

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

НАУКОВА РОБОТА

**Для участі у Всеукраїнському конкурсі студентських та наукових робіт з
природничих, технічних і гуманітарних наук**

Тема:

«Очищення стічних вод від біогенних елементів мікроводоростями»

ШИФР РОБОТИ «СТІЧНІ ВОДИ»

2018 – 2019 н.р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ МЕТАБОЛІЗМУ МІКРОВОДОРОСТЕЙ.....	4
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	10
РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ В ТЕХНОЛОГІЯХ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД.....	12
3.1. Впровадження технології.....	12
3.2. Економічний ефект впровадження.....	16
3.2.1. Комунальні очисні споруди.....	16
3.2.2. Очисні споруди пивоварень.....	17
ВИСНОВОК	18
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	19

ВСТУП

Значні концентрації біогенних елементів у водоймах спричиняють зменшення вмісту розчиненого кисню, чинять токсикологічний вплив на рибу, впливають на збільшення біобіомаси, які викликають корозію систем водопостачання, пришвидшений ріст водної біоти та фітопланктону, що, у свою чергу, впливає на якість води. Вона стає мутною, колір змінюється на зелений, жовтий, коричневий або червоний. Це унеможлиблює її використання для рекреації, риболовлі, для відпочинку та побутових потреб. Також небезпеку становить виробництво фітопланктоном токсинів, які можуть спричинити проблеми зі здоров'ям через потрапляння у людський організм після контакту зі шкірою або вживання забрудненої води для пиття.

Азот, який належить до біогенних елементів, найбільшою мірою необхідний для росту живих організмів. Понаднормове підвищення концентрації біогенних елементів (в основному сполук азоту та фосфору) у водних об'єктах відоме як евтрофікація. Вона може бути спричинена природними процесами, коли поверхневі води несуть з собою значну кількість органічного матеріалу та біогенних елементів в озера та океани, проте, переважно, цей процес спричинений людською діяльністю [1].

РОЗДІЛ 1.ОСОБЛИВОСТІ МЕТАБОЛІЗМУ МІКРОВОДОРОСТЕЙ

Хлорела— рід мікроскопічних одноклітинних зелених водоростей, має вигляд мікроскопічної нерухомої (без джгутиків) кульки від 2 до 10 мкм у діаметрі. Зовні клітини вкриті твердою двоконтурною оболонкою целюлозної природи. Оболонка багатьох видів містить шар спорополеніну, що надає їй хімічної стійкості та міцності. У цитоплазмі міститься один пристінний чашоподібний хлоропласт з одним піреноїдом у потовщеній його частині. Піреноїд зазвичай оточений крохмальною оболонкою. Ядро одне, однак у живій клітині без спеціальної обробки його не видно. Запасні речовини — крохмаль та безбарвна олія. Колоній та агрегатів не утворює. Вперше описана М. Беєринком 1890 року із ставку в Делфті, що у Голландії. Типом роду є вид *Chlorella vulgaris* Beijer.

За оцінками, "*C. vulgaris*" перебувала на Землі більше 2,5 мільярдів років. Протягом цього часу вона потребувала еволюції для виживання, в результаті чого багато корисних функцій ми використовуємо сьогодні (Liebke). Хлорела невибаглива до умов існування і завдяки простому життєвому циклу здатна до інтенсивного розмноження, тому є космополітом: у прісних водоймах, морях, ґрунті та аерофітоні. Може бути симбіонтом найпростіших та фікобіонтом лишайників. У зоологічній літературі зустрічається під назвою зоохлорела. Хлорела використовує 25 — 30% сонячної енергії, у той час як квіткові рослини — тільки 7-13% [2].

