

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

03-06-149М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни

**«Біотехнологічні методи вилучення цінних та токсичних
речовин з водних розчинів»**

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»
спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія»
денної форми навчання

Рекомендовано
Науково-методичною радою
з якості ННІ БАД
Протокол № 1 від 28.08.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Біотехнологічні методи вилучення цінних та токсичних речовин з водних розчинів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Біотехнології» спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Квартенко О. М. – Рівне : НУВГП, 2025. – 33 с.

Укладач: Квартенко О. М., д-р.техн.наук, доцент, професор кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., д-р.техн.наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення ОП:
G21 «Біотехнології та біоінженерія»

Грицина О. О.

© О. М. Квартенко, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

	Вступ	3
1	Тема 1. Біосинтез лізину. Основні етапи виробництва. Апаратно-технологічна схема отримання препаратів лізину різного ступеня очищення.	4
2	Тема 2. Проектування купи бактеріального вилуговування металів з відходів гірничо-рудної промисловості. Кінетика бактеріального окислення та вилуговування сульфідних мінералів.	5
3	Тема 3. Самоочищення води у водних об'єктах. Розрахунок приросту біомаси мікроводоростей та бактерій у водному середовищі. Визначення параметрів біоплато. Біоконвейер.	9
4	Тема 4. Реакції біологічного видалення фосфору. Коефіцієнт приросту біомаси при біологічному видалення фосфору. Проектування систем біологічного видалення фосфору.	15
5	Тема 5. Визначення концентрацій забруднень та можливості біохімічної деструкції органічних сполук, що містяться у промислових стічних водах. Визначення необхідного ступеня очищення.	17
6	Тема 6. Санітарні умови випуску стічних вод у водойми. Розбавлення стічних вод поверхневими водами. Біоіндикація токсичності технічної та промислової води.	19
7	Тема 7. Принципи приготування живильних середовищ для штамів-інокулянтів. Групи субстратів, біологічних агентів і утворених у біотехнологічних процесах продуктів.	20
8	Тема 8. Розрахунок біореакторів для видалення іонів важких металів з природних, оборотних та стічних вод.	21
9	Тема 9. Вивчення біотехнології очищення технологічних водних розчинів і стічних вод від фенолу.	23
10	Тема 10. Вивчення сучасних методів і технологій біологічного очищення води від нафтових забруднень.	24
11	Самостійна робота	30
	11.1. Рекомендовані завдання для самостійної роботи	
	11. Оформлення звіту про самостійну роботу	33
	Рекомендована література	

ВСТУП

Основною метою даних методичних вказівок є надання здобувачам теоретичних знань та практичних навичок в галузі сучасних біотехнологій по промислового виробництва деяких цінних біотехнологічних продуктів; застосування мікроорганізмів для очищення природних та стічних вод від нафти фенолів; вилуговування кольорових та рідкісних металів; біодеградації ксенобіотиків, поліциклічних ароматичних вуглеводнів; мікробіологічної трансформації важких металів, що дозволить здобувачам в подальшому кваліфіковано використовувати існуючі знання при перебудові та модернізації традиційних мікробіологічних виробництв отримання продуктів для харчової сфери та сільського господарства, а також у галузі новітніх біотехнологій очищення природних та стічних вод від токсичних речовин та біогенних елементів.

Тема 1. Біосинтез лізину. Основні етапи виробництва. Апаратно-технологічна схема отримання препаратів лізину різного ступеня очищення.

Біосинтез лізину [4, стор. 28] зазвичай проходить двома шляхами. «Один з них йде, починаючи з 2-кетоглутарової кислоти, через 2-аміноадіпінову кислоту. По цьому шляху лізин утворюється в клітинах дріжджів, грибів, актиноміцетів і деяких видів водоростей».

«Другий шлях (діамінопиміліновий) починається з аспарагінової кислоти і проходить через 2,6-діамінопимілінову кислоту (ДАП). Такий шлях має місце в бактеріальних клітинах. Ця складна схема утворення L-лізину розшифрована при використанні мутантів, дефіцитних за різними ферментам в ланцюзі перетворення аспарагінової кислоти до L-лізину.

Цей шлях утворення L-лізину був детально вивчений у *E. coli*, а пізніше було показано, що і у основних продуцентів лізину, і у глутаматсинтезуючих бактерій біосинтез йде по діамінопиміліновому шляху. Аспарагінова кислота під дією ферменту Я-аспартаткінази перетворюється в Я-фосфоаспартат, а далі в аспартат-3-напівальдегід. Цей проміжний метаболіт дуже

важливий, оскільки з нього можуть синтезуватися п'ять амінокислот: лізин, гомосерин, метіонін, треонін і ізолейцин.

При зіставленні системи регуляції біосинтезу лізину по діамінопиміліновому шляху у різних бактерій можна зробити висновок, що вони неоднакові в разі *Brevibacterium flavum* і *Corynebacterium glutamicum* (промислових продуцентів лізину) перший фермент діамінопимілінового шляху Я-аспартаткіназа не має системи ізоферментів і не інгібується жодним з кінцевих продуктів, як це має місце у *E. coli*. Інгібування цього ферменту спостерігається тільки при спільній дії двох кінцевих метаболітів: лізину і треоніна. Ця суттєва відмінність і дозволила отримати ауксотрофних мутантів, у яких немає чинників, що перешкоджають надмірному синтезу L-лізину.

Аспарагінова кислота при біосинтезі лізину утворюється у глутаматсинтезуючих бактерій за рахунок реакції переамінування, яка здійснюється між щавелево-оцтовою і глутаміновою кислотами.

Отримання лізину та інших амінокислот здійснюється в асептичних умовах, стерильних поживних середовищах з використанням чистої культури продуцента» [4, стор. 28].

Технологічна послідовність процесу отримання лізину [4, стор. 28-32]: 1) приготування посівного матеріалу; 2) приготування і стерилізація живильного середовища, всієї апаратури і комунікацій; 3) культивування продуцента в промислових ферментерах (ферментація); 4) виділення цільового продукту (L-лізину).

Апаратно-технологічна схема отримання препаратів лізину різного ступеня очищення [4, стор. 32-37].

Рекомендована література [4 стор. 28-37].

Тема 2. Проектування купи бактеріального видугування металів з відходів гірничо-рудної промисловості. Кінетика бактеріального окислення та видугування сульфідних мінералів.

У 1947 році в США Колмер і Хінклі виділили з шахтових дренажних вод мікроорганізми, що окиснюють двохвалентне залізо і відновлюють сірку, які були ідентифіковані як *Thiobacillus*

ferrooxydans. Було з'ясовано, що дані залізоокиснювальні бактерії в процесі окиснення переводять мідь із рудних мінералів у розчин. У 1958 році було зареєстровано перший патент на отримання металів із концентратів за допомогою залізоокиснюючих бактерій. ***Thiobacillus ferrooxydans*** досить поширені в природі, здатні окиснювати сульфідний і сульфатний іони, Ферум (II), сульфідні мінерали міді, урану. Інші бактерії – ***Leptospirillum ferrooxydans*** – ефективно окиснюють двохвалентне залізо до трьохвалентного. Порівняно недавно були виділені й описані бактерії ***Sulfobacillus thermosulfoxidans***, ***Thiobacillus thiooxidans***, ***T. acidophilus*** та інші (рис. 1). Для цих літотрофних бактерій процеси окиснення природних неорганічних субстратів є джерелом енергії.

