

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій
Кафедра біотехнології, шкіри та хутра

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

«Денітрифікація стічних вод методом фітореMediaції»

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія

Освітня програма Біотехнологія високомолекулярних сполук

Виконала: студентка групи МгБТ-23

Єрмак А. В.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Андрєва О.А

Рецензент: д.б.н., проф. Щербатюк Т.Г.

Київ 2024

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій
Кафедра біотехнології, шкіри та хутра
Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія
Освітня програма Біотехнологія високомолекулярних сполук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БШХ

_____ Олена МОКРОУСОВА
«___» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Єрмак Аліні Володимирівні**

1. Тема кваліфікаційної роботи: Денітрифікація стічних вод методом фітореMediaції

науковий керівник роботи Андреева Ольга Адіславівна, д.т.н., проф.
затверджені наказом КНУТД від «03» вересня 2024 року №188-уч.

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: завдання на кваліфікаційну роботу; наукова література щодо біореMediaції стічних вод; матеріали науково-дослідної та переддипломної практик.

3. Зміст кваліфікаційної роботи: вступ; огляд літератури; об'єкт, мета та методи дослідження; експериментальна частина; висновки; список використаних джерел; додатки.

4. Дата видачі завдання 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи	Орієнтовний терміни виконання	Примітка про виконання
1	Вступ		
2	Розділ 1 Обґрунтування потреби у денітрифікації технологічної води на підприємстві ТОВ «КИЇВГУМА»		
3	Розділ 2 Об'єкт, мета та методи дослідження		
4	Розділ 3 Експериментальна частина		
5	Висновки		
6	Оформлення кваліфікаційної роботи (чистовий варіант)		
7	Подача кваліфікаційної роботи науковому керівнику для відгуку		
8	Подача кваліфікаційної роботи для рецензування (за 14 днів до захисту)		
9	Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату та текстових співпадінь (за 10 днів до захисту)		
10	Подання кваліфікаційної роботи на підпис завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)		

З завданням ознайомлений:

Студентка

Аліна ЄРМАК

Науковий керівник

Ольга АНДРЕЄВА

АНОТАЦІЯ

Аліна ЄРМАК. Денітрифікація стічних вод методом фіторемедіації. Кваліфікаційна робота за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія». – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2024 рік. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота присвячена оцінюванню ефективності процесу денітрифікації відпрацьованої технологічної води після промивання вулканізованих гумових виробів методом фіторемедіації з використанням водної рослини – ряски *Lemna minor*.

На підставі аналізу літератури та діяльності ТОВ «КИЇВГУМА» обґрунтована потреба у денітрифікації технологічної води на цьому підприємстві методом фіторемедіації з використанням доступного біологічного агента. Встановлено прийнятні параметри фіторемедіації відпрацьованої технологічної води після промивання гумових виробів з натурального каучука за допомогою ряски *Lemna minor*. Одержані результати дозволяють знизити вміст нітратів на 27,5 % від нормованого показника і можуть бути використані на підприємствах з виробництва та переробки гуми. У разі денітрифікації технологічної води після промивання виробів з синтетичного каучука вміст нітратів у воді зменшується несуттєво і не відповідає нормованому показнику на скиди промислових стоків у міську каналізацію. Рекомендовано проведення подальших досліджень з удосконалення процесу денітрифікації технологічної води після промивання гумових виробів з натурального та синтетичного каучука у напрямку підвищення рівня ресурсо- та енергоощадності, а саме: оптимізація параметрів витрати біомаси ряски, тривалості і температурного режиму обробки.

Ключові слова: гумове виробництво, каучук, стічні води, технологічна вода, денітрифікація, біологічне очищення, фіторемедіація, ряска *Lemna minor*.

ABSTRACT

Alina YERMAK. Denitrification of wastewater by the phytoremediation method. Qualification work in specialty 162 Biotechnology and bioengineering. – Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, 2024. – Manuscript.

The qualification work is devoted to the evaluation of the effectiveness of the process of denitrification of used technological water after washing vulcanized rubber products by the phytoremediation method using the aquatic plant – duckweed *Lemna minor*.

Based on the analysis of the literature and activities of LLC «KYIVGUMA», the need for denitrification of process water at this enterprise by the method of phytoremediation using an available biological agent is substantiated. Acceptable parameters of phytoremediation of used process water after washing rubber products from natural rubber with the help of duckweed *Lemna minor* have been established. The obtained results allow to reduce the content of nitrates by 27.5% from the normalized indicator and can be used at enterprises for the production and processing of rubber. In the case of denitrification of process water after washing synthetic rubber products, the nitrate content in the water decreases insignificantly and does not correspond to the standard indicator for discharge of industrial effluents into the city sewer. It is recommended to carry out further research on improving the denitrification process of process water after washing rubber products from natural and synthetic rubber in the direction of increasing the level of resource and energy saving, namely: optimization of the parameters of watercress biomass consumption, duration and temperature treatment regime.

Key words: rubber production, rubber, wastewater, process water, denitrification, biological treatment, phytoremediation, duckweed *Lemna minor*.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
Розділ 1 ОБГРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ У ДЕНІТРИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВІ ТОВ «КИЇВГУМА»	11
1.1 Сучасні уявлення та дослідження в галузі біоремедіації стічних вод ..	11
1.1.1 Основні джерела забруднення промислових стічних вод	11
1.1.2 Уявлення про біоремедіацію стічних вод	12
1.1.3 Фіторемедіація як ефективний метод біологічного очищення стічних вод	20
1.1.4 Сучасні підходи до впровадження системи біологічного очищення стічних вод на галузевих підприємствах	23
1.2 Обґрунтування потреби у денітрифікації технологічної води у ТОВ «КИЇВГУМА»	25
1.2.1 Вимоги до якості води та складу промислових стоків	25
1.2.2 Ситуація з утворенням промислових стоків з високим вмістом нітрат-нітритних солей у ТОВ «КИЇВГУМА»	27
Висновки до розділу 1.....	29
Розділ 2. ОБ'ЄКТ, МЕТА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	31
2.1 Вибір та характеристика об'єкта, предмета та мети дослідження	31
2.1.1 Характеристика ряски <i>Lemma minor</i>	31
2.1.2 Характеристика відпрацьованої технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів	33
2.2 Методи та умови дослідження	34
2.2.1 Методи дослідження	34
2.2.2 Умови дослідження	39
2.2.3 Характеристика лабораторного обладнання	42
Висновки до розділу 2.....	46
Розділ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	47
3.1 Оцінювання ефективності процесу денітрифікації відпрацьованої технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів з синтетичного каучука	47
3.2 Оцінювання ефективності процесу денітрифікації відпрацьованої технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів з натурального каучука	48
Висновки до розділу 3.....	51
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
ДОДАТКИ.....	64

ВСТУП

Вода є однією з найцінніших складових на земній кулі. Всі живі істоти залежать від води, щоб жити за різних умов навколишнього середовища. Вода покриває близько 71 % земної поверхні, але лише 2,5 % води займає прісноводна екосистема. Сучасна урбанізація та розвиток великої кількості галузей промисловості утворюють більшу кількість стічної води. Швидка урбанізація та промисловий прогрес збільшують забруднення та ризик подачі забрудненої води. Саме тому існує нагальна потреба у використанні ефективних біологічних способів очищення промислових стоків на великотонажних виробництвах [1].

Кваліфікаційна робота присвячена визначенню доцільності денітрифікації відпрацьованої технологічної води після промивання вулканізованих гумових виробів з натурального та синтетичного каучука методом фітореMediaції з використанням водної рослини – ряски *Lemna minor*.

Актуальність роботи полягає у використанні біологічних процесів росту та розвитку ряски *Lemna minor* для очищення стічних вод підприємств гумоазбестової промисловості від сполук азоту, що, у свою чергу, надає більшої варіабельності підходів до вирішення такої актуальної проблеми, як захист навколишнього середовища від рідких індустріальних відходів.

Оскільки виробництво гумових виробів з використанням нітрат-нітритних солей у ТОВ «КИЇВГУМА» збільшується щороку, збільшується і шкідливе навантаження на довкілля через забруднення технологічної води, отже, й промислових стоків, сполуками азоту. Потрапляючи у поверхневі водойми, вони спричиняють бурхливий розвиток рослин та збільшення чисельності зоопланктону. Як наслідок, відбувається *евтрофікація* – накопичення біогенних елементів; це призводить до зниження продуктивності водойми, різкого зниження кількості кисню та прозорості води, скорочення глибини проникнення сонячних променів, що викликає загибель флори та фауни водойми, створює загрозу для життя тварин і людей [2]. Зокрема, небезпеку для людини становлять нітрати, які, потрапляючи до шлунково-кишкового тракту, редукують в нітрити, призводячи до зниження

кисневої ємності крові, розвитку канцерогенних новоутворень; крім того, ці сполуки мають імунодепресивну дію, а також знижують резистентність організму до впливу канцерогенних і мутагенних агентів [3].

З урахуванням викладеного та через швидкі темпи розвитку ТОВ «КИЇВГУМА», одного з провідних підприємств гумоазбестової промисловості України, нагального вирішення вимагає проблема біологічного очищення багатойодної сполуки азоту технологічної води, яку одержують після промивання вулканізованих гумових виробів на лінії розплаву нітрат-нітритних солей.

Мета роботи – дослідити можливість денітрифікації відпрацьованої технологічної води шляхом фітореMediaції з використанням доступного біологічного агента у вигляді ряски *Lemna minor* для забезпечення допустимого вмісту нітратів у стічних водах гумового виробництва перед скидом в каналізацію.

Для досягнення зазначеної мети поставлені завдання:

- на підставі аналізу науково-технічної літератури та особливостей технології виготовлення гумових виробів у ТОВ «КИЇВГУМА» обрентувати потребу у денітрифікації відпрацьованої технологічної води на даному підприємстві;
- спланувати умови процесу денітрифікації відпрацьованої технологічної води після промивання вулканізованих гумових виробів шляхом використання біологічного агента у вигляді ряски *Lemna minor*;
- сформулювати перелік методів контролю цього процесу;
- дослідити вплив умов експерименту на процес денітрифікації та показники якості води (насамперед, вміст нітратів);
- визначити найбільш прийнятні умови процесу денітрифікації.

За об'єкт дослідження обрано метод біологічного очищення стічних вод з використанням метаболічного потенціалу біологічного агента у вигляді ряски *Lemna minor*, а також сама ряска і відпрацьована технологічна вода, одержана після промивання вулканізованих гумових виробів на лінії розплаву нітрат-нітритних солей.

Предмет дослідження – процес денітрифікації стічних вод методом фітореMediaції.

Наукова новизна дослідження полягає у подальшому розвитку підходів до впровадження системи біологічного очищення стічних вод на різних галузевих підприємствах шляхом удосконалення процесу денітрифікації відпрацьованої технологічної води на підприємстві гумоазбестової промисловості методом фіторемедіації на підставі оцінювання ефективності цього процесу в залежності від умов існування ряски *Letna minor*.

Практичне значення роботи полягає у визначення прийнятних параметрів біологічного очищення відпрацьованої технологічної води після промивання гумових виробів з натурального каучука за допомогою водної рослини – ряски *Letna minor*. Одержані результати дозволяють знизити вміст нітратів до 41,90 мг/дм³, що на 27,5 % нижче від нормованого показника, і можуть бути використані на підприємствах з виробництва та переробки гуми.

Рекомендовано проведення подальших досліджень з удосконалення процесу денітрифікації технологічної води після промивання гумових виробів з натурального та синтетичного каучука у напрямку підвищення рівня ресурсо- та енергоощадності, а саме: оптимізація параметрів витрати біомаси ряски, тривалості і температурного режиму обробки.

Апробація результатів дослідження проведена у вигляді участі у III International Scientific and Practical Conference «EUROPEAN CONGRESS OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS» (Барселона, Іспанія, 25-27 березня 2024 р.) та їх оприлюдненні у публікаціях:

1. **Єрмак А. В.**, Андреева О. А. Біологічне очищення стічних вод від азотовмісних сполук. *European congress of scientific achievements. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference (March 25-27, 2024)*. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2024. pp. 18-21 [240 p.].

<http://dx.doi.org/10.30857/978.617.7763.34.4>

ISBN 978-617-7763-34-4.

2. **Аліна Єрмак**, Ольга Андреева. Біологічне очищення стічних вод як ключова складова біоекономіки. Зелена трансформація та стала біоекономіка : монографія; за наук. ред. А. А. Олешко, О. Ю. Будякової. Київ : КНУТД, 2024. С. 433-454 [496 с.]

<http://dx.doi.org/10.30857/978.617.7763.34.4>

ISBN 978-617-7763-34-4.

Структура та обсяг роботи: кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (90 найменувань) та додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи – 52 сторінки комп'ютерного тексту (без списку використаних джерел та додатків).

Розділ 1

ОБГРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ У ДЕНІТРИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВІ ТОВ «КИЇВГУМА»

1.1 Сучасні уявлення та дослідження в галузі біоремедіації стічних вод

1.1.1 Основні джерела забруднення промислових стічних вод

Стічні води з різних галузей промисловості містять багато забруднювачів, які є токсичними і мають небезпечний вплив на людське та водне життя, а також на сільське господарство. Такі забруднювачі включають такі важкі метали, як хром (Cr), цинк (Zn), свинець (Pb), мідь (Cu), залізо (Fe), кадмій (Cd), нікель (Ni), миш'як (As) та ртуть (Hg) [4].

Більшість важких металів виділяються у виробництві фарб та барвників, текстильній, фармацевтичній, паперовій та хімічній промисловості. Фенольні сполуки також є одними з основних поллютантів, присутніх у промислових стічних водах [5]. Вони утворюються, насамперед, нафтопереробними заводами та підприємствами фармацевтичної промисловості. Ряд погано біорозкладних вогнетривких забрудників, таких як нафтові вуглеводні, сульфіді, анілін, нафталінова кислота, хлорорганічні, олефіни, нітробензол, алкани та хлоралкани, що утворюються нафтохімічною промисловістю, присутні в стічних водах [6]. Склад нафтохімічних відходів хімічно дуже складний, а їх обробка біологічними методами відбувається повільно і не дуже ефективно. Навіть після первинної біологічної обробки органічні забруднювачі зберігаються у вторинних стічних водах. Вони потребують хімічних окиснювачів для утворення неорганічних кінцевих продуктів і таким чином демонструють низьке співвідношення біологічного споживання кисню (БСК) до хімічного споживання кисню (ХСК) [6].

Суспендовані тверді речовини та високоорганічні матеріали є основними забруднювачами води, що виділяються паперовою та целюлозною промисловістю. Залежно від якості виробленого паперу та обробки целюлози змінюються характеристики стічних вод. Складовими стічних вод можуть бути адсорбційні

органічні галогени, фенольні сполуки, біоциди, барвники, смоли, кислоти, небіорозкладні органічні матеріали, дубильні речовини, стероли, сполуки, що походять з лігніну [7-8].

Сечовина, амонійний азот та інші азотні та фосфорні відходи походять з різних текстильних поліграфічних та фарбових виробництв, які використовують воду на багатьох етапах під час переробки. Текстильні підприємства виробляють найрізноманітніші сполуки від таких важких металів, як хром, до поверхнево-активних речовин, а саме: відбілювачі, включаючи перекис водню, хлор, силікат натрію, лужні основи і т.і. [9].

Азот (N) і фосфор (P) є важливими факторами, що впливають на якість води, відіграючи життєво важливу роль у евтрофікації водойм. Азот існує в різних формах, включаючи органічний азот, амонійний азот, а також нітрит- і нітрат-іони [10].

Перфторалкілові кислоти (PFAA) використовуються як поверхневі протектори для їх високої поверхневої активності, стабільності та масло-водного відштовхування. Однак, перфтороктановий сульфонат (PFOS) та перфтороктанова кислота (PFOA) створюють потенційний ризик для здоров'я. PFOS утворюється в основному на підприємствах текстильної, металообробної та напівпровідникової промисловості, тоді як PFOA виділяється під час виготовлення та переробки фторполімерів [11]. До навколишнього середовища зазначені сполуки в основному потрапляють через стічні води, що утворюються на цих промислових об'єктах.

Крім усіх цих забруднювачів, висока солоність стічних вод також має багато несприятливих наслідків для форм життя. Видалення солі зі стічних вод стало настільки ж важливим, як і видалення органічної речовини та інших забруднювачів у багатьох країнах. Висока солоність (переважно за рахунок NaCl) стічних вод утворюється нафтовою, шкіряною, харчовою та агропромисловістю [12].

1.1.2 Уявлення про біоремедіацію стічних вод

Біоремедіація – процес, в основу якого закладено використання живих організмів для націлювання на токсини та перетворення їх на безпечні сполуки [13].

Один з різновидів біоремедіації – процес біологічної денітрифікації є економічною та екологічною стратегією видалення NO_3^- або NO_2^- зі стічних вод [14]. Повний процес денітрифікації складається з відновлення NO_3^- до газоподібного азоту (N_2) з NO_2^- оксидом азоту II (NO) і оксидом азоту I (N_2O) як неминучими проміжними продуктами [15].

Використання живих організмів для очищення забрудненої води (біоремедіація) було в центрі уваги глобальних досліджень води з метою розробки екологічно безпечної технології з використанням біологічних об'єктів, які виробляють менше або взагалі не виробляють шкідливих побічних продуктів [16].

Авторами [17] доведено, що різні біологічні об'єкти, як еукаріотичні (рослини, гриби та водорості), так і прокаріотичні (бактерії та археї), мають метаболізм азоту, який поглинає NO_3^- з навколишнього середовища та перетворює його в різні форми.

Біологічна денітрифікація є поетапним ферментативним процесом, що залежить від ферментативних реакцій, оскільки властиві організмам білки відновлюють окиснений азот в інші форми [18]. У цьому процесі беруть участь чотири ферменти: нітратредуктаза (NAR), нітритредуктаза (NIR), редуктаза оксиду азоту (NOR) і редуктаза оксиду азоту (NOS) [19]. Залежно від типу донора електронів для дихання нітратів процес біологічної денітрифікації зазвичай класифікують як гетеротрофну денітрифікацію, автотрофну денітрифікацію та денітрифікацію за допомогою метану [20].

У біологічних системах видалення NO_3^- з води може бути або асиміляційним, коли азот включається в біомасу організму, або дисиміляційним, коли окиснений азот відновлюється через катаболізм до менш окиснених форм залежно від організму та умов у ньому [21].

Фотосинтезуючі мікроорганізми з високим вмістом азоту, такі як мікроводорості та ціанобактерії, були визнані потенційними біологічними агентами, що можуть видаляти до 100 мг/л NO_3^- з питної та ґрунтової води з низькими концентраціями металів. Здатність цих мікроорганізмів до денітрифікації обмежена температурою, рН, концентрацією металів і сонячним світлом, деякі з

перелічених чинників можуть зробити цей метод марним для щорічних систем очищення промислових стічних вод [22].

Кілька еукаріотичних мікроорганізмів, таких як гриби, діатомні водорості та інфузорії, можуть поглинати нітрати для зберігання, а коли їх середовище стає сприятливим для дисиміляційного відновлення NO_3 , вони можуть відновлювати його до N_2O або NH_3 , NH_3 і NO_2 відповідно. Ці побічні продукти можуть бути повторно окиснені назад до NO_3^- у присутності кисню, що робить організм не ідеальним для застосування виключно в системі відновлення [23].

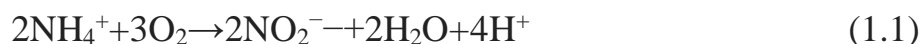
Біологічне очищення води – це складний процес видалення автотонних та алохтонних забруднень, переважно органічних сполук і деяких неорганічних речовин (сполук азоту, фосфору, сірки, іонів ряду металів), під впливом водних організмів (гідробіонтів). Цей процес передбачає мікробіологічне розкладання органічних сполук до повної мінералізації з утворенням вуглекислого газу, води, нітратів, нітритів, сульфатів, фосфатів, аміаку, сірководню, азоту, сірки, водню та метану. Подальше зростання біомаси включається в трофічні ланцюги та сітки, що складаються з гідробіонтів вищих організаційних рівнів, включно з рибами та ссавцями.

Мікроорганізми здатні видаляти з води іони важких металів, зокрема радіонукліди, шляхом їх зв'язування з біогенним сірководнем та утворення нерозчинних сульфідів металів, або через безпосередні біологічні перетворення в нерозчинні форми. Наприклад, біологічне відновлення шестивалентного хрому до нерозчинного гідроксиду тривалентного хрому, або окислення двовалентних іонів заліза та марганцю до три- або чотиривалентних станів з утворенням нерозчинних оксидів [24].

Біологічне очищення стічних вод – це ефективний, економічний та екологічний метод видалення органічних забруднень за допомогою біоценозів мікроорганізмів, таких як активний мул, біологічна плівка та анаеробний мул.

Мікробне видалення азоту у формі амонійного азоту із водойм є природним процесом, під час якого іон амонію окиснюється до нітриту *Nitrosomonas* за

рівнянням 1.1, після чого шляхом подальшого окиснення нітриту до нітрату *Nitrobacter* за рівнянням 1.2 у процесі, який називається нітрифікацією [25].



Рівняння 1.1 та 1.2 складають звичайний процес очищення, відомий як одночасний процес нітрифікації-денітрифікації.

Біоплівки в основному складаються з різноманітних мікробних консорціумів і секретованих ними позаклітинних полімерних речовин. Утворення та ріст біоплівок є більш складним, ніж активний мул, включаючи прикріплення, дозрівання та старіння. Таким чином, контрольовані системи на основі біоплівки підходять для використання різних мікробних перспектив для видалення азоту.