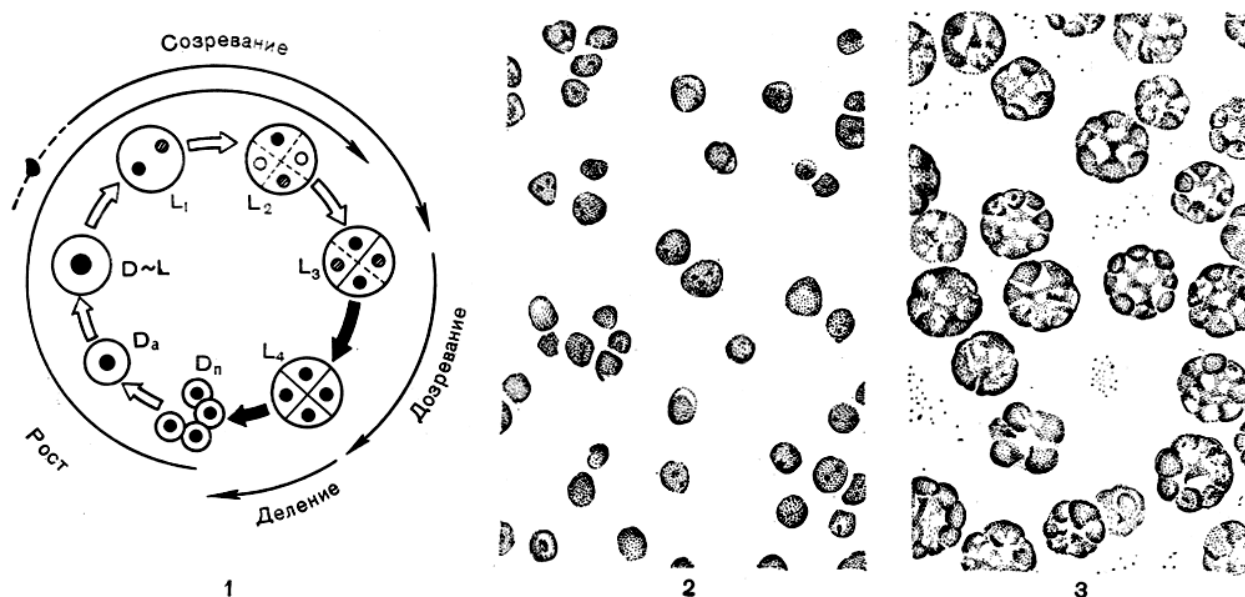


Рис.1. Життєвий цикл мікроводорості

З мікроводоростей, в першу чергу, стали застосовувати при масовому культивуванні одноклітинні протококові водорості (відділ Chlorophyta), зокрема хлорелу і сценедесмус. У них повністю відсутнє статеве розмноження і зростання культури йде за рахунок формування в материнській клітині дочірніх автоспор, яких може бути в нормі 2, 4, 8, 16, 32 в залежності від штаму і умов культивування (рис.2). Після закінчення поділу автоспори виходять з клітини шляхом розриву оболонки; молоді клітини, інтенсивно фотосинтезуючи, ростуть до стадії дозрівання, і весь цикл повторюється спочатку. У певні періоди розвитку циклу клітини потребують світла, а в інші розвиток може проходити в темряві. Ця особливість полегшує отримання синхронних культур водоростей, тобто культур, у яких усі клітини знаходяться на одній і тій же стадії розвитку.

