

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет лісового господарства та екології

**Кафедра екологічної безпеки та
економіки природокористування**

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Шевчук Анна Валентинівна

УДК 504.062:628.33:614.84

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення технології очищення стічних вод

на КП «Житомирводоканал»

183 – «Технології захисту навколишнього середовища»

Подається на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

_____ А.В. Шевчук

Керівник роботи
Аристархова Елла Олександрівна,
кандидат біологічних наук, доцент

Житомир – 2020

ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології

Кафедра _____

Спеціальність _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

(прізвище ,ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

1. Тема кваліфікаційної роботи _____

затверджена наказом від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання роботи _____

3. Предмет дослідження _____

4. Об'єкт дослідження _____

5. Методи дослідження _____

6. Інформаційна база дослідження _____

7. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

8. Перелік графічного матеріалу _____

9. Дата видачі завдання _____

Керівник роботи

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(прізвище ,ім'я, по батькові)

Завдання прийняв
до виконання

(підпис)

(прізвище ,ім'я, по батькові)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітка

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(прізвище ,ім'я, по батькові)

Керівник роботи

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(прізвище ,ім'я, по батькові)

«__» _____ 20__ р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗВОРОТНИМИ ВОДАМИ ТА ШЛЯХИ МІНІМІЗАЦІЇ ЇХ НЕБЕЗПЕКИ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД).....	11
1.1. Особливості забруднення вод стоками та їх наслідки.....	11
1.2. Аналіз технології біологічного очищення стічних вод у аеротенках	12
1.3. ФітореMediaція стічних вод за допомогою <i>Lemna minor</i> L.....	14
1.4. Застосування рідкого хлору та гіпохлориту натрію для знезараження стічних вод.....	15
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
2.1. Програма проведення досліджень.....	18
2.2. Матеріали та методи досліджень.....	18
2.2.1. Відбір проб води, формування дослідних груп та методи досліджень.....	18
2.2.2. Методики визначення показників для аналізу компонентного складу стічних та зворотних вод	20
2.3. Коротка природно-кліматична характеристика району розташування КП «Житомирводоканал»	22
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗВОРОТНИХ ВОД.....	25
3.1 Обґрунтування доцільності додаткового очищення стічних вод та знезараження зворотних вод для поліпшення стану р. Тетерів.....	25
3.2. Біологічне очищення стічних вод від важких металів за допомогою <i>L. minor</i>	26
3.3. Особливості знезараження зворотних вод з використанням гіпохлориту натрію.....	29
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	35
ДОДАТКИ.....	39

АНОТАЦІЯ

Шевчук Г.Ю. Удосконалення технології очищення стічних вод на КП «Житомирводоканал». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 183 – «Технології захисту навколишнього середовища». – Поліський національний університет, Житомир, 2020

У роботі показано можливість удосконалення технології очистки стічних вод на КП «Житомирводоканал» за рахунок їх додаткового біологічного очищення, а також завдяки заміні реагента, що використовується для знезараження цих вод.

Біоочищення стічних вод було запропоновано нами проводити методом фітореMediaції за допомогою ряски малої (*Lemna minor* L.) як доповнення до біоочищення у аеротенках. Використання фітореMediaції сприяло зниженню концентрацій важких металів у складі стічних вод впродовж 7 діб: Cr – у 2,30 рази; Zn – у 2,05; Cu – у 2,09; Ni – у 1,22; Fe – у 1,22.

Для знезараження було рекомендовано використовувати гіпохлорит натрію замість менш безпечного та дорожчого рідкого хлору. Впровадження гіпохлориту натрію забезпечило у наших дослідженнях зниження концентрації хлороформу у дослідних водах порівняно з рідким хлором на 16,19%.

У кінцевому рахунку вказані інновації мають позитивно відобразитися не тільки на покращенні якості стічних вод, але й на стані водного середовища р. Тетерів.

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, ряска мала, знезараження, рідкий хлор, гіпохлорит натрію.

SUMMARY

Shevchuk A.B. Improvement of wastewater treatment technology at KP "Zhytomyrvodokanal". – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for the degree of "Master" in specialty 183 – "Environmental Technologies". – Polissya National University, Zhytomyr, 2020

The paper shows the possibility of improving the wastewater treatment technology at KP "Zhytomyrvodokanal" due to their additional biological treatment, as well as by replacing the reagent used to disinfect these waters.

We proposed to perform biotreatment of wastewater by the method of phytoremediation using duckweed (*Lemna minor* L.) as a supplement to biotreatment in aeration tanks. The use of phytoremediation helped to reduce the concentrations of heavy metals in wastewater for 7 days: Cr – in 2.30 times; Zn - in 2.05; Cu - in 2.09; Ni - in 1.22; Fe - in 1.22.

For disinfection, it was recommended to use sodium hypochlorite instead of the less safe and more expensive liquid chlorine. The introduction of sodium hypochlorite in our studies provided a reduction in the concentration of chloroform in the test waters by 16.19% compared to liquid chlorine.

Ultimately, these innovations should have a positive impact not only on improving the quality of wastewater and return water, but also on the state of the aquatic environment of the Teteriv River.

Key words: wastewater, biological treatment, small duckweed, disinfection, liquid chlorine, sodium hypochlorite.

ВСТУП

Актуальність теми. Значні проблеми раціонального використання водних ресурсів, що існують нині у світі, обумовлені переважно тим, що зворотні води (очищені стічні води) часто не відповідають нормативним вимогам. В Україні ця ситуація є надзвичайно загостреною, оскільки зворотні води на більшості водоканалів настільки забруднені, що поряд з постійним накопиченням небезпечних речовин у місцях їх скидів, у водних об'єктах спостерігаються також високі рівні антропогенної евтрофікації та активний розвиток фітопланктону, тобто «цвітіння» води. А якщо серед планктонних водоростей переважають ціанобактерії, то їх отруйні представники виділяють у воду метаболіти, які належать до нейро- та гепатотоксинів, і можуть призводити до інтоксикацій тварин та людей. Стічні води розглядаються і як одно із джерел патогенних мікроорганізмів. Тому все частіше виникає необхідність у знезараженні стічних вод не тільки у випадках мікробіологічних залпових забруднень, але й навіть при підвищенні чисельності індикаторних форм мікроорганізмів, таких як група кишкової палички, понад нормативні показники.

Вказані питання освітлені у наукових працях Романенка, 2004; Білявського Г.О., Бутченко Л.І. 2006; Сніжка, 2001; Запольського, Шумигай, 2015; Appenroth K.-J., Lam E., 2015; Patra, 2015 та інших [1-6]. Вчені вважають забруднення стічних вод та наслідки, до яких вони призводять, глобальною проблемою людства і пропонують різноманітні шляхи покращення якості цих вод, а також відповідно зворотних вод, які безпосередньо потрапляють у водні об'єкти. У зв'язку з цим, виникає питання удосконалення існуючих технологій очистки та знезараження стічних вод.

Виходячи з цього, тема дипломної роботи є актуальною, має практичне значення, а результати досліджень вказують на доцільність застосування на

водоканалах України додаткового біологічного очищення за допомогою вищої водної рослинності та перегляду умов знезараження стічних вод.

Мета і завдання дослідження.

Мета, завдання та методика дослідження. Метою досліджень є обґрунтування доцільності впровадження технологічних процесів додаткового біологічного очищення стічних вод з використанням ряски малої (*Lemna minor* L.) та їх знезараження гіпохлоритом натрію замість рідкого хлору в умовах очисних споруд КП «Житомирводоканал».

Завдання дослідження:

1. Зазначити шляхи послаблення антропогенної евтрофікації та «цвітіння» води у р. Тетерів, особливо в районі скиду зворотних вод, за рахунок удосконалення технології їх очищення на очисних спорудах КП «Житомирводоканал».