Системи прикріпленого росту можуть загалом знерухомити більше денітрифікуючих організмів, ніж активний мул, що опосередковано подовжує час утримання твердої речовини. Тому системи біоплівок широко застосовуються для покращення видалення азоту за допомогою різних процесів денітрифікації біоплівки [26].

Крім загальних робочих умов, включаючи рН, температуру тощо, фактори, що контролюють структуру біоплівки, такі як режим змішування та товщина біоплівки, також можуть призводити до варіацій швидкості зменшення NO_2^- , NO_3^- та активності ферментів.

Гетеротрофна денітрифікація була найпопулярнішим процесом видалення азотистих забруднювачів зі стічних вод протягом десятиліть завдяки своїй високій ефективності та простоті необхідних реакторів [27]. Для проведення гетеротрофної денітрифікації використовували декілька типів біоплівкових реакторів. Однак вторинне забруднення може виникнути через невикористану органіку в стічних водах [28].

Таким чином, щоб запобігти забрудненню, спричиненому органічними залишками, міксотрофна система, що поєднує гетеротрофну та автотрофну денітрифікацію, була успішно створена під час очищення стічних вод з бідним джерелом органічного вуглецю [29].

Автотрофна денітрифікація на основі H_2 та сірки є найбільш широко застосовуваними процесами для видалення NO_x зі стічних вод із низьким співвідношенням вуглецю до азоту (C/N) [30]. Дослідження інших автотрофних процесів денітрифікації із залізом, піритом або арсенітом, як донором електродів, у системах біоплівки відносно обмежені. На відміну від гетеротрофної денітрифікації, немає проблем щодо додаткової дози екзогенного джерела вуглецю в процесі автотрофної денітрифікації [31].

У роботі [32] повідомляється про те, що викиди N_2O через автотрофи були набагато меншими, ніж через гетеротрофи. Для подальшої популяризації автотрофної денітрифікації для очищення стічних вод, багатих на NO_x , але бідних на органічні речовини, критично важливий синтез процесів автотрофної денітрифікації на основі H_2 та залежних від сірки в системах біоплівки.

Відкриття процесу денітрифікуючого анаеробного окиснення метану (DAMO) показало можливість прямого використання метану як джерела вуглецю для денітрифікації за відсутності кисню [33]. Це відкриття дає новий спосіб видалення нітратів зі стічних вод. Враховуючи, що CH_4 вважається широко застосовним, оскільки може утворюватися на місці шляхом анаеробного зброджування відходів активного мулу [34], DAMO є потенційним процесом контролю азоту, який можна застосовувати у промислових масштабах [35]. Для подальшого підвищення надійності денітрифікуючої біоплівки, що керується CH_4 , успішно запроваджено синергетичний процес, що складається з DAMO та анаеробного окиснення амонію (ANAMMOX) [36]. Таким чином, великий потенціал відновлення екологічно безпечного видалення азоту полягає в процесі денітрифікації на основі метану.

Останніми роками процес денітрифікації в біоплівкових реакторах привернув значну увагу. Ряд дослідники намагалися оцінити ефективність використання мікробних біоплівкових реакторів для денітрифікації. Зокрема, у роботі [37] розглянуто найбільш поширені конфігурації біоплівкових реакторів для підтримки автотрофної денітрифікації з точки зору продуктивності, вартості, потенціалу та недоліків. В іншій роботі [38] узагальнено потенціал мембранних біоплівкових

реакторів (MBfR) для очищення стічних вод, насичених азотом, представлено ключові аспекти поведінки MBfR.

Автори [39] вказують на придатність для біоремедіації різних видів мікроводоростей, наприклад, таких як *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Botryococcus*, *Phormidium*, *Limnospira* та *Chlamydomonas*. Такі види як *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Euglena*, *Oscillatoria*, *Chlamydomonas* і *Ankistrodesmus* виявляють ефективний ріст та високу стійкість до токсинів.

Мікроводорості та макроводорості є двома основними видами водоростей на основі клітинності. Мікроводорості – це рід одноклітинних водоростей, які можуть бути поодинокими або жити колоніями [40]. Розпізнають мікроводорості мікроскопічні, одноклітинні та фотосинтетичні (переважні). Будучи одноклітинними, деякі з них можуть створювати колонії, наприклад, нитки або сфери з подібним родом. Їхня здатність до фотосинтезу пояснюється існуванням фотосинтетичних барвників [41]. Поширені пігменти створюють відтінок водоростей у клітині водоростей. Таким чином, вони класифікуються на основі зелених, червоних або коричневих відтінків [42].

Техніка використання мікроводоростей привернула значну увагу для очищення диверсифікованих стічної води [43]. Так, мікроводорості можуть зменшити гіпертрофію, перетворюючи її в масу біомаси під дією сонячного світла [44]. Крім того, мікроводорості, зібрані з різних ставків, можуть бути джерелом їжі [45]. Ще одна оптимізована версія біологічного очищення – мікроводорості в поєднанні з будь-якими іншими мікробами для прискорення процесу відновлення [46].

Мікроводорості одноклітинних і нитчастих родів були досліджені під час біосорбції, проведеної для видалення барвників у виробництві текстильних матеріалів. Більшість висновків були досягнуті з використанням нежиттєздатної біомаси водоростей на розчині барвника. В одному дослідженні біомаса водоростей *Microspora* sp. після екстракції ліпідів була помічена як ефективний біосорбент для метиленового синього, усуваючи до 100 % барвника за 24 години при перемішуванні зі швидкістю 150 об/хв [47].

У роботі [48] оцінювали за ефективність *Scenedesmus dimorphus* в усуненні метиленового синього шляхом біосорбції. Максимальна адсорбційна здатність була аналогічна сирій та попередньо обробленій кислотою біомасі. Залишки відходів з промисловості водоростей біодизелю були ефективними як біосорбент для видалення барвників. Було підтверджено, що біовугілля, отримане зі *Spirulina platensis* після вилучення олії для біодизеля, можна застосувати як недорогий біосорбент для метиленового синього [49]. У роботі [50] показано, що біовугілля, отримане з залишкової біомаси *Ulothrix zonata* після екстракції пігменту, можна розглядати, як доступний біосорбент для малахітового зеленого, кварцового фіолетового та конго-червоного.

Різні дослідження висвітлили потенційне використання мікробіодоростей для біосорбції та біоремедіації текстильних стічних вод та видалення барвників [51]. Крім того, було зазначено, що морські мікробіодорості є перспективними кандидатами для відновлення неорганічних та органічних токсинів завдяки їх універсальній метаболічній діяльності та організації.

Було доведено, що мікробіодорості є впливовими біосорбентами для видалення барвників та інших забруднювачів, присутніх у текстильних відходах, таких як ХСТ, органічні та неорганічні токсини. Цей напрям має переваги з точки зору економіки, екології, величезної доступності та високих показників видалення з життєздатними параметрами процесу. Оптимальний результат може бути досягнутий шляхом маніпулювання такими параметрами, як кількість дозування мікробіодоростей, рН, температура, попередня обробка мікробіодоростей, час перебування та концентрація забруднюючих речовин у стічних водах.

Вагомий внесок у розробку теоретичних і практичних аспектів біологічного очищення стічних вод зробили видатні вітчизняні та зарубіжні вчені. Однак, питання очищення стічних вод з високими концентраціями органічних забруднень залишається актуальним і на сьогодні. Це стосується стічних вод підприємств харчової промисловості (молокозаводи, м'ясокомбінати, солодові заводи тощо), а також легкої промисловості (шкіряні заводи, хутряні та трикотажні фабрики), які

містять значні концентрації як легкодоступних, так і важкоокиснюваних органічних сполук.

Стічні води з високим вмістом органіки від промислових підприємств не піддаються ефективному очищенню традиційними біотехнологіями, такими як аеротенки чи біофільтри. У технологіях очищення висококонцентрованої стічної води анаеробні процеси використовувалися і раніше (в септиках, двоярусних відстійниках, освітлювачах-бродильниках, метантенках та інших спорудах). Проте, останнім часом спостерігається зростаючий інтерес до цих процесів із застосуванням сучасних типів біореакторів, що дозволяє підвищити ефективність очищення та адаптувати технології до нових викликів у галузі водоочищення [52].

У контексті пошуку інноваційних і стратегічних методів очищення стічної води є використання іммобілізованих мікроорганізмів у суцільних матрицях [53]. Іммобілізовані мікроорганізми включають бактерії, гриби та інші мікроби, які зв'язані або обмежені твердими опорними структурами [54]. Така конфігурація дозволяє мікроорганізмам залишатися в певних місцях, виконуючи функції видалення забруднюючих речовин без необхідності вільно пересуватися водним середовищем [55].

У порівнянні з вільноживучими мікроорганізмами, іммобілізовані відіграють значну роль в очищенні стічних вод, пропонуючи більші переваги з точки зору ефективності та біотехнологічного застосування. Вони забезпечують процеси з довшим часом утримування, підвищують ефективність розкладання забруднювачів, зменшують утворення залишкового осаду та спрощують відновлення продукту, і, як було доведено, є високорентабельними [56].

Іммобілізація мікроорганізмів за допомогою біоматеріалів стала революційною стратегією, спрямованою на використання потенціалу мікробних спільнот для ефективного та екологічно чистого очищення стічної води [57]. Вибір матеріалу для іммобілізації мікроорганізмів впливає на їхню життєздатність та ефективність очищення стічної води [58]. Доступні такі типи носіїв: *а)* органічні речовини, які можна далі розділити на природні (хітин, агар, альгінат, карагенан) та синтетичні органічні речовини (полівініловий спирт, полівінілпіролідон,

поліпропіленамін, поліуретан і акриламід; б) неорганічні речовини (активоване вугілля, глина, цеоліт, антрацит, керамікапористе скло) [59]. З наведених матеріалів найбільш поширеним носієм в обробленні води вважається альгінат, який утворює мікросфери при змішуванні з мікроорганізмами та кальцієм [60].

У дослідженні [58] зазначено не лише здатність полімерів забезпечувати високу швидкість дифузії, а і їх екологічну чистоту, стабільність у зразках стічних вод, довговічність та механічну стійкість, і, що найважливіше, нетоксичність для мікроорганізмів. Автори [61] використали полімери, головним чином Na-Alg, у якості вносії для іммобілізації мікроорганізмів. Автори роботи [62] встановили, що мікроорганізми, іммобілізовані в гідрогелях, виявляють більшу толерантність до токсичних забруднень завдяки захисній інкапсуляції.

Серед багатьох біоматеріалів найбільш поширеним став альгінат натрію, отриманий з бурих водоростей [63]. Крім того, біосумісність і біодеградація Na-Alg ще більше підкреслюють його привабливість як біоматеріалу для іммобілізації, оскільки забезпечують міцну матрицю для захоплення мікроорганізмів, захищають їх від несприятливих умов навколишнього середовища, регулюють дифузію поживних речовин і продуктів, полегшують їх відновлення та повторне використання, зменшують утворення відходів та адаптуються до різних застосувань і типів мікроорганізми [64].

1.1.3 ФітореMediaція як ефективний метод біологічного очищення стічних вод

Новий підхід очищення стічних вод базується на природних процесах видалення різних забруднюючих речовин за допомогою макрофітів і різних водних плаваючих або занурених рослин [65].

Значну роль у підтримці якості води відіграють водні макрофіти, присутність яких може покращити якість води через їхню здатність поглинати надмірну кількість поживних неорганічних речовин. Це викликає підвищений інтерес до використання плаваючих водних макрофітів для зменшення концентрації

шкідливого фітопланктону у стоках із стабілізаційних ставків і видалення з води азоту та фосфору.

Водні плаваючі макрофіти поглинають неорганічні поживні речовини, головним чином, корінням, хоча поглинання через листя також може бути значним. Представники вільноплаваючої ряски *Lemnaceae*, а саме *Lemna minor*, *L. gibba*, *Wolffia arrhiza* та *Azolla pinnata* показали потенційну корисність в обробці евтрофікованої водної системи [66].

Завдяки швидкому поширенню, стійкості до високих концентрацій поживних речовин і чудовій здатності їх поглинати, ряска різних видів була вивчена для відновлення поживних речовин із синтетичних або справжніх стічних вод. Ряска переважно поглинає амоній, домінуючу форму азоту в стічних водах. Дослідження [67] показали, що ряска *Spirodela punctata* 7776 добре росла при високих концентраціях азоту та фосфору (240 мг $\text{NH}_4\text{-N/л}$ і 31,0 мг $\text{PO}_4\text{-P/л}$). Найвищі показники швидкості поглинання поживних речовин і швидкості росту ряски становили відповідно 0,995 мг N/л-год , 0,129 мг P/л-год і 1,33 г сухої біомаси/ $\text{м}^2\text{-год}$.

На ефективність використання різних водних рослин, у тому числі ряски *Lemna minor*, для очищення стічних вод вказують і результати дослідження, опублікованого у журналі «Frontiers in Water» [68].

Науковці з вищевказаного журналу порівняли ефективність використання для обробки стоків трьох географічних ізолятів ряски: *Lemna gibba* 8678, *Lemna minor* 8627 і *S. punctata* 7776. Було встановлено, що ізоляти *L. gibba* 8678 і *L. minor* 8627 забезпечують кращий вихід біомаси, яка завдяки високому вмісту білка є цінною добавкою до тваринних кормів. Результати цього дослідження показали, що *Lemna minor* може бути використана для видалення азоту з стічних вод завдяки своєму швидкому росту та високій абсорбційній здатності. При цьому застосування штучних водойм, у тому числі із використанням *Lemna minor*, авторами розглядається як ефективний метод очищення стічних вод завдяки здатності рослини до біоаккумуляції та біотрансформації забруднювачів.

Дослідження [69] присвячене вивченню здатності *Lemna minor* видаляти важкі метали зі стічних вод текстильної та шкіряної промисловості.

Експериментально доведено ефективність *Lemna minor* із зниження концентрації важких металів у воді, що сприяє зменшенню екологічного навантаження, яке утворюється внаслідок діяльності галузевих підприємств.

Існують такі декоративно-квітучі рослини, які мають деякі фізіологічні характеристики, подібні до рослин природних боліт, і здатні стимулювати видалення забруднюючих речовин під час очищення стічних вод. За результатами дослідження [70] встановлено, що чотирма найбільш часто використовуваними родами квіткової декоративної рослинності є *Canna*, *Iris*, *Heliconia* та *Zantedeschia*.

У роботі [71] проаналізовано різні типи декоративних рослин, включаючи *Canna* та *Iris*, які використовуються у конструкційних водно-болотних угіддях (CW) для очищення промислових та побутових стічних вод. Дослідження показує, що ці рослини підвищують ефективність систем CW завдяки своїм біофільтраційним властивостям. З точки зору географічного розташування *Canna spp.* зазвичай зустрічається в Азії, *Zantedeschia* – в Мексиці, *Iris* – в Азії, Європі та Північній Америці, а види роду *Heliconia* зазвичай використовуються в Азії та деяких частинах Америки (Мексика, Центральна та Південна Америка). У цьому огляді також порівнюється використання декоративних рослин із природними водно-болотними рослинами та системами без рослин для видалення забруднюючих речовин (органічної речовини, азоту, сполук азоту та фосфору). Встановлено подібність ефективності видалення забруднювачів квітучими декоративними та природними водно-болотними рослинами. Проте, видалення забруднюючих речовин було кращим у випадку декоративних рослин.

У водоймах процес фіксації азоту забезпечують синьо-зелені водорості. Найбільш активні азотфіксатори зустрічаються серед представників родів *Anabaena*, *Nostoc*, *Calothrix* і *Aphanizomenon*. Причому, синьо-зелені водорості можуть фіксувати азот як самостійно, так і в симбіозі з іншими організмами – грибами, саговниками, водяними папоротями та ін. Кількість фіксованого за таких умов азоту може перевищувати 300 кг/га на рік [72-73].

Chlorella vulgaris здатна знизити концентрацію азоту та фосфору у стічних водах до необхідних норм. Видалення низькомолекулярних органічних речовин

при тривалому культивуванні складає до 95 % при значному зростанні біомаси мікроводоростей. Використання *Clorella vulgaris* дозволяє зменшити вміст азоту на 78-80 % та фосфору на 90-95 % за той самий час, за який за звичайним аеробним методом вміст азоту зменшується на 45-50 % при вихідній концентрації 125 г/м³ та фосфору на 52-54 % при вихідній концентрації 50 г/м³. Тобто при внесенні *Clorella vulgaris* при вмісті нітрогену в стічній воді 120-130 г/м³ швидкість видалення збільшується вдвічі. Так, для зменшення вмісту азоту на 98 % аеробній асоціації знадобилося 4 години, а при додаванні *Clorella vulgaris* зменшення вмісту азоту на 98 % відбувається через 2 години [74].

1.1.4 Сучасні підходи до впровадження системи біологічного очищення стічних вод на галузевих підприємствах

У промисловості вода використовується як сировина, джерело енергії, охолоджуючий агент, розчинник, екстрагент і для транспортування матеріалів. Світове споживання прісної води досягає 3900 мільярдів кубічних метрів на рік. Приблизно половина цього обсягу використовується необоротно, а решта перетворюється на стічні води. Так, у роботі [75] представлено використання мікроводостей для очищення стічної води лікєро-горілочного заводу. Лікєро-горілочні заводи є одними з провідних галузей промисловості за обсягом скиданих стічних вод: виготовлення 1 л етанолу за допомогою лікєро-горілочного процесу супроводжується утворенням понад 10 л стічних вод [76]. Очищення стічних вод лікєро-горілочного заводу є складним завданням через дуже високий вміст органічних та неорганічних речовин у вигляді вуглецю, азоту, мікро-, макроелементів та вітамінів, які сприяють зростанню мікроводостей [77]. У роботі [78] показано, що зі стічної води лікєро-горілочного заводу можна виділити 25 штамів водоростей. Штами водоростей включають *Pediastrum* sp., *Scenedesmes* sp., *Perinidinium* sp., *Navicula* sp., *Chroococcus* sp., *Gloeocapsa* sp., *Merismopedia* sp., *Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp., *Calothrix* sp., *Syctonema* sp., *Westiellopsis* sp., *Nitzschia* sp., *Spirulina* sp., *Anabaena* sp. та *Cylindrospermum* sp.

В Україні є підприємства, які забезпечують локальне очищення стічних вод після виробництва рідких медпрепаратів, наприклад, ПАТ «НВЦ «Борщагівський хіміко-фармацевтичний завод» (м. Київ), а також підприємства, які розпочали роботи, спрямовані на вирішення питання локального очищення стічних вод від антибіотиків (цефалоспоринової групи), зокрема, ПАТ Хімфармзавод «Червона зірка» (м. Харків).

Крім фармацевтичних заводів, локальне очищення промстоків почали впроваджувати підприємства з таким видом діяльності, як машинобудування, виробництво шерстяних ковдр, харчові виробництва: м'ясопродуктів, олії, та ін. Низка підприємств пішла далі та запровадила комплексну технологію, що включає попереднє фізико-хімічне та наступне біологічне очищення з використанням сучасних технологічних рішень з глибоким видаленням органічних забруднюючих речовин, сполук азоту і фосфору та доведенням концентрацій забруднювачів в очищеній воді до нормативних вимог для її відведення у природні водойми. Як приклад, можна навести шкіряний завод «Світ шкіри» у м. Болехів Івано-Франківської області, де впроваджено технологію послідовного аноксидно-аеробного біологічного очищення з використанням нітратного рециклу та іммобілізованих мікроорганізмів у діючому аеротенку. На картонно-паперовій фабриці у м. Понінка Хмельницької області впроваджено проєкт та виконано реконструкцію первинних відстійників у біокогулятори з попередньою аерацією в якості I ступеня очищення, запропоновано наступну біологічну стадію з подовженою аерацією стічних вод та активного мулу в аеротенку та регенераторі для очищення стічних вод підприємства (за продуктивності очисної станції 7000 м³/добу).

Одним із шляхів підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод (від органічних речовин, сполук азоту, фосфору та ін.) є збільшення концентрації активного мулу в об'ємі аеробного біореактора (аеротенка), що дозволяє підвищити окисну потужність споруди, зменшити тривалість процесу та знизити економічні витрати на очищення стічних вод. Для цього використовують іммобілізовані, прикріплені до носіїв мікроорганізми [79]. У якості носіїв

слугують інертні, не розчинні у воді структури, якими заповнюють об'єм очисної споруди або його частину.

Для очищення промислових стічних вод з високим вмістом органічних речовин (шкірзаводів, м'ясопереробних та молокозаводів) запропоновано двостадійну технологію біологічного очищення з використанням іммобілізованих мікроорганізмів в послідовних анаеробних та аеробних умовах. Дослідження параметрів проводили на стічних водах молокозаводу на експериментальних моделях анаеробного та аеробного біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами [80].

1.2 Обґрунтування потреби у денітрифікації технологічної води у ТОВ «КИЇВГУМА»

1.2.1 Вимоги до якості води та складу промислових стоків

Скид промислових стічних вод у каналізаційну систему має здійснюватися через водостоки з обов'язковим обладнанням контрольного колодязя, розташованого за межами підприємства. Всі промислові точки повинні бути оснащені пристроями для безперервного моніторингу витрат та якості стічних вод.

Відповідно до правил прийому, водоканали визначають для кожного підприємства режим та допустимі норми скидання забруднень у каналізацію населеного пункту [81]. Ці норми базуються на гранично допустимому скиді (ГДС) у водні об'єкти, гранично допустимих концентраціях (ГДК) речовин, що надходять на біологічні очисні споруди, ефективності очищення та ГДК забруднюючих речовин у воді для господарсько-питних і рибогосподарських потреб. Якщо кількість та склад виробничих стічних вод протягом доби істотно змінюються, підприємства встановлюють спеціальні резервуари-усереднювачі, що забезпечують відносно рівномірне скидання стічних вод протягом доби.