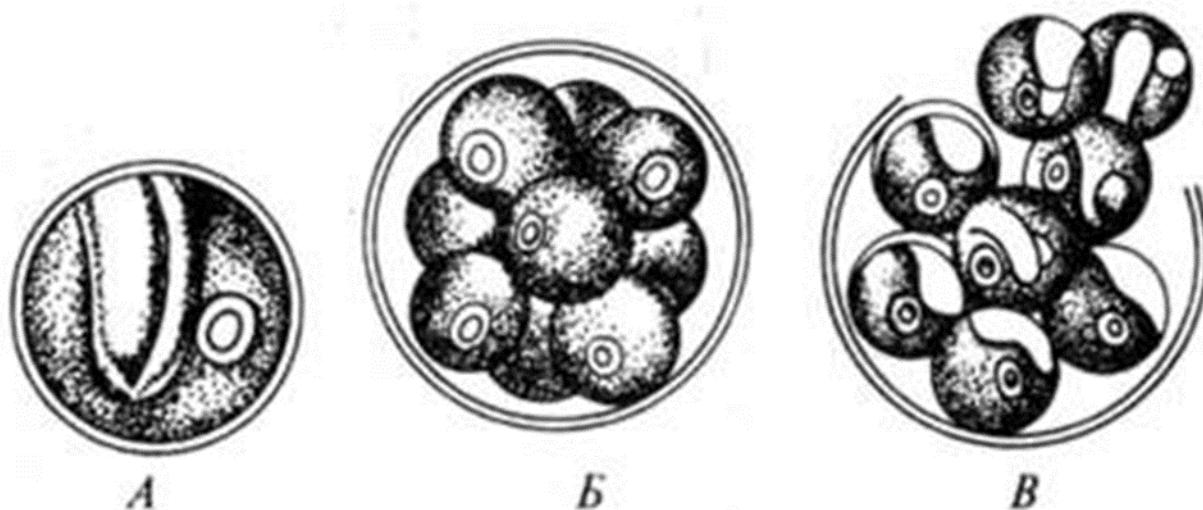


Рис. 2. Розмноження хлорели: А - вегетативна клітина; Б - утворення автоспор;
В - вихід автоспор назовні

Як видно з характеру ділення клітин, за відсутності обмежуючих факторів, зростання числа клітин відбувається в геометричній прогресії, відповідно до рівняння:

$$kN = \frac{dN}{dt},$$

де k - питомий коефіцієнт розмноження, N - вихідне число клітин, dN - приріст числа клітин за час dt [3].

Однак у звичайній накопичувальній культурі в міру збільшення числа клітин і зміни умов (виснаження живильного середовища, самозатінення клітин, накопичення прижиттєвих виділень) відбувається уповільнення темпу поділу і накопичення біомаси.

Оскільки фотосинтезуючі організми, на відміну від гетеротрофних, потребують променевої енергії світла, проникнення і розподіл його в суспензії є істотним чинником забезпечення інтенсивного фотосинтезу. У зв'язку з цим важливою властивістю культур мікроскопічних водоростей є гомогенність суспензії. Різниця в величині дочірніх і материнських клітин завдяки мікроскопічним розмірам не робить істотного впливу на світлорозподілення в суспензії, і з деяким наближенням суспензії мікроскопічних водоростей можна розглядати як пофарбований розчин, поглинання і розподіл світла в якому

підкоряються відомому закону Бугера - Ламберта - Бера, тобто перебувають в логарифмічній залежності від концентрації клітин.

В середньому в сухій біомасі хлорели міститься 10-20% вуглеводів. Значну частину їх становить крохмаль, хоча у деяких представників, навіть в межах роду *Chlorella*, вуглеводи можуть бути представлені переважно геміцелюлозами. Ліпіди складають 20-30% і відрізняються значним вмістом ненасичених жирних кислот. Співвідношення жирних кислот у хлорели схоже з співвідношенням, яке характерно для більшості рослинних масел.

Біологічний склад клітини хлорели показаний на рис.4. Хімічний склад культур хлорели досить стабільний. Разом з тим привертає увагу надзвичайно висока пластичність метаболізму хлорели і її здатність радикально міняти спрямованість біосинтезу в залежності від умов культивування і за різних впливів. Давно було доведено для деяких культур хлорели, що в умовах азотного голодування в клітинах може накопичуватися до 85% ліпідів [3].

На рис. 3 та 5 ми бачимо різницю між клітинами Хлорелли та Спіруліни.

