЗАВОД».....	149
7. Прохвіцький Анатолій, Білівська В.Ю., Андрусак Д.В. РОЛЬ ГРОМАДСЬКИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У МІЖНАРОДНІЙ СПІВПРАЦІ З ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ Р. ДНІСТЕР.....	154

СЕКЦІЯ 7.

ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ І ПРИНЦИПИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ

1. Янковська Л.В. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УРБОСИСТЕМ У РІЗНІ ІСТОРИЧНІ ПЕРІОДИ.....	159
---	-----

УДК 502.084:66.084

О.О. Єфремова, к.т.н., доцент,
доцент кафедри екології та біологічної освіти
Хмельницького національного університету.
І.С. Сухомлинова, магістрантка
Хмельницького національного університету.

ОЦІНКА БАКТЕРИЦИДНОГО ЕФЕКТУ КАВІТАЦІЙНО- МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ

Стаття присвячена оцінці бактерицидного ефекту кавітаційно-магнітної обробки води, яка є перспективним методом водопідготовки та водоочистки. Досліджено вплив кавітації у поєднанні із магнітною обробкою на мікроорганізми річкової води, здійснено визначення залежності бактерицидного ефекту від тривалості обробки.

Ключові слова: Кавітація, бактерицидний ефект, стічні води, мікробіологічне забруднення.

Складна екологічна ситуація в країні примушує приділяти все більшу увагу технологіям водоочищення. Зростання кількості населення, збільшення водоспоживання промисловими підприємствами, скидання у природні водойми недостатньо очищених стоків, застарілі технології та обладнання для водоочищення спричиняють погіршення стану водних ресурсів, що, в свою чергу, значно обмежує можливість використання окремих водних об'єктів для господарсько-питних потреб. Крім значного спектру забруднюючих речовин, у стічних водах містяться патогенні мікроорганізми, які становлять потенційну небезпеку не лише для навколишнього середовища, а й для здоров'я населення. Застосування реагентних способів знезараження, зокрема хлорування, має певні недоліки, такі як утворення токсичних, канцерогенних сполук у воді.

Альтернативою існуючим методам водоочищення та водопідготовки можуть стати технології, в яких використовують фізико-хімічні явища, які виникають при кавітації. Лабораторними дослідженнями та практикою промислового використання переконливо доведено високу ефективність застосування кавітаційних явищ у рідинах для ініціювання та активації різноманітних окисно-відновних процесів. Але нагальним залишається вивчення питання щодо можливостей та особливостей застосування кавітаційної обробки води у процесах водопідготовки та водообробки, зокрема і бактерицидного ефекту. Саме це і зумовлює актуальність обраного дослідження.

Вивченню процесів кавітації та способів її практичного застосування присвятили свої дослідження такі зарубіжні науковці, як: Г. Гельмгольц, Г. Кірхгоф, Л. Бріллюєн, Ф. Мітчелл, М. Жуковський та інші. Результати їх теоретичних досліджень продовжили і довели до можливостей промислового використання дослідники І. Пірсол, А. Пернік, Ю. Левківський, З. Арзуманов, Р. Кнеп, В. Акулічев, А. Розенберг, М. Маргуліс, І. Ельпінер. Вагомий доробок у дослідженнях кавітаційних процесів, зокрема і впливу ефектів гідрокавітації на зміну властивостей водного середовища, належить науковим школам Національного університету «Київський політехнічний інститут» (І.М. Федоткін, А.Ф. Немчина, М.А. Балабуткіна, М.А. Промтова, О.І. Некоза, В.М. Івченко), Національного університету «Львівська політехніка» (Є.М. Мокрий, В.Л. Старчевський, І.С. Афтаназів, Л.І. Шевчук, І.З. Коваль, О.І. Строган), Тернопільського державного університету ім. І. Пулюя (А.Д. Молчанов, Т.М. Вітенько та ін.) та Хмельницького національного університету (Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв) [2].

Вибір способу очищення води вимагає глибоких досліджень і вивчень різних видів забруднювачів води, їх концентрації тощо. Забруднення води біологічного походження вважається більш небезпечним від хімічного. Тому, на сьогоднішній день науковці пропонують безліч ефективних методів знезараження води, одним з яких є застосування кавітаційної дії на водну систему. Так, інактивацію *Microcystis aeruginosa* як наслідок механічних та хімічних впливів, викликаних ультразвуком, засвідчили результати цитометрії клітини (зменшення розмірів, внутрішньої зернистості, цілісності та активності клітин водоростей), систематичний аналіз морфології клітин водоростей з ефективністю видалення водоростей від 80 % до 90 % та вплив інтенсивності ультразвукової кавітації на структуру мікроорганізмів при дезінфекції стічних вод [3, 4].