2. Визначити можливість доповнення існуючого на водоканалі технологічного процесу біологічного очищення стічних вод у аеротенках, перш за все від важких металів, впровадженням біоремедіації з використанням *L. minor*.

3. З'ясувати особливості вибіркості поглинання важких металів рослинами *L. minor* шляхом визначення відповідних кореляційних зв'язків (між концентраціями металів до та після фіторемедіації).

4. Визначити можливість використання гіпохлориту натрію замість рідкого хлору за знезараження очищених стічних вод на КП «Житомирводоканал».

5. Порівняти небезпечність рідкого хлору та гіпохлориту натрію, які використовуються в умовах водоканалу, щодо утворення хлороформу у очищених стічних водах.

6. З'ясувати ефективність застосування рідкого хлору та гіпохлориту натрію за знезараження фітопланктону та мікроорганізмів у стічних водах.

Методи дослідження.

У роботі використані гідробіологічні, гідрохімічні, аналітичні методи, методи фітореMediaції та знезараження стічних вод у лабораторних умовах, а також методи статистичного аналізу, вірогідність яких розрахована за критерієм Стюдента.

Об'єктом досліджень є обґрунтування доцільності впровадження технологічних процесів щодо покращення якості стічних вод на очисних спорудах КП «Житомирводоканал» – їх додаткового біологічного очищення та більш безпечного знезараження.

Предметом досліджень є стічні води очисних споруд водоканалу щодо попередження їх негативного впливу на стан р. Тетерів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше на очисних спорудах КП «Житомирводоканал» проведено лабораторне дослідження з визначення можливості доповнення існуючої технології очищення стічних вод альтернативними методами – фітореMediaцією за допомогою ряски малої та знезараження з використанням гіпохлориту натрію.

Практичне значення досліджень полягає у тому, що запропоноване у роботі удосконалення існуючої технології очистки стічних вод за рахунок впровадження додаткового до аеротенків біологічного очищення вод ряскою малою та заміна традиційного рідкого хлору на дешевший та зручніший у застосуванні гіпохлорит натрію, може бути використано на очисних спорудах водоканалів України.

Перелік публікацій автора за темою дослідження.

1. **Шевчук А.В.** Аристархова Е.О., Адамович А.О. Комплексний підхід до запобігання антропогенній евтрофікації поверхневих вод. II Всеукраїнська наук.-практ. конф. «Сучасні екологічні проблеми урбанізованих територій». м. Житомир, 19 листопада 2020 р. Житомир: Поліський національний університет. 2020. С. 82-84.

2. **Шевчук А.В.** Використання *Lemma minor* L. для очищення стічних вод. Тези XVI Всеукраїнської наукової on-line конференції здобувачів вищої освіти і

молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології». м. Житомир, 10 квітня 2020 року. Житомир: Житомирська політехніка. 2020. С. 80.

3. Красільнікова Л.М., **Шевчук М.В.**, Аристархова Е.О. Особливості біологічного очищення стічних вод. Міжнародна науково-практична конференція «Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації». м. Київ, 3 грудня 2019 р. Київ: ДІА, 2019. С. 73-75.

4. Аристархова Е.О., **Шевчук А.В.** Особливості знезараження очищених стічних вод з використанням гіпохлориту натрію. II Всеукраїнська наук.-практ. конф. «Сучасні екологічні проблеми урбанізованих територій». м. Житомир, 19 листопада 2019 р. Житомир: ЖНАЕУ. 2019. С. 29-31.

Структура та обсяг роботи. Магістерська дипломна робота викладена на __ сторінках. Складається із вступу, трьох основних розділів (літературного огляду, програми та методів досліджень, результатів досліджень), а також висновків, пропозицій, списку використаної літератури, що містить __ найменувань. Текст ілюстровано __ таблицями та __ рисунками.

РОЗДІЛ 1.

ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗВОРОТНИМИ ВОДАМИ ТА ШЛЯХИ МІНІМІЗАЦІЇ ЇХ НЕБЕЗПЕКИ

1.1. Особливості забруднення вод стоками та їх наслідки

Проблема забруднення водних об'єктів у багатьох країнах світу найчастіше буває обумовлена надходженням у їх води несанкціонованих стоків, а також недостатньо очищених стічних вод [3, 7, 8]. Це викликає активізацію евтрофних процесів водного середовища, які можуть перетворюватись на небезпечне глобальне явище – антропогенну евтрофікацію, що розвивається значно швидше та охоплює більші за площею ділянки водної поверхні, ніж природне евтрофування вод [4, 9-13].

Найчастіше евтрофні процеси полягають у надходженні в поверхневі води біогенних елементів, до яких належать Нітроген, Фосфор, Сульфур, деякі види металів, що обумовлено вимиванням сполук цих елементів з ґрунтів, у складі добрив, стимуляторів росту рослин, присутністю у стоках різного походження, а також у зворотних водах за їх неналежного очищення на водоканалах тощо. Біогенні елементи сприяють розвитку угруповань фітопланктону, у тому числі отруйних ціанобактерій, які поїдаються лише незначною кількістю видів риб, а їх метаболіти можуть призводити до інтоксикації людини і тварин [9, 12, 13].

Аналіз досліджень, результати яких були опубліковані у останні роки, вказують на те, що у багатьох країнах світу, включаючи Україну, проводиться обов'язковий моніторинг евтрофікованих вод, у яких активізуються процеси розвитку угруповань водоростей. Поряд з моніторинговими дослідженнями якісного та кількісного складу планктонних водоростей обов'язковим для розробки є ряд заходів щодо зменшення біологічного забруднення вод, перш за все, за рахунок чисельності ціанобактерій, а також всебічне вивчення генетичних, біохімічних фізіологічних та інших особливостей цих

мікроорганізмів [9-11]. Тому поряд з моніторингом біологічного забруднення поверхневих вод, надзвичайно актуальним є попередження евтрофування та послаблення його наслідків, особливо у водах, що найбільше зазнають надходження стоків, провокуючих «цвітіння».

1.2. Аналіз технології біологічного очищення стічних вод у аеротенках

Якість очистки стічних вод, особливо тих, що містять багато органічних речовин, доцільно покращувати за рахунок їх біологічного очищення, за участю мікроорганізмів, які виконують функцію редуцентів у водних екосистемах. Однак проходження цього процесу у значній мірі залежить від ряду факторів, здатних сприяти як його посиленню, так і послабленню [14-17].

Для підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод необхідно знайти той оптимум за якого можливо отримати найкращий результат в умовах певного водоканалу з урахуванням особливостей складу стічних вод, угруповань організмів-редуцентів тощо. З цією метою варто розглянути процес біологічного очищення стічних вод на прикладі КП «Житомирводоканал».

Біологічне очищення стічних вод відбувається у аеротенках, що існують на більшості водоканалів України. Це залізобетонні резервуари, через які протікають стічні води, змішані з активним мулом, що підлягають аерації. Активний мул складається з пластівців, густо заселених аеробними мікроорганізмами (зооглеями), здатними у присутності кисню повітря здійснювати мінералізацію органічних забруднень стічних вод [14, 16, 17].

Спроможність мікроорганізмів використовувати для свого живлення органічні речовини, які знаходяться у стічних водах, є основою біохімічної очистки цих вод. Необхідні для життєдіяльності Нітроген, Фосфор, Калій та інші елементи мікроорганізми одержують з різноманітних речовин, що містяться у стоках [14, 17, 18].