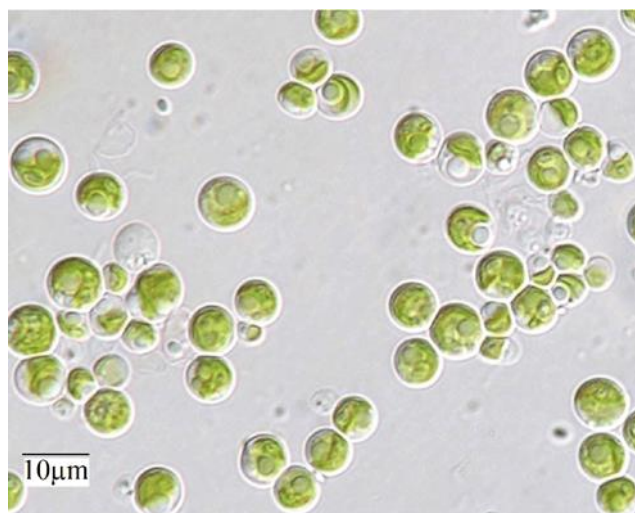


Рис.3 Клітини хлорели під мікроскопом

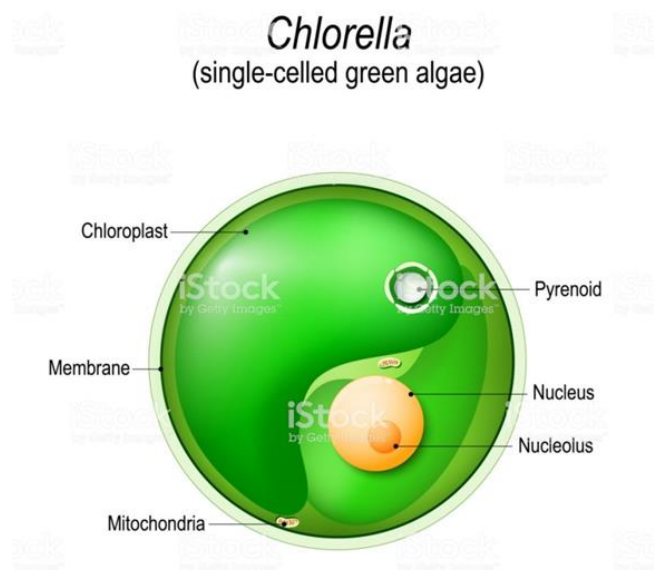


Рис.4 Структура клітини хлорели



Рис. 5 Клітини спіруліни під мікроскопом

Зазвичай практика передбачає зростання популяцій у фотобіореакторах [4]. Фотоавтотрофний ріст *C. vulgaris* зазвичай обмежений виснаженням поживних речовин (особливо азоту), ослабленням світла, зміною рН, обмеженням вуглецю і накопиченням фотосинтетичного кисню. Досліджено кілька застосувань "*C. vulgaris*". По-перше, завдяки високим мінеральним і білковим рівням, ціводорості використовується у вітамінах і навіть вважається життєздатною їжею при зневодненні та значно впливає на зміцнення здоров'я людини . По-друге, багато водоростей виробляють ліпіди завдяки фотосинтезу. Це робить ці організми життєздатним джерелом біопалива. "*C. vulgaris*" - вміст

ліпідів на біомасу становить приблизно 42%. Це більше, ніж соя, цукровий очерет і кукурудза; роблячи його життєздатною альтернативою біодизелю [5]. За сучасних технологій вона може відповідати цінам на нафту в 63,97 долара за барель. Стічні води обробляються навіть у текстильному виробництві. Дослідження показують, що "*C. vulgaris*" зменшив колірний барвник на 41,8%, амоній на 44%, фосфат на 33%, вуглекислий газ на 33-62% [6]. Також розглядалася можливість "*C. vulgaris*" для зменшення викидів від електростанції. Це в основному стосується здатності до швидкого зростання та різноманітності використання [7].

Мікродорості - це альтернатива для очищення стічних вод, оскільки вони забезпечують третинне біоочищення в поєднанні з виробництвом потенційно цінної біомаси, яка може бути використана для кількох цілей. Культури мікродоростей пропонують елегантне рішення для третинного очищення та останнього етапу доочистки стічних вод, завдяки здатності мікродоростей використовувати неорганічний азот і фосфор для їх зростання [8]. Але дослідження щодо мікродоростей та їх здатності до очищення від біогенних елементів почали проводитися ще з 40-х років 20 століття. Хоча наразі більшість з цих досліджень не набули свого практичного застосування в межах водоочисних підприємств.

Тому ця тема дуже актуальна сьогодні і багато вчених повертаються до вивчення мікродоростей та їх застосування не тільки для очищення води, але й для застосування у інших галузях промисловості.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Методологія експериментальних досліджень включатиме загальну структуру експерименту (методику), тобто постановку та послідовність виконання експериментальних досліджень для підтвердження наукової гіпотези щодо ефективності використання мікроводоростей для очищення муніципальних стічних вод від біогенних сполук.

Обладнання:

1. Ємності для культивування мікроводоростей (акваріум або прозорий резервуар-фотореактор).
2. Підігрівач для води.
3. Лампа люмінесцентна з потужністю залежно від об'єму (на 4 літри потужність від 2.5 до 5 Вт).
4. Термометр.
5. Спектрофотометр.
6. Кювети для спектрофотометру.
7. Реактиви для спектрофотометру на фосфати та нітрати.
8. Високоточні ваги.
9. Культура мікроводоростей *Chlorella vulgaris*.
10. Високоточний електричний мікроскоп.
11. рН-метр.
12. Фільтри або сифон

Фактори впливу на об'єкт дослідження:

1. Температура води.
2. рН води.
3. Концентрація мікроводоростей.
4. Освітленість.
5. Концентрація сполук фосфору та азоту.
6. Концентрація CO_2 .

