

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

**03-06-148М**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до вивчення лекційного курсу з дисципліни  
**«Якісні показники природних та стічних вод»**  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)  
рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та  
цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та  
цивільна інженерія» (Водопостачання та водовідведення)  
всіх форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННІБА  
Протокол № 4 від 21.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до вивчення лекційного курсу з дисципліни «Якісні показники природних та стічних вод» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (Водопостачання та водовідведення) всіх форм навчання. [Електронне видання] / Квартенко О. М. – Рівне : НУВГП, 2025. – 96 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 освітньо-професійної програми: Караван В. В., к.т.н., доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

© О. М. Квартенко, 2025  
© НУВГП, 2025

## ЗМІСТ

№	Вступ	4
1	Тема 1. Загальна характеристика та класифікація природних вод. Фізико-хімічні властивості води.	4
2	Тема 2. Основні фізико-хімічні, біологічні та бактеріологічні показники якості природних вод.	12
3	Тема 3. Класифікація шкідливих домішок у природних та стічних водах на основі їх фазово-дисперсного стану.	26
4	Тема 4. Фізико-хімічні основи технологічних процесів очищення поверхневих вод. Реагентне коагулювання. Реагентне пом'якшення води.	35
5	Тема 5. Природні підземні води як складна багатокомпонентна система. Біологічні та фізико-хімічні основи технологічних процесів очищення підземних вод.	41
6	Тема 6. Загальна характеристика та класифікація стічних вод.	52
7	Тема 7. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод різного походження.	62
8	Тема 8. Роль мікроорганізмів у процесах очищення природних та стічних вод. Типи живлення мікроорганізмів. Закономірності мікробного росту.	72
9	Тема 9. Процеси перетворення сполук азоту при очищенні стічних вод.	85
	Література	93

## Вступ

**Мета курсу:** надати здобувачам теоретичні знання та практичні навички з основних якісних показників природних вод, які обумовлюють вибір методу їх очищення, досягнення свідомого засвоєння фізико-хімічної сутності процесів, які відбуваються на спорудах очищення і підготовки, розвитку навичок роботи в лабораторії і постановки хімічного експерименту.

**Завдання курсу:** ознайомити здобувачів вищої освіти з основними показниками якості природних вод, методами їх визначення, державними та міжнародними стандартами; розкрити фізичну та хімічну основу й суть явищ, які мають місце при використанні різноманітних методів (механічних, фізичних, фізико-хімічних, біологічних) очистки стічних вод; навчити здобувачів вищої освіти обирати найбільш ефективний метод очистки стічних вод певного хімічного складу.

### **Тема 1. Загальна характеристика та класифікація природних вод. Фізико-хімічні властивості води.**

*Структура молекули води. Аномальні властивості води, їх причини та значення для життєдіяльності водних організмів. Особливості хімічного складу природних вод. Хімічні властивості води. Взаємна розчинність рідин. Швидкість хімічної реакції\*. Хімічна рівновага\*. Класифікація природних вод.*

Молекула води ( $H_2O$ ) складається з двох атомів водню (H) і одного атома кисню (O) [1-3]. Все різноманіття властивостей води визначається фізичною природою цих атомів, способом їх об'єднання в молекулу. Модель молекули води запропонована Нільсом Бором наведена на (рис. 1). Відповідно з електронним будовою атомів водню і кисню молекула води містить п'ять електронних пар. Вони і утворюють електронну хмару. Хмара не є однорідною. В неї розрізняються окремі скупчення та розрідження. Так біля кисневого ядра утворюється надлишок електронної щільності. Внутрішня електронна пара

водню рівномірно обрамляє ядро. Схематично будова молекули води представлена опуклістю з центром - ядром  $O^{2-}$  (рис. 1).

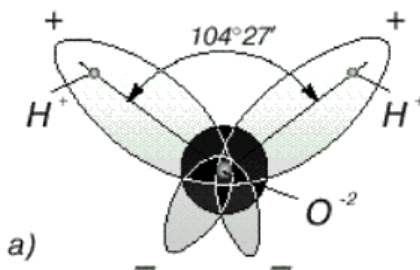


Рис. 1. Будова молекули води [2].

Чотири зовнішніх електрона групуються у дві електронні пари, які притягнуті до ядра, але частково є некомпенсованими. Схематично сумарні електронні орбіталі цих пар показані у вигляді еліпсів, витягнутих від загального центру - ядра  $O^{2-}$ . Кожен з двох електронів кисню утворює свою пару з одним електроном водню. Ці пари також притягуються до електронного ядра. В результаті чого водневі ядра - протони, виявляються дещо оголеними і спостерігається нестача електронної густини. Таким чином, молекула води має чотири полюси зарядів: два негативних (надлишок електронної густини в області кисневого ядра) та два позитивних (нестача електронної густини у двох водневих ядр). Загальний вигляд електронної хмари молекули води зображений на рис. 2.



Рис. 2. Будова молекули води. Зовнішній вигляд електронної хмари

Майже куляста молекула води (рис. 2) має помітно виражену полярність завдяки асиметрично розташованим

електричним зарядом, має мініатюрний диполь з високим дипольним моментом - 1,87 Дебая.

Полярність молекул води, наявність в них частково не скомпенсованих електричних зарядів породжує схильність до групування молекул в укрупнені «співтовариства» - асоціати різного ступеня складності із загальною формулою  $(\text{H}_2\text{O})_x$ .

Безпосередньою причиною утворення асоціатів є водневі зв'язки. Вони виникають між ядрами водню одних молекул та електронними «згущеннями» біля ядер кисню інших молекул води. Слід зауважити, що ці зв'язки в десятки разів слабкіше, ніж «стандартні» внутрішньо-хімічні зв'язки, і достатньо звичайних рухів молекул, щоб зруйнувати їх. Але під впливом теплових коливань так само легко виникають і нові зв'язки цього типу.

Виникнення і розпад асоціатів можливо виразити схемою:



Оскільки електронні орбіталі в кожній молекулі води утворюють тетраедричну структуру, водневі зв'язки можуть упорядкувати розташування молекул води у вигляді тетраедричних координованих асоціатів (рис. 3).

Тетраедрично зв'язані молекули води утворюють своєрідні стабільні рої. Простір між роями заповнюють мономерні молекули води.

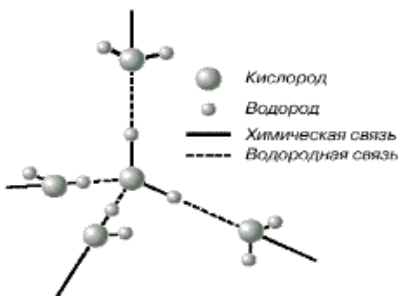


Рис.3. Схема об'єднання молекул води

Крім льодоподібної структури, рідкої води та мономерних молекул певна частина молекул води асоційована не в тривимірні каркаси, а в лінійні кільцеві об'єднання. Кільця, групуючись, утворюють ще складніші комплекси асоціатів (рис. 4а). Подальше вдосконалення цієї моделі призвело до створення кластерної моделі води.

Відома кластерна модель структури води Г. Френка і В. Вена, вдосконалена Г. Неметі - Г. Шерагой (1962). За цією моделлю в рідкій воді, поряд з мономерними молекулами, є кластери – рої молекул  $H_2O$  які об'єднуються водневими зв'язками з терміном існування  $10^{-10}$  -  $10^{-11}$  сек. Кластери містять кілька сот молекул  $H_2O$  і подібно мерехтливим скупченням безперервно виникають і руйнуються внаслідок місцевих флуктуацій щільності.

Практично всі кластерні гіпотези ґрунтуються на тому, що рідка вода складається з мережі з 4-кратно пов'язаних  $H_2O$  - молекул і мономерів, які заповнюють простір між кластерами. Таким чином вода являє собою ієрархію правильних об'ємних структур "асоціатів" (clathrates), в основі яких лежить кристалоподібний "квант води", що складається з 57 її молекул, які взаємодіють один з одним за рахунок вільних водневих зв'язків. При цьому 57 молекул води (квантів), утворюють структуру, що нагадує тетраедр.

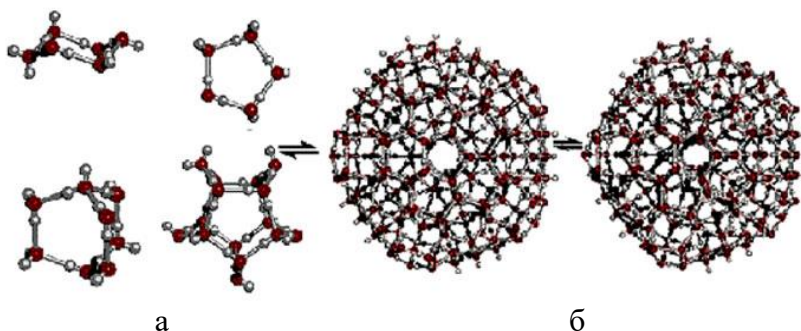


Рис. 4. Можливі об'єднання кластерів води [28]

Структури вищого порядку складаються з 912 молекул води (рис. 4 б).

Що пояснює високу плинність рідини, яка складається з величезних полімерів (рис. 5).

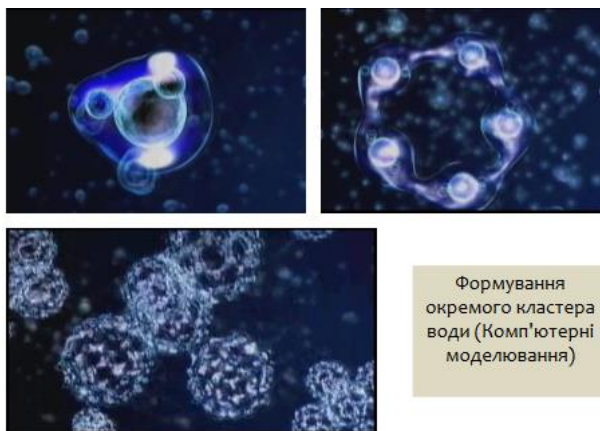


Рис.5. Комп'ютерна модель формування окремого кластера води

*Аномальні властивості води [2, 3, 5].*

1. При замерзанні вода розширюється, а не стискується. Її об'єм збільшується на 10%, а щільність відповідно зменшується. Тому лід плаває і захищає взимку водойми від промерзання.
2. Вода єдина речовина на землі, яке існує одночасно в 3-х агрегатних станах: твердому, рідкому і газоподібному.
3. Вода має високу величину поверхневого натягу ( $\sigma$ ), тому вона здатна підніматися по тонких капілярах.
4. При нагріванні від 0 до 4<sup>0</sup>С щільність води збільшується, а не зменшується, як у інших речовин. Максимальну щільність вода має при 4<sup>0</sup>С, а не при 0<sup>0</sup>С. Щільність води при 4<sup>0</sup>С і тиску 1 атм. прийнята за одиницю щільності твердих і рідких речовин.
5. Діелектрична постійна води вище, ніж у інших рідин. Наприклад, бензол - 2,3, хлороформ - 5,1, оцтова кислота - 21, вода - 81.



6. Вода має високу теплоємність, в 3000 разів більшою, ніж повітрях. Це означає, що при охолодженні  $1\text{ м}^3$  води на  $1^\circ\text{C}$  на стільки ж нагрівається  $3000\text{ м}^3$  повітря.

*Особливості хімічного складу природних вод. Хімічні властивості води [2, 3, 5].*

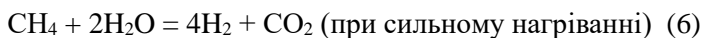
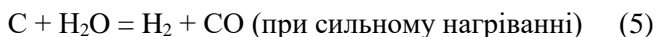
Вода в хімічному відношенні активна речовина. Найбільш легко реагують з водою лужні і лужноземельні метали I і II груп:



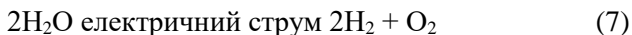
Вода реагує з деякими металами з виділенням водню:



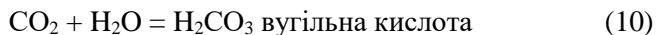
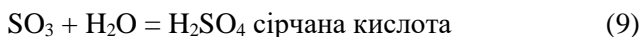
При сильному нагріванні з водою реагують вуглець і метан:



Під дією електричного струму відбувається розкладання води на водень і кисень:

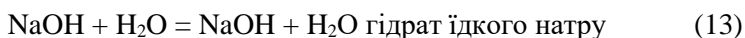
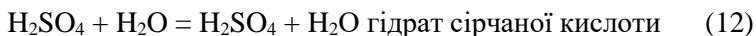
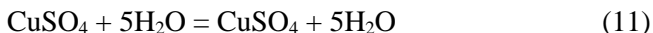


Вода також реагує з багатьма оксидами неметалів:

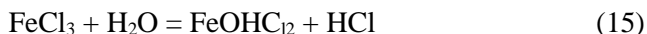
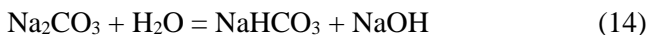


Частина оксидів металів (ZnO, TiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) практично нерозчинні в воді.