Одним із перспективних методів інактивації мікроорганізмів є кавітація у рідинах (гідрокавітація) із застосуванням камери пульсацій вібраційного обладнання з одночасною магнітною обробкою. При цьому, основний вплив на зміну якості води чинить процес кавітації, а магнітна обробка лише прискорює її перебіг.

Енергія для виникнення кавітації підводиться безпосередньо технологічним потоком рідини (гідродинамічні пристрої статичного типу), або обертовими кавітаторами (гідродинамічні пристрої динамічного типу). В рідині кавітація виникає як одиничний зародок. Далі мікропухирці розвиваються у стабільну область, яка складається із безлічі кавітаційних бульбашок. При сплескуванні кавітаційна бульбашка може втрачати стійкість і розпадатися на частини, а при тому, що тиск і температура в цей момент в бульбашці максимальні, то тиск і температура парогазової суміші в «уламках,

що утворилися» теж підвищені. У фазі розтягування вони легко розширюються і стають новими зародками кавітації, хоча і менш стійкими, ніж ті, що постійно наявні у рідині. Кавітаційні порожнини, які виникли у цих зародках, породжують нові. Всередині кавітаційної області йде безперервний процес розмноження і коагуляції кавітаційних бульбашок, причому, кавітаційний поріг дещо зменшується, так як в усталеному режимі роль кавітаційних зародків починають виконувати бульбашки, які утворились при сплескуванні, обсяг і газоміст у яких більший, ніж у зародків [2].

Використання вібраційних коливань в технологічному обладнанні з активним рідинним середовищем обумовлене їх високими якісними характеристиками, а, в окремих випадках, вібраційні коливання є єдиною можливістю реалізації технологічних процесів очищення води чи водопідготовки.

Для дослідження бактерицидного ефекту кавітаційно-магнітної обробки води використовували воду річки Південний Буг. Воду, відібрану з р. Південний Буг, піддавали обробці у кавітаційно-магнітній установці, розробленій авторами [1]. Дослідження впливу кавітації на розвиток мікроорганізмів у річковій воді проводилося у трикратній повторюваності. Кавітаційна обробка тривала протягом 15, 30, 45 та 60 хвилин. Для контролю використовували необроблену річкову воду.

Мікробіологічне дослідження води, перш за все, повинно вирішувати питання про наявність або відсутність у ній патогенних бактерій, вірусів і грибів. Але їх безпосереднє виявлення має ряд методичних труднощів. У зв'язку з цим широкого розповсюдження набули методи непрямої оцінки епідеміологічного благополуччя води шляхом виявлення так званих санітарно-показових мікроорганізмів і визначення загального мікробного числа (ЗМЧ).

Виявлення впливу кавітації на мікроорганізми ми проводили шляхом визначення кількості колоній мікроорганізмів, для чого висівали досліджувані проби (оброблена річкова вода) на живильне середовище. Підрахунок кількості колоній мікроорганізмів проводили через 24 години. Після чого визначали ступінь бактерицидного ефекту у відсотках. Результати дослідження наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження кавітаційно-обробленої річкової води (середні показники)

Досліджувана проба	Тривалість кавітації, хв.	Кількість колоній мікроорганізмів, шт.	Ступінь бактерицидного ефекту, %
1	2	3	4
Контроль	0	165	0
Проба 1	15	149	9,7
Проба 2	30	106	35,8
Проба 3	45	94	40,6
Проба 4	60	68	58,8

В результаті дослідження було визначено, що максимальний бактерицидний ефект досягається при обробці води протягом 60 хвилин.

Отже, за результатами дослідження можна стверджувати, що низькочастотна кавітація у поєднанні із магнітною обробкою чинить бактерицидну дію, при чому спостерігається пряма залежність бактерицидного ефекту від тривалості обробки води.

Враховуючи результати дослідження зміни властивостей води, проведені авторами [1], які показали збільшення швидкості хімічних реакцій, зменшення енерговитрат під час кип'ятіння води, підвищення окиснювальної здатності води з різних джерел та експериментально підтверджений у даному дослідженні бактерицидний ефект, можна дійти висновку, що кавітаційно-магнітна обробка води є перспективним методом для водопідготовки та водоочистки.

Список використаних джерел

1. Дослідження природи кавітаційно-магнітного впливу на воду та вібраційне обладнання для зміни її властивостей / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Р. С. Сілін, О. С. Ланець // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : укр. міжвідом. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2013. – Вип. 47. – С. 133–144.
2. Сілін Р. І. Вода під взаємодією різних енергетичних полів: властивості, експериментальні дослідження та вібраційне обладнання / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Є. А. Урбанюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький. – 2015. – № 5. – С. 76–81.
3. Шевчук Л. І. Кавітація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти / Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 376 с.