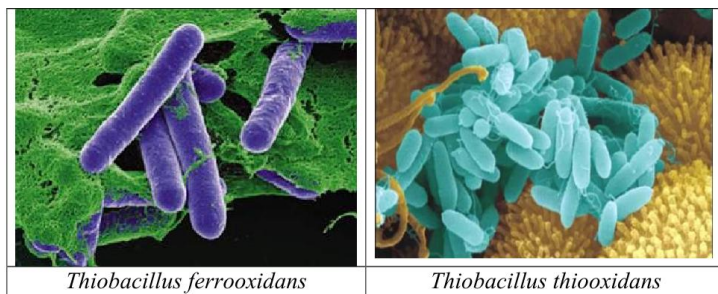
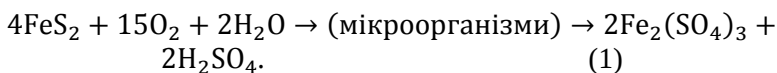
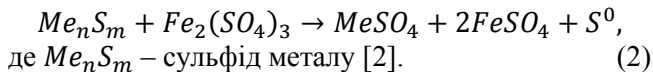


Рис. 1. Мікрофото залізоокиснювальних бактерій *Thiobacillus ferrooxydans*; *Thiobacillus thiooxidans*

Пряме бактеріальне вилуговування: клітина мікроорганізму фізично контактує з поверхнею мінералу (переважно в дефектних ділянках кристалічних ґрат), процес відбувається в кілька стадій за участю ферментів. Сумарна реакція:



При непрямому бактеріальному вилуговуванні мікроорганізмами виробляється окислювач, під його дією відбувається хімічне окиснення мінералу. Прикладом може бути реакція, що протікає в кислих розчинах, де окислювачем є Fe^{3+} :



Технологія бактерійного вилуговування кольорових металів передбачає їх виділення з відвалів бідної руди (купчаста) і з рудного тіла в місцях залягання відповідних мінералів (підземна). Зрошення руди у відвалах чи рудному тілі здійснюють водними розчинами H_2SO_4 , що містять Fe^{3+} і бактерії (*Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Sulfolobus thermosulfidooxidans*). Найчастіше у відвалах присутні бактерії *T. Ferrooxidans*, *T. Thiooxidans*. Розчин подається через дренажну систему (при підземному вилуговуванні). У руді в присутності кисню і бактерій сульфідні мінерали окиснюються, а мідь або інші метали переходять із нерозчинного стану в розчинний (рис. 2).



Рис. 2. Схема купного та підземного вилуговування металів із руд

Купчасте вилуговування застосовують для переробки відвалів на господарських або на спеціально підготовлених майданчиках з гідроізолюючим покриттям. Процес вилуговування полягає в періодичному зрошенні, яке знаходиться в купі гірничої маси розчинником і збору кондиційних розчинів в спеціальних дренажних виробках (рис. 3). Витравлювальні реагенти подають шляхом розбризкування по поверхні відвалу.

Після наповнення дренажних виробок кондиційним розчином його відводять на сорбційні установки. У результаті вилугування окислених або напівокислених мідних руд з вмістом 0,16 – 0,7% міді отримують кондиційний розчини із вмістом до 2,5 г/л міді і 7 г/л заліза.

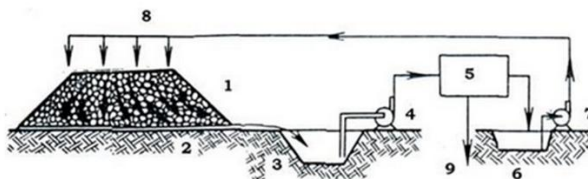


Рис. 3. Схема процесу купного вилугування: 1 – купа, 2 – поверхня ґрунту, 3 – ставок, для збирання розчинів, 4 – насос, 5 – жолоб для цементації, 6 – ставок для відпрацьованого розчину, 7 – насос, 8 – система зрошення відвалу, 9 – метал

Схема бактеріального вилугування міді з куп або відвалів руди наведено на рис. 4.



Рис. 4. Схема бактеріального вилугування міді з куп або відвалів руди

Швидкість бактерійного вилюговування металів із руд і концентратів визначається густиною біомаси бактерій. Активне окиснення сульфідних мінералів відбувається при участі бактерій (1-5 г/л за сирою біомасою), що адаптовані до умов процесу. У місцях, де вміст сульфідних мінералів високий, внесення ззовні біомаси бактерій не потрібне.

Однак при запуску процесу вилюговування металів у місцях з низьким вмістом таких сполук необхідно вносити клітини бактерій ззовні. Для цього біомасу бактерій вирощують на середовищі з Fe^{2+} в умовах постійного електрохімічного відновлення Fe^{3+} . Fe^{3+} є сильним окиснювачем, який переводить у розчин багато мінералів, наприклад халькозин (містить мідь), уранініт (містить уран).

Рекомендована література [17, стор. 120-123].

Тема 3. Самоочищення води у водних об'єктах. Розрахунок приросту біомаси мікроводоростей та бактерій у водному середовищі. Визначення параметрів біоплато. Біоконвейер.

Гідробіоценоз – це біологічна система, яка включає популяції різних видів рослин, тварин, мікроорганізмів, що населяють певну ділянку водного об'єкту (водної товщі, дна тощо), тобто певний біотоп (екотоп).

За допомогою рослин та водоростей забруднення можуть бути знешкоджені (Табл. 1) та вилучено внаслідок деградації, екстракції (накопиченням, акумуляцією), ізолювання чи іммобілізації. Для утворення 1 т фітомаси рослини поглинають понад 200 кг різних мінеральних речовин. Рослини потребують біогенних елементів, у тому числі і ряду металів, що відносяться до життєво важливих (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Co), і здатні в тією чи іншою мірою витягувати важкі метали з ґрунтів та водних середовищ. Проникнення забруднень у рослини (транслокаційне перенесення) відбувається в основному через коріння та листя. Для надходження до коріння ксенобіотики повинні проникнути тільки через клітинну стінку, що не має кутикули (компонент захисної стінки епідермісу – покривної тканини рослин), в той час як у листя вони проникають через продиху або кутикулу епідермісу,

тому до коріння ксенобіотики надходять менш селективно, ніж у листя.

Органічні ксенобіотики, що надійшли в тканини рослин, можуть знешкоджуватися і депонуватися в результаті зв'язування з клітинними компонентами або лігніфікації, а також випаровуватися через поверхню листя або метаболізуватися рослиною. Продукти трансформації ксенобіотиків можуть залишатися в рослині, випаровуватися або екскретуватися в ґрунт і надалі метаболізуватися різними ґрунтовими мікроорганізмами.

Біологічні ставки – спеціально створені неглибокі водоймища, де протікають природні процеси самоочищення води за участю організмів.

Біоставки поділяються на анаеробні, аеробно-анаеробні (факультативно аеробні) та аеробні, а також високо- і низьконавантажувані, проточні та контактні.