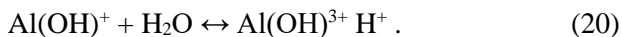
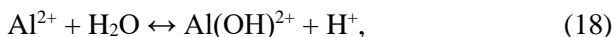
Але, це не стосується гідратів в яких її молекула повністю зберігається. Якщо гідрат кристалічний, то він називається кристалогідратом:



При взаємодії з солями відбувається гідроліз останніх з утворенням основних, кислих і середніх солей:



Процес ступеневої гідролізу солей використовують при очищенні води за допомогою коагулянтів. Наприклад, при використанні в якості коагулянту сірчаноокислого алюмінію, ступінчастий гідроліз солі протікає за схемою:



*Взаємна розчинність рідин\*. Швидкість хімічної реакції\*. Хімічна рівновага.*

*Класифікація природних вод.*

**I. Класифікація за походженням** (атмосферні; поверхневі; підземні).

**II. Класифікація за рН:**

Таблиця 1

Група води	Значення рН	Інгредієнти впливу
Сильнокисла	до 3,0	шахтні і рудні води, які формуються за рахунок підземних вод, що проникають у гірничі виробки зі збагаченням на своєму шляху продуктами руйнування гірських порід і вугілля. Мають високий солевміст, містять високі концентрації сульфідів і важких металів
Кисла	від 3,0 до 5,0	формуються в результаті розкладання органічних речовин і надходження у воду продуктів їх розпаду: вугільної кислоти, фульвокислот, гумінових та інших органічних кислот
Слабокисла	від 5,0 до 6,5	присутність гумусових кислот у ґрунті і болотних водах (води лісової зони)
Нейтральна	від 6,5 до 7,5	Наявність у водах $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
Слаболужна	від 7,5 до 8,5	
Лужна	від 8,5 до 9,5	присутність $\text{Na}_2\text{CO}_3$ або $\text{NaHCO}_3$
Сильнолужна	> 9,5	

**III. Класифікація за жорсткістю:**

Таблиця 2

Група води	Один. виміру, ммоль/дм <sup>3</sup>
Дуже м'які	до 1,5
М'яка	від 1,5 до 4,0
Середньої жорсткості	від 4,0 до 8,0
Жорстка	від 8,0 до 12,0
Дуже жорстка	> 12,0

#### IV. Класифікація за мінералізацією, г/дм<sup>3</sup>

Таблиця 3

Назва	г/дм <sup>3</sup>	Назва	г/дм <sup>3</sup>
Ультрапрісні	До 0,2	солоні	3-10
Прісні	0,2-0,5	Із підвищеним солевмістом	10-35
Слабко мінералізовані	0,5-1,0	Перехідні до розсолів	35-50
солонуваті	1-3	Розсоли	≥50

#### V. Класифікація вод по об'єктах їх використання\*

**Питання для самоконтроля.** 1. Пояснити модель молекули води запроповану Нільсом Бором. 2. Пояснити кластерну модель структури води. 3. Перерахувати аномальні властивості води. 4. При якій температурі спостерігається максимальна щільність води. 5. Перерахуйте агрегатні стани води. 6. Основні хімічні властивості води. 7. Перерахувати групи якості води за рН. 8. До яких груп води за параметрами жорсткості відносяться води: з від 1,5 до 4,0 ммоль/дм<sup>3</sup>; від 4,0 до 8,0 ммоль/дм<sup>3</sup>. 9. Перерахувати параметри якості води за мінералізацією. 10. Від чого залежить швидкість хімічної реакції.

**Тема 2. Основні фізико-хімічні, біологічні та бактеріологічні показники якості природних вод.** *Основні фізико-хімічні показники якості води. Перманганатна та біхроматна окисність. Біохімічна потреба у кисні. Характеристика поверхневих та підземних вод за біологічними та бактеріологічними показниками\*. Роль мікроорганізмів у процесах очищення природних вод та самоочищенні водойм\*.*

**Природні води** [1, 2, 5] – багатокомпонентні системи до складу яких входять мінеральні та органічні речовини, гази, колоїдні та крупно дисперсні речовини, мікроорганізми (рис. 6).

Формування складу природних вод відбувається в результаті взаємодії води із навколишнім середовищем.

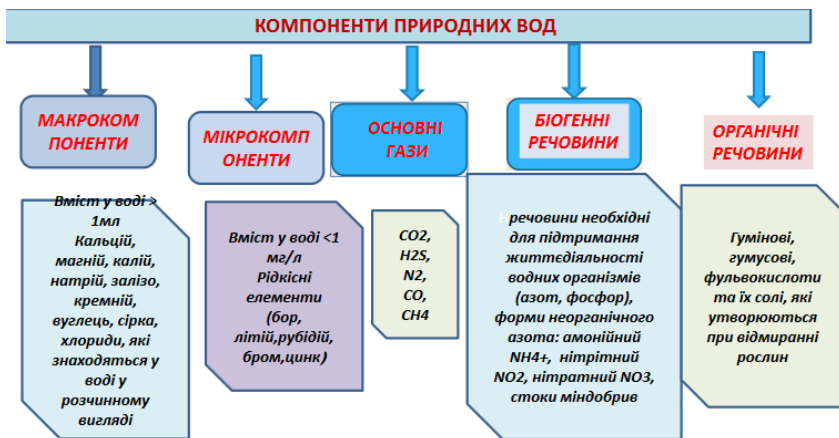


Рис.6. Основні компоненти природних вод

### **Основні фізико-хімічні показники якості води.**

До основних фізико-хімічних показників якості води слід віднести: **температура, каламутність, кольоровість, запах, водневий показник – рН, окисно-відновний потенціал Eh, жорсткість, мінералізацію, лужність, хлориди** (рис. 7-8).

**Температура** води у водоймі є результатом декількох одночасно протікаючих процесів: впливу сонячної радіації, випаровування, теплообміну з атмосферою, переносу тепла течіями, турбулентним перемішуванням вод та ін.

Температура води – напряму впливає на фізичні, хімічні, біохімічні і біологічні процеси, що протікають у водоймі. Від температури води залежать їх кисневий режим та інтенсивність процесів самоочищення. Крім того значення температури використовують для обчислення: ступеня насичення води киснем, індексу стабільності, різноманітних форм лужності, стану карбонатно-кальцієвої системи.

**Каламутність води** характеризується присутністю твердих часток (пісок, глина, мул), домішок органічних і неорганічних речовин, планктону.

**Кольоровість** називають показник інтенсивності забарвлення рідини, викликаний наявністю в ній сполук тривалентного заліза, сульфових, гумінових та фульвокислот.

Концентрація вимірюється в градусах платиново-кобальтової (Табл. 4).

Таблиця 4

Кольоровість	Град. ПКШ	Кольоровість	Град. ПКШ
Дуже мала	до 25	Висока	від 80 до 120
Мала	від 25 до 50	Дуже висока	більше 120
Середня	від 50 до 80	-	-



Рис. 7. Фізичні показники якості води

**Запах.** Запахи поділяються на природного (процеси гниття листя, водоростей, риби), так і штучного походження (хлорована вода, продукти сільськогосподарської діяльності та відходи хімічних виробництв). Інтенсивність запаху визначається за п'ятибальною шкалою (Табл. 5).

Таблиця 5

Інтенсивність запаху	Характер появи запаху	бал
Немає	Запах не відчувається	0
Дуже слабка	Запах не відчувається споживачем але виявляється при лабораторному дослідженні	1
Слабка	Запах помічається споживачем, якщо звернути на це його увагу	2
Помітна	Запах легко помічається і викликає неспхвальний відгук про воду	3
Виразна	Запах звертає на себе увагу і змушує утриматися від пиття	4
Дуже сильна	Запах настільки сильний, що робить воду непридатною до вживання	5



Рис. 8. Хімічні показники параметрів якості води

**Водневий показник (рН)** - безпосередньо впливає на розчинність в рідині газів, солей металів, органічних сполук.

Дозволяє спрогнозувати біологічні та хімічні процеси рідини, визначити її корозійні властивості [2, 5, 20].

**Окисно-відновний потенціал ( $E_h$ )** [1, 5, 20, 25].

Значення окисно-відновних потенціалів виражаються у вольтах (мілівольтах). Окисно-відновний потенціал будь-якої оборотної системи визначається за формулою:

$$E_h = E_0 + (0,058/n) \lg(Ox/Red) \text{ при } t = 20^\circ\text{C} \quad (21)$$

де  $E_h$  – окисно-відновний потенціал середовища;  $E_0$  – нормальний окисно-відновний потенціал, при якому концентрації окисненої і відновленої форм рівні між собою;  $Ox$  – концентрація окисненої форми;  $Red$  – концентрація відновленої форми;  $n$  – число електронів, що приймають участь у процесі.

У природній воді значення окисно-відновного потенціалу ( $E_h$ ) коливаються від -400 до +700 мВ і визначаються всією сукупністю у ній окисних і відновних процесів, що проходять і в умовах рівноваги та характеризує водне середовище відразу щодо всіх хімічних сполук здатних до окиснення відновлення. За окисно-відновним потенціалом у природних водах розрізняють декілька основних типів геохімічних станів:

- 1) **окисна** – характеризується значеннями  $E_h > + (100-150)$  мВ, присутністю вільного кисню, а також цілого ряду елементів з вищими ступенями окиснення ( $Fe^{+3}$ ,  $Mo^{+6}$ ,  $As^{+5}$ ,  $V^{+5}$ ,  $U^{+6}$ ,  $Sr^{+4}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$ );
- 2) **перехідна окисно-відновна** – зумовлену розмірами  $E_h + (0-100)$  мВ, геохімічним режимом зі змінним вмістом гідроген сульфідів та кисню. У цих умовах протікає як слабе окиснення, так і слабе відновлення цілого ряду металів;
- 3) **відновна** – характеризується значеннями  $E_h < 0$ . У підземних водах присутні метали з низькими ступенями окиснення ( $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Mo^{+4}$ ,  $V^{+4}$ ,  $U^{+4}$ ), а також гідроген сульфід.



**Розчинений кисень** резнаходиться в природній воді у вигляді молекул  $O_2$ . Збагачення природних вод киснем відбувається в результаті: а) абсорбції кисню з атмосфери поверхнею водного об'єкта; б) надходженню з дощовими і сніговими водами; в) виділенню вищою водною рослинністю в процесі фотосинтезу.

Фактори які впливають на підвищення концентрації кисню у водному об'єкті за першими двома пунктами – зниження температури і мінералізації, підвищення тиску.

*Фотосинтетичне виділення кисню* відбувається при асиміляції карбон діоксиду вищою водною рослинністю. Фактори які здатні прискорити процес фотосинтезу: підвищення температури води та концентрації біогенних елементів (сполук P, N), інтенсивність сонячного освітлення.

Одночасно з цим, у природних водах, відбуваються процеси які призводять до **зменшення вмісту кисню у воді**. До таких процесів відносяться: а) біологічне та біохімічне дихання організмів та бактерій; б) розкладання органічних речовин; в) хімічне окиснення неорганічних сполук ( $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ ). Фактори які впливають на прискорення споживання кисню: підвищення температури, кількості бактерій та інших водних організмів і речовин, що піддаються хімічному і біохімічному окисненню.

Вміст розчиненого кисню у поверхневих водоймах залежить від сезонних і добових коливань температури, вмісту забруднюючих органічних речовин, рівня евтрофікації (Табл. 6).

Відповідно вимог до складу і властивостей води водойм у пунктах питного і санітарного водокористування вміст розчиненого кисню в пробі, відібраної до 12 годин дня, "не повинен бути меншим за  $4 \text{ мг/дм}^3$  у будь-який період року; для водойм рибогосподарського призначення концентрація розчиненого у воді кисню не повинна бути нижча  $4 \text{ мг/дм}^3$  у зимовий період (при льодоставі) і  $6 \text{ мг/дм}^3$  – у літній" [19, с. 41].

Таблиця 6

Рівень забруднення води і клас якості

Рівень забруднення води і клас якості	Розчинний кисень		
	літо, мг/дм <sup>3</sup>	зима, мг/дм <sup>3</sup>	% насичення
Дуже чисті, I	9	14-13	95
Чисті, II	8	12-11	80
Помірно забруднені, III	7-6	10-9	70
Забруднені, IV	5-4	5-4	60
Брудні, V	3-2	5-1	30
Дуже брудні, VI	0	0	0

**Мінералізація** – це сума всіх розчинених мінеральних речовин в рідині: хлоридів, бікарбонатів, сульфатів магнію, кальцію, натрію, калію. Поверхневі води мають мінералізацію від декількох десятків до декількох сотень міліграмів у літрі. Мінералізація підземних вод змінюється в інтервалі від 40-50 до 65000 мг/дм<sup>3</sup>. Відповідно до гігієнічних вимог до якості питної води сумарна мінералізація не повинна перевищувати розміри 1000 мг/дм<sup>3</sup>.

**Загальна жорсткість води** – це сума некарбонатної (постійної) і карбонатної жорсткості (тимчасової).

Вимірюється у міліграми карбонату кальцію на літр (мг CaCO<sub>3</sub>/L) або градуси жорсткості (°dH), де 1 градус жорсткості еквівалентний 10 мг CaCO<sub>3</sub> на літр.

**Карбонатна жорсткість** (тимчасова) зумовлена наявністю у воді гідрокарбонатів кальцію Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> і магнію Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Наявність солей кальцію зумовлює кальцієву жорсткість, а наявність солей магнію – магнієву.

**Постійна** (некарбонатна жорсткість) зумовлена наявністю у воді кальцієвих та магнієвих солей сильних кислот (CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> та ін.). Усувається шляхом обробки води спеціальними методами: за допомогою реагентів; іонообмінними смолами; зворотнім осмосом.

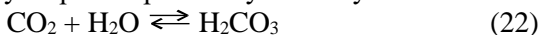
**Лужність** – це загальна сума гідроксильних іонів і аніонів слабких кислот (карбонатів, сульфатів, гидросульфитов,

фосфатів, силікатів, аніонів гумінових кислот), які утворюють гідроксильні іони в процесі гідролізації.

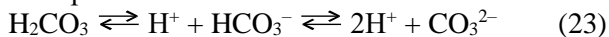
Види лужності: бікарбонатна; карбонатна; фосфатна; гідратна; гуматна; селікатна.

**Сульфатний іон ( $SO_4^{2-}$ )** є одним з найважливіших аніонів природного води, складаючи разом з хлоридами головну частину аніонного складу води морів і сильно мінералізованих озер. Іон  $SO_4^{2-}$ , так само як і  $Cl^-$ , поширений повсюдно, і рідкісні поверхневі води не містять хоча б його малих кількостей. У водах більшості річок і прісних озер кількість  $SO_4^{2-}$  коливається до 60 мг/дм<sup>3</sup>. У підземних водах вміст  $SO_4^{2-}$  зазвичай вище, ніж у воді річок та озер.

**Карбон діоксид** міститься у воді переважно у вигляді розчинених молекул  $CO_2$  і лише невелика частка (близько 1%) при взаємодії з водою утворює карбонатну кислоту:



Карбон діоксид, гідрогенкарбонат- і карбонат-іони є основними компонентами карбонатної системи. У розчині між ними існує динамічна рівновага:



Співвідношення між компонентами значною мірою визначається значенням рН (Табл. 7).

Таблиця 7

Співвідношення форм похідних вугільної кислоти залежно від рН води (у % молів)

Форми	рН							
	4	5	6	7	8	9	10	11
[ $H_2CO_3$ ]	99,7	97,0	76,7	24,99	3,22	0,32	0,02	-
[ $HCO_3^-$ ]	0,3	3,0	23,3	74,98	96,7	95,84	71,43	20,0
[ $CO_3^{2-}$ ]	-	-	-	0,03	0,08	3,84	28,55	80,0

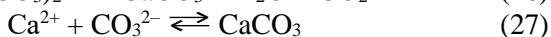
**Карбон діоксид** потрапляє в природні води в результаті біохімічного розпаду та окиснення органічних речовин. Зазвичай його концентрація в підземних водах коливається від 3-4 мг/дм<sup>3</sup> до 80-100 мг/дм<sup>3</sup>. Навесні і влітку вміст карбон(IV)

оксиду у водоймах знижується, а наприкінці зими досягає максимуму.