Промислові підприємства повинні постійно контролювати кількість і склад стічних вод, які скидаються в каналізацію населеного пункту. Контроль здійснюється шляхом аналізу складу стічних вод до та після проходження локальних очисних споруд на контрольних ділянках (навіть у разі відсутності таких

споруд), а також шляхом вимірювання обсягів стічних вод, що скидаються на контрольні майданчики [82].

В Україні діють керівні нормативні документи Міністерства екології та природних ресурсів: КНД 211.1.0.009-94 «Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних та технологічних вод» та КНД 211.1.2.008-94 «Гідросфера. Правила контролю складу і властивостей стічних та технологічних вод», якими встановлені правила відбору та зберігання проб, а також переліки показників якості, які встановлюються при повному чи скороченому аналізі стічних вод.

Таблиця 1.1

Вимоги до вмісту забруднюючих речовин у стічних водах, що скидаються до системи централізованого водовідведення

№ з/п	Показник якості стічних вод	Одиниця виміру	Допустима концентрація
1	Завислі речовини	мг/дм ³	176,0
2	Нітрати	мг/дм ³	57,77
3	pH	одиниці pH	6,5 - 9,0

Враховуючи те, що ТОВ «КІЇВГУМА» розташоване у м. Бровари Київської області, на ньому діють місцеві правила приймання стічних вод до системи централізованого водовідведення м. Бровари.

Відповідно до встановлених правил [82] забороняється скидати до системи централізованого водовідведення без попереднього знешкодження та знезараження на локальних очисних спорудах з обов'язковою утилізацією або захороненням утворених осадів стічні води, що містять забруднюючі речовини, заборонені до скидання до системи централізованого водовідведення згідно з табл. 1.1.

1.2.2 Ситуація з утворенням промислових стоків з високим вмістом нітрат-нітритних солей на підприємстві ТОВ «КИЇВГУМА»

Стічні води підприємств з виробництва та переробки гуми зазвичай мають високий вміст азоту через використання азотовмісних хімікатів у процесах вулканізації та обробки гумових виробів. Тому для запобігання негативного впливу на довкілля такі стічні води потребують спеціальних методів очищення, спрямованих на зниження концентрації азоту.

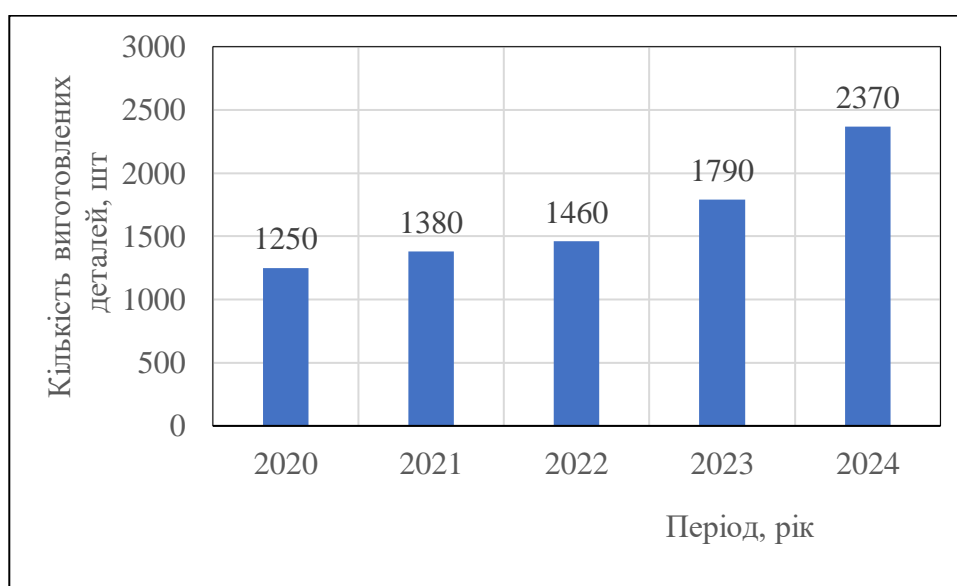


Рис. 1.1 Результати діяльності ТОВ «КИЇВГУМА» протягом останніх п'яти років

До лютого 2024 р. більшість підприємств з виробництва та переробки гуми була зосереджена на сході України, але внаслідок військових дій російської армії їх було знищено. Через це ТОВ «КИЇВГУМА», розташоване у м. Бровари Київської області, стало одним з основних профільних виробників повного циклу, що забезпечує країну гумовими виробами технічного та господарського вжитку. Незважаючи на всі труднощі сьогодення, виробництво гумових виробів з вулканізацією на лінії розплаву нітрат-нітритних солей щороку збільшується. Таку тенденцію встановлено за результатами власного маркетингового дослідження діяльності підприємства протягом останніх п'яти років (рис. 1.1).

Неформові гумові вироби (трубки, профілі, шнури і т.д.) виготовляються методом екструзії з подальшою вулканізацією на потоковій лінії розплаву нітрат-нітритних солей, зображеній на рис 1.2. Нітрат-нітритні суміші застосовуються як теплоносії для отримання значення температури від 100 до 600 °С. Це дозволяє змінити молекулярну структуру каучука, формуючи поперечні зв'язки між полімерними ланцюгами, що, у свою чергу, надає гумі здатність тримати необхідну форму, покращуючи тим самим її експлуатаційні властивості [83].

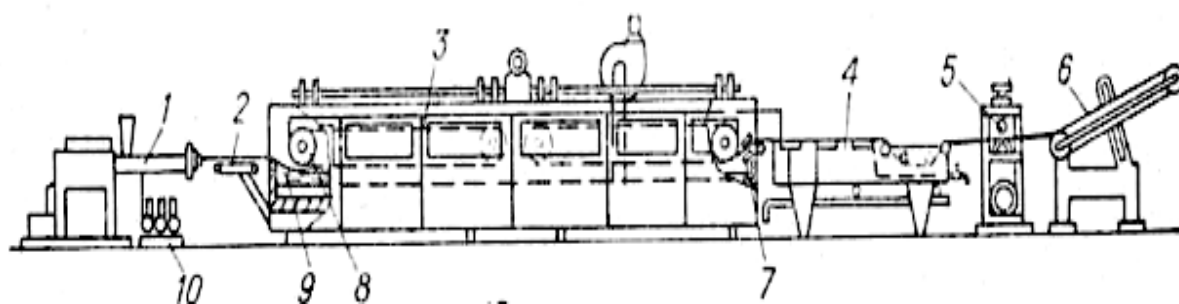


Рис. 1.2 Потокова лінія виробництва неформових гумових виробів у розплаві солей: 1 - черв'ячна машина; 2 - проміжний транспортер; 3 - вулканізатор; 4 - відмивно-охолоджувальний пристрій; 5 - тягнультний пристрій; 6 - відбірковий пристрій; 7 - вузол зняття теплоносія з виробу; 8 - занурювальний транспортер; 9 - ємність з розплавом солей; 10 - вакуумна установка.

Розплав солей готується в наступному співвідношенні, %:

- нітрат калію (KNO_3) – 53;
- нітрит натрію ($NaNO_2$) – 40;
- нітрат натрію ($NaNO_3$) – 7.

Заключним процесом на цьому етапі виготовлення гуми є промивання виробу водою від залишків солей. Саме тут одержують воду з високим вмістом нітратів і нітритів, значення якого перевищує дозволений межі на скиди відпрацьованої води до каналізаційної системи м. Бровари.

Вода для промивання має обмежений ресурс, оскільки накопичує нітрат-нітритні солі до недопустимих концентрацій і перестає виконувати свої прямі функції – очищати продукт від залишків солей. У свою чергу, це призводить до

надмірного використання чистих водних ресурсів, оскільки для наповнення ємності для промивання необхідно 100 л води, а заміна води відбувається 1 раз на 7 днів, враховуючи великі обсяги виробництва. Тобто, за місяць безперервної роботи виробничої лінії кількість води з наднормованим вмістом нітратів та нітритів становить 400 л. Внаслідок цього на підприємстві відбувається накопичення відпрацьованої технологічної води, яка відповідно до «Правил приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України» через перевищення вмісту нітратів не може бути злита в каналізацію. Таким чином, виникає нагальна потреба у денітрифікації цієї технологічної води, а враховуючи переваги біологічного очищення, цікаво було б дослідити можливість задовольнити цю потребу шляхом біологічного очищення води з використанням доступного біологічного агента.

Висновки до розділу 1

На підставі аналізу науково-технічної літератури встановлено численні переваги біологічного методу очищення промислових стічних вод. За допомогою використання природних процесів можна ефективно знизити рівень забруднень, зокрема, сполуками, азоту та фосфору, надмірна кількість яких у воді має негативний вплив на біосферу. Використання рослин і мікроорганізмів не лише сприяє фільтрації, а й підтримує біорізноманіття, покращує екологічний баланс.

Останнім часом особливий інтерес викликає один з різновидів біологічного очищення стічних вод – метод фіторемедіації з використанням плаваючих рослин, до переваг яких можна віднести:

- доступність біологічного агента, наприклад, різних видів ряски;
- ефективне видалення азоту з води шляхом поглинання азотовмісних сполук, необхідних для росту рослин;
- швидка адаптація до зміни умов існування (температури, рівня води);
- економічний аспект, оскільки фіторемедіація з використанням плаваючих рослин не потребує дорогівартісного обладнання та вагомих витрат електроенергії.

Встановлена ефективність використання біологічного очищення стічної води на підприємствах різних сфер економіки: харчової, фармацевтичної, целюлозно-паперової, трикотажної та нафто-газової, сільського господарства. Але у загальному доступі інформація про використання біологічного очищення стічної води, у тому числі методом фіторемедіації, на підприємствах гумоазбестової промисловості фактично відсутня.

Під час аналізу джерел утворення стічної води та її показників на підприємстві ТОВ «КИЇВГУМА» було встановлено, що через перевищення вмісту нітратів відпрацьована технологічна вода після промивання вулканізованих виробів не відповідає існуючим вимогам і не може бути злита в каналізацію. Таким чином, виникає нагальна потреба у денітрифікації такої технологічної води, а враховуючи переваги біологічного очищення, цікаво дослідити можливість задовольнити цю потребу шляхом біологічного очищення води методом фіторемедіації з використанням доступного біологічного агента, наприклад, поширеної водної рослини у вигляді ряски.

Виходячи з викладеного, сформульовано мету дослідження, реалізація якої повинна знизити вміст нітратів у технологічній воді після промивання гумових виробів, що буде ще одним кроком на шляху зниження шкідливого впливу на довкілля рідинних відходів різних галузевих підприємств, у даному дослідженні – підприємств гумоазбестової промисловості.

Розділ 2

ОБ'ЄКТ, МЕТА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та характеристика об'єкта, предмета та мети дослідження

Мета роботи – дослідити можливість денітрифікації відпрацьованої технологічної води шляхом фіторемедіації з використанням доступного біологічного агента у вигляді ряски *Lemna minor* для забезпечення допустимого вмісту нітратів у стічних водах гумового виробництва перед скидом в каналізацію.

Для реалізації поставленої мети визначено ряд завдань, опис яких наведено у вступній частині роботи.

За *об'єкт дослідження* обрано метод біологічного очищення стічних вод з використанням метаболічного потенціалу біологічного агента у вигляді ряски *Lemna minor*, а також сама ряска і відпрацьована технологічна вода, одержана після промивання вулканізованих гумових виробів на лінії розплаву нітрат-нітритних солей.

Предмет дослідження – процес денітрифікації стічних вод методом фіторемедіації.

Методи дослідження – загальнонаукові емпіричні та теоретичні, а також хімічні та інструментальні методи аналізу: фотоколориметричний, електрохімічний, гравіметричний тощо.

2.1.1 Характеристика ряски *Lemna minor*

Ряска мала, *Lemna minor* S. F. Gray (рис. 2.1) – багаторічна трав'яниста планктонна однодольна квіткова рослина родини Ряскових (*Lemnaceae*). Один з найпоширеніших представників вищої водної рослинності прісноводних екосистем усіх континентів, крім Антарктиди [84].

Рослина поширена і на території України, невибаглива до умов зростання, здатна виживати під льодом. Швидко розмножується як у забрудненій воді (фермерські та комунальні стоки, рибогосподарські ставки, водосховища теплових електростанцій), так і у чистих водоймах із малопротічною чи стоячою водою (озера, ставки, водосховища, канали, річки).

Ряска має високу біологічну продуктивність (1-3 кг зеленої маси на 1 м²), застосовується як біоіндикатор забруднення навколишнього природного середовища у системах водоочищення.

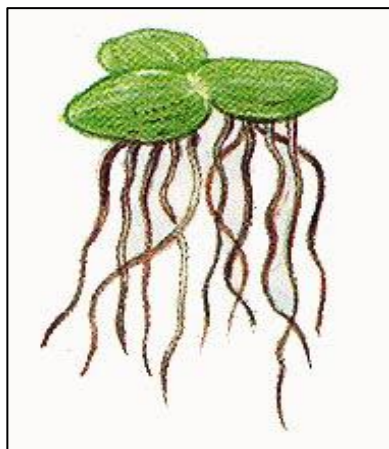


Рис. 2.1 Ряска *Lemna minor*

Тіло *Lemna minor* (листець, щиток) вкрай редуковане: стебло без листя, має вигляд зеленої зверху і жовтувато-зеленої знизу, непрозорої, округлої чи еліптичної, плоскої з обох боків пластинки 2–4 мм завд. і 2–3 мм завш. Листці ряскових можуть бути з'єднані між собою у невеличкі групи, так звані розетки. Листці мають один або кілька корінців, існують також безкореневі види ряски [85].

У щитку виділяють дистальну зону з жилками, що вважається похідною листка, і проксимальну (стеблову) зону з вузлом. Від нього відходить ниткоподібний, напівпрозорий, нерозгалужений корінець, який виконує функцію утримання рослини на поверхні води. Абсорбцію мінеральних речовин забезпечує нижня поверхня щитка, а основною тканиною тіла є аеренхіма з 1–3 шарами повітряних порожнин, що теж сприяє плавучості тіла.

Суцвіття замкнене у рудиментарне пливчате вкривало, складається з двох тичинкових квіток і однієї маточкової. Квітки редуковані: чоловічі мають дві тичинки, жіночі — одну маточку з одногніздовою зав'яззю і вкороченим стовпчиком. Квітне *Lemna minor* зрідка (травень–червень). Горішкоподібний плід («мішечок») сухий, нерозкривний, однонасінний, з крилоподібними краями і кілем, що сприяє утриманню на воді. Насіння 0,5–1,0 мм багатореберчасте, з товстою білуватою шкіркою [85].

Подібно до водоростей, розмноження ряски відбувається переважно вегетативним шляхом за допомогою бруньок, з яких упродовж життя кожна рослина утворює безліч нових тіл. У вузлі також розміщені дві бічні ниркоподібні кишеньки, у яких формуються бруньки, що зимують на дні водойм, та бічні пагони, що утворюють нові особини. Деякий час 3-5 дочірніх рослинوک плавають разом з материнською, а згодом відокремлюються.

У 50-70-х роках ХХ ст. біохімічними дослідженнями *Lemna minor* як кормової сировини виявлені білки, жири, клітковина, вітаміни (А₁, С, В₁, В₂, В₆, Е, РР), мікроелементи (І, Вr, Со, Сu, Nі, Zn, V, Zr, Ag, Tі), макроелементи (Р, Са, Mg, Fe, Si), сліди Ra тощо [84].

2.1.2 Характеристика відпрацьованої технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів

Показники відпрацьованої технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів на основі синтетичного та натурального каучука, до заселення ряски наведені у табл. 2.1, з якої видно що вміст нітратів в обох випадках перевищує нормований показник (57,77 мг/дм³) на 35,9 %.

Таблиця 2.1

Показники технологічної води після промивання виробів на основі синтетичного каучука та натурального каучука

Показник води	Промивання гумових виробів	
	синтетичний каучук	натуральний каучук
Вміст нітратів, мг/дм ³	78,50	78,50
Значення рН	9,64	5,55
Сухий залишок, г/дм ³	5,63	4,19
Кольоровість	Мутно-жовта з зеленим відтінком	Світложовта

У випадку промивання гумових виробів із синтетичного каучука показники рН та сухого залишку вище на 73,9 % та 34,4 % відповідно вище у порівнянні з

аналогічними показниками для відпрацьованої технологічної води після промивання гумових виробів із натурального каучука.

2.2 Методи та умови дослідження

Експеримент проводився в лабораторних умовах кафедри біотехнології, шкіри та хутра КНУТД, а також діючого підприємства ТОВ «КИЇВГУМА».

2.2.1 Методи дослідження

Для проведення експеримента у роботі використали такі поширені на практиці методи як фотометричний, електрометричний, гравіметричний тощо.

Фотометричний метод визначення нітратів у воді

Фотометрія – це сукупність методів абсорбційного спектрального аналізу, що базуються на вибірковому поглинанні електромагнітного випромінювання у видимій, інфрачервоній (ІЧ) та ультрафіолетовій (УФ) областях спектру. На молекулярному рівні визначають компонент або його сполуку з відповідним реагентом. Концентрацію досліджуваного компонента обчислюють за допомогою закону Бугера-Ламберта-Бера.

Фотометричний метод включає в себе візуальну фотометрію, спектрофотометрію та фотоколориметрію. Останній метод відрізняється від спектрофотометрії тим, що поглинання світла вимірюється переважно у видимому діапазоні спектра, а рідше – у ближній ультрафіолетовій та інфрачервоній областях (довжини хвиль від приблизно 315 до 980 нм). Крім того, для виділення необхідної частини спектра (шириною 10-100 нм) використовуються не монохроматори, а вузькосмугові світлофільтри.

Для фотоколориметрії використовують фотоелектроколориметри (ФЕК), які мають просту оптичну та електричну схему [86]. Метод базується на взаємодії нітрат іонів і саліцилат-іонів у фосфатному середовищі, з утворенням кислоти. Діапазон визначення вмісту нітрат-іонів 0,5-110 мг/дм³. Світлопоглинання при $\lambda = 410$ нм, використовують кювети з товщиною шару 2 см. Об'єм проби відібраної води має бути не менше 100 см³. Аналіз проводиться у день відбору проби.

Дослідження виконують у такій послідовності. Спочатку будують калібрувальний графік. Для цього готують серію розчинів з вмістом 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05 мг нітрат-іонів у аліквоті з робочого розчину нітрат-іонів. Об'єми робочого розчину від 0,5 до 10 см³. Додають 2 см³ саліцилової кислоти і випарюють у порцеляновій чашці на водяній бані насухо. Після охолодження сухий залишок перемішують з 2 см³ фосфорної кислоти і залишають на 10 хвилин.

Потім вміст чашки розводять 10-15 см³ дистильованої води, приливають 15 см³ розчину гідроксиду натрію і сегнетової солі, кількісно переносять у мірну колбу ємністю 50 см³. Стінки чашки обмивають дистильованою водою і додають цю рідину у колбу, яку охолоджують у воді до кімнатної температури. Дистильованою водою доводять об'єм до мітки.

Отриманий кольоровий розчин фотометрують у кюветах проти дистильованої води. Окремо міряють поглинання холостого розчину, віднімаючи потім його значення від значення поглинання проби.

Калібрувальний графік будують у координатах: вміст нітрат-іонів у пробі – оптична густина.

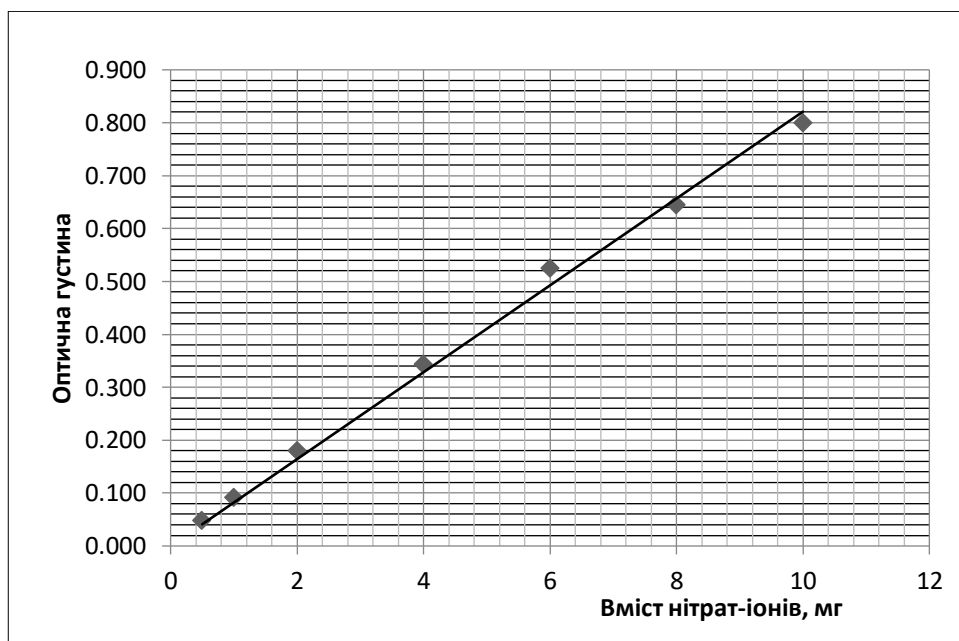


Рис. 2.2 Калібрувальний графік

Вимірювання виконують наступним чином. Пробу об'ємом 100 см³ обробляють (при необхідності), як вказано вище. Для аналізу використовують фільтрат об'ємом 0,5-10 см³ в залежності від концентрації нітрат-іонів у воді, але так, щоб у відібраній аліквоті було не менше 0,03 мг нітрат-іонів. Далі діють аналогічно зазначеній вище методиці.