Таблиця 1

Методи очищення та знешкодження забруднених середовищ із використанням водоростей та рослин

Метод	Середовище	Забруднення
Біоставки	Забруднена вода	Органічні забруднення, біогенні елементи
Гідроботанічні майданчики, штучні болота, біоплато, біомати		Органічні забруднення, метали, біогенні елементи, мінеральні суспензії, мулисті наноси поверхневого стоку,
Фітоекстракція	Ґрунт, донні осад	Метали, радіонукліди
Фітодезактивація	донні осад, забруднена вода	Радіонукліди
Фітодеградація	Ґрунт, донні осад	Органічні ксенобіотики
Фітозагороджувальні та фітогеохімічні бар'єри	Поверхневі та ґрунтові води	Метали, радіонукліди, вуглеводні, нітрати, озон
Поля зрошення	Забруднена вода	Різні органічні забруднення, біогенні елементи, важкі метали

Ставки зі штучною аерацією через інтенсифікацію в них біохімічних процесів займають у 10–15 разів меншу площу, мають значно менший об'єм та глибину до 4–6 м. Необхідний ступінь очищення води в них зазвичай досягається за 1-3 добу.

Швидкість руху води в таких ставках перевищує 0,1 м/с, окислювальна потужність 5–20 г БСК/(м³ год), навантаження, що досягається – 1000 кг БСК/(га на добу) і вище. Витрата стічної води може досягати 0-25 тис. м³/год. Ставки великих промислових підприємств – споруди об'ємом до 1 млн м³ з великою кількістю аераторів.

Водорості та рослини-макрофіти біоставків та гідроботанічних майданчиків

У верхніх шарах сполуки окислюються аеробними мікроорганізмами, у придонних – факультативні та анаеробні мікроорганізми здійснюють процеси відновлення нітратів та сульфатів, метанове бродіння. Водорості та вища водна рослинність насичують воду киснем. Організми вищих трофічних рівнів: найпростіші, хробаки, коловертки, личинки комах, молюски та інші видають бактерії, риються в мулі, фільтрують воду, знижуючи масу суспензій, відмерлого детриту.

Мікроскопічні протококові водорості (такі як *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus ohliqums*, *Ankistrodesmus braunii*, *Selenastrum sp.* та ін), ціанобактерії (*Oscillatoria spp.*, *Anabaena variabilis*, *Phormidium foveolarum*, *Phormidium valder* та ін) здатні розкладати феноли, нафталін, окремі вуглеводні, гербіциди, ціаніди та інші ксенобіотики. Вуглець і азот, що звільнилися в результаті біодеструкції токсикантів, утилізуються водоростями.

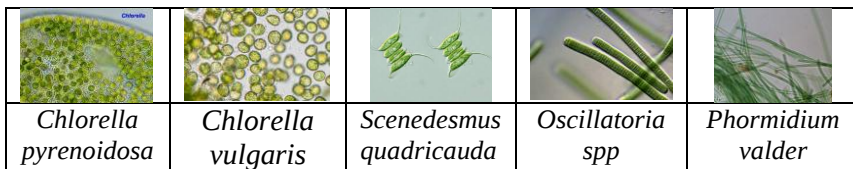


Рис. 5. Мікрофото мікроскопічних протококових водоростей

Для видалення важких металів ефективні водорості-макрофіти. У цих водоростей коефіцієнти накопичення катіонів

важких металів, рідкісноземельних елементів досягають тисяч і десятків тисяч. Наприклад, для марганцю вони складають від 1000 до 200000 (*Laminaria*), цинку – до 60000 (*Fucus vesiculosus*). Діатомея *Synedra* здатна поглинати ртуть у концентраціях, що перевищують кількість металу у воді у 50–60 разів. Такі рослини, як водяний гіацинт (*Eichhornia crassipes*), щитolistник (*Hydrocotyle umbellata*), ряска (*Lemna*), водяний оксамит (*Azolla pinnata*) можуть вилучати Pb, Cu, Cd, Fe, Hg із забруднених вод [5].

Біоконвеєрні технології відновлення якості води [2, 10, 11].

Технологічна суть біоконвеєра полягає в тому, що на шляху води розташовуються гідробіонти – анаеробні бактерії, аеробні мікроорганізми (копіотрофи, оліготрофи, найпростіші), фільтратори, хижаки. Перебуваючи на своїх «робочих місцях», вони «виїдають» з води розчинені в ній органічні сполуки та біомасу тіла організмів. У результаті маємо чисту воду і в сотні разів меншу надлишкову біомасу, утилізація якої, нагадаємо, в традиційному біологічному процесі очищення води являє собою дуже складну проблему.

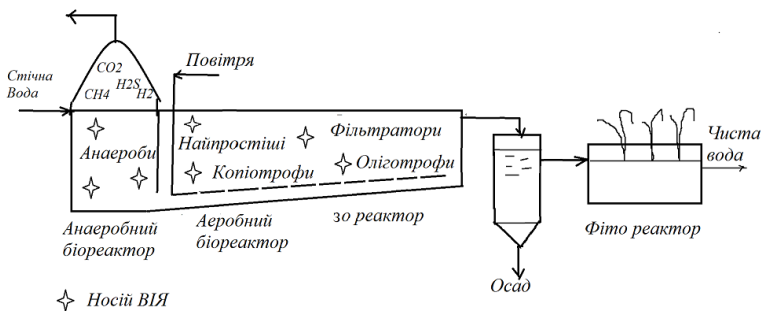


Рис.6. Біоконвеєр [2, стор. 118, 11]

Кожен гідробіонт у запропонованій системі біологічного очищення води вільний у своєму виборі місця розташування. Це дуже важливо, оскільки тільки вільний організм працює з максимальною продуктивністю.

Копіотрофи надають перевагу високим концентраціям поживних речовин. **Оліготрофні бактерії** здатні рости за низьких

концентрацій органічних речовин у середовищі. Фільтратори це тварини водного середовища, які споживають дрібні організми (або їхні рештки), проціджуючи воду (губки, ракоподібні, комахи, двостулкові молоски, асцидії, мідії, вустриці).

«Біоконвеєр не має головних недоліків традиційного біологічного очищення води» [2, стор. 120].

«По-перше, біоконвеєром можна очищувати будь-які (природні, зливові, побутові, промислові стічні) води, що містять розчинені органічні сполуки, навіть гранично токсичні, канцерогенні чи мутагенні, за будь-яких їхніх концентрацій.

По-друге, біоконвеєр дає змогу доводити якість очищеної води до бажаного, заданого ступеня чистоти.

По-третє, він вирішує проблему надлишкової біомаси, бо вона споживається й мінералізується у трофічному ланцюгу. До того ж, що більша кіль-кість трофічних рівнів залучена у біоконвеєрі, то менше біомаси залишається в очищеній воді. Досить мати в очисній споруді трофічний ланцюг у 2-3 ланки, щоб зменшити кількість надлишкової біомаси у 100-1000 разів!» [2, стор. 120; 10].

«Для цього під час біологічного очищення води потрібно використовувати не тільки прокаріотів, як це переважно відбувається, коли застосовують активований мул, а й весь відомий сучасній Біосфері арсенал евкаріотів – фільтраторів і хижаків різних трофічних рівнів. Тобто тут «працює» не тільки «горизонтальний», а й «вертикальний» складник еволюційної процесу» [2, стор. 120].

Розрахунок прирісту біомаси мікроводорості та бактерій у водному середовищі.