**Карбонати.** Основним джерелом гідрогенкарбонат- і карбонат-йонів у поверхневих водах є процеси хімічного вивітрювання і розчинення карбонатних порід типу вапняків, мергелів, доломітів:



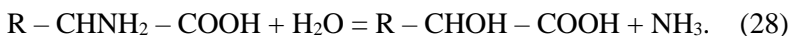
Гідрогенкарбонат- і карбонат- йони виносяться у водойми зі стічними водами підприємств хімічної, силікатної, содової промисловості тощо. По мірі накопичення гідрогенкарбонат- і особливо карбонат-йонів останні можуть випадати в осад:



В природних водах концентрації гідрогенкарбонат- і карбонат-йонів коливаються в досить широких межах. Так для річкових вод – від 30 до 400 мг/дм<sup>3</sup>, для озер від 1 до 500 мг/дм<sup>3</sup>, для морської води від 100 до 200 мг/дм<sup>3</sup>, для підземних вод від 150 до 900 мг/дм<sup>3</sup>.

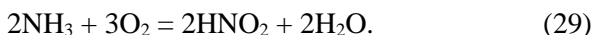
### **Біогенні елементи. Сполуки азоту [1, 2, 5, 23, 26].**

У природній воді з неорганічних сполук азоту зустрічаються: іони амонію (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), нітритний іон (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) і нітратний іон (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Основним джерелом появи в природній воді NH<sub>4</sub><sup>+</sup> є складні органічні речовини тваринного і рослинного походження, що містять у своєму складі білок. У результаті складного біохімічного процесу, що протікає за участю різних бактерій і ферментів, гідролітичні розщеплення кінцевого продукту розпаду білкових речовин - амінокислот - призводить до виділення аміаку:

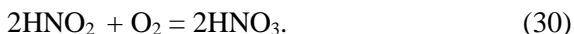


Разом з тим  $\text{NH}_4^+$  може з'являтися неорганічним шляхом. Зокрема, відмічено присутність  $\text{NH}_4^+$  в болотистих водах, багатих гуміновими речовинами, якими він відновлюється з нітратів. Крім того,  $\text{NH}_4^+$  часто потрапляє у водойми у складі промислових стічних вод, наприклад, азотно-тукових, газових, коксо-бензольних, содових і інших заводів.

У природній воді іон  $\text{NH}_4^+$  досить нестійкий і під впливом фізико-хімічних і біохімічних чинників переходить в інші форми сполуки азоту. Так, у присутності достатньої кількості кисню,  $\text{NH}_4^+$  при дії особливого виду бактерій окислюється в нітритний іон. Цей процес, званий нітрифікацією, може бути виражений рівнянням:

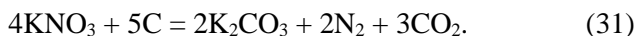


Процес нітрифікації не зупиняється на цьому, а при дії інших бактерій  $\text{NO}_2^-$  окислюється далі в нітратний іон:



Нітратний іон є кінцевим продуктом складного процесу мінералізації органічної речовини.

Іон  $\text{NO}_3^-$  може піддаватися розпаду під дією денітрифікуючих бактерій. Процес денітрифікації протікає при нестачі кисню та наявності безазотистих речовин (крохмаль, клітковина), на окислення яких витрачається кисень нітратів. При цьому азот звільняється у вільному вигляді і виділяється вуглекислота:



### **Сполуки фосфору**

У розчиненому стані сполуки фосфору знаходяться у вигляді іонів ортофосфорної кислоти (мінеральний фосфор) і в органічних сполуках (органічний фосфор).

**Фосфор органічний.** Природні сполуки органічного фосфору надходять у природні води в результаті процесів життєдіяльності і розпаду мертвих водних організмів, обміну з

донними відкладами. Органічні сполуки фосфору присутні в поверхневих водах у розчиненому, зваженому і колоїдному стані.

**Фосфор мінеральний** надходить у природні води під впливом як природних так і антропогенних чинників:

вивітрювання і розчинення порід (апатитів і фосфоритів); антропогенного забруднення (мінеральні добрива, синтетичні миючі засоби); в якості компонентів господарсько-побутових стічних вод.

На форму неорганічного фосфору в природних водах впливає рН. При значеннях рН водойми  $>6,5$  у воді знаходиться біля 90%  $\text{HPO}_4^{2-}$ -йону. У кислих водах неорганічний фосфор існує переважно у вигляді  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ -йонів.

Мінімальні концентрації фосфатів у поверхневих водах спостерігаються звичайно навесні і влітку, максимальні – восени і зимою.

*Перманганатна та біхроматна окисність.*

**Органічні речовини.** Спектр органічних домішок у природних та стічних водах:

♦ група розчинених домішок: гумінові кислоти і їх солі - гумати натрію, калію, амонію; деякі домішки промислового походження; частина амінокислот і білків;

♦ група нерозчинених домішок: фульвокислоти (солі) і гумінові кислоти і їх солі - гумати кальцію, магнію, заліза; жири різного походження; частинки різного походження, в тому числі мікроорганізми.

Величина, яка характеризує сумарний вміст у воді органічних речовин та легкоокиснюваних неорганічних домішок (сірководню, сульфідів, сполук заліза II та ін.) називається перманганатною **окиснюваністю води**.

Забруднення природних водойм органічними речовинами відбувається у результаті надходження недостатньо очищених побутових та виробничих стічних вод, з дощовими і талими водами, внаслідок розвитку рослинних і тваринних організмів.

**Окиснюваність** характеризується кількістю кисню, необхідного на окиснення органічних та легкоокиснюваних

неорганічних домішок, які містяться в 1 дм<sup>3</sup> води, і визначається в мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Для чистих поверхневих водойм величина окиснюваності коливається в межах від 2 до 8 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Для чистих артезіанських вод – до 2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Річки з болотним живленням відрізняються значним ступенем окиснюваності води.

**Біохімічна потреба в кисні (БПК<sub>5</sub>, БПК<sub>пов</sub>), мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.**  
Біохімічна потреба в кисні (БПК) - показник, який визначається при окисленні «органіки» природних вод не хімічними речовинами, а біохімічними впливами в аеробних умовах. Найчастіше визначають біохімічне споживання кисню за п'ять діб - БСК<sub>5</sub>, і, як правило, цей показник в поверхневих водах знаходиться в межах 0,5-4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (Табл. 8).

Таблиця 8

Характеристика якості води БСК<sub>5</sub>

<i>Ступінь забруднення</i>	<i>БСК<sub>5</sub> мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup></i>
<i>Дуже чиста</i>	<i>0,5-1,0</i>
<i>Чиста</i>	<i>1,1-1,9</i>
<i>Помірно забруднена</i>	<i>2,0-2,9</i>
<i>Забруднена</i>	<i>3,0-3,9</i>
<i>Брудна</i>	<i>4,0-10,0</i>
<i>Дуже брудна</i>	<i>Більш 10,0</i>

*Роль мікроорганізмів у процесах очищення природних вод та самоочищенні водойм [6, 18, 27].*

Процеси самоочищення водойм відбуваються під впливом фізичних (вплив сонячної радіації і температури; розведення, осадження грубодисперсних домішок), фізико-хімічних (коагуляція колоїдів), хімічних (гідроліз, окиснювально-відновні процеси) і біологічних процесів [18, 27].

В процесі самоочищення поверхневих джерел від розчинених органічних речовин приймають участь бактерії водорості, гриби, найпростіші – які утворюють єдину екологічну систему [27].

Водорості продукують кисень та створюють сприятливі умови для мікроорганізмів, що окиснюють органічні речовини [18, 27]. **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 розкласти феноли, нафталін, окремі вуглеводні, гербіциди, ціаніди та інші ксенобіотики. Вуглець і азот, що звільнилися в результаті біодеструкції токсикантів, утилізуються водоростями. 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.

Гриби здатні засвоювати важкоокислювані та токсичні сполуки, зокрема феноли.

Слід також відзначити вищу водну рослинність яка є споживачем неорганічних форм біогенних елементів. **Рослини-макрофіти** беруть активну участь і в очищенні води від таких органічних забруднень, як феноли, нафта та нафтопродукти, хлорорганічні сполуки, гербіциди, поверхнево-активні речовини. Очерет (*Scirpus lacustris*) очищає воду від фенолів. Протягом доби одна рослина очерету масою 100 г здатна вилучити з води до 4 мг фенолу. Крім фенолу очерет поглинає та його похідні: пірокатехін, резорцин, ксилол та ін.

Фітопланктон, що рясно розвивається в ставках, може акумулювати понад 90% азоту та фосфору, що містяться у стічних водах. На створення 1000 мг сухої маси водоростей потрібно приблизно 100 мг азоту та 10–14 мг фосфору. Недолік вуглецю водорості компенсують за рахунок фотосинтезу

Однак, при її масовому розвитку і в період відмирання спостерігається самозабруднення водойми рослинними залишками [27]. В процесі самоочищення зоопланктон сприяє зниженню біомаси та продукції фітопланктону. Одночасно,



продукти його життєдіяльності стимулюють процес фотосинтезу і приріст біомаси фітопланктону. Таким чином, у поверхневих водоймах, кількість фітопланктону регулюється зоопланктоном. Найпростіші (саркодові (*Sarcodina*), джугутикові інфузорії (*Mastigophora*), війчасті інфузорії (*Ciliata*)) виконують не тільки санітарну функцію (30 000 клітин для однієї особини), поїдаючи патогенні мікроорганізми, але й освітлюють воду. Пропускаючи через свій організм тонкі завислі частинки, інфузорії викидають їх у воду вже у вигляді відносно крупних частинок, що легко осаджуються у вигляді тонкої суспензії та колоїдних домішок. Наприклад, коловертки, нижчі ракоподібні сприяють коагуляції й осадженню завислих речовин, вилученню патогенних мікроорганізмів.

Однією з найважливіших умов, необхідних для перебігу біологічних та біохімічних процесів, є наявність у воді розчиненого кисню. При достатній концентрації кисню для біологічних перетворень органічних забруднень, процес самоочищення води відбувається безперервно. При нестачі кисню відбувається поступове перетворення аеробного середовища до анаеробного з виділенням гідроген сульфід, метану, водню, оксиду карбону, що призводить до вторинного забруднення водойми.

*Характеристика поверхневих та підземних вод за біологічними та бактеріологічними показниками\*.*

**Питання для самоконтроля.** 1. Надати характеристику терміну «природних вод». 2. Перерахувати основні компоненти природних вод. 3. Перерахувати основні фізико-хімічних показників якості води. 4. Надати характеристику каламутності та кольоровості води. 5. Надати характеристику фізичним показникам якості води. 6. Види жорсткості води. 7. Що являє собою карбонатна жорсткість. 8. Методи зменшення карбонатної та постійної жорсткості води. 9. Які компоненти відносяться до хімічних показників якості води. 10. Назвіть джерела надходження азоту та фосфору в природні води. 11. Які параметри якості води характеризує перманганатна окисність? 12. Яким чином визначаються показники БПК<sub>5</sub>, БПК<sub>пов</sub>? 13. Характеристика якості води за БСК<sub>5</sub>. 14. Фактори впливу на

процеси самоочищення водойм. 15. Із якими явищами пов'язано процес евтрофікації поверхневих водойм.

**Тема 3. Класифікація шкідливих домішок у природних та стічних водах на основі їх фазово-дисперсного стану.** *Загальні поняття про дисперсні системи та їх класифікація. Фізико-хімічна характеристика дисперсних та розчинних домішок води. Будова колоїдних частинок. Класифікація процесів вилучення домішок із вод и згідно з їх фазово-дисперсним станом. Теоретичні основи видалення з води домішок іонної дисперсності\*.*

**Дисперсна система** - це гетерогенна система, що складається з декількох фаз (мінімум - двох), одна з яких має високорозвинену поверхню. **В дисперсних системах подрібнену речовину називають дисперсною фазою, а середовище, в якому ця фаза розподілена – дисперсійним середовищем** (рис. 9). Прикладами дисперсних систем є колоїдні розчини та розчини високомолекулярних сполук.

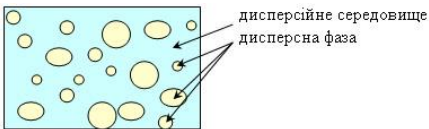


Рис.9.Характеристика дисперсної фази і дисперсного середовища

**Колоїдною системою** (золем) [1, 2, 3, 5, 10] називається мікрогетерогенна дисперсна система, в якій одна з фаз представлена дрібними частинками (розміром від  $10^{-9}$  м до  $10^{-5}$  м), рівномірно розподіленими об'ємі дисперсійного середовища. На відміну від частинок грубодисперсних систем (суспензій, емульсій, пін) із розмірами частинок  $>10^{-4}$  см, колоїдні частинки приймають участь в інтенсивному броунівському русі і не седиментують під дією сил гравітації.

**Високомолекулярні сполуки (ВМС)**— хімічні сполуки, що мають молекулярну масу від декількох тисяч до кількох мільйонів а.о.м.. Молекули таких сполук називають

макромолекулами. За походженням їх поділяють на природні, або біополімери (білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди), і синтетичні (поліетилен, полістирол, полівінілхлорид).

Для всіх дисперсних систем характерні три основні ознаки: гетерогенність, дисперсність, питома поверхня.

Залежно від розмірів частинок дисперсної фази системи поділяють на гомогенні та гетерогенні (рис. 10).

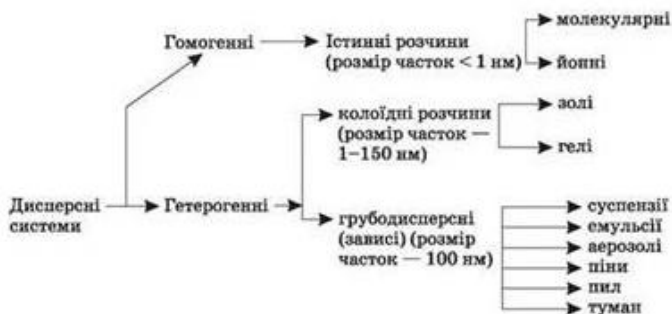


Рис. 10. Класифікація дисперсних систем [10]

**Гомогенною системою** називається система в якій диспергована речовина не має поверхні поділу із дисперсійним середовищем. До таких систем належать істинні розчини (молекулярно-іонні системи - розчин цукру у воді). Розміри молекул і йонів менші за  $1 \cdot 10^{-9}$  м, тобто співмірні з молекулами розчинника. Такі системи є термодинамічно стійкими, і до них поняття дисперсності не поширюється.