Хід експерименту:

- I. Підготовка обладнання та аналіз проб стічних вод до очищення.
Резервуари оснащені терморегуляторами та термометрами. Також встановлено штучне світло для кожного резервуара. За наявності кліматичної шафи терморегулятори не потрібні.
Паралельно проводилось три дослідження: один контрольний та два з пробами.
- II. В резервуари (акваріуми) була додана культура мікроводоростей Хлорела.
- III. Проміжні тести на сполуки фосфору та азоту (фотометричним методом за допомогою спектрофотометру), перевірялася концентрація клітин хлорели (за допомогою електричного мікроскопа) та фіксувалися показники росту культури мікроводорості.
- IV. Коли показники сполук фосфору та азоту зрівнялись з нормою відповідно до стандартів цих показників у стічних водах, мікроводорості були вилучені з резервуару методом відстоювання при низькій температурі та вилучені за допомогою сифона.
- V. Очищену воду можна скидати у природні водойми.
- VI. Вилучену біомасу мікроводоростей застосовують для вироблення біодобрива, через достатній вміст біогенних елементів, а також для вироблення біопалива.

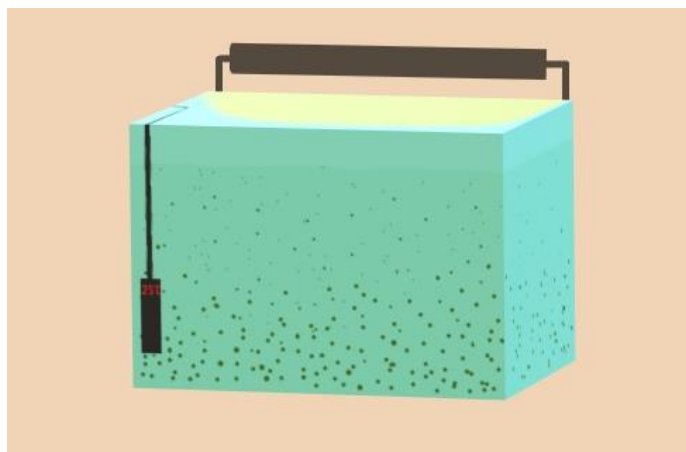


Рис.6. Резервуар з культурою мікроводоростей Хлорела

РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ В ТЕХНОЛОГІЯХ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

3.1. Впровадження технології

Ефективність очищення стоків із застосуванням первинного механічного методу дорівнює 60% [9].

Вивчивши всі діючі пристосування для нейтралізації стічних вод можна розглянути, як відбувається нейтралізація стоків. Складається вона з декількох етапів:

- Спочатку всі стоки з підприємств і житлових масивів міста потрапляють в спеціально змонтований водозбірник, звідки після транспортуються на очисну станцію.
- Перший основний етап нейтралізації виробничих (промислових) стоків — механічне очищення. Тобто проходження стоків через спеціальні фільтри, сітки і ґрати для відділення сміття великого розміру. Крупно дисперсне сміття потрапляє в шламозбірник.
- Наступний етап (стадія) очищення води — її перекачування в спеціальний відстійник, де відбувається подальше гравітаційне осадження частинок забруднення та їх видалення з води. У відстоюванні беруть участь і пісковловлювачі.
- Далі відстоювана вода проходить стадію освітлення з використанням коагулянтів і подається в прес-фільтри. Тут під великим тиском вода проходить крізь спеціальні фільтри, що уловлюють всі частинки, які залишилися. Ця стадія є завершальною при механічному очищенню стоків.
- Далі в залежності від первісного типу забруднення стоків вода подається для подальшого біологічного, хімічного чи фізико-хімічного очищення. Тобто, забруднювальні агенти у воді будуть піддаватися впливу бактерій, або хімічних речовин, або ультрафіолету, або озону.

На рис. 7 представлена класична схема очищення стічних вод, яка включає первинні, вторинні засоби очищення, а також додаткову обробку ультрафіолетом, яка є достатньо високовартісною, та, практично не застосовується.