У процесі живлення редуценти одержують матеріал для побудови власного тіла, внаслідок чого відбувається приріст маси бактерій (надлишковий активний мул) [14, 16, 17]. Концентрація циркулюючого активного мулу у муловій суміші аеротенків має коливатися від 1 до 3 г/дм³ за сухою беззольною речовиною. Показником якості активного мулу є відповідний індекс, що характеризує співвідношення між об'ємом активного мулу та одиницею маси сухої речовини, отриманої з цього мулу, після його тридцятихвилинного відстоювання. За нормального стану активного мулу його індекс не повинен перевищувати 100 см³/г [14, 17].

З метою вирішення питання перевантаження мулових майданчиків та покращення якості очистки стічних вод на КП «Житомирводоканал» у функціонуванні аеротенків втілена безскидна технологія. Основна особливість цієї технології характеризує явище саморегуляції кількості мулу, яке може бути описано наступною залежністю: із збільшенням подачі стічних вод за об'ємом або концентрацією збільшується приріст активного мулу, відповідно підвищується інтенсивність самоокиснення мулу у аеротенках і, навпаки, якщо у аеротенки подаються невеликі порції стічних вод, є очевидним, що вони не здатні забезпечити на належному рівні процеси самоокиснення мулу.

Активність мулу характеризується його віком, або періодом обміну, що являє собою середню тривалість перебування активного мулу у системі аераційних споруд. Об'єм зворотного активного мулу повинен знаходитися у межах від 30 до 70% до обсягу стічних вод, що очищуються у аеротенках. За таких умов вік циркулюючого активного мулу має складати 7 діб, а тривалість аерації мулової суміші в аеротенках повинна тривати 7-8 годин. Питома витрата повітря повинна бути не меншою за 14 м³ у розрахунку на 1 м³ стоків, доза кисню у аеротенку – не меншою за 2 мг/дм³, а доза активного мулу – коливатися у межах 1-3 г/дм³. Для забезпечення аерації мулової суміші в аеротенках доцільно використовувати пористі фільтроносні пластини та аератори полімерні фірми «Екотон», які викладаються по днищу аеротенків [14, 17, 19].

Отже, функціонування аеротенків ґрунтується на природних процесах самоочищення, які існують у водних екосистемах, і являє собою одну з найбільш ефективних біологічних систем щодо очищення стічних вод. Проблемою залишається забезпечення належної якості тих вод, які надходять на КП «Житомирводоканал» з різних підприємств, організацій та установ для очищення. Суттєве зменшення їх токсичності можливе лише за умов попереднього доочищення в умовах, де відбувалось формування цих вод. У деяких випадках застосовують також технології біологічного доочищення безпосередньо на водоканалах, використовуючи у тому числі вищу водяну рослинність.

1.3. ФітореMediaція стічних вод за допомогою *Lemna minor* L.

У останні десятиліття все частіше для звільнення стічних вод від забруднюючих речовин використовують вищу водяну рослинність (ВВР), зокрема рослини родини ряскових, що є досить чутливими до дії важких металів і можуть поглинати їх сполуки з високою ефективністю. Дослідження з фітореMediaції, проведені у нашій країні та за кордоном, переконливо доводять доцільність застосування ряски малої (*L. minor*) щодо вилучення металів із складу стічних вод [20-25, 27].

На присутність у воді деяких сполук металів ця рослина здатна реагувати специфічною зміною забарвлення, форми, порушенням росту листеців: іони міді забезпечують зміну зеленого кольору листеців на блакитний; цинку та кобальту – знебарвлюють їх, а кобальту до того ж уповільнюють чи припиняють ріст; іони барію змінюють колір листеців із зеленого на молочно-білий [20, 24, 27]. Наведені дані вказують на те, що *L. minor*, поглинаючи важкі метали, зазнає суттєвих пошкоджень, які фіксуються ззовні. Це дає можливість використовувати її для біологічного моніторингу вод одночасно з фітореMediaцією [24, 27]. Досить важливою властивістю *L. minor*, як і деяких інших ВВР, вважається здатність переводити важкі метали у хелатну, менш

токсичну форму, що є дуже важливим для небезпечних канцерогенів, таких як хром (VI). На думку дослідників рослини ряски можуть вилучати до 98% сполук хрому і понад 30% – свинцю, кадмію та міді із стічних вод, виявляючи певну стійкість до високих концентрацій іонів металів [5, 20-25].

На водоканалах України варто впровадити технології доочищення стічних вод за допомогою *L. minor*, що дозволить суттєво поліпшити їх якість і зменшити антропогенне навантаження на водні екосистеми.

Для забезпечення потреб очисних споруд водоканалів у рясці, її можна культивувати у закритих ємностях і у повній мірі контролювати умови вирощування. Належний ріст популяції відбувається за умов забезпечення водою, неорганічними сполуками та вуглекислим газом. У такому нескладному штучному середовищі необхідно підтримувати температуру, рН та інші параметри відповідно до швидкості процесів росту та розвитку культури. Нескладно здійснювати контроль і за концентраціями металів, що поглинаються угрупованнями цих рослин, оскільки інтенсивність накопичення тої чи іншої сполуки залежить, перш за все, від її концентрації у воді [5, 26-29].

1.4. Застосування рідкого хлору та гіпохлориту натрію для знезараження их вод

Рідкий хлор та гіпохлорит натрію використовуються для знезараження води. Завдяки високій антимікробній активності і широкому спектру дії на небезпечні мікроорганізми, ці реагенти постійно знаходяться на ринку знезаражувальних агентів. Гіпохлорити випускаються у вигляді твердих продуктів (гіпохлорити кальцію) та розчинів з різним вмістом активного хлору. Світове виробництво цих реагентів перевищує 6,0 млн. т/рік. Розчини гіпохлориту натрію мають слабо жовто-зелене або коричневе забарвлення і хлорний запах [30, 31].

Молекулярна маса NaClO (по міжнародних атомних масах 1971 р.) - 74,44. Промисловістю випускається у вигляді водних розчинів різної

концентрації. Одержують гіпохлорити натрію хімічним способом пропусканням газоподібного хлору через розчин гідроксиду натрію за суворо контрольованих умов [30, 31]. Гіпохлорити натрію звичайно споживаються в радіусі 160 - 200 км від заводу, що їх виробляє. В Україні випускаються розчини гіпохлориту натрію марок А і Б згідно ГОСТ 11086-76 «Гіпохлорит натрію. Технічні умови». Наказом Мінжитлокомунгоспу України від 18.05.2007 №18 (із змінами від 15.05.15) затверджена «Інструкція по застосуванню гіпохлориту натрію для знезараження води в системах централізованого питного водопостачання і водовідведення», яка зареєстрована в Міністерстві юстиції України 25.07.2007 за №853/14120. Для знезараження зворотних вод використовуються марки А і Б. Концентрація активного хлору в гіпохлориті марки А складає не менше 190 г/л, а марки Б – не менше 170 г/л [26].

Застосування гіпохлоритів, у тому числі гіпохлориту натрію, обґрунтоване наступними перевагами перед рідким хлором [30, 32]:

- суттєво більшою екологічною безпекою при транспортуванні і зберіганні гіпохлоритів у порівнянні з рідким хлором;
- постачання і зберігання у ємностях, що не знаходяться під надмірним (проти атмосферного) тиском;
- незначне виділення хлору з продукту при його зберіганні і застосуванні, відсутність небезпечної для здоров'я персоналу загазованості робочої зони;
- позитивний вплив лугу, що міститься в продукті, на процеси коагуляції і видалення з води зважених речовин;
- менші на 15-20% в порівнянні з рідким хлором обсяги утворення тригалометанів та інших хлорорганічних сполук;
- висока здатність до окиснення сполук заліза і марганцю, що знаходяться у воді;

- відсутність необхідності в устаткуванні і засобах безпеки, окрім 6-кратної вентиляції, резервуару для гіпохлориту натрію, що витік, і ємності з нейтралізуючим розчином (тіосульфат натрію).