### Класифікація дисперсних систем

Дисперсні системи класифікують за: ступенем дисперсності, агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища, між фазною взаємодією, ступенем структурованості тощо.

**1. За ступенем дисперсності** – залежно від лінійних розмірів частинок дисперсної фази (рис. 11), дисперсні системи ділять на: **грубодисперсні** (мікрогетерогенні), в

яких частинки мають розмір більше 1 мкм ( $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ), **тонкодисперсні** (ультрамикрогетерогенні), в яких величина частинок дисперсної фази рівна  $0,1 - 1 \text{ мкм}$ , **колоїдно-дисперсні** системи, в яких частинки розміром  $1-100 \text{ нм}$  ( $10^{-7} - 10^{-9} \text{ м}$ ) [10].

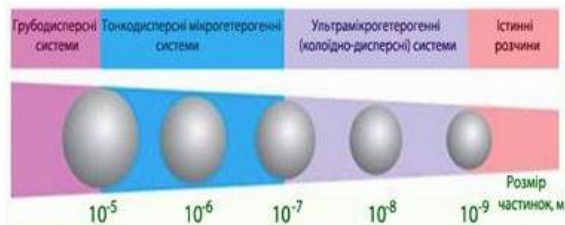


Рис.11. Класифікація дисперсних систем за розміром частинок [10]

До **грубодисперсних систем** належать **суспензії** і **емульсії**.

**Суспензія** – дисперсна система, в якій дисперсною фазою є тверда речовина, а дисперсійним середовищем – рідина (система яка утворюється при збовтуванні у воді піску, глини).

**Емульсія** – дисперсна система в якій дисперсна фаза і дисперсійне середовище представлено взаємно нерозчинними рідинами. Наприклад, при збовтуванні бензолу з водою утворюється емульсія бензолу у воді. При відстоюванні відбувається її розділ на складові частини: верхній шар бензолу і нижній – води. Суспензії та емульсії є нестійкими системами, які розшаровуються під дією сил гравітації.

**Золі** з газоподібним дисперсійним середовищем називають аерозолями; з рідким – ліозолями [10].

**Тонкодисперсні системи** називаються **колоїдними розчинами**. Розмір диспергованих частинок в колоїдних розчинах коливається в межах  $1 - 100 \text{ нм}$ .

**2. За агрегатним станом.** В залежності від агрегатного стану дисперсної фази і дисперсійного середовища всі дисперсні системи поділяються на дев'ять типів (табл. 9).

Таблиця 9

## Класифікація дисперсних систем за агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища

Дисперсна фаза	Дисперсійне середовище	Позначення системи	Назви дисперсних систем	Приклади
<i>G</i>	<i>G</i>	<i>G/G</i>	-	Атмосфера землі
<i>P</i>	<i>G</i>	<i>P/G</i>	Аерозоль рідкий	Туман, хмари
<i>T</i>	<i>G</i>	<i>T/G</i>	Аерозоль твердий	Пил, порошки
<i>G</i>	<i>P</i>	<i>G/P</i>	Піни, газові емульсії	Мильна піна, мінеральна вода
<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P/P</i>	Емульсії	Молоко, майонез, креми, нафта
<i>T</i>	<i>P</i>	<i>T/P</i>	Суспензії, колоїдні розчини ВМС	Суспензії в природних водах; золі металів, гідроксидів металів, солей, мул, пасти
<i>G</i>	<i>T</i>	<i>G/T</i>	Тверді піни	Пінопласти, силікагель, активоване вугілля,
<i>P</i>	<i>T</i>	<i>P/T</i>	Тверді емульсії	Вода в парафіні, ґрунти, гелі
<i>T</i>	<i>T</i>	<i>T/T</i>	Тверді золі (солідозолі)	Кольорове скло, дорожочініе каміння, бето

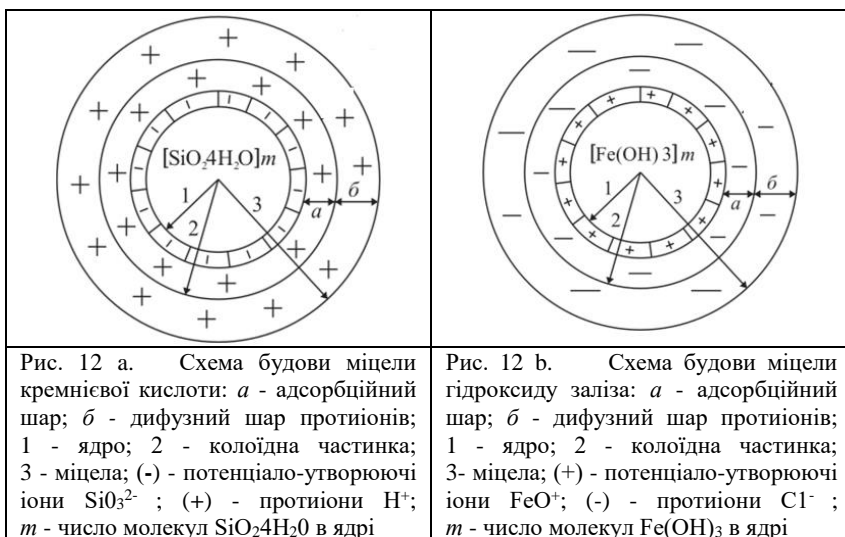
**3. За міжфазовою взаємодією.** У дисперсних системах на межі поділу фаз діють сили взаємодії між частинками дисперсної фази і дисперсійного середовища. Залежно від їх інтенсивності системи поділяють на **ліофобні** та **ліофільні**.

**Ліофобними** є системи, в яких спорідненість дисперсної фази і дисперсійного середовища мала, а тому сили міжмолекулярної взаємодії на межі поділу фаз слабкі. До таких систем належить більшість термодинамічно нестійких дисперсних систем – ліозолі, аерозолі, емульсії, піни.

**Ліофільними** є системи, які характеризуються інтенсивною взаємодією речовин фази і середовища з утворенням гідратних оболонок із молекул дисперсійного середовища навколо частинок дисперсної фази. Ліофільні системи є гомогенними і стійкими до агрегації. До таких систем відносяться розчини високомолекулярних речовин,

міцеллоутворюючих ПАР, мил, деякі розчини полімерів та нуклеїнових кислот.

**Будова колоїдних міцел** [1, 2, 10]. Заряджені колоїдні частинки утворюють міцели - складні структурні утворення, що складаються з агрегату, потенціалвизначальних іонів та протиіонів. Як правило, агрегат складається з великої кількості молекул або атомів кристалічної або аморфної будови. Агрегат електронейтральний, але має велику адсорбційну здатність і здатний адсорбувати на своїй поверхні іони з розчину - потенціалвизначальних іонів. Міцела (рис. 12) складається з ядра, адсорбційного та дифузійного шару іонів.

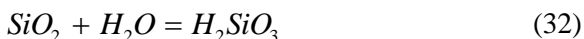


Ядро міцели має великий заряд який сприяє притягінню іонів протилежного заряду – протиіонів з розчину. Частина протиіонів знаходиться у безпосередній близькості від ядра, міцно зв'язана з ним за рахунок адсорбційних та електростатичних сил, і утворює щільну частину подвійного електричного шару (адсорбційний шар). Ядро з протиіонами щільної частини подвійного електричного шару утворює

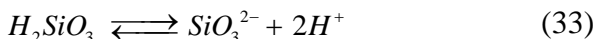
гранулу або колоїдну частинку. Знак заряду колоїдної частки визначається знаком заряду потенціаловизначальних іонів.

Частина протиіонів, які є слабо зв'язані з потенціалоутворюючими іонами, вільно переміщуючись в розчиннику формують дифузійний шар. Міцелла на відміну колоїдної частки електронейтральна.

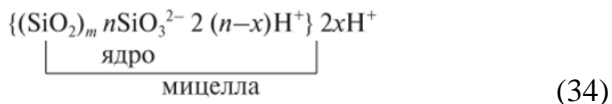
Розглянемо будову міцели, утвореної під час хімічної взаємодії частинки кремнезему -  $\text{SiO}_2$  із водним середовищем (рис. 12 а). У водному середовищі в результаті процесу гідратації молекул  $\text{SiO}_2$  утворюється метакремнієва кислота:



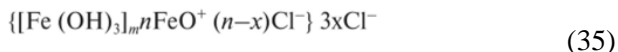
Яка у водному середовищі дисоціює за реакцією:



Іони  $\text{SiO}_3^{2-}$  залишаються на поверхні частинок, обумовлюючи їх негативний заряд, а іони водню переходять до розчину утворюючи дифузійний шар (рис. 12 а) в якому міцно утримуються разом із іншими протиіонами  $\text{H}^+$ . Зазвичай міцели зображують у вигляді колоїдно-хімічних міцелярних формул:



На рисунку 12 б наведено схему будови міцели гідроксиду заліза у випадку, коли він адсорбує іони  $\text{Fe}^{3+}$  з розчину хлорного заліза. Колоїдно-хімічна міцелярна формула сполуки записується як:



Ядро з потенціало-утворюючими  $\text{FeO}^+$  має позитивний заряд.

*Класифікація процесів вилучення домішок із вод и згідно з їх фазово-дисперсним станом [1, 2, 5].*

**Класифікація Кульського** базується на здатності домішок у воді утворювати гетерогенні чи гомогенні системи. Така класифікація забруднень передбачає, що вибір методів очищення води визначається насамперед фізичним станом домішок, а в разі гетерогенної системи і їх дисперсністю. За фазово-дисперсним станом всі домішки поділяють на чотири групи. Дві групи належать до гетерогенних систем, дві — до гомогенних (Табл. 10).

**До першої групи** відносять речовини, що являють собою нерозчинні домішки з розміром часточок  $10^{-5}$  —  $10^{-3}$  см. До цієї групи входять глинисті часточки, карбонатні породи, мул, дрібний пісок, малорозчинні гідроксиди металів, завислі часточки органічних речовин, планктон, волокна, пластмаси, каучук тощо. Системи, утворені домішками першої групи, кінетично нестійкі, для них характерна седиментація в стані спокою. Нерозчинні речовини у завислому стані підтримуються динамічними силами потоку води [1].

**Друга група речовин** поєднує гідрофільні та гідрофобні колоїдні домішки, а також високомолекулярні сполуки. Це переважно мінеральні та органо-мінеральні часточки ґрунтів, недисоційовані і нерозчинні форми гумусових речовин, що надають воді забарвлення, а також віруси та інші організми, що наближаються за розмірами до колоїдних часточок [1]. Речовини другої групи утворюють з водою відносно стійкі колоїдні системи, руйнування яких є головним завданням під час очищення води від цих забруднюючих речовин.

**Третя група речовин** охоплює розчинені у воді гази та органічні сполуки як біологічного, так і антропогенного походження. До них належать різноманітні продукти життєдіяльності та відживання плісневих грибів, актиноміцетів, бактерій, водоростей, а також феноли, спирти, альдегіди та інші органічні речовини, які потрапляють у воду разом із стічними водами. Вони надають воді забарвлення, запахів, присмаків [1].



Таблиця 10

**Класифікація домішок за фазово-дисперсним станом і  
орієнтовний вибір процесів і способів очищення води [1]**

Система			
Гетерогенна		Гомогенна	
Зависі суспензії та емульсії, які зумовлюють каламутність води, мікроорганізми та планктон)	Колоїдні розчини, високомолекулярні сполуки, які зумовлюють окисність та забарвленість води, віруси	Молекулярні розчини (гази, розчинні у воді органічні речовини, які надають їй запахи, присмак)	Іонні розчини (солі, кислоти, луги, які надають воді мінералізованість, кислотність або лужність)
Група			
<b>I</b> $10^{-2} - 10^{-4}$ см	<b>II</b> $10^{-5} - 10^{-6}$ см	<b>III</b> $10^{-5} - 10^{-7}$ см	<b>IV</b> $10^{-7} - 10^{-8}$ см
Процеси, використовувані для видалення домішок			
Механічне безреагентне розділення	Діаліз, ультрафільтрація	Аерування, евапорація, десорбція газів та летких органічних сполук	Гіперфільтрування
Окиснення хлором, озоном	Окиснення хлором, озоном	Окиснення хлором, оксидом хлору (IV), озоном, перманганатом калію	Переведення іонів в малодисоційовані сполуки
Адгезія гідроксидами алюмінію або заліза, а також на зернистих, високодиспергованих матеріалах	Адсорбція гідроксидами алюмінію та заліза а також на високодисперсних глинистих матеріалах	Адсорбція на активованому вугіллі	Фіксація іонів на твердій фазі іонітів
Флотажія суспензій та емульсій	Коагуляція колоїдних систем	Екстракція органічними розчинниками	Сепарація іонів при різному фазовому стані води
Агрегація флокулянтами	Агрегація високомолекулярними флокулянтами катіонного типу	Асоціація молекул	Переведення іонів у малорозчинні сполуки
Бактерицидна дія на патогенні мікроорганізми	Віруліцидна дія	Біохімічне розкладення	Виділення іонів металів мікроорганізмами
Електрофільтрація і електроутримання мікроорганізмів	Електрофорез та електродіаліз	Поляризація молекул в електричному полі	Використання рухливості іонів у електричному полі

До четвертої групи відносять речовини, що утворюють з водою розчини електролітів. Згідно з теорією електролітичної дисоціації, молекули сполук з йонним або сильно поляризованим зв'язком під впливом полярної структури молекул води розпадаються на йони [1].

Класифікація домішок води за їх фазово-дисперсним станом дає змогу науково обґрунтувати **технологічні прийоми обробки води** на основі таких положень [1]:

- 1) фазово-дисперсний стан домішок води зумовлює їх поведінку в процесі обробки води;
- 2) для кожного фазово-дисперсного стану домішок існує відповідна сукупність методів впливу, що дає змогу досягти необхідних якісних показників води зі зміною чи без зміни цього стану.

До **механічних методів** очищення віднесені: проціджування, відстоювання, фільтрування, поділ в полі відцентрових сил, усереднення і аерація.