Підрахунок кількості клітин мікроводоростей в об'ємі рідини здійснюється за допомогою камери Горяєва за стандартною методикою [18]. Число клітин у 0,001 дм³ досліджуваної суспензії визначається за формулою:

$$X = a \cdot 50000 \cdot b, \quad (3)$$

де a - середня кількість підрахованих клітин у п'яти квадратах, b - розведення вихідної суспензії, 50000 - коефіцієнт перерахунку об'єму п'яти великих квадратів на 0,001 дм³.

Зміну приросту біомаси визначають за значенням оптичної густини суспензії, яку рекомендовано вимірювати за допомогою спектрофотометра при довжині хвилі 450 нм. Для дослідження необхідно використовувати скляні кювети з довжиною оптичного шляху $l = 1$ см. За калібрувальним графіком знаходять кількість клітин та приріст біомаси. Експериментальну залежність оптичної густини від кількості клітин в 1 см^3 записують до табл. 2.

Таблиця 2

Залежність оптичної густини від кількості клітин *Chlorella vulgaris* в 1 см^3 [14, стор. 46]

Оптична густина	0,4	0,455	0,47	0,5	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
Кількість клітин, $\times 10^7$	0,94	1,21	1,3	1,45	1,61	1,86	1,84	2,0	2,12

Коефіцієнт перерахунку оптичної густини у кількість клітин мікродоростей визначають за використання математичного опису лінії тренда:

$$N = D_{450} 3 \cdot 10^7, \quad (4)$$

Питому швидкість приросту клітин мікродоростей μ за добу розраховували за формулою:

$$\mu = (\ln N_t - \ln N_0) / t, \text{ доба}^{-1} \quad (5)$$

де N_t – кількість клітин мікродоростей в одиниці об'єму в момент часу t ; N_0 - кількість клітин мікродоростей в одиниці об'єму на початку культивування; t – тривалість культивування, діб.

Час генерації g , який необхідно для одного циклу поділу клітини дорівнює:

$$g = t/n = t \cdot \ln 2 / [\ln N(t) - \ln N_0(t_0)], \quad (6)$$

де n – кількість поділів клітин мікродоростей в одиниці об'єму в момент часу t ; N_t – кількість клітин мікродоростей в одиниці об'єму в

момент часу t ; N_0 – кількість клітин мікродоростей в одиниці об'єму на початку культивування; t – тривалість культивування, діб.

Для визначення сухої маси мікродоростей необхідно використовувати ваги [14, стор. 48]. Для відділення біомаси мікродоростей з культурального середовища - прилад вакуумного фільтрування та вакуумний насос. Фільтрування проводять через фільтрувальний папір (синя стрічка ТУ 6-09-1678-95). Для досягнення постійної ваги біомаси її необхідно висушити при 110 °С. Концентрацію біомаси визначають за формулою:

$$C_6 = \frac{(m_k - m_n) \cdot 1000}{V}, \text{ г/дм}^3, \quad (7)$$

де m_k - маса фільтру з біомасою після висушування; m_n - маса фільтру, 1000 - перерахунок на об'єм 1 дм³, V - аліквота, з якої одержували суху біомасу, дм³.

Рекомендована література [2. стор. 112-132; 5; 10; 11; 14 стор. 46-48].

Тема 4. Реакції біологічного видалення фосфору. Коефіцієнт приросту біомаси при біологічному видалення фосфору. Проектування систем біологічного видалення фосфору.

Принцип біологічної очистки від фосфору (біологічної дефосфатизації) полягає у створенні умов для розвитку в складі активного мулу фосфор накопичувальних або «фосфорних» бактерій (Р-бактерій). Для цього в системі біологічної очистки виділяють анаеробні й аеробні зони, які по черзі проходить активний мул [8, стор. 16].

В аеробних умовах аеротенків поліфосфати та ортофосфати засвоюються організмами активного мулу, а розчинені форми органічного фосфору мінералізуються в ортофосфати за допомогою бактерій *Moraxella*, *Artrobacter*, *Bacteria subtilis*.

Певні групи бактерій активного мулу мають здатність накопичувати у своїх клітинах (у поліфосфатних гранулах, про зернах волютину) розчинені форми фосфору, тобто. відкладати у

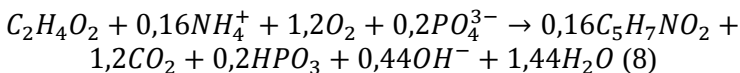
запас для подальшого споживання. У літературі в основному при описі фосфорнакашвальних бактерій згадується *Acinetobacter*, однак таких бактерій в активному мулі досить багато, це: *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Beggiatoa*, *E.coli*, *Aeromonas*, *Zoogloea ramigera*

Нагромадження сполук фосфору у клітинах становить досить значну величину — 1-3 % сухої маси тіла.. Так, *Acinetobacter calcoacitiae* накопичує в аеробних умовах 0,4-0,5 ммоль/г сухої маси клітини за 1 год і в анаеробних умовах виділяє за 1 год 0,015 ммоль/г сухої маси клітини (Henze et al).

Організми активного мулу, здатні накопичувати внутрішньоклітинно в гранулах волутину ортофосфати, поліфосфати та пов'язаний органічний фосфор, використовують його як енергетичний резерв, що витрачається на споживання субстрату в анаеробних умовах. Ці бактерії в анаеробних умовах споживають прості легкоокислювані органічні субстрати, наприклад, леткі жирні кислоти (серед яких улюблена оцтова кислота) і запасують їх усередині клітини у вигляді полігідроксіалканатів (найпоширеніший полі-С-гідроксibuтират (ПГБ)), що супроводжується внутрішньоклітинною деградацією накопичених у аеробній стадії сполук фосфору.

Енергія деградації (гідролізису) фосфатів витрачається на накопичення та споживання органіки яка легко окислюється, клітинний синтез і транспортний перенесення в процесі дихання в анаеробних умовах. Ці процеси супроводжуються віддачою накопиченого клітиною фосфору у воду.

При попаданні бактерій у аеробну стадію накопичений субстрат у вигляді полігідроксіалканатів починає споживатися як джерело вуглецю на харчування та приріст біомаси бактерій, що супроводжується виділенням вуглекислого газу та води та підвищеним споживанням з навколишнього середовища фосфатів, які відкладаються в поліфосфатних гранулах за наступним рівнянням:



На циклічності накопичення та використання енергії накопичених сполук фосфору в клітинах бактерій заснована

технологія глибокого вилучення зі стічних вод сполук фосфору при поєднанні анаеробних та аеробних стадій біологічного очищення.

Коефіцієнт приросту біомаси при біологічному видалення фосфору [8]. Схеми біологічного очищення з денітрифікацією і дефосфотуванням [8, стор. 29-33].

Рекомендована література [8 стор. С. 16-20; 29-33; 15 стор. С. 33-37].

Тема 5. Визначення концентрацій забруднень та можливості біохімічної деструкції органічних сполук, що містяться у промислових стічних водах. Визначення необхідного ступеня очищення.

Очищення виробничих стічних вод окреме біотехнологічне виробництво, що має свої стадії: підготовчу, біотехнологічну, відстоювання біомаси активного мулу, додаткового очищення стічних вод, переробка осаду.

Перед надходженням промислових стічних вод на біохімічне очищення є необхідним провести такі попередні дослідження:

1. Уточнити склад пускового потоку промислових стічних вод, що спрямовуються на БОС.
2. Визначити параметри біохімічного очищення пускового потоку промислових стічних вод.
3. Визначити швидкість біохімічного окислення та ГДК органічних речовин, які у стічних водах, спрямованих на біохімічну очищення.
4. Відпрацювати режим нарощування активного мулу.