Обробка результатів

Вміст нітрат-іонів, мг/дм³, обчислюють за формулою (2.1).

$$C = \frac{C_{\text{гр}}}{V} \cdot 100 \quad (2.1)$$

де $C_{\text{гр}}$ - вміст нітрат-іонів, знайдений за калібрувальним графіком, мг; V - об'єм досліджуваної проби, см³.

Електрометричний метод визначення рН

Проводиться за стандартизованою методикою по ДСТУ EN 1262:2007 Метод визначення рН розчинів чи дисперсій.

Одним з найзручніших методів визначення активної реакції води є електрометричний метод, який дозволяє за допомогою електроду порівняння вимірювати даний показник з високою точністю.

До найбільш надійних і точних вимірювальних електродів належить скляний. Він являє собою трубку з напаяною на конус порожнистою кулькою з літєвого електродного скла. В середину електроду вливають 0.1 М розчин HCl, насичений хлоридом срібла, в який занурюють платиновий або срібний електрод, покритий хлоридом срібла.

При занурюванні електроду в розчин між поверхнею кульки електроду та розчином виникає обмін іонами, в результаті якого іони літію в поверхневих шарах скла замінюються на іони водню. Між поверхнею скла та дослідним розчином виникає різниця потенціалів, величина якої залежить від активності (концентрації) іонів водню в розчині та його температури.

Для виміру цієї різниці потенціалів створюють електричне коло. Внутрішній електрод цього кола забезпечує контакт з розчином, який заповнює внутрішню частину скляного електроду.

Допоміжний електрод являє собою проточний хлорсрібний електрод. Він забезпечує контакт з досліджуваним розчином за допомогою електричного ключа – трубки, яка заповнена насиченим розчином хлориду калію та закінчується пористою перегородкою.

Насичений розчин хлориду калію повинен безперервно повільно потрапляти в досліджуваний розчин зі швидкістю 20 мл/добу. Значення рН реєструється мілівольтметром, який градуйований в одиницях рН; вплив температури компенсується спеціальним термокомпенсатором, вмонтованим у прилад.

В ході проведеного дослідження по визначенню здатності ряски роду *Letna minor* до денітрифікації відпрацьованої технологічної води після промивання вулканізованих гумових виробів за обраною методикою та за допомогою математичного програмного забезпечення EXEL було побудовано калібрувальний графік (рис. 2.2).

За калібрувальним графіком та результатами фотометрування розчину визначено концентрацію нітратів у технологічній воді до та після заселення обраної кількості ряски роду *Letna minor*.

У табл. 2.2 наведено показники приладу під час вимірювання концентрації стандартних розчинів.

Таблиця 2.2

Показники приладу, одержані під час вимірювання концентрації стандартних розчинів

П/ч	Концентрація розчину, мг/мл	Показники приладу			
		1	2	3	Середнє
1	0,5	0,049	0,048	0,048	0,048
2	1,0	0,095	0,09	0,090	0,092
3	2,0	0,180	0,180	0,180	0,180
4	4,0	0,344	0,344	0,344	0,344
5	6,0	0,525	0,525	0,525	0,525
6	8,0	0,645	0,645	0,645	0,645
7	10,0	0,800	0,800	0,800	0,800

Гравіметричний метод визначення сухого залишку

Керівним нормативним документом 211.1.4.042-95 встановлена методика гравіметричного визначення сухого залишку (розчинених речовин) в природніх та стічних водах. Метод визначення кількості сухого залишку (розчинених речовин) полягає у випаровуванні вологи з 5-1000 см³ профільтрованої проби води, висушуванні залишку протягом 3-х годин при температурі 105 °С і зважуванні його на аналітичних терезах. Маса сухої речовини повинна знаходитись в межах 50-500 мг. Тривалість аналізу однієї проби – 6 годин.

Відбір проб

Проби вод відбирають згідно ГОСТ 17.1.5.05 та КНД 211.1.0.009.

Об'єм проби води повинен бути не менше ніж 1 дм³, пробу води не консервують, аналіз проводять не пізніше ніж через добу.

При виконанні вимірювань за даною методикою використовують такі засоби вимірювань, допоміжні пристрої, реактиви та матеріали:

- терези лабораторні, клас точності 1, 2;
- сушильна шафа електрична загальнолабораторного призначення;
- баня водяна;
- фарфорові чашки для випарювання (d=90 мм);
- ексикатор;
- колби мірні місткістю 50, 100, 250, 1000 см³;
- лійки скляні;
- лійки Бюхнера;
- фільтри мембранні з розміром пор 1, 2- 5 мкм;
- фільтри паперові знезолені;
- кальцій хлористий 2-водний;
- соляна кислота ч.д.а;
- вода дистильована.

Підготовка до виконання вимірювань

Пусті пронумеровані порцелянові чашки висушують в сушильній шафі до сталої маси при температурі 105 °С, після чого чашки ставлять в ексикатор на 30-

50 хв для охолодження до кімнатної температури і зважують на лабораторних терезах. Повторні висушування, охолоджування та зважування повторюють до тих пір, поки різниця між двома послідовними зважуваннями буде не більшою ніж 0, 0002 г.

Виконання вимірювання

Суху мірну колбу місткістю 50-100 см³ заповнюють до позначки випробуваною водою, відфільтрованою через паперовий чи мембранний фільтр. Цю пробу по частинам наливають в попередньо підготовлену порцелянову чашку і випаровують на водяній бані досуха. Для випаровування чашку наповнюють водою не більш, ніж на 3/4 об'єму. Після випаровування всієї води зовнішню поверхню чашки ретельно обтирають фільтрувальним папером, змочений розбавленою соляною кислотою (1:5), потім ополіскують дистильованою водою, сушать паперовим фільтром, ставлять чашку з сухим залишком в сушильну шафу, нагріту до 105 °С і витримують чашку з залишком при встановленій температурі протягом 3 годин, охолоджують в ексікаторі протягом 30-50 хв і швидко зважують з точністю до 0,0002 г перевірку повноти висушування проводять повторним висушуванням протягом 30 хв. Різниця в масах двох повторних зважувань не повинна перевищувати 0,0002 г.

Обчислення результатів вимірювання

Вміст сухого залишку C , мг/дм³ обчислюють за формулою (2.2):

$$C = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 1000}{V} \quad (2.2)$$

де m_1 - маса пустої фарфорової чашки, мг; m_2 - маса чашки із висушеним залишком, мг; V - об'єм води взятий для аналізу, см³.

2.2.2 Умови дослідження

Експеримент проводили в лабораторних умовах, досліджуючи процес денітрифікації технологічної води за різних умов культивування ряски роду *Letna minor*. У роботі застосували технологічну воду, яку одержали після промивання двох груп гумових виробів: група 1 – вироби з синтетичного каучука; група 2 – вироби з натурального каучука.

У якості біореакторів використали мірні скляні стакани ємністю 500 мл, температурний режим 27 ± 2 °С, що відповідало температурному режиму приміщення, в якому розташовані накопичувальні баки з відпрацьованою технологічною водою.

Для дослідження обрали наступну витрату (концентрацію) біомаси: 15 та 30 г в 1 дм³ технологічної води. На рис. 2.3 зображено модель біореактора, заповненого біомасою у вигляді ряски *Lemna minor* концентрацією 15 г/дм³ (ліворуч) та 30 г/дм³ (праворуч) і технологічною водою, одержаною після промивання виробів з синтетичного каучука.

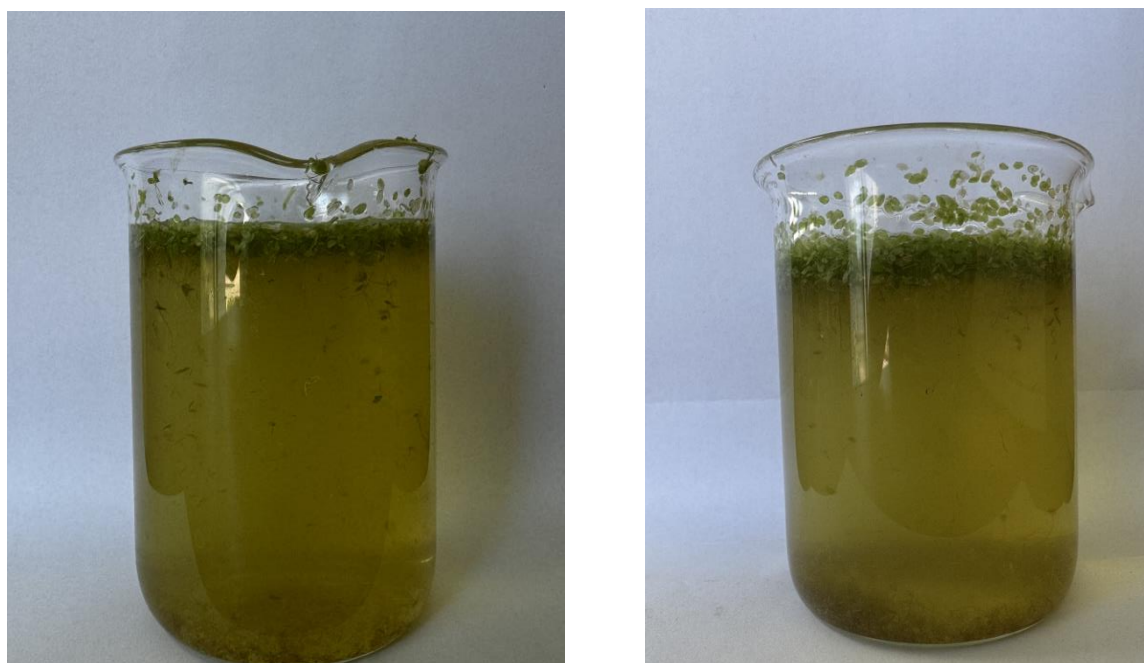


Рис. 2.3 Ряска *Lemna minor* в середовищі технологічної води після промивання виробів з синтетичного каучука.

На рис 2.4 зображено модель біореактора з біомасою у вигляді ряски *Lemna minor* концентрацією 15 г/дм³ (ліворуч) та 30 г/дм³ (праворуч) і технологічною водою після промивання виробів з натурального каучука.

Температурний режим експерименту відповідав сереньорічній температурі приміщення, де зберігаються накопичувальні баки з відпрацьованою технологічною водою, і складав 27,5 °С.

Тривалість досліджуваного процесу складала 12, 24, 48 год. Щодня проводився візуальний огляд біомаси та середовища води на предмет зміни кольору. Усі досліди проводились за однакових умов.

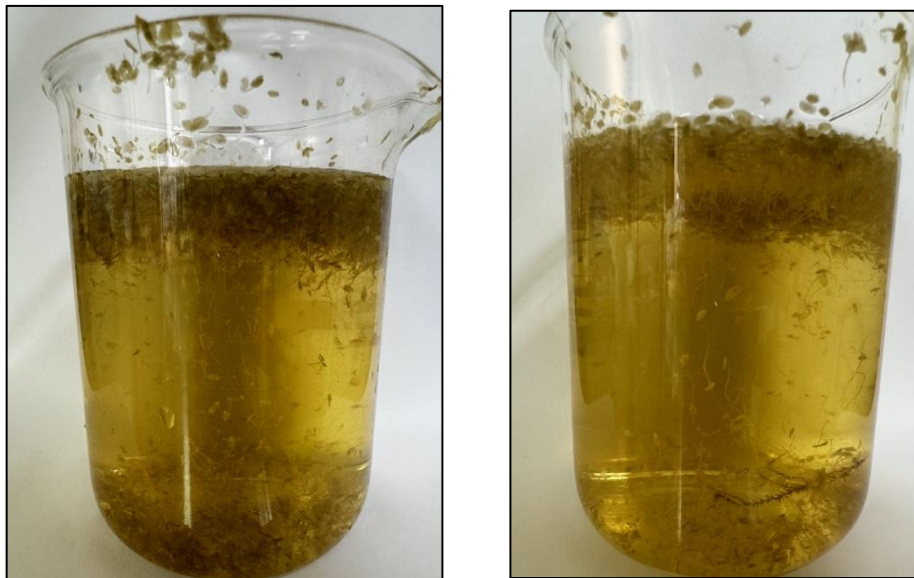


Рис. 2.4 Ряска *Lemna minor* у середовищі технологічної води після промивання виробів з натурального каучука

По звершенні кожного тестового періоду відбиралась проба для визначення вмісту нітратів, значення рН та сухого залишку за обраними методиками.

Для дотримання принципу достовірності результатів експерименту проводили статистичну обробку одержаних даних, при цьому практикувалось проведення декількох паралельних випробуван.

При застосуванні графічних залежностей до уваги брали лише ті з них, у яких коефіцієнт достовірності був не менше 0,7500.

2.2.3 Характеристика лабораторного обладнання

Лабораторні дослідження проводили із залученням традиційного для хімічної та біотехнологічної лабораторії обладнання у вигляді рН-метра, фотоколориметра, вагів лабораторних, а також лабораторного посуду різного призначення. Нижче наведено опис та характеристики цього обладнання.

рН-метр МР 511 (рис. 2.5). Прилад дозволяє виконувати лабораторні вимірювання рН для водних розчинів, ОРР. Він відповідає всім вимогам міжнародного стандарту GLP, володіє такими сучасними можливостями як, автоматичне калібрування, температурна компенсація, збереження даних, таймірування вимірювань, RS232 вихід, функції встановлення і самодіагностики тощо. Використання пластикового електрода на три показники (рН, ОВП і температури) робить можливим роботу з водою озер, водопроводів, з промисловою водою, дозволяючи виконувати комплексний контроль якості води.



Рис. 2.5 рН-метр МР 511

Інструкцією передбачені наступні способи вимірювання:

- одиничне вимірювання;
- безперервне вимірювання;
- вимірювання у часі.

Пристрій забезпечується гнучким штативом для електрода і зручним управлінням згідно з міжнародними стандартами [87].

Фотоколориметр КФК-3-01 – один з найвідоміших приладів на ринку лабораторного обладнання, який отримав заслужене визнання за надійну та довговічну роботу. Він призначений для дослідження різних матеріалів, що передають світло у видимому спектральному діапазоні й ближніх ІЧ- та УФ-діапазонах [88].

Технічна характеристика фотоколориметра КФК-3-01 наведена у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Технічна характеристика фотоколориметра КФК-3-01

Показник	Значення
Діапазон вимірювань приладу, нм	315-990
Діапазон спектральної роздільної здатності, нм	5
- коефіцієнт пропускання	0,1-100
- оптична щільність	0-3
Похибка пропускання	0,5
Похибка установки довжини хвилі, нм	0-3
Середньоквадратичне відхилення абсолютної похибки	0,15
Диспергуючий елемент – увігнута дифракційна решітка:	
- радіус, мм	250
- кількість штрихів на 1 мм	1200
Живлення мережі змінного струму	220 В, 50/60 Гц
Джерело випромінювання – галогенна лампа	ЦГМ 12-10-2
Тип приладу приймальний радіаційний – фотодіод	ФД 288В
Довжина робочої кювети, мм	1-100
Габаритні розміри, мм	500x360x165

Ваги лабораторні. Для зважування у роботі використали ваги лабораторні електронні 1 клас точності Radwag AS 60/220.R2 (рис. 2.6, табл. 2.4).

Прилад призначений для зважування речовин, проб, дрібних предметів у твердій, рідкій, сипучій формі. Ваги AS 60/220.R2 використовуються в лабораторіях, де необхідна точність 0.1 мг (0.0001 г) для проб до 220 грам. Клас точності відповідає ДСТУ EN 45501-1.



Рис. 2.6 Ваги лабораторні електронні Radwag AS 60/220.R2

Таблиця 2.4

Технічна характеристика вагів лабораторних AS 60/220.R2

Торгова марка	TM RADWAG
1	2
Клас точності	I
Максимальна межа зважування, г	60 / 220
Мінімальна межа зважування, г	0,001
Ціна поділки (дискретність), г	0,00001 / 0,0001
Розмір платформи, Ø	Ø 90
Робочий діапазон температур, °C	від +10 °C до +40 °C
Тип калібровки	внутрішня

Продовження таблиці 2.4

1	2
Тип живлення	від мережі
Ступінь захисту IP	IP40
Матеріал платформи ваг	нержавеюча сталь
Матеріал корпусу ваг	пластик
Інтерфейс	2xUSB-A / USB-B / 2xRS 232
Метрологічні документи	Декларація відповідності
Гарантійний термін, міс.	24

Ваги оснащені захисним ковпаком для захисту від зовнішнього чинника. Монолітна система забезпечує ще вищу точність та повторюваність зважування. Протидія умовам навколишнього середовища — підвищена протидія змінним умовам навколишнього середовища, таким як потоки повітря і зміна вологості забезпечує більш точні вимірювання. – пакет цифрових фільтрів — адаптація ваги до умов роботи на місці. – інтерфейси: USB-A, USB-B, 2xRS 232, Wi-Fi (опція) [89].

Калібруються ваги AS 60/220.R2 автоматично (вбудована функція внутрішнього калібрування), також, можна перевірити точність приладу вручну - еталонною гирею (класу E1, E2). Інструкцією передбачені наступні можливості калібрування: первинне, температурне (при зміні температури на більш ніж 3 градуси), при зміні положення чи вібрації, відповідно до заданого часу. Це дозволяє вагам забезпечувати точність за будь-яких умов експлуатування.

Висновки до розділу 2

На підставі обґрунтування потреби у денітрифікації технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів у ТОВ «КИЇВГУМА», сформульовано мету, об'єкт і предмет дослідження. Це, у свою чергу, обумовило вибір методики та умов експериментального дослідження, яке проводилось у лабораторних умовах кафедри біотехнології, шкіри та хутра КНУТД, а також вищезгаданого підприємства.

У розділі наведено опис та характеристики застосованих у роботі матеріалів (водної рослини ряски *Lemna minor* і технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів до заселення ряски) та лабораторного обладнання.

Для оцінювання ефективності процесу денітрифікації обрали ті показники технологічної води, які надавали необхідну інформацію про вплив умов експерименту (температура; концентрація /витрата/ біомаси) на властивості та якість води: вміст нітратів, значення рН, сухий залишок, зовнішній вигляд. Наголос зроблено на вмісті нітратів, який порівнювали з нормованим показником.

Розділ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Ефективність процесу денітрифікації відпрацьованої технологічної води визначали з урахуванням виду матеріалу, з якого були виготовлені гумові вироби, а саме: синтетичного каучука та натурального каучука.

3.1 Оцінювання ефективності процесу денітрифікації відпрацьованої технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів з синтетичного каучука

Результати дослідження показників технологічної води, одержаної після промивання виробів з синтетичного каучука, наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Показники технологічної води, одержаної після промивання виробів з синтетичного каучука

Показник води	До заселення ряски	Після заселення ряски					
		15 г/дм ³			30 г/дм ³		
		12 год	24 год	48 год	12 год	24 год	48 год
Вміст нітратів, мг/дм ³	78,50	78,50	77,40	75,50	78,50	75,60	73,00
Значення рН	9,64	9,63	9,61	9,35	9,64	9,60	9,20
Сухий залишок, г/дм ³	5,63	5,54	5,48	5,47	5,20	5,29	5,34
Зовнішній вигляд	Мутно-жовта з зеленим відтінком	Мутно-жовта з зеленим відтінком			Мутно-жовта з зеленим відтінком		

На рис. 3.1 графічно відображено вплив умов денітрифікації технологічної води після промивання виробів на основі синтетичного каучука на вміст нітратів.

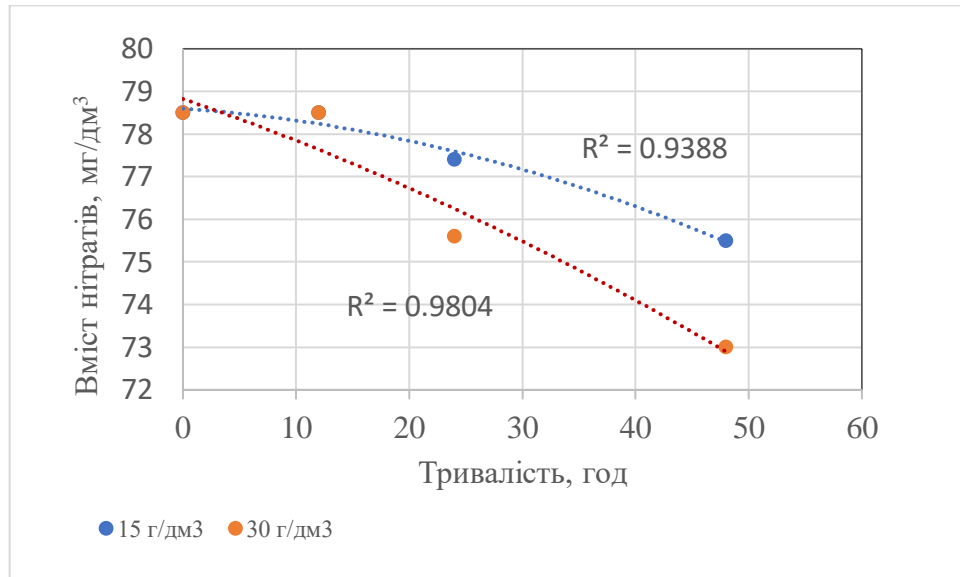


Рис. 3.1 Залежність вмісту нітратів від умов денітрифікації технологічної води після промивання гумових виробів з синтетичного каучука

На підставі цих результатів можна встановити наступні закономірності процесу денітрифікації води, одержаної після промивання виробів з синтетичного каучука, – з підвищенням тривалості інкубування ряски від 0 до 48 год:

- вміст нітратів у технологічній воді зменшується на 3,8 % (з 78,50 до 75,50 мг/дм³) у разі концентрації ряски 15 мг/дм³ і на 7,0 % (з 78,50 до 73,00 мг/дм³) при витраті 30 мг/дм³;
- вміст сухого залишку – зменшується на 2,8-5,2 %;
- значення рН – навпаки, зростає на 0,29-0,44 одиниці.