**Хімічні методи** очищення застосовуються у випадках, коли виділення забруднень із стічних вод можливо тільки внаслідок хімічних реакцій між забруднювальними речовинами і хімічними регентами. Очищення ґрунтується на використанні хімічних окисно-відновних процесах, в результаті яких забруднення перетворюються в нові нешкідливі сполуки, що частково або повністю випадають в осад.

Найбільш широку групу представляють **фізико-хімічні методи** очищення стічних вод: коагуляція, сорбція, екстракція, евапорація, флотація, іонний обмін, кристалізація, діаліз, дезактивація, дезодорація, знесолення, процеси електрохімічної очистки стічних вод.

**Біологічні методи** очищення стічних вод засновані на біохімічному окисленні домішок в природних (поля фільтрації, поля зрошення, біологічні ставки) або штучних умовах (біофільтри, аеротенки, оксітенки).

**Питання для самоконтроля.** 1. Надати характеристику дисперсної системи. 2. Що являє собою колоїдна система? 3. До якої колоїдної системи відносяться високодисперсні аерозолі? 4. За якими ознаками

класифікують дисперсні системи? 5. Надати визначення емульсії та емульгаторів. 6. Характеристика аерозолів та ліозолів. 7. Надати характеристику ліофобних та ліофільних систем. 8. Пояснити будову колоїдної частинки. 9. На якій характеристиці домішок побудована класифікація Л. А. Кульського? 10. Дайте характеристику домішок першої групи за класифікацією Л. А. Кульського і назвіть методи їх видалення. 11. Дайте характеристику домішок другої групи і назвіть методи їх видалення. 12. Дайте характеристику домішок третьої групи і назвіть методи їх видалення. 13. Перерахуйте основні методи очищення води. 14. На чому заснована дія хімічних методів? 15. Які з процесів можливо віднести до фізико-хімічних методів очищення води?

**Тема 4. Фізико-хімічні основи технологічних процесів очищення поверхневих вод. Реагентне коагулювання. Реагентне пом'якшення води.** *Видалення з води колоїдно-дисперсних домішок та органічних речовин. Обробка води коагулянтами. Фізична теорія коагуляції домішок води. Реагентні методи пом'якшення води.*

Природні та стічні води які містять дрібнодисперсні часточки розміром від  $10^{-9}$  до  $10^{-7}$  м із негативним зарядом утворюють стійку колоїдно-дисперсну систему (Рис. 13а).

У колоїдних системах розрізняють два види стійкості: *агрегативна та кінетична* (седиментаційна). Седиментаційною називають стійкість дисперсії відносно сили гравітації [1, 2, 3].

У грубодисперсних системах, де розмір часточок досить значний, сили ваги набувають великого значення, вони змушують часточки седиментувати (осідати) і концентруватися на дні посудини. Прикладом може бути утворення осаду під час розшаровування суспензії гідрокарбонату кальцію в холодній воді. Отже, на відміну від молекулярних систем, грубодисперсні системи є кінетично нестійкими і досить легко седиментують.

На відміну від грубодисперсних систем, істинні розчини мають високу кінетичну стійкість, що пояснюється досить легкими їх частинками, в результаті чого дифузія переважає над силами ваги і відбувається вирівнювання концентрацій в усьому об'ємі системи.

**Агрегативна стійкість** це здатність системи протидіяти коагуляції часточок які мають однойменний заряд. Саме цей заряд і перешкоджає злипанню і збільшуванню колоїдних часточок, тобто перешкоджає коагуляції (Рис. 13а).

Якщо в колоїдних розчинах сили притягіння між часточками більші, ніж сили відштовхування, то відбувається злипання частинок у більші за розміром агрегати, що призводить до порушення агрегативної стійкості (Рис. 13б).

**Коагуляція** – процес злипання колоїдних часток, утворення великих агрегатів із подальшою втратою колоїдною системою агрегативної стійкості.

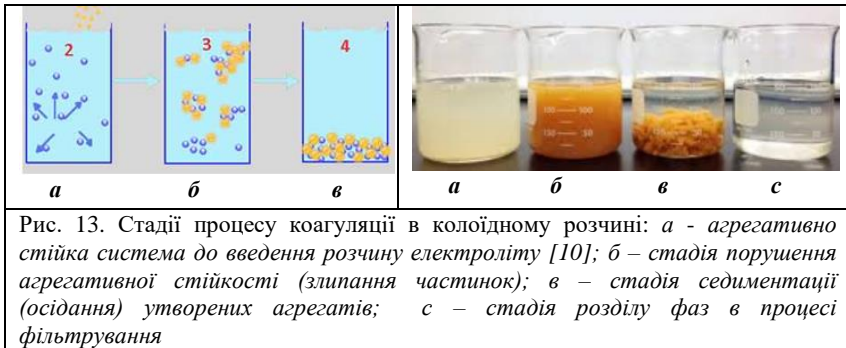


Рис. 13. Стадії процесу коагуляції в колоїдному розчині: а - агрегативно стійка система до введення розчину електроліту [10]; б – стадія порушення агрегативної стійкості (злипання частинок); в – стадія седиментації (осідання) утворених агрегатів; с – стадія розділу фаз в процесі фільтрування

**Ознаки за якими визначають початок процесу коагуляції:** зміна забарвлення золю, виникнення каламутності, початок виділення осаду.

Коагуляцію можна викликати підвищенням температури, механічною дією, високочастотними коливаннями, доливання електролітів (солі  $Al_2(SO_4)_3$ ;  $FeCl_3$ ). У цьому разі коагуляція пояснюється тим, що введені в колоїдний розчин йони електроліту дегідратують йони дифузного шару, сприяють переходові їх до адсорбційного шару. При цьому дифузний шар стискається і зменшуються сили електричного відштовхування, а сили міжмолекулярного зчеплення зростають, що сприяє злипанню і збільшенню часточок (Рис. 14).

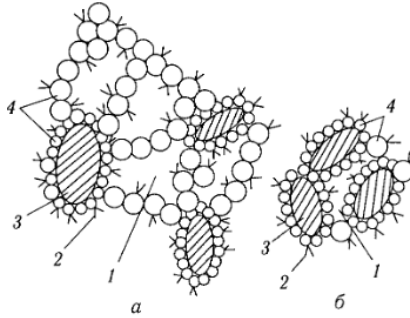
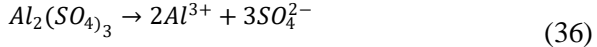


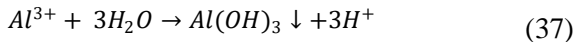
Рис. 14. Модель структури пластівців (а, б): 1 – захоплена вода; 2 – гумінові речовини; 3 – глиністі часточки зависі; 4 – часточки гідроксиду алюмінію [1]

#### *Коагуляція при додаванні солей алюмінію*

Розглянемо які процеси проходять при коагуляції алюмінієвими коагулянтами. При розчиненні в воді коагулянту проходить його дисоціація:



Іон алюмінію одразу підлягає гідролізу. В нейтральному середовищі в результаті гідролізу утворюється метало розчинний гідроксид алюмінію:



Щоб викликати коагуляцію золів необхідно додавати електроліт у певній кількості.

Якщо концентрації електролітів невеликі, настає лише початкова стадія коагуляції (прихована), коли відбувається незначне злипання часточок. Зі збільшенням концентрації електроліту коагуляція розвивається, підвищується її швидкість, що супроводиться появою більших часточок. При цьому золь мутніє (явна коагуляція) [1, 2, 3, 5, 10].

Мінімальну концентрацію електроліту в ммоль, яка здатна спричинити коагуляцію 1 дм<sup>3</sup> золю, називають **порогом коагуляції** ( $C_{пор}$ ).

$$C_{пор} = \frac{V_{ел} C_{ел}}{V_{золю} + V_{ел}}, \quad (38)$$

де,  $V_{ел}$  – об'єм електроліту(см<sup>3</sup>), що спричинив коагуляцію;  
 $C_{ел}$  – концентрація електроліту, ммоль/дм<sup>3</sup>;  $V_{золю}$  – об'єм золю см<sup>3</sup>.

**Флокуляція** – це фундаментальний процес, який використовується для полегшення агрегації дрібних частинок у рідині або розчині з утворенням великих агрегатів. Цей процес зазвичай досягається шляхом додавання неорганічних та органічних високомолекулярних флокулянтів, які сприяють утворенню агрегатів за рахунок зчеплення частинок дисперсної фази і виникнення просторових дисперсних структур.

На рис. 15 схематично наведено стадії процесу коагуляції – флокуляції у технології водоочищення.

*Реагентні методи пом'якшення води [2, 3, 7].*

**Пом'якшення води реагентними методами** засноване на обробці її такими реагентами, аніони яких утворюють з катіонами  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$  малорозчинні сполуки:  $CaCO_3$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $Mg_3(PO_4)_2$  та інші з подальшим їх відділенням в освітлювачах і освітлювальних фільтрах.

Як **реагенти для пом'якшення води** застосовують вапно, кальциновану соду, гідроксиди натрію і барію та інші речовини.

Пом'якшення води **вапнуванням** застосовують при високій карбонатній і низькій некарбонатній жорсткості води, а також у разі, коли не потрібно видаляти з води солі некарбонатної жорсткості. Як реагент використовують вапно, яке вводять у вигляді розчину або суспензії (молока) у заздалегідь підігріту оброблювану воду.

Розчиняючись, вапно збагачує воду іонами  $OH^-$  і  $Ca^{2+}$ :



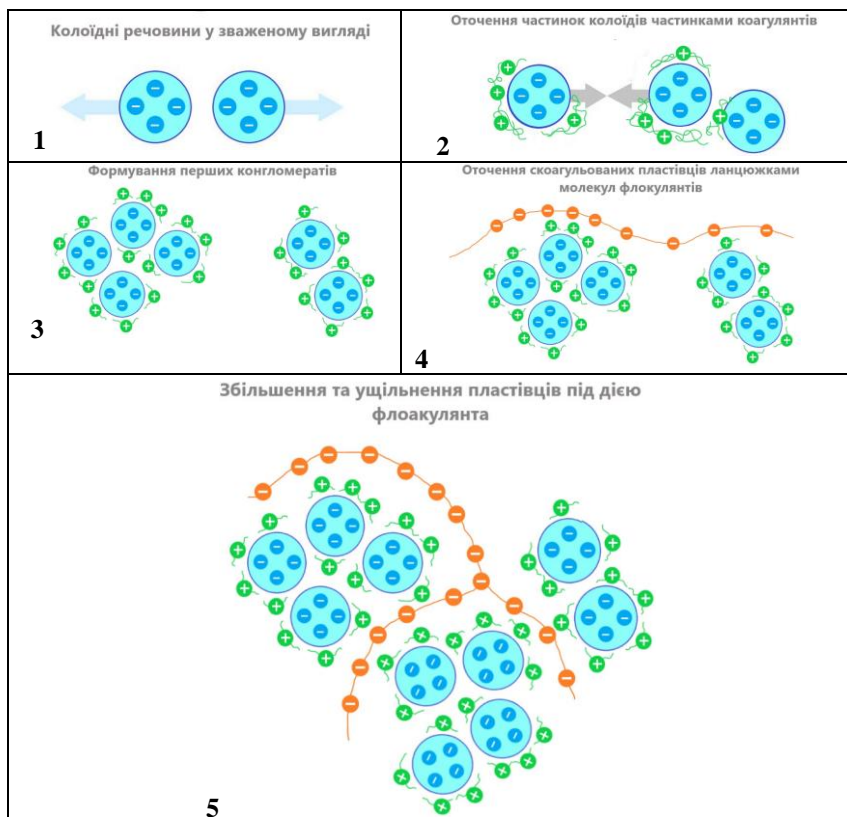
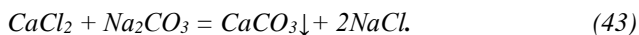
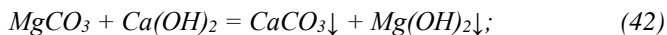
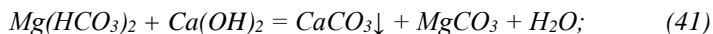


Рис. 15. Схематичні відображення стадій процесу коагуляції – флокуляції у технології водоочищення

Сутність **вапняно-содового методу** пом'якшення води:



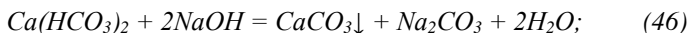
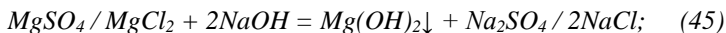
Залишкова жорсткість може бути доведена до 0,5-1 мг-екв/дм<sup>3</sup>, лужність до 0,8-1,2 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

При великій кількості органічних речовин жорсткість води при реагентному методі пом'якшення може знижуватися

всього на 15-20%. У подібних випадках перед пом'якшенням або в процесі пом'якшення з води видаляють за допомогою коагулянтів органічні домішки.

При вапняно-содовому методі процес проводять в дві стадії: 1 - видаляють з води органічні домішки і велику частину карбонатної жорсткості, застосовуючи в якості коагулянту солі алюмінію або заліза з вапном; 2 - вводять соду і решту вапна, пом'якшуючи воду. Якщо видалення органічних домішок проводиться спільно із пом'якшенням води, то як коагулянти застосовують виключно солі заліза, оскільки при високому значенні рН води, необхідному для видалення магнієвої жорсткості, солі алюмінію не утворюють сорбційно-активного гідроксиду.

При пом'якшенні води *содово-натрієвим методом* воду обробляють содою і гідроксидом натрію. Хімізм процесу:



У технологічних схемах реагентного пом'якшення води, як і в схемах освітлення і знебарвлення, використовується наступне обладнання: апаратура для приготування і дозування реагентів, змішувачі, відстійники або освітлювачі, фільтри і пристрої для стабілізаційної обробки води.

**Питання для самоконтроля.** 1. Що розуміють під агрегативною та кінетичною стійкістю колоїдних систем. 2. Назвіть та поясніть основні стадії коагуляції. 3. Які фактори можуть викликати процес коагуляції. 4. Що розуміють під терміном флокуляція. 5. Види пом'якшення води. 6. Які реагенти застосовують при реагентному пом'якшенні. 7. В яких випадках застосовується пом'якшення води вапнуванням. 8. Сутність вапняно-содового методу пом'якшення води. 9. Поясніть хімізм процесу содово-натрієвого методу. 10. Яке обладнання використовується в технологічних схемах реагентного пом'якшення води.