Швидкість біохімічної деструкції органічних речовин залежить від рівня придатності їх для біохімічного очищення. У табл. 3 наведено показники біохімічного окиснення органічних сполук різного хімічного складу та ГДК їх у промислових стічних водах, що спрямовуються на біохімічне очищення.

Середня швидкість біохімічного окислення органічних речовин R у стічних водах визначається за формулою:

$$R = r_{sp} \cdot u , \quad (9)$$

де r_{sp} – питома швидкість біохімічного окиснення органічних речовин у 1 мг на 1 г активного мулу за 1 год; u – доза активного мулу в муловій суміші, г/дм³.

Таблиця 3

Ступінь придатності деяких органічних речовин
для біохімічного окиснення

Органічне речовина	ХСК, гО ₂ /(г·ч)	БСК _{полн} , гО ₂ /г	Біохім. Показник	Швидкість окисл., мг/(г·год)	ГДК, мг/дм ³
Суміш нафт	4,5	0,45	0,10	10,0	–
Мазут	4,2	0,46	0,12	8,0	100
Суміш вуглеводнів	2,8	1,29	0,46	12,0	–
Бензол	3,0	1,15	0,38	8,0	100
Толуол	3,0	1,10	0,36	8,0	100
Фенол	2,4	1,16	0,48	12,0	–
Суміш фенолів	2,5	1,3	0,5	14,0	–
Формальдегід	1,1	0,7	0,7	15,0	1000
Суміш альдегідів	2,0	2,0	1,0	30,0	–
Нафтенові кислоти	2,3	1,8	0,8	20,0	1000
Тіофени	1,8	0,14	0,08	5,0	100

З'єднання, що містять гідроксильні, карбонільні та карбоксильні групи, що окислюються мікрофлорою з високою швидкістю. Швидкість окислення азотовмісних сполук значно вища порівняно з вуглеводнями. Інтенсивність біохімічного окислення органічних сполук, що містять сірку, неоднакова і зростає зі збільшенням довжини ланцюга (від метил- до октилмеркаптану). Біохімічний показник стічних вод, що містять меркаптани, не перевищує 0,05.

Суміші вуглеводнів, нітрilів, ароматичних амідів окислюються мікроорганізмами з більшою інтенсивністю по порівняно з індивідуальними сполуками. Наприклад, швидкість

біохімічного окиснення суміші альдегідів склала 30 мг/(г·год), а окремих компонентів – 15 мг/(г·год).

Швидкість біохімічного окислення органічних сполук із стічних вод змінюється в залежності від їх концентрації та рівномірності надходження на очисні споруди.

ГДК для біохімічного очищення характеризує гранично допустимі концентрації органічних речовин різних класів органічних речовин, при яких припиняється або уповільнюється процес біохімічного очищення.

При надходженні у водний об'єкт органічних речовин різних класів після їх біохімічної очистки необхідно враховувати ГДК шкідливих речовин у воді водного об'єкта, а також ступінь зниження концентрацій речовин у процесі біохімічного очищення.

Рекомендована література [9, стор. 83-86; 220-221; 13].

Тема 6. Санітарні умови випуску стічних вод у водойми. Розбавлення стічних вод поверхневими водами. Біоіндикація токсичності технічної та промислової води.

Біоіндикаторами вважають такі види рослин і тварин, що виявляють більшу чутливість і раніше інших реагують на вплив шкідливих речовин [1, стор. 42].

Розрізняють 2 типи біоіндикаторів:

- 1) індикатори біоаккумуляції або індикатори хімічного складу середовища;
- 2) індикатори активного моніторингу – організми для спостереження за станом довкілля.

Вибір біоіндикаторів залежить від конкретних умов, але переважно визначається тими, які:

- здатні накопичувати шкідливі речовини в тканинах організму;
- мають досить високу чутливість до шкідливих речовин;
- доступні для використання, а це використання біологічно виправдане.

Рекомендована література [1 стор. с. 42-50; 9 стор. с. 60-65; с. 79-91; 13].

Тема 7. Принципи приготування живильних середовищ для штамів-інокулянтів. Групи субстратів, біологічних агентів і утворених у біотехнологічних процесах продуктів.

Усі живі клітини потребують екзогенних джерел живлення, що містяться в живильних середовищах. Живильне середовище забезпечує життєдіяльність, ріст і розвиток біологічного агента, який у подальшому може використовуватися як закваска (інокулянт) для інтенсифікації процесу оброблення, утилізації або знешкодження відходів [7, стор. 93-99].

Таблиця 4

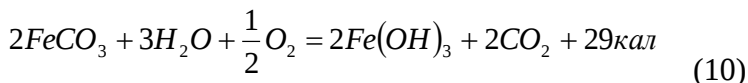
Групи субстратів, біологічних агентів і утворених у біотехнологічних процесах продуктів

Субстрат	Біологічний агент	Продукт
Гідрол, гідролізати деревних відходів. Барда. Парафіни нафти. ПАР. Напівпродукти: попередники біотрансформацій Молочна сироватка. Зелена біомаса рослин. Відходи с/г та лісової промисловості. Побутові відходи, стічні води. Осади міських стічних вод. Відходи перероблення овочів та фруктів. Відходи металургійної, хімічної промисловості. Сульфідний луг	Мікроорганізми, рослинні та тваринні клітини. Позаклітинні продукти: ферменти, коферменти. Імобілізовані клітини мікроорганізмів і рослин Угрупування мікроорганізмів	Біодобрива та біоінсектециди, мікробні біомаси, вакцини. Медикаменти. Гормони. Полісахариди. Білок одноклітинних Органічні кислоти. Харчові продукти. Антибіотики. Амінокислоти. Спирти, органічні розчинники. Ферменти, вітаміни. Біогаз, органічне добриво Метали, неметали. Елементарна сірка. Кормові дріжджі

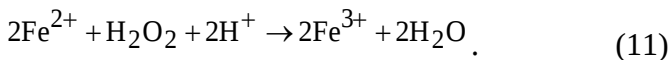
Рекомендована література [7, стор. с. 93-99].

Тема 8. Розрахунок біореакторів для видалення іонів важких металів з природних, оборотних та стічних вод.