3.2 Оцінювання ефективності процесу денітрифікації відпрацьованої технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів з натурального каучука

Результати дослідження показників води після промивання виробів з натурального каучука наведені у табл. 3.2 та рис. 3.2, з яких випливає, що у даному випадку з підвищенням тривалості інкубування ряски від 0 до 48 год мають місце наступні закономірності:

- вміст нітратів у технологічній воді зменшується на 18,5 % (з 78,50 до 64,00 мг/дм³) у разі концентрації ряски 15 мг/дм³ і на 46,6 % (з 78,50 до 41,90

мг/дм³) у разі її концентрації 30 мг/дм³;

- вміст сухого залишк також зменшується на 19,3 і 6,7 % відповідно;
- значення рН теж зростає на 0,76 та 0,47 одиниць відповідно.

Таблиця 3.2

Показники технологічної води, одержаної після промивання виробів з натурального каучука

Показник води	До заселення ряски	Після заселення ряски					
		15 г/дм ³			30 г/дм ³		
		12 год	24 год	48 год	12 год	24 год	48 год
Вміст нітратів, мг/дм ³	78,50	78,50	67,87	64,00	78,50	65,40	41,90
Значення рН	5,55	6,28	6,31	6,31	6,18	6,02	6,01
Сухий залишок, г/дм ³	4,19	3,45	3,42	3,38	3,85	3,88	3,91
Зовнішній вигляд	Світложовта, достатньо прозора	Світложовта, достатньо прозора			Світложовта, достатньо прозора		

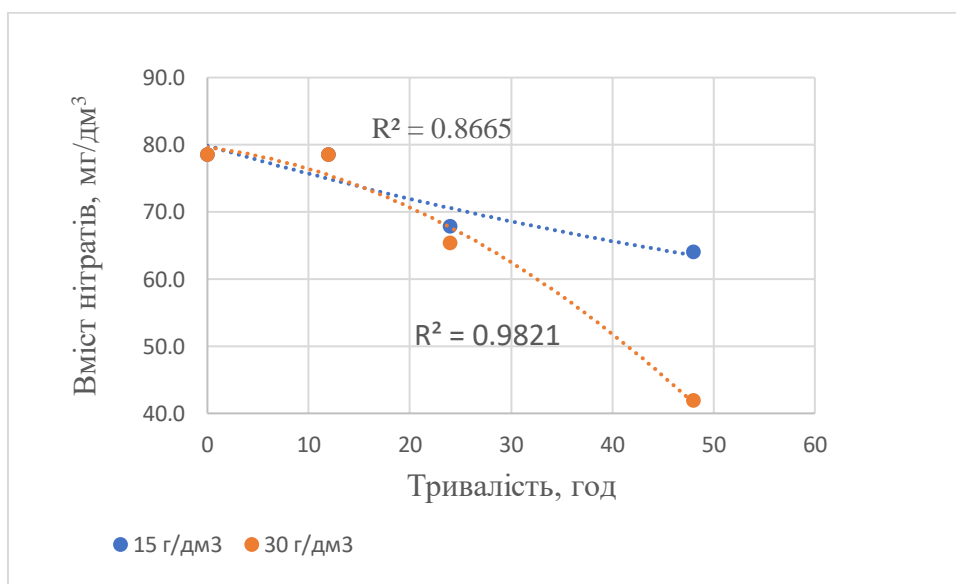


Рис. 3.2 Вплив умов денітрифікації технологічної води після промивання гумових виробів з натурального каучука

На відміну від попереднього експерименту, результати цього експерименту свідчать про доцільність денітрифікації технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів з натурального каучука, що виявляється у суттєвому зниженні вмісті нітратів у відповідності до існуючих вимог.

Вплив походження матеріалу, застосованого для виготовлення гумових виробів, на процес денітрифікації можна пояснити таким чином.

Під час виготовлення синтетичного каучука важливим сополімером є акрилонітріл – азотовмісна речовина, яку отримують з пропілену $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$ та аміаку [90]. Натуральний каучук має біогенне походження: його отримують з соку рослини Гевея бразильська (*Hevea brasiliensis*). Такий каучук під час виготовлення гумової суміші мало наповнюють вулканізуючою групою та іншими активними компонентами, оскільки готові вироби у більшості випадків використовуються для харчової промисловості [90]. Тому, скоріш за все, присутність акрилонітрілу заважає нормальному росту ряски *Lemna minor* у технологічній воді, одержаній після промивання гумових виробів, виготовлених із синтетичного каучука.

Висновки до розділу 3

Результати експериментальних досліджень виявили певні закономірності процесу біологічного очищення від азотовмісних сполук технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів, методом фіторемедіації з використанням у якості біологічного агента ряски *Letna minor*:

- вироби з натурального каучука - використання метаболічного потенціалу ряски *Letna minor* концентрацією 30 г/дм³ протягом 48 год забезпечує зниження вмісту нітратів до 41,90 мг/дм³, що на 27,5 % нижче від нормованого показника для скиду промислових стоків в каналізацію (57,77 мг/дм³);

- вироби на основі синтетичного каучука - вміст нітратів у воді також зменшується, але зовсім незначно: на 3,8 та 7,0 % при використанні 15 та 30 мг/дм³ біомаси ряски *Letna minor* протягом 48 год. Це не відповідає нормованому показнику на скиди промислових стоків у міську каналізацію.

Таким чином, експериментально підтверджена доцільність денітрифікації технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів з натурального каучука, методом фіторемедіації з використанням у якості доступного біологічного агента ряски *Letna minor*.

ВИСНОВКИ

Встановлено доцільність використання біологічних процесів росту та розвитку ряски *Lemna minor* для очищення стічних вод підприємства гумоазбестової промисловості від сполук азоту методом фітореMediaції, оскільки це сприяє збільшенню варіабельності підходів до вирішення проблеми захисту навколишнього середовища від рідких індустриальних відходів.

Встановлено, що ряска *Lemna minor* здатна до денітрифікації відпрацьованої технологічної води, одержаної після промивання гумових виробів з натурального каучука, шляхом використання 30 мг/дм³ біомаси ряски *Lemna minor* протягом 48 год, оскільки це дозволяє знизити вміст у воді нітратів до 41,90 мг/дм³, що на 27,5 % нижче від нормованого показника (57,77 мг/дм³).

Встановлено, що у разі денітрифікації технологічної води після промивання гумових виробів з синтетичного каучука вміст нітратів у воді також зменшується, але зовсім незначно: на 3,8 та 7,0 % при використанні 15 та 30 мг/дм³ біомаси ряски *Lemna minor* протягом 48 год. Це не відповідає нормованому показнику на скиди промислових стоків у міську каналізацію і потребує додаткових досліджень.

Рекомендовано проведення подальших досліджень з удосконалення процесу денітрифікації технологічної води після промивання гумових виробів з натурального та синтетичного каучука у напрямку підвищення рівня ресурсо- та енергоощадності, а саме: оптимізація параметрів витрати біомаси ряски, тривалості і температурного режиму обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sathya, R., Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A., Vijayaraghavan, P., Pavenil, S., & Rejiniemon, T. S. Towards sustainable wastewater treatment by biological methods—A challenges and advantages of recent technologies. *Urban Climate*. 2023. Vol. 47. p. 101378.
URL <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101378>
2. Шандарович, В. Т., Мальований, М. С., Мальований, А. М. Ефективність процесу апамтох для очищення стічних вод від азотовмісних сполук. *Екологічна безпека*. 2014. № 2. С. 114-118.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2014_2_22
3. Вишковська, А. О., Саблій, Л. А. Видалення із стічних вод сполук азоту методом денітрифікації. *Екологічні біотехнології та біоенергетика. Матеріали науково-практ. семінару, присвяч. 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського* (м. Київ, 14 грудня 2018 р.). Київ: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 412-413.
4. Wang, Q., Yang, Z. Industrial water pollution, water environment treatment, and health risks in China. *Environmental Pollution*. 2016. Vol. 218. pp. 358–365.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.011>
5. Rajkumar, D., Palanivelu, K. Electrochemical treatment of industrial wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. 2004. Vol. 113(1–3). pp. 123–129.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.05.039>
6. Liu, S., Ma, Q., Wang, B., Wang, J., Zhang, Y. Advanced treatment of refractory organic pollutants in petrochemical industrial wastewater by bioactive enhanced ponds and wetland system. *Ecotoxicology*. 2014. Vol. 23(4). pp. 689–698.
URL: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1215-9>
7. Buyukkamaci, N., Koken, E. Economic evaluation of alternative wastewater treatment plant options for pulp and paper industry. *The Science of the Total Environment*. 2010. Vol. 408(24). pp. 6070–6078.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.045>

8. Lindholm-Lehto, P. C., Knuutinen, J. S., Ahkola, H. S. J., Herve, S. H. Refractory organic pollutants and toxicity in pulp and paper mill wastewaters. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22(9). pp. 6473–6499.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4163-x>
9. Wang, Z., Xue, M., Huang, K., Liu, Z. Textile dyeing wastewater treatment. *Advances in treating textile effluent*. 2011. Vol. 5. pp. 91-116.
10. Martín, M., Hernández-Crespo, C., Andrés-Doménech, I., Benedito-Durá, V. Fifty years of eutrophication in the Albufera lake (Valencia, Spain): Causes, evolution and remediation strategies. *Ecological Engineering*. 2020. Vol. 155. pp.105932.
11. Liu, Z., Lu, Y., Wang, P., Wang, T., Liu, S., Johnson, A. C., Baninla, Y. Pollution pathways and release estimation of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in central and eastern China. *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 580. pp. 1247-1256.
12. Lefebvre, O., & Moletta, R. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review. *Water research*. 2006. Vol. 40(20). pp. 3671-3682.
13. Kharayat, Y. Distillery wastewater: bioremediation approaches. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2012. Vol. 9(2) pp. 69-91.
14. Wu, L., Wei, W., Xu, J., Chen, X., Liu, Y., Peng, L., Ni, B. J. Denitrifying biofilm processes for wastewater treatment: developments and perspectives. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2021. Vol. 7(1). pp. 40-67.
15. Y. Pan, Y. Liu, L. Peng, H. H. Ngo, W. Guo, W. Wei, D. Wang and B. J. Ni, Substrate Diffusion within Biofilms Significantly Influencing the Electron Competition during Denitrification, *Environ. Sci. Technol.* 2019. Vol. 53. pp. 261–269
16. Mohseni-Bandpi, A., Elliott, D. J., Zazouli, M. A. Biological nitrate removal processes from drinking water supply-a review. *Journal of environmental health science and engineering*. 2013. Vol. 11. pp. 1-11.
17. McCarty, P. L. What is the best biological process for nitrogen removal: when and why?. 2018.

18. Nogales, B., Timmis, K. N., Nedwell, D. B., Osborn, A. M. Detection and diversity of expressed denitrification genes in estuarine sediments after reverse transcription-PCR amplification from mRNA. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002. Vol. 68(10). pp. 5017-5025.
19. Y. F. Cheng, Q. Zhang, G. F. Li, Y. Xue, X. P. Zheng, S. Cai, Z. Z. Zhang and R. C. Jin, Long-term effects of copper nanoparticles on granule-based denitrification systems: Performance, microbial communities, functional genes and sludge properties, *Bioresour. Technol.* 2019. Vol. 289. p. 121707
20. Albina, P., Durban, N., Bertron, A., Albrecht, A., Robinet, J. C., Erable, B. Influence of hydrogen electron donor, alkaline pH, and high nitrate concentrations on microbial denitrification: a review. *International journal of molecular sciences*. 2019. Vol. 20(20). p. 5163.
21. Huang, X., Weisener, C. G., Ni, J., He, B., Xie, D., Li, Z. Nitrate assimilation, dissimilatory nitrate reduction to ammonium, and denitrification coexist in *Pseudomonas putida* Y-9 under aerobic conditions. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 312. p. 123597.
22. Rezvani, F., Sarrafzadeh, M. H., Ebrahimi, S., Oh, H. M. Nitrate removal from drinking water with a focus on biological methods: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. pp. 1124-1141.
23. Kamp, A., Høglund, S., Risgaard-Petersen, N., Stief, P. Nitrate storage and dissimilatory nitrate reduction by eukaryotic microbes. *Frontiers in microbiology*. 2015. Vol. 6. p. 1492.
24. Гвоздяк, П. І. Біологічне очищення води. Енциклопедія Сучасної України. 2004. ISBN 966-02-2074-X
25. Omar, A., Almomani, F., Qiblawey, H., Rasool, K. Advances in Nitrogen-Rich Wastewater Treatment: A Comprehensive Review of Modern technologies. *Sustainability*. 2024. Vol. 16(5). p. 2112.
URL: <https://doi.org/10.3390/su16052112>
26. S. He, L. Ding, X. Wang, Y. Pan, H. Hu, K. Li, H. Ren, Biochar carrier application for nitrogen removal of domestic WWTPs in winter: challenges and

- opportunities, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2018. Vol. 102. pp. 9411–9418
27. Y. Zhao, C. Feng, Q. Wang, Y. Yang, Z. Zhang and N. Sugiura, Nitrate removal from groundwater by cooperating heterotrophic with autotrophic denitrification in a biofilm-electrode reactor. *J. Hazard. Mater.* 2011. Vol. 192. pp. 1033–1039
28. D. Ucar, E. Ubay Cokgor and E. Sahinkaya, Simultaneous nitrate and perchlorate reduction using sulfur-based autotrophic and heterotrophic denitrifying processes. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology.* 2016. Vol. 91. pp. 1471–1477
29. T. Peng, C. Feng, W. Hu, N. Chen, Q. He, S. Dong, Y. Xu, Y. Gao, M. Li, Treatment of nitrate-contaminated groundwater by heterotrophic denitrification coupled with electro-autotrophic denitrifying packed bed reactor. *Biochemical Engineering Journal.* 2018. Vol. 134. pp. 12–21.
30. J. H. Park, O. Choi, T. H. Lee, H. Kim, B. I. Sang, Pyrosequencing analysis of microbial communities in hollow fiber-membrane biofilm reactors system for treating high-strength nitrogen wastewater. *Chemosphere.* 2016. Vol. 163. pp. 192–201.
31. Y. Zhao, B. Zhang, C. Feng, F. Huang, P. Zhang, Z. Zhang, Y. Yang N. Sugiura, Behavior of autotrophic denitrification and heterotrophic denitrification in an intensified biofilm-electrode reactor for nitrate-contaminated drinking water treatment, *Bioresour. Technol.* 2012. Vol. 107. pp. 159–165.
32. L. Zhang, C. Zhang, C. Hu, H. Liu, J. Qu, Denitrification of groundwater using a sulfur-oxidizing autotrophic denitrifying anaerobic fluidized-bed MBR: performance and bacterial community structure. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2015. Vol. 99. pp. 2815–2827.
33. J. H. Luo, H. Chen, Z. Yuan, J. Guo, Methane-supported nitrate removal from groundwater in a membrane biofilm reactor. *Water research.* 2018. Vol. 132. pp. 71–78.
34. O. W. Awe, Y. Zhao, A. Nzihou, D. P. Minh, N. Lyczko, A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies. *Waste Biomass Valorization.* 2017. Vol. 8. pp. 267–283.

35. H.-S. Lee, Y. Tang, B. E. Rittmann, H.-P. Zhao, Anaerobic oxidation of methane coupled to denitrification: fundamentals, challenges, and potential, *Critical reviews in environmental science and technology*. 2018. Vol. 48. pp. 1067–1093.
36. G. J. Xie, C. Cai, S. Hu, Z. Yuan, Complete Nitrogen Removal from Synthetic Anaerobic Sludge Digestion Liquor through Integrating Anammox and Denitrifying Anaerobic Methane Oxidation in a Membrane Biofilm Reactor. *Environmental science & technology*. 2017. Vol. 51. pp. 819–827.
37. F. Di Capua, S. Papirio, P. N. L. Lens, G. Esposito, Chemolithotrophic denitrification in biofilm reactors. *Chemical Engineering Journal*. 2015. Vol. 280. pp. 643–657.
38. K. J. Martin, R. Nerenberg, The membrane biofilm reactor (MBfR) for water and wastewater treatment: principles, applications, and recent developments. *Bioresource technology*. 2012. Vol. 122. pp. 83–94.
39. A. Hosseinzadeh, J.L. Zhou, X. Li, M. Afsari, A. Altaee, Techno-economic and environmental impact assessment of hydrogen production processes using bio-waste as renewable energy resource. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 156. p. 111991.
40. D. Barcytė, M. Pusztai, P. Škaloud, M. Eliáš, When you like other Algae: *Adglutina synurophila* gen. et sp. nov. (Moewusinia, Chlorophyceae), a clingy green microalga associated with *Synura* colonies. *Protist*. 2022. Vol. 173(2). p. 125858.
41. G. Borics, G. Várbiro, J. Falucsikai, Z. Végvári, E. T. Krasznai, J. Görgényi, V. Lerf, A two dimensional morphospace for cyanobacteria and microalgae: Morphological diversity, evolutionary relatedness, and size constraints. *Freshwater Biology*. 2023. Vol. 68(1). pp. 115-126.
42. P. Gernez, M. L. Zoffoli, T. Lacour, T. H. Fariñas, G. Navarro, I. Caballero, T. Harmel, The many shades of red tides: Sentinel-2 optical types of highly-concentrated harmful algal blooms. *Remote Sensing of Environment*. 2023. Vol. 287. p. 113486.
43. D. Nagarajan, D. J. Lee, S. Varjani, S. S. Lam, S. I. Allakhverdiev, J. S. Chang,

- Microalgae-based wastewater treatment–microalgae-bacteria consortia, multi-omics approaches and algal stress response. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 845. p. 157110.
44. M. Demertzioglou, S. Genitsaris, A. D. Mazaris, A. Kyparissis, D. Voutsas, A. Kozari, M. Moustaka-Gouni, A catastrophic change in a european protected wetland: From harmful phytoplankton blooms to fish and bird kill. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 312. p. 120038.
45. C. Chen, T. Tang, Q. Shi, Z. Zhou, J. Fan, The potential and challenge of microalgae as promising future food sources. *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 126. pp. 99-112.
46. S. Choudhary, S. Tripathi, K. M. Poluri, Microalgal-based bioenergy: strategies, prospects, and sustainability. *Energy & Fuels*. 2022. Vol. 36(24). pp. 14584-14612.
47. A. A. Khan, J. Gul, S. R. Naqvi, I. Ali, W. Farooq, R. Liaqat, D. Juchelková, Recent progress in microalgae-derived biochar for the treatment of textile industry wastewater. *Chemosphere*. 2022. Vol. 306. p. 135565.
48. T. S. Chandra, S. N. Mudliar, S. Vidyashankar, S. Mukherji, R. Sarada, K. Krishnamurthi, V. S. Chauhan, Defatted algal biomass as a non-conventional low-cost adsorbent: surface characterization and methylene blue adsorption characteristics. *Bioresource technology*. 2015. Vol. 184. pp. 395-404.
49. P. Nautiyal, K. A. Subramanian, M. G. Dastidar, Experimental investigation on adsorption properties of biochar derived from algae biomass residue of biodiesel production. *Environmental Processes*. 2017. Vol. 4. pp. 179-193.
50. F. Jing, S. P. Sohi, Y. Liu, J. Chen, Insight into mechanism of aged biochar for adsorption of PAEs: reciprocal effects of ageing and coexisting Cd²⁺. *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 242. pp. 1098-1107.
51. S. V. Mohan, N. C. Rao, K. K. Prasad, J. Karthikeyan, Treatment of simulated Reactive Yellow 22 (Azo) dye effluents using *Spirogyra* species. *Waste Management*. 2002. Vol. 22(6). pp. 575-582.

52. Саблій Л.А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: монографія. Рівне: НУВГП. 2013. С. 292
53. Y. A. Bustos-Terrones, A Review of the Strategic Use of Sodium Alginate Polymer in the Immobilization of Microorganisms for Water Recycling. *Polymers*. 2024. Vol. 16(6). p. 788.
54. V. V. Vishakar, N. H. Haran, C. Vidya, M. Mohamed, A. Removal of ammonia in water systems using cell immobilization technique in surrounding environment. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 43. pp. 1513-1518.
55. K. H. D.Tang, S. S. M. Lock, P. S. Yap, K. W. Cheah, Y. H. Chan, C. L.Yiin, Y. H. Chai, Immobilized enzyme/microorganism complexes for degradation of microplastics: A review of recent advances, feasibility and future prospects. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 832. p. 154868.
56. S. P. Sam, R. Adnan, S. L. Ng, Statistical optimization of immobilization of activated sludge in PVA/alginate cryogel beads using response surface methodology for p-nitrophenol biodegradation. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Vol. 39. p. 101725.
57. K. Katam, D. Bhattacharyya, Simultaneous treatment of domestic wastewater and bio-lipid synthesis using immobilized and suspended cultures of microalgae and activated sludge. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019. Vol. 69. pp. 295-303.
58. Z. B. Bouabidi, M. H. El-Naas, Z. Zhang, Immobilization of microbial cells for the biotreatment of wastewater: a review. *Environmental chemistry letters*. 2019. Vol. 17. pp. 241-257.
59. S. Girijan, M. Kumar, Immobilized biomass systems: an approach for trace organics removal from wastewater and environmental remediation. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2019. Vol. 12. pp. 18-29.
60. Y. A. Bustos-Terrones, R. Estrada-Vázquez, B. Ramírez-Pereda, V. Bustos-Terrones, J. G. Rangel-Peraza, Kinetics of a fixed bed reactor with immobilized microorganisms for the removal of organic matter and phosphorous. *Water Environment Research*. 2020. Vol. 92(11). pp. 1956-1965.