**Тема 5. Природні підземні води як складна багатокомпонентна система. Біологічні та фізико-хімічні основи технологічних процесів очищення підземних вод. Видалення з води розчинених газів (вільної вуглекислоти, сірководню). Сутність процесів, технологічні схеми та установки для дегазації води. Визначення ступеня агресивності природних вод. Фізико-хімічна та біологічна сутність методів знезалізнення та деманганзації води. Інноваційні технологічні схеми та установки\*.**

Хімічний склад підземних вод формується під впливом багатьох природних та антропогенних факторів: температури, концентрацій кисню та карбон(IV) оксиду ( $\text{CO}_2$ ), рН та Eh середовища, зміни маршрутів, рівнів та витрат води, життєдіяльності мікроорганізмів та техногенного навантаження. Внаслідок цього підземні води відрізняються великою різноманітністю і відносяться до складних багатокомпонентних систем, які включають в себе комплекс неорганічних, органічних сполук, газів, мікрофлори [14, 15, 16].

В хімічному складі прісних підземних вод слід виділити макрокомпоненти ( $>10$ ;  $>100$  мг/дм<sup>3</sup>), мікрокомпоненти ( $< 1 - 5$  мг/дм<sup>3</sup>).

Найбільш розповсюдженими серед макрокомпонентів є **йони гідрогенкарбонату  $\text{HCO}_3^-$** , походження яких пов'язано з розчиненням карбонатів кальцію і магнію, які входять до складу вапняків, мергелів, доломітів та інших осадових порід. Кількість іонів гідрогенкарбонату напряму пов'язана із рН водного середовища і кількістю інших похідних форм карбонатної кислоти ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ),  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$ . В нейтральних та слаболужних водах переважають аніони  $\text{HCO}_3^-$ . В кислих (рН $< 5$ ) –  $\text{H}_2\text{CO}_3$  [16].

**Сульфат-іони** займають у складі прісних підземних вод друге місце. Вони з'являються у воді в результаті вилуговування осадових порід, які містять легкорозчинні солі – гіпс, ангідрид, а також окиснення сульфідів. Третє місце за кількістю в прісних підземних водах займають хлориди [16].

Крім того, серед макрокомпонентів слід відзначити кальцій та магній, які надходять в підземні води при розчиненні

вапняків, доломітів, гіпсу. П'яте місце серед макрокомпонентів займають іони  $\text{Na}^+$ . Іони ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), походження яких пов'язано з біохімічним розпадом органічних речовин, зазвичай зустрічаються у верхніх водоносних горизонтах, а при порушенні тектоніки можуть інфільтруватися у більш глибокі водоносні горизонти [16].

**Сірководень**, який міститься в підземних водах, може бути як хімічного, так і біохімічного походження [2, 16, 22]. Процес хімічного утворення  $\text{H}_2\text{S}$  засновано на вулканічних та термометаморфічних явищах. Головну роль при біогенному утворенні сірководню виконують сульфатредуючі бактерії, які здатні в процесі своєї життєдіяльності використовувати різноманітні сульфатні мінерали (гіпс, барит, сульфати металів, органічні сполуки) [16].

**Ферум** – перехідний елемент – комплексоутворювач із змінною валентністю, в підземні води надходить як продукт вилуговування гірських порід. Залізо в породах знаходиться у вигляді гематиту  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , залістих кварцитів, глинистої залістий охри, лімоніту, ферум(III) гідроксиду, жовтої охри у суміші із глиною, магнетиту, ферум(III) оксидів ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), залістого карбонату сидериту ( $\text{FeCO}_3$ ), піриту [2, 16, 22]. При контакті води з мінералами заліза і мангану у певних умовах порушується рівновага між внутрішніми та зовнішніми факторами міграції елементів, а для відновлення їх рівноваги відбувається їх розчинення із вимиванням іонів Fe у розчин. Значну роль при цьому відіграють карбон(IV) оксид, який розчиняє ці сполуки, та залізобактерії, які вилуговують залізо із гірських порід. В підземних водах залізо знаходиться в розчиненій формі у вигляді йонів, неорганічних та органічних комплексних сполук, колоїдів, зависі [22].

1. За відсутності органічних речовин у водах, які містять кисень, за  $\text{pH} > 5$  на 99,0...99,9% переважають сполуки  $\text{Fe}(\text{OH})_3^0$ . В системі неорганічних комплексних сполук заліза процеси окиснення  $\text{Fe}^{2+} - e \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  та гідролізу  $\text{Fe}^{3+}$  при  $\text{pH} > 5$  повинні приводити до повного видалення заліза із підземних вод, які містять кисень. При досягненні добутку розчинності  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в результаті полімеризації формуються колоїди цієї сполуки [16].

2. У безкисневих - безсульфідних водах серед усіх форм заліза переважають іони  $Fe^{2+}$ , менші значення мають комплексні сполуки  $FeHCO_3^+$ ,  $FeSO_4^0$ ,  $FeCO_3^0$  [21].

3. В присутності  $H_2S$  та  $HS^-$  розчинені форми заліза за своєю значимістю можливо розташувати в наступний ряд  $Fe(HS)_n^{2-n} > Fe(OH)^+ > Fe^{2+}$

4. Найбільший вплив на стан заліза, у підземних водах із високим вмістом органіки, здійснюють фульвокислоти (ФК). Відносно велика стійкість сполук Fe із ФК визначає високу вірогідність утворення комплексних сполук Fe – ФК. Аналогічна ситуація, із утворенням стійких комплексів  $Fe^{2+}$  – ГК,  $Fe^{3+}$  – ГК,  $Fe^{2+}$  – ФК,  $Fe^{3+}$  – ФК, спостерігається і у слабокислих залізовмісних водах із високими концентраціями органічних речовин. Концентрація заліза в цих водах може досягати декількох десятків мг/дм<sup>3</sup> [16].

**Манган** складає біля 0,03% від загальної кількості атомів земної кори [2]. В підземних водах зазвичай знаходиться у формі бікарбонату двовалентного мангану  $Mn(HCO_3)_2$  [22]. У безкисневих – безсульфідних водах зазвичай переважають катіони  $Mn^{2+}$  [16].

**Органічні речовини** – відносяться до однієї з найбільш складних груп сполук які містяться в природних водах. До їх складу слід віднести органічні кислоти, феноли, гумусові речовини, нітрогеновмісні сполуки, вуглеводи та інші сполуки. Значний інтерес в галузі очищення природних підземних вод, на яких базується система водопостачання північно-західних областей України, представляють гумусові речовини: гумінові кислоти та фульвокислоти. В результаті адсорбції гумінових речовин на колоїдних частинках заліза, утворюються складні форми комплексних сполук. У цьому випадку залізо знаходиться у воді у вигляді золю під захистом розчинених органічних речовин [16].

**Аміак** може потрапляти у воду з сільськогосподарськими, комунально-побутовими та промисловими стічними водами. На територіях сільськогосподарських угідь з інтенсивним використанням нітратних та калійних добрив в підземних водоносних

горизонтах спостерігається підвищення концентрацій нітритів (до 80-150 мг/дм<sup>3</sup>) та амонійного нітрогену (до 5 - 18 мг/дм<sup>3</sup>). При розчиненні у воді аміак перетворюється в катіон амонію (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>):



Співвідношення йонів NH<sub>4</sub><sup>+</sup> і розчиненого газоподібного аміаку залежить від рН води (рис. 16). Із збільшенням рН на одну одиницю частка неіонізованого амонійного нітрогену зростає в 10 разів.

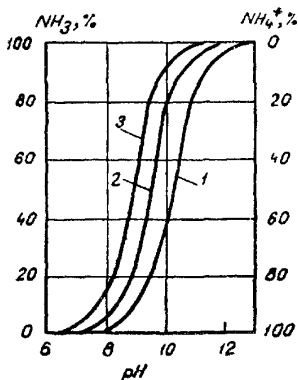


Рис. 16. Вплив рН і температури на розподіл аміаку та йона амонію в воді: 1-при температурі 0°C; 2- при температурі 20 °С, 3 - при температурі 40 °С

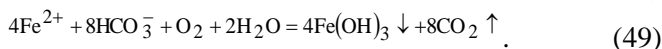
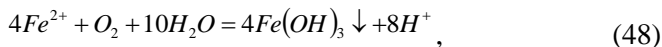
Слід відзначити, що в кислих водах вміст неіонізованого NH<sub>4</sub><sup>+</sup> набагато менший ніж у лужних, а при нейтральних значеннях показника рН (рН 7 ± 0,5), амонійний нітроген представлено у вигляді малотоксичних іонів амонію (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

В більшості випадків на діючих станціях очищення підземних вод впроваджено технології які в основному призначені для вилучення сполук феруму.

Методи деферитизації в практиці водопідготовки представлені трьома групами: безреагентними, реагентними та біологічними (Табл. 11).

Сутність методу глибокої аерації полягає в тому, що в результаті аерації води відбувається вивільнення надлишкового карбон(IV) оксиду із одночасним підвищенням рН і збагаченням води киснем повітря [22]. Кисень окиснює Fe(II), яке при рН ≥6,8 гідролізується та випадає в осад.

Реакція окиснення Fe(II) та гідролізу його солей:



Як впливає із рівняння (48), в процесі реакції збільшується концентрація йонів гідрогену ( $H^+$ ), що, в свою чергу, призводить до прискорення зворотної реакції.

В результаті сумарна швидкість окиснення йонів  $Fe^{2+}$  киснем та гідролізу  $Fe^{3+}$  повинна зменшуватись при зменшенні значень величини рН. Відповідно, чим вища концентрація йонів  $Fe^{2+}$  та нижче значення рН вихідної води, тим більш вірогіднішим є процес гальмування швидкості окиснення та гідролізу  $Fe^{3+}$ .

В результаті виникає необхідність у підлученні води. У відповідності до наведених реакцій, при окисненні 1 мг  $FeCO_3$  утворюється 1,6 мг вільного  $CO_2$ , при одночасному зниженні загальної лужності води на 0,043 ммоль/дм<sup>3</sup> [22], що призводить до зниження рН води та гальмування процесів окиснення і гідролізу.

При використанні методу глибока аерація – двоступеневе фільтрування, утворюється велика кількість пухких та нестійких пластівців ферум(III) гідроксиду ( $Fe(OH)_3$ ) з великою кількістю молекул «захопленої» води, що призводить до швидкого зростання втрат напору фільтруючого завантаження [21] та впливає на зниження тривалості фільтроциклу [13, 16, 21].

**Біохімічний метод** [13, 15, 16, 21]. У підземні водоносні горизонти феробактерії потрапляють в результаті буріння та експлуатації свердловин, інфільтрації поверхневих вод з лісових озер і боліт, а також міграції бактерій з ґрунтів в підземні горизонти [16].

У більшості свердловин міститься достатня кількість розчиненого карбон(IV) оксиду ( $CO_2$ ) і ферум(II) гідрогенкарбонатів ( $Fe(HCO_3)_2$ ) необхідних для розвитку **хемолітоавтотрофних бактерій** роду *Gallionella*

Таблиця 11

## Методи знезалізнення води [16]

№ п/п	Метод	Область застосування	Склад споруд	Сутність методу
1	2	3	4	5
Безреагентні методи: $pH_{\text{вих.}} \geq 6,7$ ; лужність (Л) $\geq 1,5$ ммоль/дм <sup>3</sup> ; перманганат на окисність (ПО) $\leq 9,5$ мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ; Fe(III) $\leq 10\%$ Fe <sub>заг.</sub> ; CO <sub>2</sub> $\leq 80$ мг/дм <sup>3</sup> ; H <sub>2</sub> S $\leq 2,0$ мг/дм				
1	Фільтрування на каркасних фільтрах	Fe <sub>заг.</sub> $\leq 5,0$ мг/дм <sup>3</sup> ; Fe(II) у формі карбонатів, бікарбонатів	Обладнання для подачі стислого повітря, каркасно-засипний фільтр; знезаражування,	Зарядка фільтра відбувається шляхом намівання на керамічному патроні шару гідроокису заліза, який утворюється в результаті окиснення іонів Fe <sup>2+</sup> , з наступною фільтрацією.
2	«Суша» фільтрація	Fe <sub>заг.</sub> $\leq 5,0$ мг/дм <sup>3</sup> ;	Обладнання для подачі стислого повітря, знезараження, швидкий фільтр	Фільтрування води відбувається через незатоплене фільтруюче завантаження, на зернах якого сформована адсорбційно-каталітична плівка із сполук заліза.
3	Спрощена аерація-одноступеневе фільтрування	Fe <sub>заг.</sub> $\leq 10,0$ мг/дм <sup>3</sup> ; Fe (II)-70%; Eh $> +100$ мВ; Обмежене застосування при наявності органіки та амонійного азоту	Бак-аератор або пристрій для вільного вилуви води, швидкий фільтр, блок знезараження води	Метод засновано на здатності води, яка містить іони Fe <sup>2+</sup> та розчинний кисень, при фільтруванні через шар фільтруючого завантаження формувати на його поверхні каталітичну плівку із сполук заліза: При роботі фільтру відбувається її безперервне оновлення.