Поряд з цим, застосування гіпохлоритів в якості альтернативи рідкому хлору при дезінфекції води має ряд недоліків:

- втрата активності розчинів гіпохлоритів при транспортуванні і зберіганні;
- необхідність транспортування рідких регентів із значним вмістом води (у 5-6 разів більшим за вміст активного хлору).

Однією з основних проблем, що лімітує широке застосування гіпохлориту натрію для дезінфекції води є нестійкість його водних розчинів. Відомо, що розчини гіпохлориту натрію при зберіганні поступово розкладаються і втрачають свою активність (зменшується вміст активного хлору). Збільшенню швидкості їх розкладання сприяють: підвищення температури, сонячне світло, контакт з повітрям, наявність іонів важких металів (особливо міді і нікелю, а також заліза), контакт з осадом, що накопичується у ємностях для зберігання.

РОЗДІЛ 2.

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма проведення досліджень

Програма досліджень передбачала постановку та вирішення наступних завдань:

- 1) аналіз літературних джерел за проблемами, що вивчаються у роботі, та обґрунтування обраного напрямку досліджень;
- 2) розробка календарного плану виконання досліджень, методи та методики їх проведення;
- 3) обґрунтування доцільності удосконалення системи очищення та знезараження стічних вод на очисних спорудах КП «Житомирводоканал»;
- 4) застосування додаткового біологічного очищення стічних вод від ВМ за допомогою ряски малої (*L. minor*);
- 5) заміна традиційного реагента, що використовується у випадках залпових забруднень мікроорганізмами стічних вод, – рідкого хлору, на гіпохлорит натрію, що є дешевшим та безпечнішим у використанні.

2.2. Матеріали та методи досліджень

2.2.1. Відбір проб води, формування дослідних груп та методи досліджень

Дослідження були виконані у вимірювальній лабораторії поверхневих, стічних та зворотних вод КП «Житомирводоканал» у 2019-2020 роках.

Обґрунтування доцільності додаткового очищення та знезараження стічних вод для поліпшення стану р. Тетерів проводили на основі моніторингових досліджень співробітників лабораторії, а також власних спостережень за процесами «цвітіння» води, за якими визначали особливості

евтрофування [2]. Місце відбору проб води з річки Тетерів та із скиду зворотних вод з очисних споруд водоканалу позначено на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Місце відбору проб води з р. Тетерів та зворотних вод з очисних споруд КП «Житомирводоканал»

Проби річкової води, стічних та зворотних вод відбирали у кількості 2 дм^3 у скляний посуд з притертими кришками. Для досліджень використовували скляний посуд об'ємом 500 мл.

Для визначення можливості використання *L. minor* для зниження концентрації важких металів у складі стічних вод відбір проб води ($n=10$) для проведення досліджень здійснювали з р. Тетерів вище 500 м до скиду (контроль), із самого скиду (дослідна група 1) та нижче 500 м після скиду (дослідна група 2) зворотних вод очисних споруд КП «Житомирводоканал». Для проведення фіторемедіації відібраних проб [33, 34] у лабораторії використовували хімічні ємності, у які заливали по 450 мл води з різних груп і у кожен ємність додавали по 40 рослин ряски. Тривалість дослідження складала 7 днів. До і після експерименту визначали концентрацію розчиненого у воді кисню, рН води

стандартним методом (рН-метром) та слідкували, використовуючи ртутний термометр типу ТМ-10 з ціною поділки 0,2 °С, за підтримкою постійної температури у лабораторії на рівні $20 \pm 2,5^\circ\text{C}$ [2].

Доцільність заміни рідкого хлору на гіпохлорит натрію для знезараження зворотних вод вивчали, відбираючи проби цих вод із скиду.

У хімічний посуд з пробамі очищених стічних вод (400 мл) для дослідження особливостей їх знезараження додавали рідкий хлор та гіпохлорит натрію, концентрація яких у дослідних водах складала 9 мг/дм³ за однакової рН. Тривалість дослідів складала 6 годин. Порівнювали між собою дві дослідні групи щодо знезараження вод, досліджували зміни вмісту фітопланктону (КОУ/см⁻¹) із використанням гідробіологічного аналізу, мікробного числа, КОУ/см³ та бактерій групи кишкової палички (індекс БГКП, кл/дм³) – за допомогою мікробіологічного аналізу [1, 2, 18].

Всі дослідження проводили у 3-кратній повторюваності. Отримані у дослідних групах дані порівнювали з контролем та між собою.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою стандартної комп'ютерної програми Microsoft Office Excel 2003 з використанням критерію вірогідності Стьюдента.

2.2.2. Методики визначення показників для аналізу компонентного складу стічних та зворотних вод

При проведенні досліджень щодо очищення стічних вод очисними спорудами КП «Житомирводоканал» використовувалась загально прийнята методика, яка базується на ряді різних нормативних актів і документів в галузі охорони довкілля [2, 35].

Згідно з водним кодексом України, оцінка якості води здійснюється на основі нормативів екологічної безпеки водокористування та екологічних нормативів водних об'єктів.

Джерелом відомостей про очисні споруди КП «Житомирводоканал» м. Житомир є «Технологічний регламент цеху очисних споруд водопровідно-каналізаційного господарства м. Житомир», нормативна документація та літературні джерела відповідного спрямування.

Чинні нормативи дають змогу оцінювати якість води комунально-побутового використання, до яких відносяться:

ДСТУ 5667-3-2001(ISO 56 67-3:1994). Якість води. Відбір проб. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами.

ДСТУ ISO 6107-1:2004. Якість води. Словник термінів. Частина 1.

ДСТУ 3041-95. Використання і охорона води.

ДСТУ 3928-99. Токсикологія води. Терміни та визначення.

МВВ081/-0008-01. Методика виконання вимірювань, масової концентрації розчиненого кисню методом йодометричного титрування за Вінклером. Цей документ встановлює методику виконання вимірювань масової концентрації розчиненого кисню у поверхневих та очищених стічних водах методом йодометричного титрування за Вінклером. Діапазон вимірювань масової концентрації розчиненого кисню в поверхневих та очищених стічних водах становить від 1 до 14 мгО₂/дм³ включно.

КНД 211.1.4.040-95 Методика фотометричного визначення заліза (III) та заліза (II, III) з сульфасаліциловою кислотою в стічних водах. Методика встановлює алгоритм визначення 0,5-9,0 мг/дм³ заліза (II, III) і заліза (III) у незабарвлених та слабо забарвлених очищених стічних водах при вимірюванні на ФЕК, КФК, а також для концентрацій 0,4-9,0 мг/дм³ заліза при вимірюванні на СФ.

ПНДФ 14.1:2.253 – 09. Методика визначення масових концентрацій Cr, Zn, Cu, Ni, Co та ін. у природних та стічних водах методом атомно-абсорбційної спектроскопії з використанням атомно-абсорбційного спектрометра з електротермічною атомізацією «МГА – 915».

Кількість хлору, яку необхідно додавати для первинного хлорування води визначають залежно від фізичних показників води: мутності, кольоровості,

твердості та інших. Вторинне хлорування було замінено у 2012 році на додавання гіпохлориту натрію NaOCl.

Визначення вмісту хлоридів (хлор-йонів) у воді від 10 мг/дм³ і вище проводять титруванням азотнокислим сріблом в присутності хромовоокислого калію в якості індикатора. Після осадження хлориду срібла в точці еквівалентності утворюється хромовоокисле срібло, при цьому жовте забарвлення розчину переходить в оранжево-жовтий.