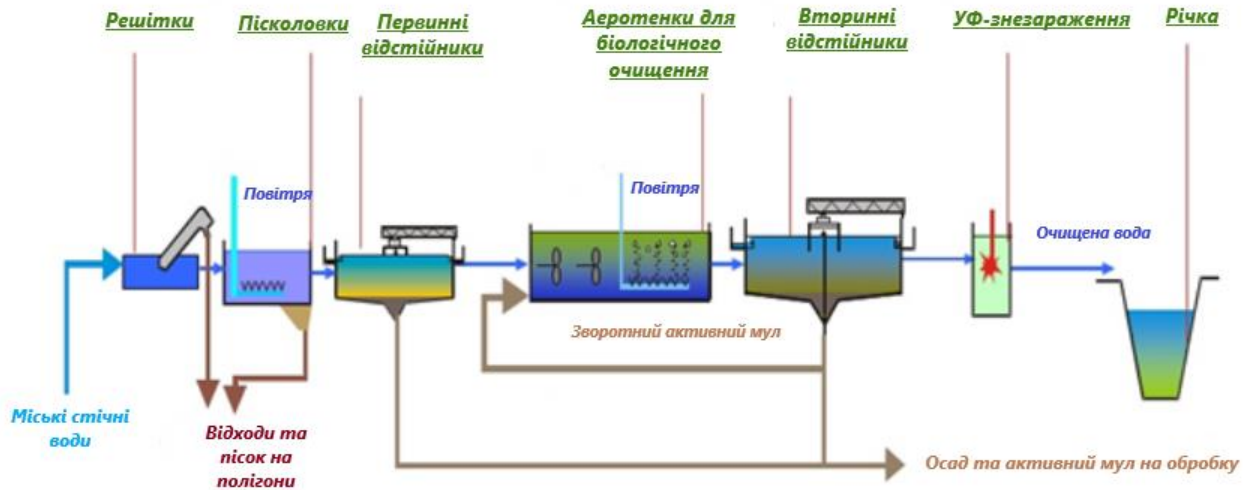


Рис.7. Класична схема очищення стічних вод

Після критичного аналізу класичної технології очищення стічних вод, варто запропонувати, як третинне доочищення, застосування мікроводоростей, які здатні, у результаті свого метаболізму, поглинати біогенні сполуки (рис.8).

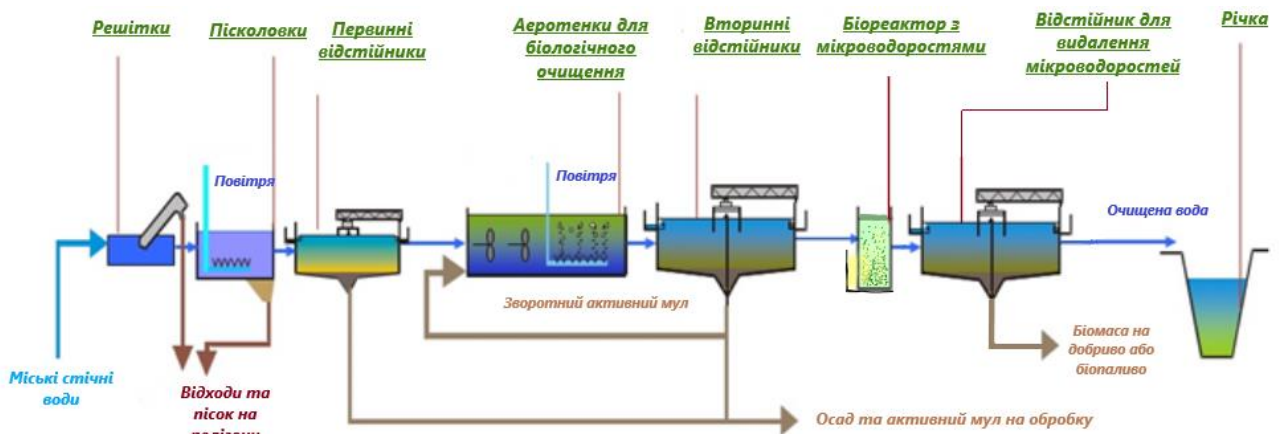


Рис.8. Схема запропонованої технології

Також потрібно зазначити, що запропонована технологія це – наступний етап після механічного та біологічного очищення, тобто доочищення стоків. Після грубого очищення концентрація сполук фосфору та азоту дорівнює тій,

що була в первинних забруднених стічних водах. На рис. 9 зображена детальна схема біологічного очищення стічних вод із застосуванням мікроводоростей.