Викопні залізобактерії роду *Gallionella* були вперше виявлені в охристих корисних копалинах Еренбергом ще у 1836 році (Ehrenberg, 1836). Бактерії роду *Gallionella* використовують енергію окиснення карбонату заліза для асиміляції диоксиду карбону, який виступає у вигляді джерела карбону відповідно до наступного рівняння реакції:



Дана реакція супроводжується виділенням енергії в кількості 125 г-кал на 1 г окисненої солі FeCO_3 . За рахунок цієї енергії в клітинах *Gallionella* і відбувається вся робота, необхідна для розпаду карбон (IV) оксиду (CO_2) та синтезу органічної речовини клітини. Процес ферментативного окиснення іонів Fe^{2+} відбувається за рахунок перенесення та вбудови електрону у дихальний ланцюг бактерії. Для синтезу 1 г клітинної біомаси мікроорганізму необхідно ферментативно окислити 276 мг іонів Fe^{2+} із виділенням 500 г гідроокису заліза, який в результаті біохімічного перетворення $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \gamma\text{FeOOH}$ створює матриксні структури *bio*-мінералів. Бактерії роду *Gallionella* розвиваються в мікроаерофільних умовах з концентрацією розчиненого кисню від 0,1 до 3,0 мг/дм³, $t=8 - 16^\circ\text{C}$, $\text{pH}=5,5 - 7,5$ та $\text{Eh}=100 - 300$ мВ, концентраціях Fe^{2+} від 1,0 до 30 мг/дм³. Мікроорганізми родів *Lepthothrix*, *Crenothrix* – гетеротрофи, які в якості джерела вуглецю використовують органічні речовини. Ареал розвитку мікроорганізмів родів *Lepthothrix*, *Crenothrix* розташовується в області значень $\text{pH} 7,0 - 8,0$ та $\text{Eh}= -200...300$ мВ. Механізм окиснення йонів Fe^{2+} бактеріями родів *Lepthothrix*, *Crenothrix* відбувається за пероксидним шляхом та протікає в капсулах та на поверхні клітинної стінки:



Завантаження біореактора (рис. 7) із спіненого пінополістиролу марки ПСВ за ОСТ 301-05-92Е. Крупність фракцій та висота шарів становили відповідно: $\delta = 6,0 - 12$ мм, $h = 700$ мм; $\delta = 3,0 - 6,0$ мм, $h = 500$ мм; $\delta = 2,0 - 3,0$ мм, $h = 500$ мм. В якості фільтруючого завантаження пінополістирольних фільтрів використовували гранульований пінополістирол марки ПСВ або ПСВ-С за ОСТ 202-05-92 і ОСТ 301-05-92Е. Діаметр гранул робочого шару складав 1,0-2,5 мм, а його робоча висота 1000 мм.

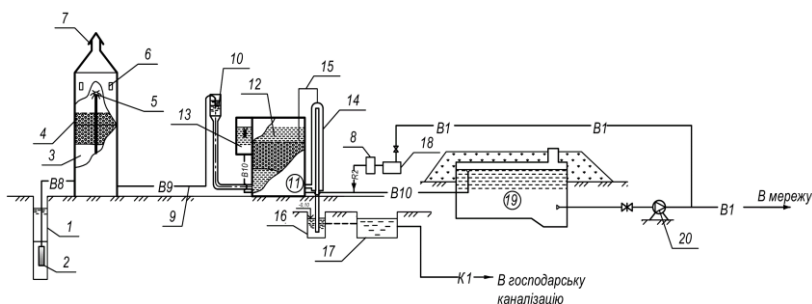


Рис. 7. Технологічна схема очищення агресивних, біля нейтральних вод: 1- подача підземної води; 2- занурений електронасос; 3 - біореактор; 4 - контактне завантаження; 5 - аератор; 6-7 - вентиляційні вікна та короб; 8, 18 - блок дозування гіпохлориту натрію; 9- трубопровід подачі води; 10 – повітря відділювач; 12- освітлювальний пінополістирольний фільтр; 12- промивний бак; 13- карман для фільтрату; 14- гідроробот; 15- трубка зливу вакууму; 16- гідрозатвор; 17- канал для відведення відпрацьованих промивних вод; 19- РЧВ; 20- НС –ІІ;

Загальна площа біореактор в плані становитиме:

$$F_{BP} = \frac{Q_{доб}}{V \cdot T}, \text{м}^2. \quad (12)$$

де, T – час роботи біореактора, год ($T=24$ год);

V - швидкість руху води в біореакторі, м/год;

$$F_{BP} = \frac{1910}{15,01 \cdot 24} = 5,3 \text{м}^2.$$

Діаметр біореактора в плані становитиме:

$$d_{BP} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{BP}}{\pi}}, \text{м}. \quad (13)$$

$$d_{BP} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,3}{3,14}} = 2,6 \text{м}.$$

Приймаємо $d_{БР}$ стандартного сортаменту $d_{БР} = 2,6 \text{ м}$.

Визначаємо висоту біореактора:

$$H_{БР} = H_{заван} + \Delta h + h_{осад} + h_{сопла} + h_{короб}, \text{ м} \quad (14)$$

де $H_{заван}$ - висота шару завантаження, м ($H_{заван} = 3,4 \text{ м}$);

Δh - відносне розширення завантаження при його промивці, м

$$\Delta h = \frac{H_{заван} \cdot e}{100} + c, \text{ м} . \quad (15)$$

де e – відносне розширення завантаження, % ($e = 30 \dots 40\%$);

c – запас, $c = 0,3 \text{ м}$.

$$\Delta h = \frac{3,4 \cdot 40}{100} + 0,3 = 1,7 \text{ м} .$$

$h_{осад}$ - висота осадової частини біореактора, м, $h_{осад} = 1,0 \text{ м}$; $h_{сопла}$

- висота сопла біореактора, м ($h_{сопла} = 1,2 \text{ м}$); $h_{короб}$ - висота короба біореактора, м ($h_{короб} = 1,2 \text{ м}$).

Отже, висота біореактора за формулою 7.5 буде становити:

$$H_{БР} = 3,4 + 1,6 + 1 + 1,2 + 1,2 = 8,4 \text{ м} .$$

Рекомендована література [6].

Тема 9. Вивчення біотехнології очищення технологічних водних розчинів і стічних вод від фенолу.

Широким спектром біодеструктивної активної по відношенню до органічних ксенобіотиків – фенолу та інших циклічних ароматичних сполук, характеризуються бактерії родів *Rhodococcus*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Agromyces*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Brenneria*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Gluconobacter*, *Pantoea*, *Raoultella*, *Serratia marcescens*, *Agromyces*, *Acetobacter*, *Penicillium chrysogenum*, *Aeromonas* [12, с. 77].

Аероби окиснюють органічні забруднювачі за допомогою окисно- відновних ферментів; анаероби викликають деструкцію ксенобіотиків за механізмом, де термінальним акцептором електронів слугує не кисень, а нітрат, сульфат і діоксид карбону.

Мікроорганізми містять велику кількість ферментів; субстрати, на які вони діють, підлягають політрансформації. Через серію реакцій, що каталізуються ферментами підготовчого метаболізму, ксенобіотики включаються в основний метаболізм мікробної клітини, де частина карбону, що міститься в молекулах сполук, витрачається мікроорганізмами в якості єдиного джерела енергії, йде на синтез біополімерів бактеріальної клітини, а частина окислюється до вуглекислого газу [12, стор. 78].

Ферменти перетворюють високотоксичні органічні сполуки в метаболіти, які згодом трансформуються у речовини, що використовуються мікроорганізмами для отримання енергії і синтезу клітинних елементів [12, стор. 79].

Механізм анаеробної та аеробної біодеградації фенолу мікроорганізмами [12, стор. 79-82].

Рекомендована література [12, с. 74-79].

Тема 10. Вивчення сучасних методів і технологій біологічного очищення води від нафтових забруднень.

В сучасному техногенному суспільстві щоденне споживання нафти збільшиться з 85 мільйонів барелів у 2006 році до 106,6 мільйонів барелів до 2030 року (Energy Information Administration, 2009). Незважаючи на свою важливість, нафта виробляється з великими об'ємами відходів, з яких стічні води становлять понад 80% (Azetsu-Scott & Yeats et al., 2007).