Концентрацію хлороформу у воді визначали за Стандартом підприємства. Вимірювання концентрацій складових тригалометанів (ТГМ): хлороформу та тетрахлорвуглецю у водах різної якості здійснювали співробітники водоканалу газохроматографічним методом. Методика дозволяє визначати кількість хлороформу у діапазоні концентрацій від 0,005 до 0,3мг/дм³ і призначена для використання в аналітичних лабораторіях для контролю рівня забруднення цією сполукою різних типів вод. Проби контрольної та дослідних вод у кількості 10 см³ завантажували в очищені пробовідбірні ампули і проводили аналіз. У процесі хроматографування дані приймалися комп'ютерною програмою «Ассистент хіміка», яка автоматично проводила обробку хроматограм, розраховуючи концентрації хлороформу, створюючи калібрувальний графік, а також визначаючи кількісні характеристики з оформленням паперової форми звіту. Загалом програма дозволила отримувати результати обчислення концентрацій CHCl₃ для кожної дослідної проби одночасно. За небезпечністю хлороформ належить до речовин 2-го класу.

2.3. Коротка природно-кліматична характеристика району розташування об'єкта дослідження

Очисні споруди КП «Житомирводоканал» знаходяться на території Житомирської області у м. Житомирі. Область розташована у північно-західній частині України. Її площа досягає 29,83 тис. км², тобто 4,9 % території України. Протяжність області із заходу на схід – 170 км, а з півночі на південь – 230 км.

Область має доволі вигідне положення, яке створює сприятливі умови для розвитку багатогалузевого сільськогосподарського виробництва та промисловості [38].

На Житомирщині межують дві ґрунтово-кліматичні зони: на півночі – Полісся і на півдні – Лісостеп. Порівняно з іншими роками минулий, 2019 рік, був теплим з обмеженою кількістю атмосферних опадів [37, 38].

Температура впродовж року перевищувала кліматичну норму. Середня температура 2019 року була на 2,9-3,4°C вищою за норму – 9,7-10,3°C. Найтеплішим місяцем року був червень, за температури на рівні 21,8-22,4°C, що перевищувало норму на 4,6-5,4°C. Аномально тепло було у грудні місяці, який був більш теплим за норму на 5,1-5,4°C, із середньомісячною температурою 2,3-2,7°C. Пікові значення температури вичвлені у липні (33-35°C) та серпні (32-35°C). Найбільш прохолодним місяцем був січень, із середньомісячною температурою 4,0-4,5°C морозу та найбільш низькими температурами – 12-16°C морозу. Розподіл атмосферних опадів по території області відбувався нерівномірно, а загалом їх було значно менше, ніж у попередні роки. Дуже мало опадів спостерігалось у: лютому – 33-46 %, жовтні – 20-56 %, листопаді – 28-51 % норми. Найбільше – було у травні – 154-260 % норми. Загалом кількість опадів за рік склала 402-587 мм, що відповідає 63-86 % норми [38].

У структурі гідрографічної мережі області немає великих річок, середніх річок – вісім: Тетерів, Ірпінь, Случ, Словечна, Ірша, Уж, Уборть та Ствига. Їх загальна довжина у межах області складає 999,6 км. Загалом існує 2 822 річки, загальна протяжність яких досягає 13,7 тис. км. Малі річки області викликають велику турботу, оскільки частими є явища порушення їх гідрологічного та гідрохімічного режиму. В області існує 54 водосховища об'ємом більше 1 млн. м³ загальною площею – 7,7 тис. га і сумарним об'ємом –184,4 млн. м³, а також 1 827 ставків сумарним об'ємом –176, 98 млн м³ [37, 38].

Суттєвою проблемою стану водних об'єктів є їх забруднення водних скидами зворотних вод підприємств житлово-комунального господарства, а

також несанкціонованими стоками. Для зменшення скидів забруднюючих речовин у річки та водойми необхідно створювати прибережні захисні смуги, також використовувати технологічні процеси доочищення, застосовувати більш безпечні засоби знезараження, а за можливості – покращувати функціонування очисних споруд за здійснення їх реконструкції, заміни насосного та технологічного обладнання, що є застарілим, тощо [38].

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗВОРОТНИХ ВОД

3.1. Обґрунтування доцільності додаткового очищення стічних вод та знезараження зворотних вод для поліпшення стану р. Тетерів

1. Дослідження стану річкових вод у районі спуску обернених вод КП «Житомирводоканал» щодо їх «цвітіння», проведені у 2019 році, дозволили виявити високі рівні фітопланктонного забруднення – взимку 87 тис., а влітку 267 тис. кл./дм³.

У дослідженнях визначено ряд заходів, які варто вжити для відновлення цієї частини екосистеми річки. Необхідно, перш за все, звернути увагу на ділянку, на якій у річку скидаються зворотні води, що пройшли очищення на очисних спорудах КП «Житомирводоканал». Проте рівень їх очистки є досить сумнівним.

Враховуючи вказані обставини, серед основних напрямків покращення стану р. Тетерів у районі скидання зворотних вод водоканалу повинні бути наступні: посилення моніторингового контролю вод за показниками кратності перевищення ГДС та ГДК_в, удосконалення технології очистки стічних вод на водоканалі тощо [13, 39]. Поліпшення стану поверхневих вод, уражених «цвітінням», передбачає також використання найбільш дієвих біологічних методів. Так, для зменшення надходження у поверхневі води біогенних елементів, рекомендовано створення захисних смуг із лісової та прибережної рослинності (вересу, верби, лози, ліщини та ін.), здатної затримувати біогени у складі схилового стоку. Для вилучення біогенних елементів з води доцільним є застосування рослин-концентраторів (ряски, водяного горіху, елодеї). Ці рослини варто використовувати і для додаткового очищення стічних вод водоканалу [9, 13].

Застосування подібного підходу до вирішення вказаної проблеми, що включає крім традиційних методів найдієвіші біологічні, дасть можливість не лише запобігати антропогенній евтрофікації, але й загалом сприятиме покращенню екологічного стану річки Тетерів.

3.2. Біологічне очищення стічних вод від важких металів за допомогою *L. minor*

Стічні води у наш час мають надзвичайно небезпечний вплив на водні екосистеми, сприяють їх фізичному, хімічному та біологічному забрудненню, що потребує ремедіації. У річки та водойми у складі стоків надходить велика кількість найрізноманітніших речовин, які викликають порушення стану водного середовища. Одними з найбільш токсичних серед них вважаються важкі метали. Скиди металів у водні об'єкти спостерігаються у багатьох країнах світу. Крім металів техногенного походження у водне середовище можуть потрапляти також метали природного походження, які вимиваються з ґрунтового покриву. Так, в Україні із залізо-марганцевих конкрецій ґрунту у воду багатьох водних об'єктів у кількостях, що перевищують ГДК, надходять сполуки Fe [3, 13, 40]. Вони є суттєвим доповненням до солей металів, які потрапляють у водне середовище разом з погано очищеними або взагалі неочищеними стічними водами. Тому при очистці стоків завжди звертається увага на те, наскільки ефективно здатні очисні споруди звільняти їх від сполук металів [3, 11, 15].

Дослідження, виконані у лютому 2020 року у вимірювальній лабораторії поверхневих, стічних та зворотних вод КП «Житомирводоканал», виявили високу ефективність функціонування рослин ряски щодо зниження концентрації ряду металів у стічних водах впродовж тижня (табл. 3.1) Cr – у 2,30 рази; Zn – у 2,05; Cu – у 2,09; Ni – у 1,22; Fe – у 1,22) [27].