61. X. Ouyang, H. Yin, X. Yu, Z. Guo, M. Zhu, G. Lu, Z. Dang, Enhanced bioremediation of 2, 3', 4, 4', 5-pentachlorodiphenyl by consortium GYB1 immobilized on sodium alginate-biochar. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 788. p. 147774.
62. T. Mehrotra, S. Dev, A. Banerjee, A. Chatterjee, R. Singh, S. Aggarwal, Use of immobilized bacteria for environmental bioremediation: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. Vol. 9(5). p. 105920.
63. K. Naseem, M. H. Tahir, F. Farooqi, S. Manzoor, S. U Khan,. Strategies adopted for the preparation of sodium alginate-based nanocomposites and their role as catalytic, antibacterial, and antifungal agents. *Reviews in Chemical Engineering*. 2023. Vol. 39(8). pp. 1359-1391.
64. Y. A. Bustos-Terrones, E. R. Bandala, G. E. Moeller-Chavez, V. Bustos-Terrones, Enhanced biological wastewater treatment using sodium alginate-immobilized microorganisms in a fluidized bed reactor. *Water Science and Engineering*. 2022. Vol. 15(2). pp. 125-133.
65. N. Ran , M. Agami, G. Oron. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. *Water Research*. Vol. 8. pp. 2241-2248.
66. Z. Ferdoushi, F. Haque, S. Khan, M. Haque. The Effects of two Aquatic Floating Macrophytes (*Lemna* and *Azolla*) as Biofilters of Nitrogen and Phosphate in Fish Ponds. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2008. Vol. 8. pp. 253-258.
67. G. Shen, J. Xu. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. *Bioresource Technology*. 2011. Vol. 102. pp. 848-853.
68. A. Mojiri, A. P. Trzcinski, M. J. K. Bashir, S. S. A. Amr, Innovative treatment technologies for sustainable water and wastewater management. *Frontiers in Water*. 2024. Vol. 6. pp. 1-3.
69. H. Tekoğul, Wastewater Treatment of Solid Waste Leachate and Production of Proteinaceous Biomass Using Duckweed Vegetation (*Lemna minor*). *Journal of Coastal Research*. 2023. Vol. 39(2). pp. 296-302.

70. L. Sandoval, S. Zamora-Castro, M. Vidal-Álvarez, J. Marín-Muñiz, Role of wetland plants and use of ornamental flowering plants in constructed wetlands for wastewater treatment: a review. *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9(4). p. 685.
71. F. García-Ávila, A. Avilés-Añazco, R. Cabello-Torres, A. Guanuchi-Quito, M., Cadme-Galabay, H. Gutiérrez-Ortega, R. Alvarez-Ochoa, C. Zhindón-Arévalo, Application of ornamental plants in constructed wetlands for wastewater treatment: A scientometric analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023. 7. p. 100307.
72. I. Hense, A. Beckmann, The representation of cyanobacteria life cycle processes in aquatic ecosystem models. *Ecological Modelling*. 2010. Vol. 221. pp. 2330-2338.
73. N. Rascio, N. La Rocca, Biological Nitrogen Fixation. *Encyclopedia of Ecology*. 2008. p. 419.
74. Голуб, Н. Б. Очистка стічних вод пивоварень за допомогою зелених мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, 14-15 листопада 2019 р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 85-87.
75. Z. Hashmi, M. R. Bilad, J. W. Lim, Fahrurrozi, Y. Wibisono, Recent progress in microalgae-based technologies for industrial wastewater treatment. *Fermentation*. 2023. Vol. 9(3). p. 311.
76. S. Patil, Bioethanol: Technologies, Trends, and Prospects. In *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing*. 2022. pp. 863-884.
77. T. K. Marella, I. Y. López-Pacheco, R. Parra-Saldívar, S. Dixit, A. Tiwari, Wealth from waste: Diatoms as tools for phycoremediation of wastewater and for obtaining value from the biomass. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 724. p. 137960.

78. I. Johnson, M. A. S. Ali, M. Kumar, Cyanobacteria/microalgae for distillery wastewater treatment-past, present and the future. In *Microbial wastewater treatment*. 2019. pp. 195-236.
79. Хільчевський, В.К., Забокрицька, М.Р., Стельмах В.Ю. *Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення*: навч. посібник. Київ: ДІА. 2023. С. 228
ISBN 978-617-7785-40-7
80. Саблій, Л.А. Вибір, розробка та впровадження технологій очищення промислових стічних вод. *Біотехнологія XXI століття: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції, КПІ ім. Ігоря Сікорського м. Київ, 19 травня 2023*. С. 25-30.
81. Ковальчук, В. А. *Очистка стічних вод*. Рівне: Рівненська друкарня. 2002. С. 622.
82. Офіційний сайт комунального підприємства «Броваритепловодоенергія» режим доступу: <https://www.brovteplo.com.ua/>
83. Мельник, Л. І. *Технологія переробки еластомерів*: навч. посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2023. С. 257
84. Фармацевтична енциклопедія режим доступу:
<https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/5953/ryaska-mala>
85. Аристархова, Е. О. Перспективи використання рослин роду *lemna* у біомоніторингу та фіторе mediaції гідроекосистем. *Агроекологічний журнал*. 2016. С. 145-148.
86. Супрунович В. І., Плаксієнко І. Л., Федорова Н. Г., Шевченко Ю. Г. Аналітична хімія в аналізі технологічних та природних об'єктів: навчальний посібник. Дніпропетровськ: УДХТУ, 2003. С. 152.
87. Технічний паспорт приладу рН-метр МР 511
88. Технічний паспорт приладу фотоколориметр КФК-3-01.
89. Технічний паспорт приладу ваги лабораторні електронні 1 клас точності Radwag AS 60/220.R2

90. Давітая, О. В. Текст лекції з навчальної дисципліни «Технологія виробництва і переробки нафтопродуктів». Кременчук : ХНУВС КрЛК, 2023. С. 8-13.

ДОДАТКИ

Додаток А

CERTIFICATE
is awarded to
Yermak Alina

for being an active participant in
III International Scientific and Practical Conference
**“EUROPEAN CONGRESS
OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS”**
24 Hours of Participation
(0,8 ECTS credits)

BARCELONA
25-27 March 2024

sci-conf.com.ua



SCI-CONF.COM.UA

**EUROPEAN CONGRESS
OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS**



**PROCEEDINGS OF III INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
MARCH 25-27, 2024**

**BARCELONA
2024**

EUROPEAN CONGRESS OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS

Proceedings of III International Scientific and Practical Conference

Barcelona, Spain

25-27 March 2024

Barcelona, Spain

2024

2

UDC 001.1

The 3rd International scientific and practical conference “European congress of scientific achievements” (March 25-27, 2024) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2024. 240 p.

ISBN 978-84-15927-35-8

The recommended citation for this publication is:

Ivanov I. Analysis of the phaunistic composition of Ukraine // European congress of scientific achievements. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2024. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-european-congress-of-scientific-achievements-25-27-03-2024-barselona-ispaniya-arhiv/>.

Editor**Komarytsky M.L.***Ph.D. in Economics, Associate Professor*

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine and from neighbouring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

e-mail: barca@sci-conf.com.ua

homepage: <https://sci-conf.com.ua>

©2024 Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua” ®

©2024 Barca Academy Publishing ®

©2024 Authors of the articles

TABLE OF CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

1. *Любич О. Г., Любич О. Я.* 8
ОСОБЛИВОСТІ УДОБРЕННЯ РИЖЮ ЯРОГО (*CAMELINA GLABRATA (DC.)*) У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

BIOLOGICAL SCIENCES

2. *Деснега І. К., Ключович Г. М., Деснега В. І.* 12
БІОТЕХНОЛОГІЯ У ЗАХИСТІ РОСЛИН
3. *Єрмак А. В., Андрєва О. А.* 18
БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД АЗОТОВМІСНИХ СПОЛУК

MEDICAL SCIENCES

4. *Nedostup I. S., Han R. Z., Lotovska T. V., Kazimirchuk I. V., Tereshkun N. M.* 22
CHARACTERISTICS OF STRESS RESISTANCE AND THE CHOICE OF COPING STRATEGIES BY STUDENTS OF THE PROFESSIONAL MEDICAL COLLEGE OF IFN MU DURING THE PANDEMIC
5. *Ахмедова К. М., Ключник І. О.* 25
ОЦІНКА ДИНАМІКИ ЗАХВОРЮВАНОСТІ НА ВІЛ-ІНФЕКЦІЮ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ У 2022-2023 РОКАХ
6. *Леонт'єва З. Р., Магльована Г. М., Іваночко О. Ю., Марусяк С. В.* 28
РОЗПОДІЛ СТУДЕНТІВ ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МЕДИЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ДАНИЛА ГАЛИЦЬКОГО ЗА СТАНОМ ЗДОРОВ'Я НА МЕДИЧНІ ГРУПИ ДЛЯ ЗАНЯТЬ ФІЗИЧНИМ ВИХОВАННЯМ
7. *Назута Л. О., Алиєва С. В.* 32
ОБІЗНАНІСТЬ СЕРЕД СТУДЕНТІВ-МЕДИКІВ ПРО ПАПІЛОМАВІРУСНУ ІНФЕКЦІЮ
8. *Орловська К. В., Кербаж Надія Ріда* 35
ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КЛІЩОВОГО ЛАЙМ-БОРЕЛІОЗУ В УКРАЇНІ У 2021-2023 РР.
9. *Сумцова К. О., Березок В. Ю., Чемич М. Д., Лішневська А. Г.* 37
ЗМІНИ ГЕМАТОЛОГІЧНИХ ТА БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У ХВОРИХ НА ВІРУСНИЙ ГЕПАТИТ С З УРАЖЕННЯМ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ
10. *Торяник І. І.* 44
ДЕРМАТОМІОЗИТ У ДІАГНОСТИЦІ ШКІРНИХ ПРОЯВІВ ОНКОЗАХВОРЮВАНЬ

БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД АЗОТОВМІСНИХ СПОЛУК

Єрмак Аліна Володимирівна

Магістрант

Андреєва Ольга Адіславівна

доктор технічних наук, професор

м. Київ, Україна

Київський національний університет технологій та дизайну

Вступ. Швидкі темпи розвитку людства за останні століття призвели до створення великої кількості промислових об'єктів і транспортних засобів, що негативно позначилось на екологічному стані навколишнього середовища. Виникла необхідність змінити підходи до виробничих практик та поведінки людей щодо довкілля та природних ресурсів. Людство досягло критичної точки, коли без рішучих змін у ставленні до навколишнього середовища стикається з ризиком важких хвороб і вимиранням [1].

Мета роботи – аналіз вітчизняних та зарубіжних доробок в галузі біологічного очищення стічних вод з виявленням наявних та перспективних способів видалення азотовмісних сполук.

Матеріали і методи. У роботі використано загальнонаукові методи дослідження, які полягають у пошуку, зборі, аналізі та систематизації інформації в ракурсі визначеного напрямку дослідження.

Результати та обговорення. Одними із основних забруднювачів стічних вод виступають сполуки азоту, які містяться у промислових та побутових стоках у вигляді сполук амонію, нітритів та нітратів. Потрапляючи у поверхневі водойми, вони спричиняють бурхливий розвиток рослин та збільшення чисельності зоопланктону. Як наслідок, відбувається евтрофікація, різке зниження кількості кисню та прозорості води, зменшення глибини проникнення сонячних променів, що призводить до загибелі флори та фауни водойм [2].

Особливу небезпеку становлять нітрати, які, надходячи до шлунково-кишкового тракту, редукують на нітрити, призводячи до зниження

кисневої ємності крові, розвитку канцерогенних новоутворень, імунодепресивної дії, а також зниження резистентності організму до впливу канцерогенних і мутагенних агентів [3].

Існують різні методи очищення води: механічні, фізичні, фізико-механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, комплексні.

Перевагами біологічних методів очищення є :

- повне аеробне біологічне очищення побутових і промислових стоків при виконанні всіх технологічних вимог, яке здатне забезпечити видалення близько 90 % органічних забруднень, що містяться у воді;

- при підвищенні концентрації забруднюючих речовин у рідині біофільтри не втрачають свою ефективність, крім того, неактуальним стає питання утилізації зайвої кількості активного мулу;

- у разі анаеробного очищення зменшуються витрати на устаткування і супутні експлуатаційні витрати, оскільки не потрібна штучна аерація води [4].

Ряд провідних вітчизняних підприємств почали впроваджувати локальне очищення стічних вод, у тому числі від азотовмісних сполук. До прикладу, ПАТ «НВЦ «Борщагівський хіміко-фармацевтичний завод» (м. Київ) здійснює очищення стічних вод після рідких медичних препаратів. ПАТ Хімфармзавод «Червона зірка» (м. Харків) розпочало роботи з очищення стічних вод від антибіотиків. Також, як приклад, можна навести Болехівський шкіряний завод «Світ шкіри», на якому впроваджено технологію послідовного аноксидно-аеробного біологічного очищення з використанням нітратного рециклу та іммобілізованих мікроорганізмів у діючому аеротенку [5].

Неформові гумові вироби (трубки, профілі, шнури і т.і.) виготовляються методом екструзії з подальшою вулканізацією на лінії розплаву нітрат-нітритних солей. Заключним етапом виготовлення є промивання водою виробу від залишків солей. Саме цей етап виробництва є найбільш водозатратним. Вода для промивання має обмежений ресурс, оскільки накопичує нітрат-нітритні солі до недопустимих концентрацій і перестає виконувати свої прямі функції – очищати продукт від залишків солей. Це призводить до надмірного

використання чистих водних ресурсів.

Зважаючи на те, що більша частина підприємств з перероблення гуми зосереджувалась на сході України, а з лютого 2022 частина була знищена – виробничі потужності сконцентрувалися в центральних регіонах країни, а саме в Київській області. Одним з таких виробництв є ТОВ «Київгума» у м. Бровари, де виготовляються гумові вироби методом екструзії з подальшим відмиванням від нітрат-нітритних солей. Оскільки виробництво активно здійснює свою діяльність, виникає потреба в чистій воді для промивання. Саме тому існує доцільність дослідження біологічного очищення стічних вод на даному підприємстві.

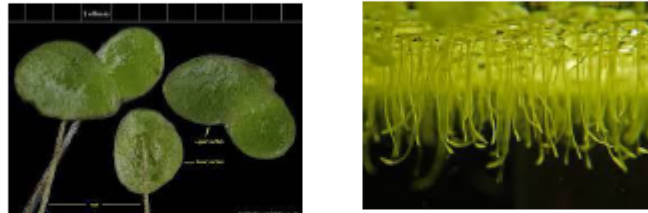


Рис. 1. *Lemna minor*

Останнім часом увагу фахівців привертають водні плаваючі макроліти-крупні багатоклітинні водорості (зелені, червоні, бурі, харові) та водні вищі рослини. Вони поглинають неорганічні поживні речовини, головним чином, корінням, хоча може бути значним і поглинання через листя. Так, представники вільноплаваючої ряски (*Lemnaceae*), а саме *Lemna minor* (рис. 1), *L. gibba*, *Wolffia arrhiza* та *Azolla pinnata*, показали потенційну користь в обробленні евтрофікованої водної системи [6].

Висновки. Таким чином, видалення забруднюючих азотовмісних речовин з відпрацьованої води стало головною задачею підприємств з багатотонажним використанням водного ресурсу в процесі виготовлення цільового продукту. Зважаючи на те, що вітчизняних досліджень з використання рослин для очищення води від сполук азоту за допомогою біологічних методів у вільному доступі недостатньо, нагальною стала потреба у проведенні досліджень у цьому напрямі.

ДЖЕРЕЛА

1. Струтинська Л. Р. Екологічна ефективність харчових і переробних підприємств малого та середнього бізнесу. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. №1 (84). С. 250-257. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.1.35>
2. Шандрович В. Т., Мальований М. С., Мальований А. М. Ефективність процесу анаптох для очищення стічних вод від азотовмісних сполук. *Екологічна безпека*. 2014. № 2. С. 114-118. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2014_2_22
3. Вишковська А. О., Саблій Л. А., Видалення із стічних вод сполук азоту методом денітрифікації. Ресурсозбереження та охорона навколишнього середовища. *Екологічні біотехнології та біоенергетика. Матеріали науково-практ. семінару присвяч. 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського* (м. Київ, 14 грудня 2018 р.). Київ: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 412-413.
4. Романовська Л. А., Саблій Л. А. Порівняння фізико-хімічних та біологічних методів очищення стічних вод. *Екологічні біотехнології та біоенергетика. Матеріали науково-практ. семінару присвяч. 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського* (м. Київ, 14 грудня 2018 р.). Київ: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 78-83. URI: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/26590>
5. Саблій Л. А. Вибір, розробка та впровадження технологій очищення промислових стічних вод. *Біотехнологія XXI століття: матеріали XVII Міжнарод. науково-практ. конф., КПІ ім. Ігоря Сікорського* (м. Київ, 19 травня 2023). Київ: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 25-30.
6. Zannatul Ferdoushi, Farhana Haque, Saleha Khan, Mahfuzul Haque. The Effects of two Aquatic Floating Macrophytes (*Lemna* and *Azolla*) as Biofilters of Nitrogen and Phosphate in Fish Ponds. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2008. Vol. 8. P. 253-258.



«PROMOTING OF EUROPEAN SKILLS AND
APPROACHES FOR SUSTAINABLE
BIOECONOMY IN THE CONDITIONS
OF UKRAINIAN ACUTE CHALLENGES»
(PESAB)

ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА



МОНОГРАФІЯ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

**ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ
ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА**

Монографія

КИЇВ 2024

УДК 338.23:330.34+608.32:502.131.1

З-53

Рецензенти:

Ольшанська О. В. – д-р екон. наук, проф., декан факультету управління та бізнес-дизайну Київського національного університету технологій та дизайну;

Желюк Т. Л. – д-р екон. наук, проф., професор кафедри менеджменту, публічного управління та персоналу Західноукраїнського національного університету.

Авторський колектив:

Розділ I: Фірсова С. Г., Білорус Т. В. (п. 1.1); Оліх Л. А. (п. 1.2); Чернова О. В., Дивнич О. Д. (п. 1.3); Луців Р. С. (п. 1.4);

Розділ II: Власюк Т. М. (п. 2.1); Слюсарєва Л. В., Слюсарєв Д. С. (п. 2.2); Хаустова Є. Б. (п. 2.3.); Будякова О. Ю. (п. 2.4);

Розділ III: Олешко А. А., Мельник Л. С. (п. 3.1); Давиденко С. В. (п. 3.2); Заріцька Н. М. (п. 3.3); Бебко С. В., Кундєєва Г. О. (п. 3.4);

Розділ IV: Новіков Д. В., Рябошапка Т. А. (п. 4.1); Лесюк В. С. (п. 4.2); Замлинський В. А. (п. 4.3.); Замлинська О. В., Городніченко С. А. (п. 4.4); Шацька З. Я., Козут А. Л. (п. 4.5);

Розділ V: Жалдак М. П., Полюга В. О., Мокроусова О. Р. (п. 5.1); Охмат О. А., Мокроусова О. Р. (п. 5.2); Єрмак А. В., Андрєєва О. А. (п. 5.3); Калініченко О. В., Кулик М. І., Лесюк В. С. (п. 5.4); Щербатюк Т. Г. (п. 5.5).

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну (протокол № 11 від 19.06.2024)

З-53 Зелена трансформація та стала біоекономіка: моногр.; за наук. ред. А.А. Олешко, О.Ю. Будякової. Київ: КНУТД, 2024. 496 с. ISBN 978-617-7763-34-4

Монографію підготовлено за підтримки Європейського Союзу в межах проекту ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH, 101127252 «Просування європейських навичок та підходів до сталої біоекономіки в умовах сучасних викликів в Україні» / «Promoting of European skills and approaches for sustainable bioeconomy in the conditions of Ukrainian acute challenges» (PESAB).

Фінансується Європейським Союзом. Проте висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні орган, що надає гранти, не можуть нести за них відповідальності.

ISBN 978-617-7763-34-4

УДК 338.23:330.34+608.32:502.131.1

© Авторський колектив, 2024

© КНУТД, 2024



ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА

РОЗДІЛ 4. БІОЕКОНОМІКА В АГРОПРОМИСЛОВОМУ СЕКТОРІ	247
4.1. Розвиток циркулярної біоекономіки в контексті Smart-спеціалізації регіонів (Новіков Д. В., Рябошапка Т. А.)	247
4.2. Забезпечення економічної ефективності аграрних підприємств в умовах формування сталої біоекономіки (Лесюк В. С.)	264
4.3. Біоекономічні та соціальні аспекти сталого розвитку агропродовольчої сфери (Замлинський В. А.)	301
4.4. Прогнозування попиту на аграрному ринку за допомогою методів інформаційного пошуку в умовах цифрової біоекономічної трансформації агропромислового комплексу України (Замлинська О. В., Городніченко С. А.)	343
4.5. Сталий розвиток агропромислового сектору України на засадах «зеленої економіки» (Шацька З. Я., Когут А. Л.)	361
РОЗДІЛ 5. ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ В ІННОВАЦІЙНІЙ ЕКОНОМІЦІ	383
5.1. Запровадження принципів сталої біоекономіки у переробці сировини біогенного походження (Жалдак М. П., Полюга В. О., Мокроусова О. Р.)	383
5.2. Потенціал біотехнологій для розвитку сталої біоекономіки (Охмат О. А., Мокроусова О. Р.)	415
5.3. Біологічне очищення стічних вод як ключова складова біоекономіки (Єрмак А. В., Андреева О. А.)	433
5.4. Біоекономічна оцінка ефективності виробництва біомаси енергетичних культур в Україні (Калініченко О. В., Кулик М. І., Лесюк В. С.)	455
5.5. Буряківництво в біоенергетиці України (Щербатюк Т. Г.)	482



*Єрмак А. В.
Андреева О. А.*

5.3. Біологічне очищення стічних вод як ключова складова біоекономіки

Важливе значення у питаннях захисту та охорони навколишнього середовища належить біологічним наукам. Екологія, як біологічна дисципліна, вивчає взаємини між організмами, включаючи людину, та їхнє середовище існування. Подальший прогрес у біологічних науках та застосування їх досягнень на практиці є важливим шляхом для вирішення екологічної кризи.