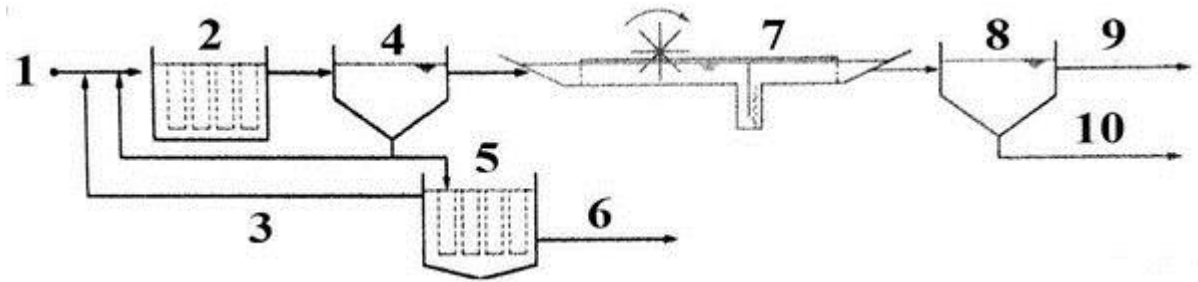


Рис.9. Схема біологічного очищення стічних вод:

1-вихідні стічні води; 2-аеротенк; 3-поворотний розчин аеробного збродження; 4-вторинний відстійник; 5-аеробне збродження; 6-осад після аеробного збродження; 7-альгакультура; 8-відстійник водоростей; 9-стічні води після обробки; 10-біомаса водоростей.

Базова схема передбачає процес з активним мулом і вторинне відстоювання. У цьому випадку передбачена нітрифікація для перетворення амонійного азоту в нітрати. При цьому не передбачається повне видалення азоту в результаті денітрифікації. Надлишковий активний мул стабілізують аеробним збродженням.

Ця технологія забезпечує видалення фосфору в процесі синтезу клітин. Встановлено, що біогени в складі біомаси більш біодоступності, ніж після хімічного осадження в традиційних схемах. Схеми вторинної обробки та обробки поворотного потоку аеробного збродження підвищують ефективність процесу з активним мулом. У разі їх використання відбувається видалення органічного вуглецю і амонію, що знижує їх зміст в стічних водах, що надходять в процес з активним мулом. Це, в свою чергу, зменшує витрату кисню для зниження БПК і нітрифікації.

Поряд з потенційними перевагами в даний час існують і певні перешкоди для практичної реалізації даних схем, наприклад залучення додаткових земельних площ, забезпечення фототрофних процесів для розвитку мікроводоростей.

Очищення стічних вод мікробіодоростями – це метод, який дозволяє провести обробку відходів, розділяючи їх на чисту рідину і тверді фракції. Тверда частина містить значну кількість забруднюючих речовин, тому її утилізують, а у випадку з мікробіодоростями (після очищення), останні можна використовувати як біодобрива (фосфатні) та сировину для біопалива.

Тим самим технологія є безвідходною та циклічною, що демонструє рис.10.



Рис.10. Алгоритм дій в технології

В табл. 1 наведена характеристика стічних вод до і після обробки за схемою з альгакультурою. У схемі третинної обробки видалення зважених речовин визначається способом збору мікробіодоростей. Для 100% видалення водоростей потрібно енергозатратна мембранна фільтрація. У підсумку вибір способу видалення мікробіодоростей визначається компромісом між енерговитратами і ступенем очищення. Цю обставину необхідно враховувати і при принциповому виборі даної схеми.

Таблиця 1

Характеристика стічних вод до та після очищення мікробіодоростями (мг/л)

ХПК	БПК	Загальний N	Загальний P
Вихідні стічні води			
249.0	122.9	25.1	10.8
Після обробки			
19.3	3.2	8.2	2.3

За результатами дослідження видно, що вміст загального азоту та загального фосфору значно знизилася, що свідчить про ефективність доочистки стоків за допомогою мікробіодоростей Хлорелла.