Більшість з металів, за виключенням сполук Fe, не перевищували нормативні показники. А підвищений вміст Fe у річкових водах до 0,376 мг/дм³

(ГДС 0,376 мг/дм³) за 500 м до та 500 м після скиду зворотних вод КП «Житомирводоканал» були обумовлені тим, що для поверхневих вод Тетерева є характерним перевищення нормативних показників ВМ, які вимиваються із залізо-марганцевих конкрецій ґрунту, до того ж Fe надходить у річку у складі зворотних вод (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Показники дослідження фіторемедіації зворотних вод
за допомогою ряски малої**

Показник	Параметри ГДС	Групи					
		Контроль (вище 500 м за скид річка Тетерів)		Дослідна 1 Скид		Дослідна 2 нижче (500) скиду річка Тетерів	
		I ДЕНЬ	VII ДЕНЬ	I ДЕНЬ	VII ДЕНЬ	I ДЕНЬ	VII ДЕНЬ
O ₂	4	10,73	9,9	9,38	9,2	11,02	9,74
pH	2,92	8.64	7.77	8.28	7.37	8.53	7.71
Fe	0,37	0,376	0,34	0,367	0,3	0,376	0,34
Cr	0,50	0,00132	0,00183	0,00152	0,00066	0,00125	0,00074
Zn	1,00	0,0161	0,0908	0,018	0,0088	0,0593	0,0091
Cu	0,05	0,00193	0,0042	0,0039	0,00187	0,0036	0,0031
Ni	0,10	0,00187	0,0053	0,0021	0,00172	0,0048	0,0019
Co	0,10	0,00014	0,00012	0,00023	0,00016	0,00016	0,00014

Дослідження вибіркової у поглинанні різних металів ряскою проводили, досліджуючи кореляційні зв'язки між їх концентраціями у контрольній та дослідних групах до та після фіторемедіації (рис. 3.1, 3.2 і 3.3).

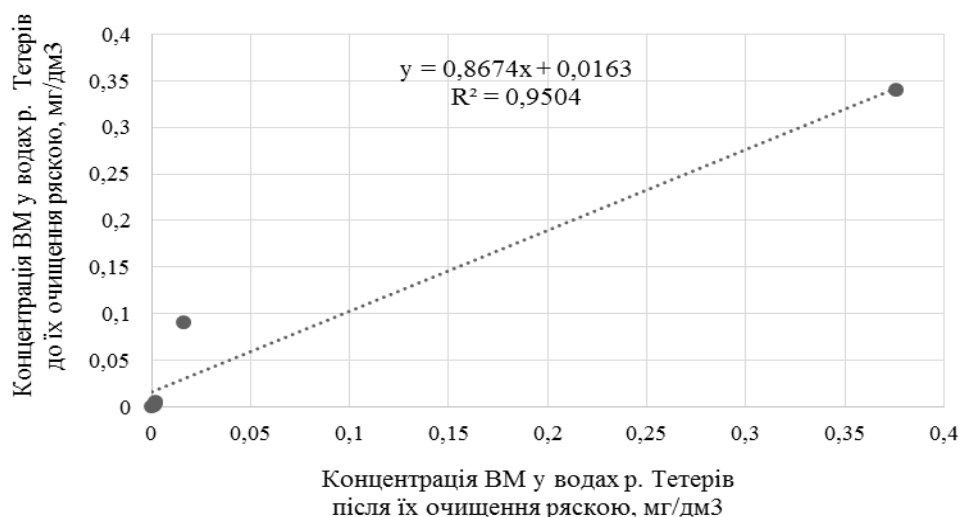


Рис. 3.1. Зв'язки між концентраціями важких металів до та після біоремедіації стічних вод за допомогою *L. minor* вод р. Тетерів (за 500 м після скиду)

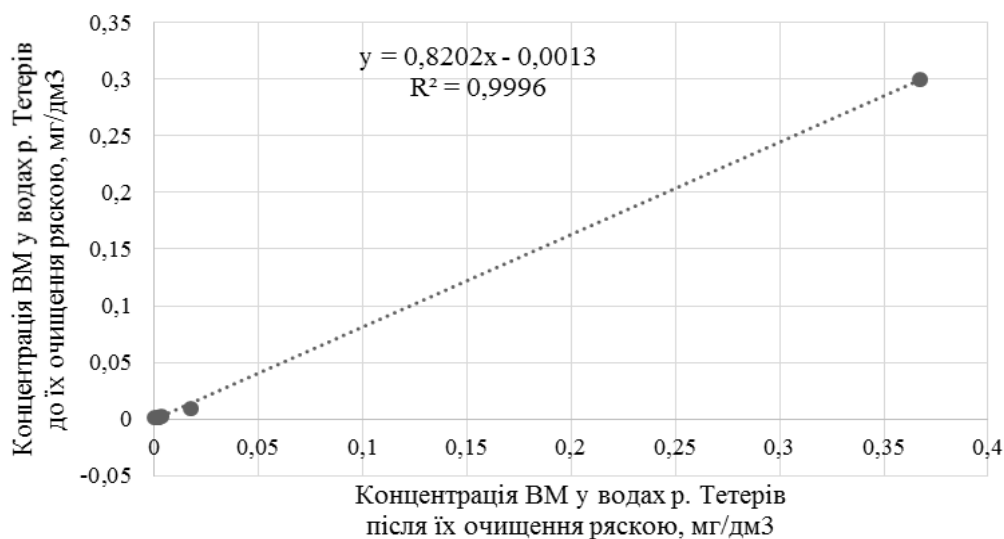


Рис. 3.2. Зв'язки між концентраціями важких металів до та після біоремедіації стічних вод за допомогою *L. minor* у водах скиду

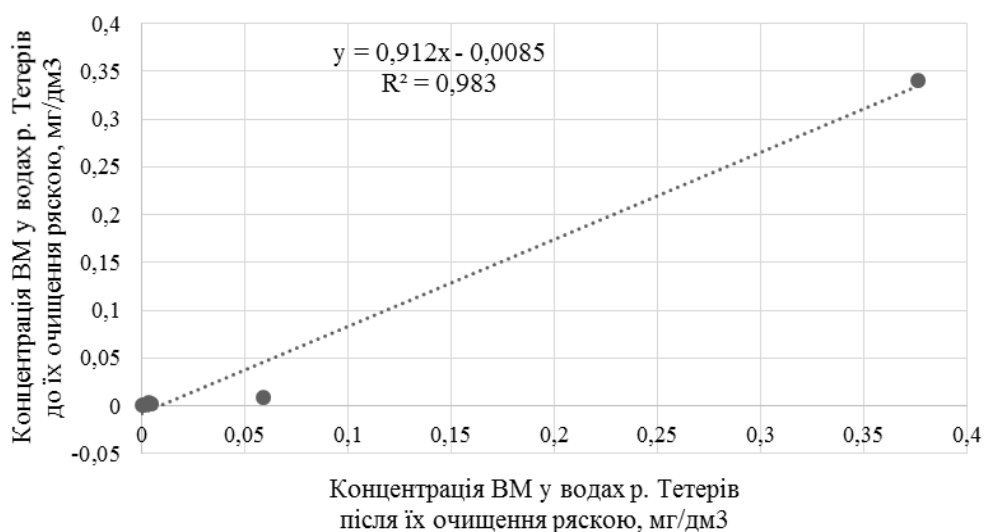


Рис. 3.3. Зв'язки між концентраціями важких металів до та після біоремедіації стічних вод за допомогою *L. minor* вод р. Тетерів (за 500 м до скиду)

Високі позитивні значення коефіцієнтів кореляції у контрольній ($r=0,9749$) та дослідних групах ($r=0,9998$ та $0,9915$) вказують на відсутність високої вибіркості у сорбції рослинами визначених у стічних водах металів.