Біотехнологія здійснює важливу роль у цьому процесі, оскільки вона дозволяє розв'язувати низку актуальних екологічних проблем, таких як захист оточуючого середовища від індустріальних, аграрних і комунальних відходів, розклад токсичних речовин, а також розроблення маловідходних промислових процесів для отримання виробів для харчування і лікарських матеріалів, кормів, мінеральної сировини та енергії¹. Екологія та біотехнологія взаємодіють через розробки та інновації, що сприяє екологізації людської діяльності та формуванню гармонійних взаємин між людством і природою, що в свою чергу дає поштовх розвитку та популяризації біоекономіки².

Біоекономіка є важливим елементом сучасних стратегій розвитку, оскільки сприяє вирішенню таких глобальних викликів,

¹ Швед О., Швед О., Новіков В., Вічко О. Біочистка стоків виробництва харчових ферментаційних напоїв. Стан і перспективи харчової науки та промисловості: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, 10-11 жовтня 2019 р., Тернопіль, 2019. С. 153.

² Кляченко О. Л., Мельничук М. Д., Іванова Т. В. Екологічні біотехнології: теорія і практика: навч. посіб. Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.



ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА

як зміна клімату, енергетична безпека та економічний розвиток. Основні аргументи на користь розвитку біоекономіки наведені в наступних наукових дослідженнях:

– *заміна викопних ресурсів на біоосновні рішення*: заміна викопних ресурсів на біоосновні матеріали та енергію є стратегічним напрямом розвитку, прийнятим Європейською комісією. Це дозволяє зменшити екологічний тиск і стимулювати інновації в зеленій економіці, створюючи нові ринки та робочі місця в ЄС. У 2017 році біоекономіка в ЄС забезпечила зайнятість 17,5 мільйонів людей і створила додану вартість у розмірі 614 мільярдів євро³;

– *різноманітні аспекти біоекономіки*: біоекономіка включає три основні напрями – біотехнологічні, біоресурсні та біоекологічні. Біотехнологічний напрям зосереджений на дослідженнях і застосуванні біотехнологій у різних секторах економіки. Біоресурсний напрям фокусується на переробленні та удосконаленні біологічної сировини, тоді як біоекологічний напрям підкреслює важливість сталого використання енергії та ресурсів, підтримку біорізноманіття та уникнення деградації ґрунтів⁴;

– *взаємозв'язок з циркулярною економікою*: біоекономіка також тісно пов'язана з концепцією циркулярної економіки, яка спрямована на зменшення відходів та оптимізацію використання ресурсів. Це включає розвиток технологій, які дозволяють повторне використання біологічних відходів для виробництва енергії та матеріалів, що сприяє загальному зниженню екологічного впливу та підтримує сталий розвиток³⁻⁴.

Загалом, розвиток біоекономіки сприяє не лише екологічно

³ Ronzon, T., Piotrowski, S., Tamosiunas, S., Dammer, L., Carus, M., M'barek, R. Developments of Economic Growth and Employment in Bioeconomy Sectors across the EU. Sustainability. 2020. Vol.12(11) P. 4507.

⁴ Bugge, M. M., Hansen, T., Klitkou, A. What is the bioeconomy? A review of the literature. Sustainability. 2016. Vol. 8(7) P.691.



ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА

сталому розвитку, але й економічному зростанню, створюючи нові можливості для інновацій та підвищення рівня життя у різних регіонах світу.

З початку 2020 року проведено кілька досліджень щодо очищення стічних вод у контексті біоекономіки, деякі з яких наведені нижче.

Використання мікроводоростей у біоекономіці: мікроводорості показали високу ефективність в очищенні стічних вод завдяки, насамперед, своїй здатності поглинати вуглекислий газ та інші поживні речовини з води. Це не тільки допомагає очищати воду, але й дозволяє виробляти біопаливо та інші цінні біологічні продукти, такі як пігменти, омега-3 жирні кислоти, антиоксиданти та корми для тварин⁵.

Циркулярна економіка в очисних спорудах: у рамках циркулярної економіки стічні води розглядаються як цінний ресурс, з якого можна отримувати такі поживні елементи, як фосфор, азот, органічний вуглець. Зазначені підходи дозволяють не лише очищати воду, але й виробляти енергію, знижуючи таким чином залежність від традиційних енергоресурсів. Так, наприклад, установки для очищення стічних вод можуть генерувати біогаз для виробництва електроенергії⁶.

Інновації в мембранних процесах: нові технології, такі як мембранні біореактори MBR та їх комбінація з іншими методами, показали підвищену ефективність в очищенні стічних вод. Наприклад, застосування гальванічних осередків із залізо-вуглецевими мембранами дозволило покращити видалення

⁵ Srimongkol P., Sangtanoo P., Songserm P., Watsuntorn W., Kamchanatat A. Microalgae-based wastewater treatment for developing economic and environmental sustainability: Current status and future prospects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2022. Vol. 10.

⁶ Dereszewska A., Cytawa, S. Circular Economy in Wastewater Treatment Plants—Potential Opportunities for Biogenic Elements Recovery. *Water*. 2023. Vol.15(21) P. 3857.



фенольних сполук та знизити енергоспоживання⁷.

Іншим напрямом є *перетворення органічних речовин зі стічних вод на біогаз за допомогою анаеробного зброджування*. Ця технологія дозволяє отримувати метан, який може використовуватися як джерело відновлюваної енергії⁸. Анаеробні мембранні біореактори (AnMBR) комбінують переваги анаеробного зброджування та мембранної фільтрації, що дозволяє виробляти високоякісні стоки й отримувати енергію з широкого спектра органічних відходів⁹.

Ці дослідження підкреслюють важливість інтеграції сучасних біотехнологій та підходів циркулярної економіки для ефективного очищення стічних вод й відновлення ресурсів, що є ключовими аспектами сталої біоекономіки.

Розроблення та використання біотехнологічних методів очищення стічних вод є критично важливим для підприємств хімічної галузі, оскільки дозволяє ефективно знижувати забруднення навколишнього середовища, одночасно забезпечуючи економічну вигоду. Сучасні біотехнологічні методи, такі як біоплівки, біореактори з фіксованою біомасою, а також використання мікробіодоростей, показали значний потенціал у підвищенні ефективності очищення стічних вод, особливо в умовах хімічної промисловості.

Забруднення поверхневих і підземних водойм нітратами є глобальною проблемою, що викликає дедалі більше занепокоєння і стимулює значний дослідницький інтерес. Азот

⁷ Wang C., Deng S., You N., Bai Y., Jin P., Han, J. Pathways of wastewater treatment for resource recovery and energy minimization towards carbon neutrality and circular economy: technological opinions. *Frontiers in Environmental Chemistry*. 2023. Vol. 4.

⁸ Puyol D., Batstone D. J., Hülsen T., Astals S., Peces M., Krömer J. O. Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects. *Frontiers in Microbiology*. 2017. Vol. 7.

⁹ Leong H. Y., Chang C. K., Khoo K. S., Chew K. W., Chia S. R., Lim, J. W., Chang J. S., Show P. L. Waste biorefinery towards a sustainable circular bioeconomy: a solution to global issues. *Biotechnology for Biofuels*. 2021. Vol.14(1).



має вирішальне значення для життя як макроелемент для живих організмів на Землі, але глобальний цикл азоту був серйозно змінений інтенсифікацією людської діяльності, що призвело до евтрофікації та гіпоксичних умов водних екосистем. Різні промислові процеси також сприяють забрудненню навколишнього середовища молекулами азоту¹⁰.

Надмірне надходження нітратів і фосфатів у воду та вплив сонячної радіації сприяють надмірному росту органічної речовини та розвитку фітопланктону, водоростей та інших зелених рослин¹¹. Поширення цих організмів є ранньою стадією евтрофікації – це спричиняє каламутність води, що призводить до темно-зеленого кольору, що перешкоджає проникненню світла на дно екосистеми, а рослинність не може фотосинтезувати та гине.

Бактерії та інші мікроорганізми живляться мертвою речовиною, знижуючи рівень розчиненого кисню у воді¹². Ця гіпоксія викликає загибель риби, пригнічує розвиток інших живих організмів і призводить до розвитку токсичних і небезпечних речовин, які ставлять під загрозу здоров'я людини¹³.

Проблема полягає не лише в навколишньому середовищі, нітрати також можуть становити серйозну небезпеку для здоров'я людини. Нітрат нетоксичний для здоров'я людини. Фактично, він має позитивну захисну дію на шлунок і протимікробну дію на кишкові патогени. Проте, якщо кількість нітратів підвищена, частина їх може перетворюватися на шкідливі метаболіти (нітрит-іони) шляхом бактеріального зменшення під час оброблення їжі

¹⁰ Fernández-López J. A., Alacid M., Obón J. M., Martínez-Vives R., Angosto J. M. Nitrate-Polluted Waterbodies Remediation: Global Insights into Treatments for Compliance. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(7). P. 4154.

¹¹ Withers P. J. A., Neal C., Jarvie H. P., Doody D. G. Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? *Sustainability*. 2014. Vol. 6(9). P. 5853–5875.

¹² Spiertz J. H. J. Nitrogen, sustainable agriculture and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010. Vol. 30(1). P. 43–55.

¹³ Howarth R. W., Chan F., Conley D. J., Garnier J., Doney S. C., Marino R., Billen G. Coupled biogeochemical cycles: eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2011. Vol. 9(1). P.18–26.



або кишкового транзиту¹⁴. Прийом води з надмірною концентрацією нітратів скорочує людські еритроцити як носії кисню, особливо у дітей, викликаючи летальний стан метгемоглобінемії¹⁵.

На підприємствах з переробки гуми стічні води часто мають високий вміст азоту через використання азотовмісних хімікатів у процесах вулканізації та оброблення гумових виробів. Такі стічні води потребують спеціальних методів очищення для зниження концентрації азоту, щоб запобігти негативному впливу на довкілля.

До лютого 2024 року більшість вітчизняних підприємств з перероблення та виробництва гуми була зосереджена на сході країни, але внаслідок військових дій російської армії їх було знищено. Саме тому ТОВ «Київгума», яке розташоване в м. Бровари Київської області, є одним з основних профільних виробників повного циклу, що забезпечує виробництво гумових виробів технічного та господарського вжитку. Незважаючи на всі скрутні обставини, підприємство успішно працює. Так, щороку збільшується виробництво гумових виробів з вулканізацією на лінії розплаву нітрат-нітритних солей, на що вказують результати власних маркетингових досліджень (рис. 5.3.1). За діючою технологією виготовляються різноманітні гумові вироби: профілі ущільнення до автотранспорту і побутового використання, трубки та шланги промислового призначення тощо. Разом з тим, технологічний процес передбачає післявулканізаційне промивання виробів від залишків солей, через що накопичується значна кількість відпрацьованої води, яка містить нітрат-нітритні солі. Таким чином, на зазначеному підприємстві виникла

¹⁴ Sanchez-Echaniz J., Benito-Fernández J., Mintegui-Raso S. Methemoglobinemia and consumption of vegetables in infants. *Pediatrics*. 2001. Vol. 107(5). P.1024–1028.

¹⁵ Greer F. R., Shannon M. Infant methemoglobinemia: the role of dietary nitrate in food and water. *Pediatrics*. 2005. Vol. 116(3), P.784–786.



ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА

нагальна потреба очищення використаної води від сполук азоту. Над вирішенням цього конкретного завдання працюють автори роботи.

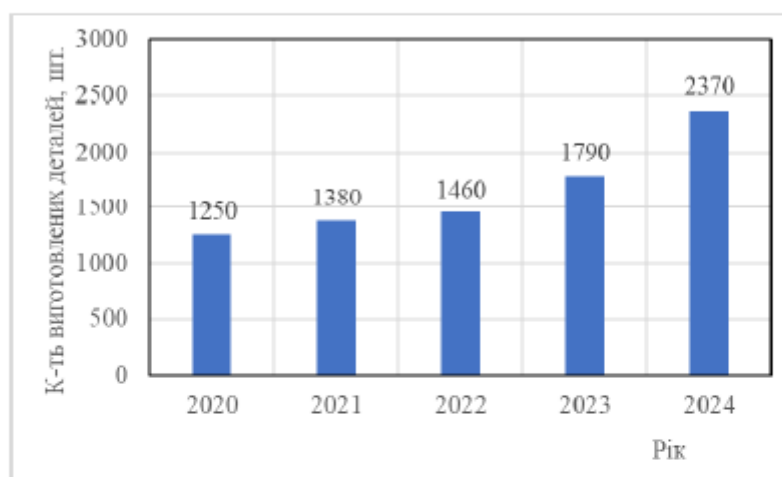


Рис. 5.3.1. Результати авторських маркетингових досліджень діяльності підприємства протягом останніх п'яти років

Джерело: складено авторами

Наведений приклад та огляд літератури переконують у тому, що необхідно змінити підходи до виробничих практик, відношення до довкілля та природних ресурсів. Людство вже досягло тієї критичної точки, коли без рішучих змін у ставленні до навколишнього середовища стикається з ризиком важких хвороб¹⁶ і вимиранням¹⁷.

Процес природного самоочищення водних об'єктів, що підлягають забрудненню, відбувається значно повільно. Виняток становлять гірські річки з високою швидкістю течії, яка сприяє

¹⁶ Струтинська Л. Р. Екологічна ефективність харчових і переробних підприємств малого та середнього бізнесу. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2023. 1(84). С. 250–257.

¹⁷ Бойченко С. В., Лейда К., Іванченко О. В. Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів: тенденції та перспективи розвитку. Наукоємні технології. 2016. 2(30). С. 221–227.



аерації води. Швидше, ніж у природних умовах, відбувається очищення стічних вод на інженерних спорудах, що імітують процеси самоочищення у ґрунтових чи водних середовищах, таких як поля зрошення, поля фільтрації, біологічні ставки, а також контактні фільтри, крапельні біофільтри, перколятори, аеротенки тощо. Інтенсифікація біологічного очищення не лише збільшує їх окисну здатність, але й значно зменшує площу, яку займають ці споруди¹⁸.

Біологічні способи очищення стічних вод включають аеробну та анаеробну деструкцію і мінералізацію колоїдних і розчинених органічних сполук стічних вод, які не можуть бути видалені механічними засобами. Основні методи біологічного очищення стічних вод включають нітрифікацію та денітрифікацію¹⁹. Нітрифікація – це процес, під час якого амоній окиснюється до нітратів за допомогою нітрифікуючих бактерій, таких як *Nitrosomonas* та *Nitrobacter*. Денітрифікація, навпаки, являє собою процес відновлення нітратів до газоподібного азоту (N_2), що відбувається під анаеробними умовами за участі денітрифікуючих бактерій, таких як *Pseudomonas* та *Bacillus*²⁰.

Принцип біологічного очищення води полягає у використанні природних гідробіоценозів для видалення забруднюючих речовин з водного середовища. До складу таких гідробіоценозів гідробіонтів входять мікроорганізми та інші представники флори і фауни, що проживають в активному мулі, біоплівці та очищуваній воді.

Анаеробні та аеробні процеси відіграють важливу роль у біологічному очищенні стічних, використовуючи різні типи

¹⁸ Хільчевський В. К., Забокришка М. Р., Стельмах В. Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посіб. Київ: ДІА, 2023. 228 с.

¹⁹ Савицький В.М., Хільчевський В.К., Чунарьов О.В., Ялох М.В. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: навч. посіб. Київ. «Київський університет», 2007, - 152 с.

²⁰ Omar A., Almomani F., Qiblawey H., Rasool K. Advances in Nitrogen-Rich Wastewater Treatment: A Comprehensive Review of Modern technologies. Sustainability. 2024. Vol. 16(5). P. 2112.



мікроорганізмів. Аеробне очищення включає мікроорганізми, що потребують кисню для розкладання органічних забруднювачів, перетворюючи їх на вуглекислий газ, воду та біомасу. Цей процес зазвичай відбувається в аераційних ставках або резервуарах, де кисень постачається для підтримки мікробної активності. Аеробні системи ефективні для очищення стічних вод з високим рівнем органічних речовин та відомі своїми швидкими темпами обробки і високою ефективністю у зменшенні біохімічного споживання кисню (БСК)²¹.

З іншого боку, анаеробне очищення використовує мікроорганізми, які працюють в умовах відсутності кисню, розкладаючи органічні забруднювачі головним чином на метан, вуглекислий газ та інші побічні продукти через процес анаеробного зброджування. Цей метод зазвичай використовується для стічних вод з високою концентрацією органічних речовин та виробляє менше біомаси порівняно з аеробними системами. Крім того, анаеробне очищення є енергоефективним, оскільки генерує біогаз, який можна використовувати як відновлюваний енергетичний ресурс²².

В роботі²² доведено, що комбінація аеробних та анаеробних процесів може підвищити ефективність очищення стічних вод. Наприклад, спочатку можна використовувати анаеробний процес для зменшення основної маси органічного навантаження, а потім аеробний процес для очищення залишків, оптимізуючи загальну продуктивність обробки та використання енергії. Даний матеріал ще раз доводить важливість розвитку досліджень в галузі біоекономіки.

²¹ Anyango, B. N., Wandera, S. M., & Raude, J. M. (2022). Abattoir Wastewater Treatment in Anaerobic Co-Digestion with Sugar Press Mud in Batch Reactor for Improved Biogas Yield. *Water*, 14(16), 2571. <https://doi.org/10.3390/w14162571>

²² Corsino, S. F., Di Trapani, D., De Marinis, F., Torregrossa, M., & Viviani, G. (2023). Influence of the Oxidation-Settling-Anaerobic (OSA) process on methane production by anaerobic digestion of sewage sludge. *Water*, 15(3), 513. <https://doi.org/10.3390/w15030513>



Автором роботи²³ представлено теоретичне роз'яснення аеробних та анаеробних процесів очищення води.

Аеробні процеси очищення води від органічних речовин. Такі процеси здійснюються бактеріями, які діляться на автотрофи та гетеротрофи. Гетеротрофи споживають готові органічні речовини для отримання енергії та біосинтезу клітин. Автотрофи використовують неорганічний карбон для синтезу клітин, отримуючи енергію з фотосинтезу (за рахунок світла) або хемосинтезу (окисненням таких неорганічних сполук, як аміак, нітриту, сірководень, сірку та солі заліза (II)). В залежності від умов роботи системи, можуть переважати ті чи інші бактерії²³.

Одним із перспективних підходів до очищення стічних вод від сполук азоту є використання біофільтрів. Біофільтри – це системи, в яких мікроорганізми прикріплюються до носія у вигляді гравію, піску чи синтетичних матеріалів, створюючи біоплівку. Ця біоплівка є активним середовищем для нітрифікації та денітрифікації. Дослідження показують, що біофільтри можуть ефективно знижувати концентрацію азотних сполук у стічних водах завдяки високій активності мікроорганізмів та великій поверхні для адсорбції²⁴. Так, у роботах^{25,26} використовувалися біофільтри з носієм із синтетичних матеріалів. Було створено біоплівку з використанням нітрифікуючих та денітрифікуючих бактерій. Протягом 60 днів систематично вимірювали концентрації амонію, нітриту і нітратів у стічних водах до та після проходження через біофільтр. Результати показали, що вміст

²³ Сорокіна К. Б. Теоретичні основи технології очистки води (Теоретичні основи водопідготовки): Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. 2016. – 128 с.

²⁴ Chaudhary D. S., Vigneswaran S., Ngo H., Shim, W. G., Moon H. Biofilter in water and wastewater treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2003. Vol. 20(6). P.1054–1065.

²⁵ Klobukowska K., Rodziewicz J., Mielcarek A., Bryszewski K. L., Janczukowicz W., Bugajski P., Józwiakowski K., Operacz A. Novel materials as exogenous carbon sources for denitrifying biofilters. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 14(1). P.176.

²⁶ Rodziewicz J., Ostrowska K., Janczukowicz W., Mielcarek A. Effectiveness of Nitrification and Denitrification Processes in Biofilters Treating Wastewater from De-Icing Airport Runways. *Water*. 2019. Vol. 11(3). P. 630.



амонію знизився на 85 %, нітритів на 90 %, а вміст нітратів скоротився на 80 % порівняно з початковими значеннями. Цей дослід підтверджує високу ефективність біофільтрів для очищення стічних вод гумової промисловості від сполук азоту.

«У біоценозах очисних споруд трапляються представники трьох класів найпростіших: саркодові (*Sarcodina*), джугутикові (*Mastigophora*) та інфузорії (*Infusoria*) з двома підкласами – війчасті (*Ciliata*) і сисні (*Suctoria*). З інших супутніх організмів важливе значення мають коловертки (*Rotatoria*), що живляться бактеріями, органічним детритом і найпростішими. Крім розглянутих груп організмів, у біоплівці та мулі розвиваються також водні гриби, дріжджі, пліснява, причому в біоплівці трапляються навіть водні кліщі та мушки *Psychod*»²⁷.

Анаеробні процеси очищення води. У таких процесах очищення води²³ відбувається за відсутності розчиненого кисню та більшості інших акцепторів електронів, наприклад, таких як нітрат-іони. За таких умов мікроорганізми використовують карбон, що міститься в органічних молекулах, як акцептор електронів.

Анаеробні мембранні біореактори (AnMBR) поєднують переваги анаеробного очищення з ефективністю мембранного розділення, що дозволяє досягти високого ступеня очищення води. AnMBR-системи забезпечують оптимальні умови для денітрифікації та значно знижують концентрацію нітратів у стічних водах. Вони також мають низьке енергоспоживання та виробляють біогаз, який можна використовувати у якості додаткового джерела енергії²⁸.