3.2. Економічний ефект впровадження

3.2.1. Комунальні очисні споруди

Людина споживає 200 л/добу води для різних потреб [9].

В Україні 42 млн жителів, з яких 69 % - міське населення [10] → 29 млн жителів, які користуються комунальними очисними спорудами.

Звідси, за добу в Україні міське населення використовує $5,8 \times 10^9$ л. Після очистки води зараз в ній міститься $4,64 \times 10^{10}$ мг/л, а після очистки мікробіодоростями буде $8,7 \times 10^9$ мг/л. Тобто, за добу в Україні втрачається безповоротно 37,7 т фосфатів, завдаючи непоправну шкоду довкілля, це в рік 13760 т.

В фосфатному добриві 50% фосфатів, це означає, що з 13760 т фосфатів отримаємо 27520 т добрив.

1 т фосфатного добрива коштує 25000 гривень → $27520 \text{ т} \times 25000 \text{ грн.} = 688\,000\,000 \text{ грн.}$ – це прибуток, який може отримати держава, застосувавши цю технологію на комунальних очисних спорудах.

3.2.2. Очисні споруди пивоварень

Витрати води в пивоварнях України в рік становлять 55 млн м³/рік. У стічних водах пивоварень найбільші викиди сполук фосфору – 19 мг/л.

→1045000 кг (1045 т) фосфору викидається щороку. Мікробіодорості затримують 869 т, тобто зменшать викиди у 6 разів.

З 1 т фосфатів – 2 т добрив.

1 т фосфатних добрив коштує 25000 грн.

43450000 грн. – прибуток на рік.

ВИСНОВОК

У цій науковій роботі ми підтвердили наукову гіпотезу щодо ефективності очищення стічних вод за допомогою мікробіодоростей та отримали результати вмісту біогенних речовин: концентрація загального азоту зменшилася на 67%, а загального фосфору - на 79%.

На основі результатів дослідження ми розробили екологічно та економічно доцільну технологію очищення стічних вод, а також представили переваги її застосування для комунальних та приватних водоочисних підприємств.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Голець Н. Ю. Проблеми твердих побутових відходів міста Львова та шляхи їх вирішення / Н. Ю. Голець, М. С. Мальований // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: тези допов. I міжнар. конгресу, 28–29 травня 2009 р., Львів, Україна. – Львів, 2009. – С. 29–30.
2. Нетрадиционные корма в рационах сельскохозяйственных животных / Я. Барта, Г. Бергнер, Я. Бучко и др.; Пер. с словацкого и предисл. Э. Г. Филипович. — М.Колос, — 1984. — 272 с.
3. Массовое культивирование микроскопических водорослей /М. Г. Владимирова, В. Е. Семеновко/Режим доступу - <http://volimo.ru/books/item/f00/s00/z0000006/st145.shtml>. Вилучено 10.01.2019.
4. Batch and continuous studies of chlorella vulgaris in photobioreactors/ Claudia Sacasa Castellanos/- The University of Western Ontario, Ontario, Canada. January 2013.
5. Green and Clean Energy: Microalgae as a source for fuel/ Samadhan Yuvraj Bagul/June 2017.
6. Use of Chlorella vulgaris for Bioremediation of Textile Wastewater/ Sing-Lai Lim/ October 2010.
7. Chlorella vulgaris[Інтернет ресурс]: Режим доступу- https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Chlorella_vulgaris. Вилучено 10.01.2019.
8. «Microalgae and wastewater treatment» /Abdel-Raouf, A.A.Al-Homaidan, I.B.M.Ibraheem/ Publication 2012.
9. Схема очищення стічних вод: технологія і методи [Інтернет ресурс]: Режим доступу - <http://stroydizain.pp.ua/1120-shema-ochishhennja-stichnih-vod-tehnologija-i.html>. Вилучено 10.01.2019.

10. Норми споживання води на людину [Інтернет ресурс]: Режим доступу - <http://stroytechnology.net/domachne-gospodarstvos/1836-normy-spogivana-vody-na-luduny.html>. Вилучено 10.01.2019.
11. Міське та сільське населення[Інтернет ресурс]: Режим доступу - <http://studentbooks.com.ua/content/view/907/76/1/4/>. Вилучено 10.01.2019.