Отже, технологічні процеси фіторемедіації з використанням *L. minor* повинні легко піддаватися регулюванню, проте необхідно враховувати, що угруповання ряски будуть вилучати із стічних вод крім важких металів також інші сполуки, кількість та співвідношення яких можуть відобразитися на остаточних ефектах очищення стічних вод. До того ж, враховуючи сезонні зміни складу стічних вод, необхідно буде забезпечити своєчасні розрахунки розміру (кількості рослин або їх біомаси) угруповань *L. minor* щодо отримання належних рівнів фіторемедіації вод.

3.3. Особливості знезараження зворотних вод з використанням гіпохлориту натрію

Забруднення водного середовища погано очищеними або взагалі неочищеними стічними водами промислових та комунальних підприємств є типовим явищем для багатьох водних об'єктів України [3, 30, 31]. Крім шкідливих речовин стоки містять також небезпечні біологічні забруднення, у тому числі планктонні водорості та збудників різноманітних захворювань. Це потребує знезараження стічних вод з використанням ефективних засобів [1, 17]. Серед них на особливу увагу заслуговує гіпохлорит натрію, виробництво якого в умовах водоканалів повинно здешевити процес дезінфекції вод, однак не погіршити його ефективність. У зв'язку з цим, доцільно порівняти властивості гіпохлориту натрію із традиційними засобами, зокрема з рідким хлором, що використовується на очисних спорудах для знезараження очищених стічних вод.

Відомо, що дія гіпохлориту натрію на стан стічних вод заснована на тому, що за розчинення у воді він так само, як і хлор, утворює хлорнуватисту кислоту, яка виявляє безпосередню окиснюючу і дезінфікуючу здатність [30, 31]. Реакція є врівноваженою і утворення хлорнуватистої кислоти залежить від величини рН і температури води.

У багатьох дослідженнях звертається увага на те, що у реакціях окиснення домішок води хлором і його похідними основну роль виконує окиснювально-відновний потенціал (ОВП) конкретної сполуки. ОВП у значній мірі залежить від рН середовища, знижуючись із зростанням рН. Проте кінетика процесу окиснення домішок у воді залежить і від складу речовин, що окиснюються, проміжних продуктів реакції та їх хімічних властивостей [30, 31].

При введенні у воду рідкого хлору якийсь час він знаходиться у молекулярному вигляді як Cl_2 . У значних концентраціях також утворюється хлорноватиста кислота $HClO$. Кожна з цих речовин має ОВП вищий, ніж гіпохлорит натрію. Обидві речовини можуть перетворюватися на гіпохлорит, що набуває іонного стану на другій стадії гідролізу. За подібних умов можна очікувати більш високого вмісту у воді побічних продуктів дезинфекції (хлорорганічних сполук, у т.ч. летких галогенметанів – хлороформу та ін.) за використання рідкого хлору, ніж за гіпохлориту натрію.

Гіпохлорит натрію як дезинфікатор води є більш екологічно безпечним порівняно з рідким хлором. У табл. 1 наведено дані досліджень щодо утворення хлороформу за обробки очищених стічних вод рідким хлором та гіпохлоритом натрію.

Таблиця 3.2

**Утворення хлороформу за обробки очищених стічних вод
рідким хлором та гіпохлоритом натрію**

Метод знезараження води	Концентрація реагенту у воді, мг/дм ³	Час контакту, годин	рН	Хлороформ, мкг/дм ³
Рідкий хлор	9,0	6	6,7	278
Гіпохлорит натрію	9,0	6	6,9	233

Показано, що перехід на хлорування гіпохлоритом забезпечує зниження вмісту хлороформу на 16,19%.

Заміна рідкого хлору на гіпохлорит натрію мало вплинула на інші показники якості очищених стічних вод. Вміст у воді залишкового хлору при застосуванні гіпохлориту натрію хоча і був більшим за такий при застосуванні хлору, проте не перевищував нормативних показників (норма залишкового хлору < 1,5 мг/ дм³). Одержані результати дозволяють зробити висновок про деякі технологічні переваги гіпохлориту перед хлором і рекомендувати його до використання замість рідкого хлору.

За знезаражувальної дії, а також за впливу на гідробіологічні показники води хлор і гіпохлорит показали ідентичні результати (табл. 2).

Таблиця 3.3

Вплив гіпохлориту натрію і хлору на гідробіологічні і бактеріологічні показники якості очищеної води

Показники якості води	Початкова вода	Вода після обробки хлором	Вода після обробки гіпохлоритом натрію
Фітопланктон, КОУ/см ⁻¹	10750	890	755
Мікробне число, КОУ/см ³	86	1	1
Індекс БГКП, кл/дм ³	335	Менше 3	Менше 3

Існує також ряд позитивних організаційних моментів щодо застосування гіпохлориту натрію порівняно із рідким хлором: значно більша безпека транспортування, зберігання і використання на об'єктах водопровідно-каналізаційного господарства, відсутність загазованості робочих місць тощо.

Гіпохлорит натрію має ряд технологічних переваг у порівнянні з рідким хлором: меншу хлорпоглинальну здатність у перебігу перших 30 хвилин контакту з оброблюваною водою; більш високі значення залишкового хлору за тривалого (більше 6 годин) контакту; однакову з хлором бактерицидну та альгіцидну дію; нижчу концентрацію утворення хлороформу (на 16,19%) за взаємодії з природними органічними речовинами.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Аналіз результатів досліджень, проведених у вимірювальній лабораторії поверхневих, стічних та зворотних вод КП «Житомирводоканал» у 2019-2020 роках, дозволив зробити наступні **висновки**:

2. Існуюча нині на очисних спорудах КП «Житомирводоканал» технологія очищення стічних вод є недостатньо ефективною для попередження забруднення р. Тетерів, у яку ці води скидаються, оскільки у районі їх спуску спостерігалися високі рівні біологічного забруднення, визначені за показниками «цвітіння» води, тобто за розвитком угруповань фітопланктону: взимку 87 тис., а влітку 267 тис. кл./дм³.

3. Використання додаткового біологічного очищення стічних вод за допомогою *L. minor* щодо вмісту важких металів у їх складі, проведеного у лабораторних умовах, показало ефективність фіторемедіації у відношенні зниження концентрацій ряду металів впродовж 7 діб: Cr – у 2,30 рази; Zn – у 2,05; Cu – у 2,09; Ni – у 1,22; Fe – у 1,22.

4. Підвищені концентрації сполук Fe у річкових водах на рівні 0,376 мг/дм³ (ГДС 0,376 мг/дм³) за 500 м до та 500 м після скиду зворотних вод КП «Житомирводоканал» обумовлено тим, що для поверхневих вод Житомирщини є характерним перевищення нормативних показників металів, які вимиваються із залізо-марганцевих конкрецій ґрунту, до того ж Fe надходить у Тетерів у складі зворотних вод.

5. Визначення кореляційних зв'язків між концентраціями ВМ у контрольній та дослідних групах до та після 7-добової фіторемедіації з використанням *L. minor* засвітило високі позитивні кореляційні зв'язки у контрольній ($r=0,9749$) та дослідних групах Д1($r=0,9998$) та Д2 ($r=0,9915$), що світить про відсутність високої вибіркості у поглинанні рослинами ряски певних металів.

5. У роботі доведено, що гіпохлорит як засіб знезараження стічних вод є більш екологічно безпечним порівняно з рідким хлором. Показано, що

використання гіпохлориту натрію замість рідкого хлору забезпечує зниження вмісту хлороформу у дослідних водах на 16,19%.

6. Вміст у воді залишкового хлору при застосуванні гіпохлориту натрію хоча і був більшим за такий при застосуванні хлору, проте не перевищував нормативних показників (норма залишкового хлору $< 1,5 \text{ мг/ дм}^3$). Одержані результати дозволяють зробити висновок про певні технологічні переваги гіпохлориту перед хлором і рекомендувати його до використання замість рідкого хлору, який вводиться у зворотні води у випадках залпових забруднень вод небезпечними мікроорганізмами.