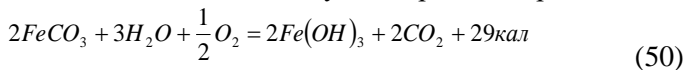
1	2	3	4	5
4	Спрощена аерація-двоступеневе фільтрування	$Fe_{заг}$ від 10 до 20 мг/дм <sup>3</sup> ;	До поз. 3 додається фільтр II-го ступеня	
5	Вакуум-ежекційна аерація із фільтруванням через завантаження великої брудомісткості	$Fe_{заг}$ від 10 до 30 мг/дм <sup>3</sup> ; ПО ≤ 9,5 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ; H <sub>2</sub> S до 10 мг/дм <sup>3</sup> ;	Вакуумно-ежекційний апарат, швидкий фільтр, обладнання для знезаражування	Метод засновано на одночасному використанні двох процесів: миттєвого об'ємного скипання води у вакуумі, яке супроводжується десорбцією розчинних газів, підвищенням рН води, насиченням води киснем повітря, досягнення великої швидкості окиснення сполук двовалентного заліза.
Реагентні методи: низьке значення рН, висока перманганатна окисність (ПО), нестабільність води				
6	Фільтрування через модифіковане завантаження	$Fe_{заг} \leq 12$ мг/дм <sup>3</sup> ПО ≤ 15 мг/дм <sup>3</sup>	Швидкий фільтр із модифікованим завантаженням; обладнання для подачі стислого повітря та знезараження	Метод засновано на формуванні на поверхні фільтруючого завантаження активної плівки, яка утворюється шляхом послідовної обробки завантаження 1,5% розчином сірчаноокислого двовалентного заліза та 0,5% розчином перманганату калію.
7	Спрощена аерація із обробкою сильним окисником та фільтруванням через	$Fe_{заг} \leq 18$ мг/дм <sup>3</sup> ПО ≤ 15 мг/дм <sup>3</sup>	Аератор; реагентне господарство; контактний фільтр; обладнання для знезараження	При аерації, відбувається дегазація вугільної кислоти, насичення води киснем повітря, підвищенню рН води, часткове окислення Fe <sup>2+</sup> . Повне

	завантаження великої брудомісткості			руйнування комплексних сполук Fe, досягається шляхом введення у воду окисника, з наступним фільтруванням пластівців гідроксиду через фільтруюче завантаження.
8	Вапнування, напірна флотация. фільтрування	$Fe_{заг} \geq 15 \text{ мг/дм}^3$ $ПО \geq 15 \text{ мг/дм}^3$	Реагентне господарство; флотатор; обладнання для підготовки повітряно-водної суміші та знезараження; фільтр.	Попереднє вапнування перед напірною флотациєю дозволяє проводити злипання гідроксиду заліза із пухирцями тонко диспергованого у воді повітря та всплуттям утворених агрегатів на поверхню води, з наступним фільтруванням.
9	Аерація, вапнування, відстоювання тонкошарових відстійниках, фільтрування	$Fe_{заг} \geq 15 \text{ мг/дм}^3$ $ПО \geq 15 \text{ мг/дм}^3$ $pH \geq 7,0$	Аератор; реагентне господарство; камера утворення пластівців, тонкошаровий відстійник, швидкий фільтр, обладнання для знезараження води.	Процес знезалізнення відбувається шляхом аерації води, обробки її лужним реагентом, виділення сполук тривалентного заліза в тонкому шарі води та доочищення на швидких фільтрах.
10	Катіонування	Одночасне знезалізнення та пом'якшення	Катіонітові фільтри; обладнання для підготовки регенераційного розчину.	Метод засновано на здатності катіоніту поглинати іони заліза, в обмін на еквівалентну кількість іонів катіоніту.



Мікроорганізми родів *Lepthothrix*, *Crenothrix* – гетеротрофи, які в якості джерела вуглецю використовують органічні речовини.

Відповідно до даних досліджень С.М. Виноградського та М.Г. Холодного, мікроорганізми роду *Gallionella* використовують енергію окиснення ферум(II) карбонатів для асиміляції карбон(IV) оксиду ( $\text{CO}_2$ ), який виступає у вигляді джерела вуглецю відповідно до наступного рівняння реакції:



Дана реакція супроводжується виділенням енергії в кількості 125 г-кал на 1 г окисненої солі  $\text{FeCO}_3$ . За рахунок цієї енергії в клітинах *Gallionella* і відбувається вся робота, необхідна для розпаду карбон(IV) оксиду ( $\text{CO}_2$ ) та синтезу органічної речовини клітини.

Ареал розповсюдження бактерій роду *Gallionella* знаходиться в діапазоні рН 6-7 та редокс потенціалу в межах 100...400 мВ (рис.17). Ареал розвитку мікроорганізмів родів *Lepthothrix*, *Crenothrix* розташовується в області значень рН 7,0 – 8,0 та Eh= -200...300 мВ [15].

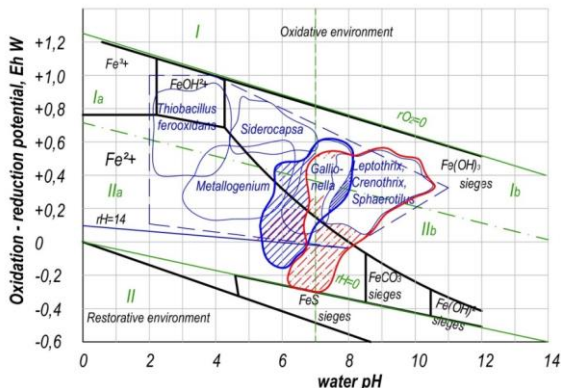
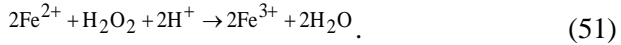


Рис. 17. Поля активності феробактерій [16]

Механізм окиснення йонів  $\text{Fe}^{2+}$  бактеріями родів *Lepthothrix*, *Crenothrix* розвивається за пероксидним шляхом:



Цей процес відбувається в капсулах та на поверхні клітинної стінки.

В залежності від форм існування сірчаних сполук в підземних водах методи очищення води від сірководню поділяються на: фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біохімічні.

*Визначення ступеня агресивності природних вод [2, 5, 14].*

Підземні слабокислі (рН 5,0-6,5) води із низьким лужним резервом ( $2,0 \leq \text{ммоль/дм}^3$ ) зазвичай характеризуються дуже високим ступенем корозії ( $\Pi \approx -2,0$ ). Також тенденцію до корозії ( $\Pi \approx -1,0$ ) проявляють майже нейтральні води із середнім лужним резервом ( $2,0-4,0 \text{ ммоль/дм}^3$ ) та нейтральні (рН 6,5-7,5), корозійно активні води ( $\Pi \approx -1,0 - (-1,5)$ ) із малим ( $<2,0 \text{ ммоль/дм}^3$ ) лужним резервом. Води із зазначеними параметрами якості характерні для Північних та Північно-західних областей України [13, 14, 15]. При подачі такої води в систему водопровідних мереж населених пунктів спостерігалось її повторне забруднення продуктами корозії із збільшенням концентрації заліза, вмісту бактеріальних забруднень, кольоровості, каламутності, запахів, а також відбуваються процеси корозії внутрішньої поверхні водогонів і, як наслідок, пориви трубопроводів. Тому вивчення питання стабілізаційної обробки таких вод є актуальним питанням сьогодення.

**Основними факторами впливу** на підвищення агресивних властивостей підземних вод є:

- зниження величини рН підземних вод, пов'язане із інфільтрацією кислих вод з боліт і водоносних горизонтів, які не експлуатували раніше;

- вплив антропогенних факторів (кислі дощі, проникнення недостатньо очищених виробничих стоків та ін.);

- низький лужний резерв і вміст іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ;

- присутність у підземних водах агресивного діоксиду вуглецю, сірководню, підвищених концентрацій гідрокарбонату заліза [16].

Для визначення ступеня агресивності води необхідно знати її якісні та кількісні характеристики за величинами рН, температури, гідрокарбонатної лужності; концентрацією катіонів  $\text{Ca}^{2+}$ ; загальним солевмістом [14, 19].

За отриманими параметрами якості води та за формулам (1–3) визначали ступінь її агресивності:

$$I_L = pH - pHs \quad (52)$$

де  $pH$  – водневий показник води, яка досліджується;  $pHs$  – водневий показник, при якому вода з концентраціями іонів кальцію і гідрокарбонатів при даній температурі води і загальному вмісті солі є стабільною, визначаємо за формулою:

$$pHs = f(t) - f(\text{Ca}^{2+}) - f(L) + f(P), \quad (53)$$

де  $f(t)$  – функція температури води;  $f(\text{Ca}^{2+})$  – функція концентрації в воді іонів кальцію, приймаємо  $f(L)$  – функція лужності води;  $f(P)$  – функція солевмісту води [19].

Якщо  $I_L < 0$  – вода корозійна;  $I_L > 0$  – вода схильна до карбонатних відкладень;  $I_L \approx 0$  – вода стабільна

**Питання для самоконтроля.** 1. Які фактори впливають на формування хімічного складу підземних вод. 2. Перерахуйте макрокомпоненти підземних вод. 3. Пояснити вплив рН і температури на розподіл аміаку та йона амонію в воді. 4. Джерела надходження амміаку у підземні водоносні горизонти. 5. Які сполуки можливо віднести до органічних речовин? 6. Перерахувати та надати коротку характеристику основним методам деферитизації. 7. Сутність та межі застосування методу глибокої аерації. 8. Надати характеристику основних безреагентних технологій знезалізнення води. 9. Сутність біохімічного методу знезалізнення води. 10. Надати класифікацію ступенів агресивності природних вод.

**Тема 6. Загальна характеристика та класифікація стічних вод.** *Класифікація стічних вод за походженням. Фізико-хімічні характеристики побутових та виробничих стічних вод. Вимоги до якості води, що скидається в централізовані біологічні споруди та природні водойми. Схеми водопостачання промислових підприємств. Визначення необхідного ступеня очищення промислових стічних вод.*

За походженням стічні води поділяються на: походження: **господарсько-побутові; виробничі; атмосферні** [1, 2, 4].

**Побутові стічні води** утворюються від санітарних приладів в житлових та комунальних будинках, побутових приміщеннях промислових підприємств. Містять фізіологічні виділення та господарські відходи (пісок, мило і пральні засоби залишки продуктів харчування).

**Виробничі стічні води** — утворюються в результаті використання води в технологічних процесах на промислових підприємствах, відводяться через систему промислової або загальносплавної каналізації.

Зазвичай виробничі стоки класифікують:

1. **за характерними забрудненнями:** а) механічні; б) хімічні; в) органічні речовини; г) змішані;
2. **за назвою основного забруднювача:** а) нафтовмісні; б) хромові; в) віскозні; г) фенольні; д) пофарбовані, тощо;
3. **за активної реакції середовища (рН):** а) нейтральні рН 6,5-8,5; б) кислі рН до 6,5 (слабокислі рН 4,5-6,5; середньокислі рН 2,5-4,5; сильнокислі рН < 2,5); в) лужні рН понад 8,5; (слаболужні рН 8,5–10,5; середньолужні рН 10,5-12,5; сильнолужні рН > 12,5);
4. **за агресивністю:** а) агресивні; б) неагресивні;
5. **стосовно біохімічного окислення:** а) ті що підлягають біологічному очищенню; б) ті що не підлягають біологічному очищенню.

В залежності від джерела утворення, концентрації та складу домішок стічні води підприємств поділяються на чотири види (табл. 12) – виробничі, поверхневі, господарсько-побутові, дренажні [21].

Таблиця 12

Загальна характеристика стічних вод промислових підприємств [20]

Вид стічних вод	Категорія стічних вод	Джерело утворення
Виробничі	Умовно чисті	1. Системи охолодження. 2. Конденсати чисті. 3. Гідротранспорт
	Мало забруднені	1. Промивання та ополіскування продукції. 2. Зневоднення продукції та сировини. 3. Конденсати технологічних процесів. 4. Очищення твердих відходів. 5. Миття обладнання, транспорту та виробничих приміщень.
	Сильно забруднені	1. Злив відпрацьованих розчинів, кубових залишків. 2. Установки водопідготовки (елюати) та очищення стоків (рідкі відходи)
Поверхневі стічні води	Талі	1. Територія підприємства. 2. Дахи адміністративних та виробничих будівель.
	Дощові	
	Поливальні	1. Миття території підприємства
Господарсько-побутові	-	1. Санвузли адміністративних та виробничих будівель. 2. Душові. 3. Харчові блоки. 4. Пральні
Дренажні	-	1. Водопониження на промайданчиках 2. Майданчики складування твердих промислових відходів. 3. Полігони твердих побутових відходів

**Умовно чисті води** використовуються, як правило, в оборотних системах водопостачання. Після проходження технологічних процесів вони нагріваються і перед повторним використанням в якості охолоджуючого агента підлягають охолодженню на градирнях [7].

До **малозабруднених** виробничих стоків можна віднести ті, "при очищенні яких утворюється дещо більше ніж 20–30% твердих чи рідких відходів. При цьому концентрація домішок у таких стоках не перевищує 1,0 г/дм<sup>3</sup>, а витрата їх на більшості підприємств промисловості, транспорту та сфери послуг складає від 0,1 до 10000 м<sup>3</sup> на добу" [25].

Виробничі стоки із токсичними домішками, які перешкоджають біохімічному окисленню органічних речовин, необхідно піддавати очищенню на локальних очисних спорудах перед їх скидом у міську каналізацію.

Аналогічно виробничим стічним водам, підвищену екологічну небезпеку для навколишнього середовища являють собою **поверхневі стоки** які утворюються на території міста та промислових підприємств під час випадіння дощів і танення снігу. Склад і концентрація забруднюючих речовин у цих стоках залежать від: номенклатури продукції; санітарного стану промислового майданчика та ступеня його благоустрою; наявності на території водозбірних басейнів незахищених від атмосферних опадів сховищ сировини, твердого палива та промислових відходів; ефективності та надійності роботи систем захисту повітря від забруднення; технічного стану промислового обладнання; систем водовідведення (Табл. 13).

Таблиця 13

Джерела забруднень міських зливових стоків

Забруднюючі речовини	Джерела забруднень
Відкладення та плаваючі речовини	Вулиці, газони, проїзди, дороги, будівельні майданчики, атмосферні опади
Пестициди та гербіциди	Житлові газони і сади, узбіччя доріг, змив ґрунту, промислові упорядковані території
Органічні речовини	Житлові газони, ландшафтний дизайн
Метали	Промислові зони, атмосферні опади, корозія поверхні металу, процеси згоряння,
Олива, мастило, вуглеводороди	Дороги, автостоянки, транспортні засоби, зони обслуговування транспорту, заправки
Азот і фосфор	Газонні добрива, атмосферні опади, ерозія ґрунту, миючі засоби, автомобільний вихлоп

### Основними характеристиками стічних вод є:

- кількість стічних вод, що характеризується витратою, вимірюваною в л/с або м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/год, м<sup>3</sup>/зміну, м<sup>3</sup>/добу і т. п.;
- види забруднень і вміст їх у стічних водах, що характеризується концентрацією забруднень, вимірюваною в мг/дм<sup>3</sup> або г/м<sup>3</sup>.

**Визначення концентрації забруднень міських стічних вод.** Концентрацію забруднень, які надходять на очисні споруди, визначають хімічним аналізом або розрахунком [4]. Для побутових стічних вод виходять з норм водовідведення на 1 мешканця, для виробничих – за технологічними даними або хімічним аналізом. Основні критерії забруднення стічних вод на одного мешканця (г/добу) наведено в табл. 14.