В таблиці 5 наведені деякі дані щодо дії нафти та нафтопродуктів на органолептичні властивості води та живих організмів. При виборі технології очищення конкретного стоку визначальними факторами є: його витрата, вихідна концентрація нафтопродуктів та супутніх забруднювачів, а також вимоги до якості води, яка підлягає очистці. Стисла характеристика методів очищення нафтомістких стоків наведена в таблиці 6.

Біологічне очищення навколишнього середовища від вуглеводнів нафти і нафтопродуктів засноване на застосуванні мікроорганізмів, здатних використовувати ці органічні сполуки як єдине джерело карбону.

Табл. 5.

Порогові концентрації нафти та нафтопродуктів у воді

Речовина	Порогові концентрації (мг/дм ³), які впливають на			ГДК у воді джерел водокористування	
	Органолептичні властивості	Санітарний режим водойми	Організм тварин	господарсько-питного та культурного	рибогосподарського
Нафта багатосірчиста	0,1	3	-	0,1	0,05
Нафта інша	0,3	3	300	0,3	0,05
мазут	0,3	3	-	0,3	0,05
бензин	0,1	-	-	0,1	0,05
бензол	5	25	0,5	0,5	0,5
толуол	0,5	25	200	0,5	0,5
стирол	0,14	10	1000	0,1	0,1
етилен	0,5	10	1,5	0,5	-

Для біодеструкції нафтошламів для біоремедіації земель нині як мікроорганізми-деструктори активно використовують *Rhodococcus, Microbacterium*.

Родококи (рис. 8) характеризуються такими унікальними біологічними властивостями як плеоморфізм, здатність до коагрегації та складний морфогенетичний цикл розвитку, які зумовлюють наявність у них різноманітних способів клітинної кооперації.

Табл. 6.

Класифікація способів очистки нафтомістких вод

Спосіб очистки	Допустима початкова концентрація нафтопродуктів, мг/дм ³	Допустима глибина очистки, мг/дм ³	Примітка
Механічний	Більше 1000	40 - 1000	Не вилучає з води емульговані продукти
Фізико-хімічний:			
флотація	200	20 - 60	Ступінь очищення залежить від флотації
коалесценція	100	10 - 15	Частково очищає воду від емульгованих продуктів
адсорбція	100	1 - 3	Вилучає після попередньої очистки емульговані нафтопродукти

хімічний	50	1 - 10	Застосовується у поєднанні з фільтрацією (відстоюванням)
біохімічний	100	1 -10	Обов'язкове попереднє відстоювання, очищує воду від емульгованих нафтопродуктів

Кооперація сприяє встановленню контакту клітин один з одним, їх утриманню в колоніях, адсорбції на поверхні крапель гідрофобних субстратів та ґрунтових частинок, а також утворенню на поверхні носіїв біоплівки, що використовуються в біотехнологічних процесах.

Крім того, родококи мають гідрофобну клітинну стінку та здатні синтезувати поверхнево-активні речовини (біосурфактанти), що забезпечує взаємодію даних бактерій з важкодоступними гідрофобними субстратами – нафтовими вуглеводнями. За рахунок фрагментації клітинного міцелію родококів на короткі паличкоподібні форми збільшується відношення клітинної поверхні до загального обсягу клітини, що, у свою чергу, підвищує здатність родококів поглинати гідрофобний субстрат, що важко засвоюється.

Таблиця 7

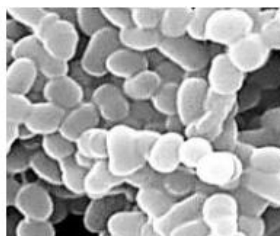
Деструкція вуглеводнів нафти монокультур мікроорганізмів, %

№	Назва культур	Аліфатична фракція	Ароматична фракція	Смоли	Асфальтени	Парафіни
1	<i>Rhodococcus erythropolis</i> KR6	66,81	28,77	63,77	19,34	15,28
2	<i>Rhodococcus ruber</i> Кл4	68,3	49,17	48,67	59,26	20,41
3	<i>Rhodococcus luteus</i> AT2	35,87	41,1	47,31	64,61	1,71
4	<i>Dietzia maris</i> Ku1	48,63	60,24	56,97	51,44	30,64
5	<i>Dietzia maris</i> MB5	53,27	45,81	65,53	46,5	11,35

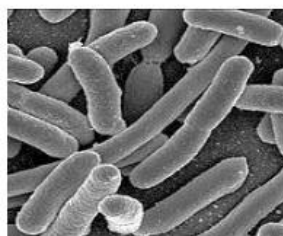
6	<i>Dietzia maris</i> U2.1	63,85	34,7	63,83	55,56	15,6
7	<i>Dietzia maris</i> U2.6	72,45	63,76	63,02	48,97	20,94
8	<i>Rhodococcus</i> <i>erythropolis</i> K11	40,47	35,61	54,59	65,84	23,71
9	<i>Dietzia maris</i> MB3	52,54	47,79	49,22	13,17	1,61
10	<i>Rhodococcus</i> <i>erythropolis</i> KN2	46,69	44,83	40,65	65,02	27,57
11	<i>Rhodococcus</i> <i>erythropolis</i> KN3	57,87	57,9	50,85	68,72	22,39
12	<i>Dietzia maris</i> AT3	55,66	43,88	31,82	15,23	26,92
13	<i>Dietzia maris</i> U2.5	57,46	49,6	46,97	29,63	10,46



а)



б)



в)



г)

Рис. 8. Морфологія клітин штамів бактерій, виділених із проб води геотермального джерела. Скануюча мікроскопія (а-г): а) *Mycobacterium*; б) *Nocardiaceae*; в) *Corynebacterium*; г) *Rhodococcus*. Масштаб – 5мкм

Рекомендована література [12, с. 83-96].

Таблиця 8

Характеристики біореакторів, що використовуються для очищення нафтозабруднених стічних вод

Тип реактора	Переваги	Недоліки	Приклади
За принципом організації процесу			
Періодичної дії	Ефективність процесу не залежить від об'єму стоку, складу та концентрації забруднень Прямий контроль швидкості процесів.	Усі стадії процесу протікають послідовно. Збільшення вартості біокаталізатора, спричинене необхідністю додаткового очищення продукту від середовища.	Очищення забруднених фенолом промислових стічних вод клітинами <i>P. putida</i> , включеними до Са-альгінатних гранули. Деградація фенолу у стічних водах клітинами <i>R. erythropolis</i> , іммобілізованими на кераміці
Безперервної дії	Одночасність усіх стадій. Можливість контролювати процес.	Ефективність процесу залежить від об'єму стоків, складу та концентрації забруднень.	Очищення забрудненої нафтою водопровідної води з використанням іммобілізованих на керамзиті клітин <i>R. erythropolis</i> ЕК-1

Тип реактора	Переваги	Недоліки	Приклади
За принципом роботи			
Нерухомий шар каталізатору	Простота обслуговування.	Наявність тиску градієнта. Відсутність ефективної аерації. Необхідність додаткового газовідведення.	
Псевдозріжджений шар каталізатору	Перемішування та газовідведення. Хороший міжфазний контакт у системі газ-рідини-носії забезпечує високу доступність субстрату для клітин. Безперервний режим роботи.	Відносно невисока швидкість руху рідини та частинок носія. Можливе механічне пошкодження частинок носія. Необхідність підтримувати повний режим витіснення	Аеробне очищення фенолвмісної стічної води клітинами <i>P. putida</i> , включеними в Са-альгінатні гранули, іммобілізованою на поліпропілені змішаною мікробною культурою. Анаеробне очищення забрудненої дизельним паливом води мікробною асоціацією, іммобілізованою на вуглецевих частках
Мембранний біореактор	Висока щільність активної біомаси. Короткий час гідравлічного утримання. Відсутність щаблів відстоювання та фільтрації.	Складність отримання мембранних носіїв та їх висока вартість.	Очищення синтетичної стічної води, містить мазут або мастило, а також поверхнево-активні речовини, активним мулом.

11. САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота здобувача вищої освіти є невід’ємною складовою освітнього процесу. Це основа навчання, спрямована на формування самостійності майбутнього фахівця, уміння здійснювати самостійний пошук, системний аналіз та узагальнення навчально-методичної та наукової інформації, професійно важливих дій до самопідготовки у процесах виробничої практики, здатності приймати конструктивні рішення тощо.

Метою самостійної роботи є підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців на світовому ринку праці через формування їхніх вмінь та ключових навичок.

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни «Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні» є складання письмового звіту за питаннями, що не розглядаються під час аудиторних занять.

11.1. Завдання для самостійної роботи

1. *Процес мікробіологічної переробки сироватки в кормові продукти. Блок-схема технологічного процесу.*
2. *Технологічні схеми та обладнання для виробництва пробіотиків на рідких заквасках.*
3. *Культивування мікроорганізмів – продуцентів білка на гідролізатах торфу.*
4. *Технології очистки стічних вод пивоварного заводу.*
5. *Технології мікробіологічного вилугування металів із руд.*
6. *Біологічна переробка відходів молочної промисловості.*
7. *Особливості накопичення та трансформації забруднень рослинами та водоростями.*
8. *Біологічне видалення сірки.*
9. *Отримання рекомбінантних мікроорганізмів методами генної інженерії.*
10. *Біологічні методи дезактивації пестицидів.*
11. *Біопрепарати-деструктори нафтопродуктів.*
12. *Особливості впливу важких металів на клітинні системи.*

13. *Технологія замкненого циклу для переробки відходів тваринницьких ферм із супутнім виробництвом біомаси мікрородоростей.*
14. *Механізм анаеробної та аеробної біодеградації фенолу мікроорганізмами.*
15. *Біологічна переробка відходів целюлозно-паперової промисловості.*
16. *Біодеградація пестицидів і поверхнево-активних речовин.*
17. *Мікробіологічні способи очищення стічних вод від ароматичних поверхнево-активних речовин.*
18. *Мікробіологічна трансформація вуглеводнів нафти.*
19. *Джерела забруднення навколишнього середовища фенольними сполуками, їх токсичність.*

11. Оформлення звіту про самостійну роботу

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни є складання письмового звіту за темами, вказаними в пункті 7.1.

Звіт оформлюється на стандартному папері формату А4 (210x297) з одного боку. Поля: верхнє, праве – 10 мм, нижнє – 17 мм, лівє – 20 мм. У тексті повинні бути зазначені посилання на використану літературу.

Звіт може бути рукописним або друкованим і виконується українською мовою.

На титульній сторінці звіту мають бути зазначені назва кафедри, тема самостійно ї роботи, прізвище та ініціали здобувача вищої освіти, група, прізвище та ініціали викладача, який приймає роботу, посада.

Загальний обсяг звіту – 10-15 сторінок. Звіт включає план, основну частину, висновки, список використаної літератури та додатки.

Задача звіту про самостійну роботу відбувається у терміни, спільно обумовлені викладачем і здобувачем вищої освіти.

Рекомендована література

Базова

1. Аблєєва І. Ю., Дроздова О. С. Основи токсикології та нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Суми : Сумський державний університет, 2020. 260 с.
2. Гвоздяк П. І. Біохімія води. Біотехнологія води. (автомонографія). Київ : Видавничий центр «Київо-Могилянська академія», 2019. 228 с.
3. Фізико-хімічні основи очищення стічних вод : підручник / Запольський А. К., Мішкова-Кліменко Н. А., Астрелін І. М., Брик М. Т., Гвоздяк П. І., Князькова Т. В. Київ : Лібра, 2000. 367 с.
4. Дехтяр Ю. Ф. Мікробіологічне виробництво кормів та кормових добавок : курс лекцій з дисципліни для здобувачів вищої освіти спеціальності 162 «Біотехнологія та біоінженерія» Миколаїв : МНАУ. 2017. 99 с.
5. Боярин М. В., Нетробчук І. М. Основи гідроекології: теорія й практика : навч. посіб. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. 365 с.
6. Орлов В. О., Квартенко О. М., Мартинов С. Ю., Гордієнко Ю. І. Знезалізнення підземних вод для питних цілей : монографія. Рівне : УДУВГП, 2003. 155 с.
7. Пляцук Л. Д., Черниш Є. Ю. Екологічна біотехнологія: принципи створення біотехнологічних виробництв : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2018. 293 с.

Допоміжна

8. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Спецкурс з очистки стічних вод» (для студентів 5 курсу денної форми навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальностей 7.092601, 7.06010108, 8.06010108 – «Водопостачання та водовідведення», 8.06010302 – «Раціональне використання і охорона водних ресурсів»); Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Х. : ХНУМГ, 2014. 90 с.
9. Практикум з біотехнологій очищення води : навчальний посібник : навч. посіб. для студ. спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад: Л.А. Саблій, О. М. Бунчак, В. С. Жукова. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 106 с.

10. Гвоздяк П. І. За принципом біоконвеєра. Біотехнологія охорони довкілля. *Вісник НАН України*. 2003. № 3. С. 29–36.
11. Глоба Л. І., Заїка С. А., Гвоздяк П. І., Кілючицький П. Я. (2018). Прямоточні біотехнології очищення води – «біоконвеєри». Український центр водно-екологічних проблем. Технології водопідготовки та очищення питної води. URL: <https://cleanwater.org.ua/pryamotochni-biotehnolohiji-ochyschennya-vody-biokonveery/>
12. Мікробіологічні методи очищення стічних вод від органічних забруднювачів : монографія / Гудзенко Т. В., Іваниця В. О., Галкін Б. М., Волювач О. В., Горшкова О. Г. ; Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. Одеса : ОНУ, 2020. 129 с.
13. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. Рівне : БАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/15447/>
14. Левтун І. І. Біотехнологія культивування мікрроводоростей *Chlorella Vulgaris* з підвищеним вмістом ліпідів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. 03.00.20 – біотехнологія. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». Київ, 2017. 154 с.
15. Лисенко В. Є. Дипломний проєкт на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Біотехнології» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» на тему: «Очищення стічних вод міста Хмельницький з глибоким видаленням сполук фосфору». Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2021. 85 с.
16. Біодеструкція поліциклічних ароматичних вуглеводнів / Павленко М. І., Сорока Я. М., Гвоздяк П. І., Кухар В. П. *Каталіз і нефтехімія*, №15, 2007. С. 46–62.
17. Фізико-хімічна геотехнологія : навч. посібник / Табаченко М. М., Владико О. Б., Хоменко О. Є., Мальцев Д. В. Д. : Національний гірничий університет, 2012. 310 с.
18. Технічний опис та інструкція експлуатації камери Горяєва ЭА0.000.851 ТО / Міністерство медичної промисловості. 2013. 10 с.