Одним з шляхів підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод від органічних речовин, сполук азоту,

²⁷ Сорокіна К. Б. Теоретичні основи технології очистки води (Теоретичні основи водопідготовки): Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. 2016. – 128 с.

²⁸ Kanafin Y. N., Kanafina D., Malamis S., Katsou E., Inglezakis V. J., Pouloupoulos S. G., Arkhangelsky E. Anaerobic Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater Treatment: A Literature review. *Membranes*. 2021. Vol. 11(12). P. 967.



фосфору та ін. є збільшення концентрації активного мулу в об'ємі аеробного біореактора (аеротенка), що дозволяє підвищити окисну потужність споруди, зменшити тривалість процесу та знизити економічні витрати на очищення стічних вод. Для цього використовують іммобілізовані, прикріплені до носіїв мікроорганізми²⁹.

Для очищення промислових стічних вод із високим вмістом органічних речовин (шкірзаводи, м'ясопереробні та молокозаводи) запропоновано двостадійну технологію біологічного очищення з використанням іммобілізованих мікроорганізмів у послідовних анаеробних та аеробних умовах. Так, в одній з публікацій наведено результати очищення стічних вод молокозаводу з використанням експериментальних моделей анаеробного та аеробного біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами³⁰.

Сучасний підхід очищення стічних вод базується на природних процесах видалення різних забруднюючих речовин за допомогою макрофітів і різних водних рослин, плаваючих або занурених³¹.

Значну роль у забезпеченні належної якості води відіграють водні макрофіти. Їх присутність може покращити якість води через здатність поглинати надмірну кількість поживних речовин. Великий інтерес викликає використання плаваючих водних макрофітів для зменшення концентрації шкідливого фітопланктону у стоках із стабілізаційних ставків і для видалення азоту та фосфору з води.

²⁹ Жукова В. С. Застосування носіїв іммобілізованих мікроорганізмів для ефективного біологічного очищення стічних вод. Екологічні біотехнології та біоенергетика: матеріали науково-практичного семінару присвяченого 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського (Київ, 14 грудня 2018). К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 31-34.

³⁰ Саблій Л. А. Вибір, розробка та впровадження технологій очищення промислових стічних вод. Біотехнологія XXI століття: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 19 травня 2023. Київ. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2023. С. 25-30.

³¹ Noemi Ran, Moshe Agami, Gideon Oron. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. *Water Research*. Vol. 8. P. 2241-2248.



Водні плаваючі макрофіти поглинають неорганічні поживні речовини, головним чином, корінням, хоча поглинання через листя також може бути значним. Потенційну корисність в обробленні евтрофікованої водної системи виявили представники вільноплаваючої ряски (*Lemnaceae*), а саме *Lemna minor*, *L. gibba*, *Wolffia arrhiza* та *Azolla pinnata*³².

Завдяки швидкому поширенню, стійкості до високих рівнів поживних речовин і чудовій здатності поглинати поживні речовини, ряска різних видів була використана для відновлення поживних речовин із синтетичних або справжніх свинячих стічних вод. Ряска переважно поглинає амоній, домінуючу форму азоту в стічних водах. За результатами дослідження³³ встановлено, що ряска *Spirodela punctata* 7776 добре росте при високих рівнях азоту та фосфору (240 мг $\text{NH}_4\text{-N/l}$ і 31,0 мг $\text{PO}_4\text{-P/l}$). Найвища досягнута швидкість поглинання поживних речовин і швидкість росту ряски становлять відповідно 0,995 мг N/l-год , 0,129 мг P/l-год і 1,33 г сухої біомаси/ $\text{m}^2\text{-год}$. В результаті порівняльного оцінювання трьох географічних ізолятів ряски (*Lemna gibba* 8678, *Lemna minor* 8627 та *S. punctata* 7776) при обробленні стоків встановлено, що краще виробництво біомаси досягається у разі використання *L. gibba* 8678 та *L. minor* 8627. Завдяки високому вмісту білка біомасу ряски після збору врожаю можна використовувати як цінну добавку до тваринних кормів.

За результатами ряду робіт встановлено, що *Lemna minor* може бути використана для видалення азоту із стічних вод завдяки своєму швидкому росту та високій абсорбційній здатності цього макрофіту. Наприклад, у роботі³⁴ розглядається

³² Zannatul Ferdoushi, Farhana Haque, Saleha Khan, Mahfuzul Haque. The Effects of two Aquatic Floating Macrophytes (*Lemna* and *Azolla*) as Biofilters of Nitrogen and Phosphate in Fish Ponds. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2008. Vol. 8. P. 253–258.

³³ Genxang Shen, Jiele Xu. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. *Bioresource Technology*. 2011. Vol. 102. P. 848–853.

³⁴ Waly M. M., Ahmed T., Abunada Z., Mickovski S. B., Thomson C. Constructed Wetland for Sustainable and Low-Cost Wastewater Treatment: review article. *Land*. 2022. Vol. 11(9). P. 1388.



ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА

застосування штучних водойм, у тому числі з використанням *Lemna minor*, як ефективного методу очищення стічних вод завдяки її здатності до біоаккумуляції та біотрансформації забруднювачів.

Автори дослідження³⁵ також вказують на ефективність використання різних водних рослин, включаючи *Lemna minor*, для очищення стічних вод, що підкреслює значний потенціал цієї рослини у біологічному очищенні води від азоту та інших забруднюючих сполук.

У роботі³⁶ вивчено здатність *Lemna minor* до видалення важких металів зі стічних вод текстильної та шкіряної промисловості. Експериментально встановлено, що *Lemna minor* ефективно знижує концентрацію важких металів у воді, що сприяє зменшенню екологічного навантаження від діяльності галузевих підприємств.

Існують декоративно-квітучі рослини, що мають деякі фізіологічні характеристики, подібні до рослин природних боліт, які можуть стимулювати видалення забруднюючих речовин під час очищення стічних вод. Дослідження³⁷ показало, що найбільш поширеними є чотири роди квіткової декоративної рослинності: *Canna*, *Iris*, *Heliconia* та *Zantedeschia*.

У роботі³⁸ проаналізовано різні типи декоративних рослин, включаючи *Canna* та *Iris*, які використовуються у конструкційних водно-болотних угіддях (CW) для очищення промислових та побутових стічних вод. Проведене дослідження показало, що ці

³⁵ Mojiri A., Trzcinski A. P., Bashir M. J. K., Amr S. S. A. Editorial: Innovative treatment technologies for sustainable water and wastewater management. *Frontiers in Water*. 2024. Vol. 6.

³⁶ Tekoğul H. Wastewater Treatment of Solid Waste Leachate and Production of Proteinaceous Biomass Using Duckweed Vegetation (*Lemna minor*). *Journal of Coastal Research*. 2023. Vol. 39(2). P. 296–302.

³⁷ Sandoval L., Zamora-Castro S., Vidal-Alvarez M., & Marin-Muñiz J. Role of wetland plants and use of ornamental flowering plants in constructed wetlands for wastewater treatment: a review. *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9(4). P. 685.

³⁸ García-Ávila F., Avilés-Añazco A., Cabello-Torres R., Guanuchi-Quito A., Cadme-Galabay M., Gutiérrez-Ortega H., Alvarez-Ochoa R., Zhindón-Arévalo C. Application of ornamental plants in constructed wetlands for wastewater treatment: A scientometric analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023. 7. 100307.



рослини підвищують ефективність систем CW завдяки своїм біофільтраційним властивостям. З точки зору географічного розташування *Canna spp.* зазвичай зустрічається в Азії, *Zantedeschia spp.* часто зустрічається в Мексиці, *Iris* найчастіше використовується в Азії, Європі та Північній Америці, а види роду *Heliconia* зазвичай використовуються в Азії та деяких частинах Америки (Мексика, Центральна та Південна Америка). У цьому огляді також порівнюється використання декоративних рослин із природними водно-болотними рослинами та системами без рослин для видалення забруднювачів – органічних речовин, азоту, сполук азоту та фосфору. Ефективність видалення подібна між квітучими декоративними та природними водно-болотними рослинами. Проте, кращим виявилось видалення забруднюючих речовин у разі використання декоративних рослин.

Слід також зазначити, що синьо-зелені водорості можуть фіксувати азот як самостійно, так і в симбіозі з іншими організмами – грибами, саговниками, водяними папоротями³⁹. Кількість фіксованого за таких умов азоту може перевищувати 300 кг/га на рік⁴⁰.

Автор⁴¹ стверджує, що *Chlorella vulgaris* у стічних водах ефективно знижує концентрацію азоту та фосфору до необхідних нормативів. При тривалому культивуванні видалення низькомолекулярних органічних речовин досягає 95 %, що супроводжується значним приростом біомаси мікробіодоростей. Застосування *Chlorella vulgaris* дозволяє знизити вміст азоту на 78-80 %, а фосфору на 90-95 % порівняно з традиційним аеробним

³⁹ Hense I, Beckmann A. The representation of cyanobacteria life cycle processes in aquatic ecosystem models. *Ecological Modelling*. 2010. Vol. 221. P. 2330–2338.

⁴⁰ Hense I, Beckmann A. The representation of cyanobacteria life cycle processes in aquatic ecosystem models. *Ecological Modelling*. 2010. Vol. 221. P. 2330–2338.

⁴¹ Голуб Н. Б. Очистка стічних вод пивоварень за допомогою зелених мікробіодоростей *Chlorella vulgaris*. Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, 14-15 листопада 2019 р., Київ. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 85–87.



ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА

методом, де зменшення азоту становить лише 45-50 %, а фосфору – 52-54 % при вихідних концентрації 125 г/м³ та 50 г/м³ відповідно. При використанні *Clorella vulgaris* при вмісті нітрогену у стічній воді 120-130 г/м³ швидкість видалення азоту подвоюється. Для зменшення вмісту азоту на 98 % аеробній асоціації потрібно 4 години, тоді як з *Clorella vulgaris* цей результат досягається за 2 години.

У роботі⁴² розглянуто механізми асиміляції нітратів і нітритів у ціанобактеріях. Виявлено, що білки транспортерів NrtC і NrtD у *Synechocystis sp. PCC 6803* відіграють ключову роль у регуляції поглинання нітратів і нітритів, що дозволяє ефективно видаляти ці сполуки з води. Показано, як ціанобактерії можуть використовувати різні джерела азоту для свого росту та життєдіяльності. Наприклад, такі види ціанобактерій, як *Synechococcus sp. strain PCC 7942*, можуть ефективно видаляти нітрати з води. Експериментально встановлено високу швидкість поглинання нітратів, що робить ці мікроорганізми перспективними для використання в системах очищення стічної води. Таким чином, результати дослідження підтверджують, що ціанобактерії мають великий потенціал для використання в біологічному очищенні стічних вод від нітратів та нітритів, що може бути корисним для хімічної та інших галузей промисловості.

У роботі⁴³ наведено українські підприємства, які успішно працюють на біоекономічних засадах та виконують місцеве очищення стічних вод після виробництва рідких медичних препаратів, наприклад, ПАТ «НВЦ «Борщатівський хіміко-фармацевтичний завод» (м. Київ), а також підприємства, які

⁴² Ohashi Y., Shi W., Takatani N., Aichi M., Maeda S., Watanabe S., Yoshikawa H., Omata T. Regulation of nitrate assimilation in cyanobacteria. *Journal of Experimental Botany*. 2011. Vol. 62(4). P. 1411–1424.

⁴³ Саблій Л. А. Вибір, розробка та впровадження технологій очищення промислових стічних вод. Біотехнологія XXI століття: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 19 травня 2023. Київ. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2023. С. 25–30.



ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА

працюють над очищенням стічних вод від антибіотиків (цефалоспоринової групи), зокрема, ПАТ Хімфармзавод «Червона зірка» (м. Харків). Локальне очищення впроваджується також у галузях машинобудування, виробництва вовняних ковдр, м'ясопродуктів, олії тощо. Деякі підприємства застосовують комплексні технології з попереднім фізико-хімічним і подальшим біологічним очищенням, що забезпечує видалення органічних забруднювачів, сполук азоту та фосфору до нормативних вимог для скидання води у природні водойми.

Наприклад, на шкіряному заводі «Світ шкіри» (м. Болехів Івано-Франківської області) впроваджено технологію послідовного аноксидно-аеробного біологічного очищення з нітратним рециклінгом та іммобілізованими мікроорганізмами в аеротенку.

Біотехнологічний підхід також використано на картонно-паперовій фабриці у м. Понінка Хмельницької області, де первинні відстійники реконструйовано в біокогулятори з попередньою аерацією.

Таким чином, на підставі аналізу літературних джерел можна зробити висновок про те, що використання біологічних методів очищення стічних вод представляє собою невід'ємну та перспективну складову біоекономіки. Впровадження біологічних методів очищення стічних вод у промислові процеси може суттєво знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище та сприяти розвитку сталих технологій у хімічній та інших секторах економіки. Крім того, використання біологічних способів у системах очищення води сприяє зниженню енергетичних витрат й утворення вторинних забруднювачів, що підвищує загальну ефективність та економічність процесів очищення стічних вод.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Бойченко С. В., Лейда К., Іванченко О. В. Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів: тенденції та перспективи розвитку. *Наукоємні технології*. 2016. № 2(30). С. 221–227.
2. Голуб Н. Б. Очистка стічних вод пивоварень за допомогою зелених мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. *Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (14-15 листопада 2019 р., м. Київ)*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 85–87.
3. Жукова В. С. Застосування носіїв іммобілізованих мікроорганізмів для ефективного біологічного очищення стічних вод. *Екологічні біотехнології та біоенергетика: матеріали науково-практичного семінару присвяченого 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського (Київ, 14 грудня 2018)*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 31–34.
4. Кляченко О. Л., Мельничук М. Д., Іванова Т. В. Екологічні біотехнології: теорія і практика: навч. посіб. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.
5. Саблій Л. А. Вибір, розробка та впровадження технологій очищення промислових стічних вод. *Біотехнологія XXI століття: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції (19 травня 2023 р., м. Київ)*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 25–30.
6. Савицький В. М., Хільчевський В. К., Чунарьов О. В., Яцок М. В. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: навч. посіб. Київ : «Київський університет», 2007. 152 с.
7. Сорокіна К. Б. Теоретичні основи технології очистки води (Теоретичні основи водопідготовки): конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 128 с.



ЗЕЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА СТАЛА БІОЕКОНОМІКА

8. Струтинська Л. Р. Екологічна ефективність харчових і переробних підприємств малого та середнього бізнесу. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. № 1 (84). С. 250–257.

9. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Стельмах В. Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посіб. Київ: ДІА, 2023. 228 с.

10. Швед О., Швед О., Новіков В., Вічко О. Біоочистка стоків виробництва харчових ферментаційних напоїв. *Стан і перспективи харчової науки та промисловості: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, 10-11 жовтня 2019 р. Тернопіль, 2019. С. 153.*

11. Anyango B. N., Wandera S. M., Raude J. M. Abattoir Wastewater Treatment in Anaerobic Co-Digestion with Sugar Press Mud in Batch Reactor for Improved Biogas Yield. *Water*. 2022. № 14 (16). 2571. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14162571>.

12. Bugge M. M., Hansen T., Klitkou A. What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability*. 2016. № 8 (7). 691. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8070691>.

13. Chaudhary D. S., Vigneswaran S., Ngo H., Shim, W. G., Moon H. Biofilter in water and wastewater treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2003. № 20 (6). P.1054–1065.

14. Corsino S. F., Di Trapani D., De Marines F., Torregrossa M., Viviani G. Influence of the Oxidic-Settling-Anaerobic (OSA) process on methane production by anaerobic digestion of sewage sludge. *Water*. 2023. № 15 (3). 513. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15030513>.

15. Dereszewska A., Cytawa, S. Circular Economy in Wastewater Treatment Plants : Potential Opportunities for Biogenic Elements Recovery. *Water*. 2023. № 15 (21). 3857.

16. Ferdoushi Z., Haque F., Khan S., Haque M. The Effects of two Aquatic Floating Macrophytes (*Lemna* and *Azolla*) as Biofilters of



Nitrogen and Phosphate in Fish Ponds. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2008. № 8. P. 253–258.

17. Fernández-López J. A., Alacid M., Obón J. M., Martínez-Vives R., Angosto J. M. Nitrate-Polluted Waterbodies Remediation: Global Insights into Treatments for Compliance. *Applied Sciences*. 2023. № 13 (7). 4154.

18. García-Ávila F., Avilés-Añazco A., Cabello-Torres R., Guanuchi-Quito A., Cadme-Galabay M., Gutiérrez-Ortega H., Alvarez-Ochoa R., Zhindón-Arévalo C. Application of ornamental plants in constructed wetlands for wastewater treatment: A scientometric analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023. № 7 (3). 100307.

19. Greer F. R., Shannon M. Infant methemoglobinemia: the role of dietary nitrate in food and water. *Pediatrics*. 2005. № 116 (3). P. 784–786.

20. Hense I., Beckmann A. The representation of cyanobacteria life cycle processes in aquatic ecosystem models. *Ecological Modelling*. 2010. № 221. P. 2330–2338.

21. Howarth R. W., Chan F., Conley D. J., Garnier J., Doney S. C., Marino R., Billen G. Coupled biogeochemical cycles: eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2011. № 9 (1). P.18–26.

22. Kanafin Y. N., Kanafina D., Malamis S., Katsou E., Inglezakis V. J., Pouloupoulos S. G., Arkhangelsky E. Anaerobic Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater Treatment: A Literature review. *Membranes*. 2021. № 11 (12). 967.

23. Kłobukowska K., Rodziewicz J., Mielcarek A., Bryszewski K. Ł., Janczukowicz W., Bugajski P., Józwiakowski K., Operacz A. Novel materials as exogenous carbon sources for denitrifying biofilters. *Applied Sciences*. 2023. № 14 (1). 176.

24. Leong H. Y., Chang C. K., Khoo K. S., Chew K. W., Chia S. R., Lim, J. W., Chang J. S., Show P. L. Waste biorefinery towards a



sustainable circular bioeconomy: a solution to global issues. *Biotechnology for Biofuels*. 2021. № 14 (1). DOI:10.1186/s13068-021-01939-5.

25. Mojiri A., Trzcinski A. P., Bashir M. J. K., Amr S. S. A. Editorial: Innovative treatment technologies for sustainable water and wastewater management. *Frontiers in Water*. 2024. № 6.

26. Ohashi Y., Shi W., Takatani N., Aichi M., Maeda S., Watanabe S., Yoshikawa H., Omata T. Regulation of nitrate assimilation in cyanobacteria. *Journal of Experimental Botany*. 2011. № 62 (4). P. 1411–1424.

27. Omar A., Almomani F., Qiblawey H., Rasool K. Advances in Nitrogen-Rich Wastewater Treatment: A Comprehensive Review of Modern technologies. *Sustainability*. 2024. № 16 (5). 2112.

28. Puyol D., Batstone D. J., Hülsen T., Astals S., Peces M., Krömer J. O. Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects. *Frontiers in Microbiology*. 2017. № 7. 2106. DOI: 10.3389/fmicb.2016.02106.

29. Ran N., Agami M., Oron G. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. *Water Research*. 2004. № 38 (9). P. 2241–2248. DOI: 10.1016/j.watres.2004.01.043

30. Rascio N., La Rocca N. Biological Nitrogen Fixation. *Encyclopedia of Ecology*. 2008. P. 419.

31. Rodziewicz J., Ostrowska K., Janczukowicz W., Mielcarek A. Effectiveness of Nitrification and Denitrification Processes in Biofilters Treating Wastewater from De-Icing Airport Runways. *Water*. 2019. № 11(3). 630.

32. Ronzon T., Piotrowski S., Tamosiunas S., Dammer L., Carus M., M'barek R. Developments of Economic Growth and Employment in Bioeconomy Sectors across the EU. *Sustainability*. 2020. № 12 (11). 4507. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114507>.



33. Sanchez-Echaniz J., Benito-Fernández J., Mintegui-Raso S. Methemoglobinemia and consumption of vegetables in infants. *Pediatrics*. 2001. № 107 (5). P.1024–1028.
34. Sandoval L., Zamora-Castro S., Vidal-Álvarez M., Marín-Muñoz J. Role of wetland plants and use of ornamental flowering plants in constructed wetlands for wastewater treatment: a review. *Applied Sciences*. 2019. № 9 (4). 685.
35. Shen G., Xu J. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. *Bioresource Technology*. 2011. № 102. P. 848–853.
36. Spiertz J. H. J. Nitrogen, sustainable agriculture and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010. № 30 (1). P. 43–55.
37. Srimongkol P., Sangtanoo P., Songserm P., Watsuntorn W., Karnchanatat A. Microalgae-based wastewater treatment for developing economic and environmental sustainability: Current status and future prospects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2022. № 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.904046>.
38. Tekoğul H. Wastewater Treatment of Solid Waste Leachate and Production of Proteinaceous Biomass Using Duckweed Vegetation (*Lemna minor*). *Journal of Coastal Research*. 2023. № 39 (2).
39. Waly M. M., Ahmed T., Abunada Z., Mickovski S. B., Thomson C. Constructed Wetland for Sustainable and Low-Cost Wastewater Treatment: review article. *Land*. 2022. № 11(9). 1388.
40. Wang C., Deng S., You N., Bai Y., Jin P., Han J. Pathways of wastewater treatment for resource recovery and energy minimization towards carbon neutrality and circular economy: technological opinions. *Frontiers in Environmental Chemistry*. 2023. № 4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvc.2023.1255092>.
41. Withers P. J. A., Neal C., Jarvie H. P., Doody D. G. Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? *Sustainability*. 2014. № 6 (9). P. 5853–5875.