ПРОПОЗИЦІЇ

Запропоновані у роботі елементи удосконалення технології очистки стічних вод, – додаткове біологічне очищення від важких металів за допомогою *L. minor* та знезараження у випадках залпових мікробіологічних забруднень гіпохлоритом натрію замість традиційного рідкого хлору, – дозволять покращити ефективність технології очистки стічних вод та підвищити її екологічну безпечність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии : учебн. для студентов высших учебных заведений. Київ : Генеза, 2004. 664 с.
2. Білявський Г.О., Бутченко Л.І. Основы екології: теорія та практикум: навч. посіб. Київ: Лібра, 2006. 368 с.
3. Запольський А.К., Шумигай І.В. Охорона питних вод від виснаження і забруднення. *Агроекологічний журнал*. 2015. №3. С. 6-15.
4. Appenroth K.-J., Lam E. Ein «Unkraut» mit vielen verborgenen Qualitäten. Wasserlinsen als Nutzpflanzen. *Biologie in unserer Zeit*. 2012. № 42. S. 181-187.
5. Patra A.K. Research article performance analysis of the duckweed (lemna minor) in the bioremediation of sewage water. *International Journal of Current Research*. 2015. Vol. 7 (01). P.11235-11239.
6. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: підр. Київ: Ніка-центр, 2001. 264 с.
7. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЕС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.
8. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи). Київ: ЦП «Компринт», 2015. 46 с.
9. Аристархова Е.О. Особливості сезонної динаміки вмісту біогенів у поверхневих водах водозабору Відсічне р. Тетерів. *Scientific Journal Science Rise: Biological Science*. 2018. Vol. 2 (11). P. 39-44.
10. Changes in chlorophyll concentration and phenology in the North Sea in relation to de-eutrophication and sea surface warming / X. Desmit et al. *Limnol. Oceanogr*. 2019. Vol. 9999. P. 1-20.
11. Bergkemper V., Weisse T. Phytoplankton response to the summer heat wave 2015 – a case study from prealpine Lake Mondsee, Austria. *Inland Waters*. 2017. P. 88-99.
12. Дудник С.В. Водна токсикологія: метод. посіб. Ч. 2. Іхтіотоксикологія. Київ, 2014. 108 с.

13. Шевчук А.В., Аристархова Е.О., Адамович А.О. Комплексний підхід до запобігання антропогенній евтрофікації поверхневих вод. II Всеукраїнська наук.-практ. конф. «Сучасні екологічні проблеми урбанізованих територій». м. Житомир, 19 листопада 2020 р. Житомир: Поліський національний університет. 2020. С. 82-84.
14. Красільнікова Л.М., Шевчук М.В., Аристархова Е.О. Особливості біологічного очищення стічних вод. Міжнародна науково-практична конференція «Збалансоване природокористування: традиції, перспективи та інновації». м. Київ, 3 грудня 2019 р. Київ: ДІА, 2019. С. 73-75.
15. Методичний посібник з визначення якості води / під ред. В.І. Назаренка. Київ, 2002. 51 с.
16. Запольський А.К. Водопостачання водовідведення та якість води: підручник. Київ: Вища шк., 2005. 671 с.
17. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: підручник / А.К. Запольський та ін. Київ: Лібра, 2000. 552 с.
18. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем / за ред. В.І. Назаренка / Київ: Принт-Квік, 2002. 51 с.
19. Запольский А.К. Физико-химическая теория коагуляционной очистки воды. Киев: НУПТ, 2010. 46 с.
20. Heavy metal removal in duckweed and algae ponds as a polishing step for textile wastewater treatment / С. В. Sekomo et al. *Ecol. Engineering*. 2012. Vol. 44. P. 102–110.
21. Matvieieva N., Duplij V. The development of biotechnology for water purification from toxic hexavalent chromium by duckweed plants (*Lemna minor L.*). Third National Conference with International Participation and Youth Scientific Session "Ecological Engineering and Environment Protection" (EEEEP'2015), Sofia, 13-14 June 2013. Sofia, 2013. P. 79-81.
22. Matveyeva N.A., Dupliy V.P., Panov V.O. Reduction of Hexavalent Chromium by Duckweed (*Lemna minor*) in vitro Culture. *Hydrobiological Journal*. 2013. Vol. 49, №3. P. 58-67.

23. Матвеева Н.А., Дуплій В.П., Панов В.О. Відновлення шестивалентного хрому рослинами ряски в культурі *in vitro*. *Гідробіологічний журнал*. 2013. т. 49, № 1. С. 62-72.
24. Аристархова Е.О. Перспективи використання рослин роду *Lemna* у біомоніторингу та фітореMediaції гідроекосистем. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 4. С. 145-148.
25. Bioremediation of an iron-rich mine effluent by *Lemna minor* / S. Teixeira, M. N., Vieira, M. J. Espinha, R. Pereira. *Int. J. Phytoremediation*, 2014. Vol. 16 (7-12). P. 1228-1240.
26. Kirkwood N. Kennen K. *Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design*. Routledge, 2015. 378 p.
27. Шевчук А.В. Використання *Lemna minor* L. для очищення стічних вод. Тези XVI Всеукраїнської наукової on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології». м. Житомир, 10 квітня 2020 року. Житомир: Житомирська політехніка. 2020. С. 80.
28. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives / M.I. Lone et al. *J. Zhejiang. Univ. Sci. B*. 2008. Vol. 9. P. 210-220.
29. Henke, R., Eberius, M., Appenroth, K.-J. Induction of frond abscission by metals and other toxic compounds in *Lemna minor*. *Aquatic Toxicol.* 2011. Vol. 101. 261-265.
30. Гаркавий С.І., Музичук Н.Т. Гігієнічні аспекти методів знезаражування господарсько-побутових стічних вод, альтернативних хлоруванню. *Вода і водоочисні технології*. 2003. 1. С. 34-40.
31. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація: Підручник. «Кондор»-2003.-282с.
32. Аристархова Е.О., Шевчук А.В. Особливості знезараження очищених стічних вод з використанням гіпохлориту натрію. II Всеукраїнська наук.-практ. конф. «Сучасні екологічні проблеми урбанізованих територій». м. Житомир, 19 листопада 2019 р. Житомир: ЖНАЕУ. 2019. С. 29-31.

33. Water quality – determination of the toxic effect of water constituents and waste water to duckweed (*Lemna minor*) – Duckweed growth inhibition test. International Standard ISO 20079: 2004. Geneva (Switzerland).

34. Eberius M. Duckweed growth inhibition tests and standardization. LemnaTec GmbH, 2001. Würselen, Germany (Retrieved January 22, 2013 from www.lemnatec.com).

35. Унифицированные методы анализа вод / под ред. Ю.Ю. Лурье. Москва: Химия, 1973. 376 с.

36. Водне господарство в Україні / за ред. А. В. Яцика, В. М. Хорєва. Київ: Генеза, 2000. 456 с.

37. Гідрохімія та радіогеохімія річок і боліт Житомирської області / С.І. Сніжка та ін.; за ред. С.І. Сніжка, О.О. Орлова. Житомир: Волинь, 2002. 264 с.

38. Екологічний паспорт Житомирської області. Житомир: Житомирська обласна державна адміністрація. Управління екології та природних ресурсів. 2020. 178 с.

39. СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Москва: Мин. здравоохран. СССР, 1988. 70 с.

40. Важкі метали у водах і торфах Житомирського Полісся / Кот І.С. та ін./ Наука. Молодь. Екологія-2012: зб. матер.VIII-ої наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. Житомир, 2012. С.181-186.

ДОДАТКИ