Таблиця 14  
Середньодобова кількість забруднень на одного мешканця [4]

Показники	Кількість забруднюючих речовин на одного мешканця, г/добу
Завислі речовини	65
БПК <sub>повн.</sub> неосвітлених вод	75
БПК <sub>повн.</sub> освітлених стічних вод	40
Азот амонійних солей	8
Фосфати (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3
У тому числі від миючих речовин	1,5
Хлориди	9
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	2,5

### Характеристика домішок виробничих стічних вод.

Виробничі стічні води є багатокомпонентними та багатофазними. Вони містять домішки, що мають різну природу, дисперсний і фазовий стан і володіють індивідуальними структурно-механічними, фізичними, хімічними та

біологічними властивостями. На кожному конкретному підприємстві утворюються стічні води з індивідуальними якісними та кількісними показниками забрудненості (табл. 15).

Таблиця 15

Основні показники забруднення стічних вод харчових підприємств

Найменування галузі	Показники забруднень, мг/дм <sup>3</sup>					
	БПКп	ХПК	Завислі речовини	Азот загальний	Фос фор	pH
М'ясопереробна	800–1500	1600–2000	1500–2000	100–150	40,0–80,0	6,5–8,5
Молокопереробна	1200–2400	1500–3000	300–600	50–90	8,0–16,0	6,0–8,0
Рибопереробна	590–1300	1080–2009	1300–1350	30–40	9,0–29,0	7,0–8,0
Хлібопекарська	400–450	550–680	100–150	40–60	5,0–10,0	6,0–8,0
Флодоовочева	150–1610	190–2010	160–2180	20–30	0,1–1,4	6,0–7,5
Пивоварна	800–1000	1200–1500	500–600	24–34	4,5–7,5	7,0–7,5
Спиртова	400–500	500–600	400–440	15–20	2,2–4,0	5,0–6,0

Незважаючи на необхідність індивідуального підходу до виробничих стоків, можливо виділити кілька загальних груп забруднюючих речовин, які, одночасно маючи свої відмінні риси, володіють також деякими важливими з точки зору технологій водоочищення однаковими властивостями.

В основу узагальненої характеристики забруднень виробничих стічних вод може бути покладена класифікація домішок води за їх фазово-дисперсним станом (Табл. 16).



Таблиця 16

## Класифікація домішок виробничих стічних вод за їх фазово-дисперсним станом

Нерозчинні домішки		Розчинні домішки	
Грубодисперсні домішки	Високодисперсні та колоїди	Молекулярні домішки	Іонні домішки
Неемульговані органічні рідини	Міцели ПАР	Розчинені гази	Вільні іони
Пухірки газів	Колоїдні дисперсії	Органічні низькомолекул. з'єднання	<b>Комплексні з'єднання з лігандами:</b> неорганічними (фторидними, аміакатними);  низькомолекул. органічними (органічні кислоти);
Продукти процесу коагуляції та флокуляції	Високодисперсні метали, сульфідні, оксиди, фосфати,	Органічні високомолекул. з'єднання	
Механічні тверді частинки	Дібно емульговані нафтопродукти	Проміжні продукти процесу гідролізу	
Грубоемульговані олії, нафтопродукти	Проміжні продукти процесу кристалізації	-	високомолекул. органічними
Гідроксиди металів	-	-	Асоціати іонів

**Санітарні умови випуску стічних вод у водойми**

В результаті скиду недостатньо очищених стоків у водойми можлива зміна їх фізичних (прозорість, забарвлення, запах, присмак), хімічних (присутність амонійного нітрогену, нітратів, речовини органіки, фенолів, іонів важких металів) і мікробіологічних параметрів якості води. Все це може зробити водойму не придатною для питного, технічного водопостачання та розведення риби.

За «Правилами охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» водойми поділяються на два типи: • водойми питного та культурно–побутового призначення, • водойми рибогосподарського призначення.

Кожний з цих типів ще поділяється на два види і для кожного з них встановлена гранична межа забруднення за певними показниками (табл. 17).

Таблиця 17

Вимоги до якості води водних об'єктів у розрахунковому створі водокористування [18]

Види водокористування	Категорії водокористування	Гранично допустима концентрація (ГДК), мг/л		
		БПК <sub>тв</sub> ЛГДК	Збільшення завислих речовин, СГДК	Розчинений кисень, ОГДК
Санітарно-побутове: питне водопостачання	I	3	0,25	4
культурно-побутове	II	6	0,75	4
Рибогосподарське відтворення і збереження цінних порід риб	I	3	0,25	6
Інші рибогосподарські цілі	II	3	0,75	6 (влітку) 4 (взимку)

Відповідно до нормативного документа (Правила охорони поверхневих вод від забруднень стічними водами) у водні об'єкти забороняється скидати стічні води:

- "які можуть бути усунуті шляхом удосконалення технології, максимального використання в системах оборотного водопостачання або шляхом створення безстічних виробництв";
- "які містять цінні відходи або речовини, що можуть бути утилізовані";
- "які містять речовини, для яких не встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК)";
- "які містять кубові залишки й технологічні відходи"

ГДК це максимальна кількість шкідливої речовини в одиниці об'єму води, що майже не впливає на здоров'я людини. Місця на водних об'єктах, де мають дотримуватися встановлені норми якості води, називають контрольними створами (на водотоках) або пунктами (на водоймах) [4].

**Схеми водопостачання промислових підприємств:** прямоточні; з повторним використанням води; зворотні схеми з охолодженням води; зворотні схеми з очищенням води [7].

## Прямоточна схема

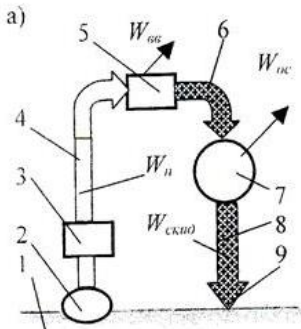


Рис. 18. 1-водойма; 2 - водозабір; 3 - насосна станція; 4 - подача чистої води; 5-підприємство;6- відведення відпрацьованої води; 7 - очисні споруди; 8 - відведення очищеної води; 9 - скидання води

### Умови застосування:

- достатньо потужне джерело водопостачання, розташоване поблизу промислового підприємства ( $\leq 1,5-2$  км);
- невелика різниця відміток майданчика підприємства й горизонту води джерела водопостачання ( $\leq 15$  м);
- неможливість чи недоцільність використання скидної води;
- особливі вимоги до температури води, що використовують для виробничих потреб.

## З повторним використанням води

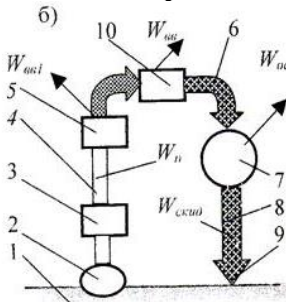
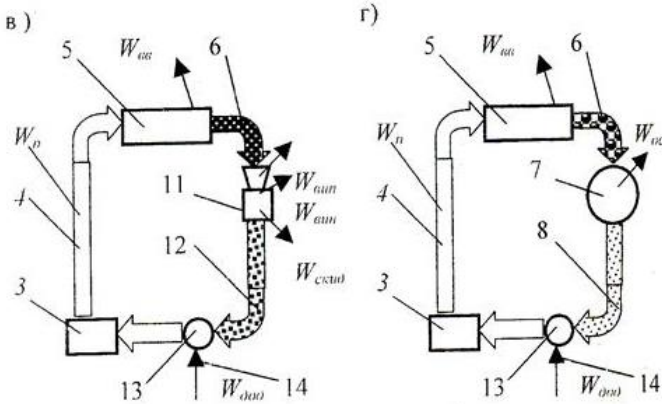


Рис. 19. 1 — водойма; 2 - водозабір; 3 — насосна станція; 4 — подача чистої води; 5, 10 — підприємства; 6 — відведення відпрацьованої води; 7 — очисні споруди; 8 — відведення очищеної води; 9 — скидання води;

### Умови застосування:

- відносно невелика потужність джерела водопостачання;
- висока вартість поданої води;
- можливість повторного використання води;
- достатній напір на скиді.

### Схеми оборотного водопостачання



а) оборотна з охолодженням води      б) оборотна з очищенням води

Рис. 20. Схеми оборотного водопостачання: 1- водойма; 2 - водозабір; 3- насосна станція; 4 - подача чистої води; 5, 10 - підприємства; 6- відведення відпрацьованої води; 7- очисні споруди; 8- відведення очищеної води; 9- скидання води; 11 - охолоджувальний пристрій; 12 - подавання охолодженої води, 13 - підживлювальний колодезь; 14 - подача підживлювальної води

#### Переваги оборотних систем водопостачання:

зменшення розмірів водозабірних споруд; споруд для попереднього очищення річкової води; каналізаційних очисних споруд; насосних станцій 1-го підйому; діаметрів нагнітальних та скидних трубопроводів; зменшення витрат електроенергії на подавання води від джерела до підприємства; збільшення надійності системи водопостачання; підвищення екологічного та соціального ефекту.

В результаті технологічних процесів на підприємстві частина води випаровується, розбризкується або втрачається в результаті витоків. Відповідно, в оборотному циклі зростають мінералізація та жорсткість води, що призводить до відкладення солей (карбонатів кальцію та магнію) на стінках теплообмінної апаратури та водопровідних труб. Для забезпечення необхідних

параметрів якості води із системи постійно скидають частину води ( $W_{\text{скид}}$ ) - так звані продувочні витрати.

Тому для підтримання в оборотних системах водного балансу необхідне їх підживлення свіжою водою, яка за своїми якісними показниками повинна відповідати певним технологічним параметрам [7]. Об'єм води який необхідний для підживлення розраховується за формулою:

$$W_{\text{дод}} = W_{\text{скид}} + W_{\text{вв}} + W_{\text{вип}} + W_{\text{вин}} \quad (54)$$

де  $W_{\text{скид}}$  – продувка системи;  $W_{\text{вв}}$  – витоки води з технологічних мереж;  $W_{\text{вип}}$  – кількість води, що випарюється;  $W_{\text{вин}}$  – кількість води, що вноситься вітром;

### ***Спільні вимоги до якості та властивостей технічної води для систем оборотного водопостачання промислових підприємств:***

повинна бути нешкідливою для здоров'я обслуговуючого персоналу і не володіти негативними органолептичними властивостями (при відкритій системі);

має бути стабільною тобто при використанні для охолодження продукту або конструктивних елементів обладнання вона не повинна виділяти механічних, карбонатних або інших сольових відкладень понад допустиму величину;

не повинна викликати точкової та виразкової корозії, а також рівномірної корозії металу зі швидкістю, що перевищує 0,09 г/(м<sup>2</sup>\*год) (або шар товщиною 0,1 мм на рік), та руйнування бетону;

не повинна сприяти розвитку біологічних обростань теплообмінних апаратів та охолоджувачів оборотної води зі швидкістю, більшою 0,07 г/(м<sup>2</sup>\*год) (шар 0,05 мм на місяць) по повітряно-сухій масі.

*Визначення необхідного ступеня очищення промислових стічних вод\* [7].*

**Питання для самоконтроля.** 1. Джерела утворення побутових та виробничих стічних вод. 2. Класифікація стоків виробничих стоків. 3. Категорії забруднень виробничих стічних вод. 4. Надати характеристику умовно чистих та малозабруднених виробничих стоків. 5. Визначальні критерії забруднень господарсько-побутових стічних вод. 6. Надати характеристику домішок виробничих стічних вод. 7. Перерахувати санітарні умови випуску стічних вод у водойми. 8. Основні схеми водопостачання промислових підприємств. Їх переваги та недоліки. Умови застосування. 9. Переваги оборотних систем водопостачання. 10. Водний баланс в системі оборотного водопостачання.

**Тема 7. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод різного походження.** *Механічні, хімічні та фізико-хімічні методи очистки стічних вод. Межі їх застосування, різновиди, переваги та недоліки. Видалення йонів важких металів з оборотних вод гальванічного виробництва.*

Для очистки стічних вод використовують методи механічної, хімічної, фізико-хімічної і біологічної очистки [1].

**До механічних методів** очищення віднесено: проціджування, відстоювання, фільтрування та поділ у полі відцентрових сил [1, 4].

**Проціджування** через решітки (сита) дозволяє видалити крупні забруднення (тканину, папір, залишки фруктів, овочів тощо).

**В процесі відстоювання** стічних вод відбувається їх освітлення шляхом гравітаційного осадження нерозчинних домішок, що мають густину, більшу ніж густина води, і спливання нерозчинних домішок з густиною меншою ніж густина води (жири, масла, нафтопродукти) [4].

Споруди для очистки стічних вод методом відстоювання: пісковловлювачі, горизонтальні та вертикальні відстійники, жиро-, нафто- чи смолоуловлювачі.

**Мікрофільтрування** використовують для відділення із стічних вод нерозчинних домішок використовуючи спеціальні сітки, тканину чи фільтруюче завантаження. Основні споруди -

це барабанні сітки, мікрофільтри і фільтри із зернистим завантаженням [4].

**Хімічні методи очищення** ґрунтуються на застосуванні сильних хімічних окислювачів (хлор, озон, пероксид водню) з метою нейтралізації стічних вод; окислення (відновлення) домішок до нетоксичних чи малотоксичних речовин; перетворення домішок на нерозчинні у воді сполуки. До хімічного очищення віднесено також процеси електрохімічного окислення домішок на аноді та катодного відновлення цінних речовин, що містяться у стічних водах [1, 2, 4].

До **фізико-хімічних методів** очищення слід віднести: коагуляцію, сорбцію, екстракцію, евапорацію, флотацію, іонний обмін, кристалізацію, діаліз, дезактивацію, дезодорацію, знесолення, процеси електрохімічного очищення [1, 4].

Фізико-хімічна очистка може використовуватись, коли у міських стічних водах більше 50 % складають виробничі стічні води, а у складі їх забруднюючих речовин багато таких, що не окислюються біохімічним шляхом.

**Біологічна очистка** застосовується для видалення із стічних вод основної маси органічних забруднень, що знаходяться у розчинній, колоїдній і нерозчинній формі [4].

Біологічна очистка стічних вод полягає у мінералізації органічних забруднень аеробними мікроорганізмами, для яких ці речовини є джерелом живлення.

При очистці комунальних стоків використовують тільки аеробні методи біологічної очистки; при очистці висококонцентрованих виробничих стічних вод застосовують як аеробні, так і анаеробні методи [4].

Споруди для біологічної очистки стічних вод поділяють на дві групи [4]: а) споруди, в яких очистка відбувається в умовах, близьких до природних (поля фільтрації, поля зрошення і біологічні ставки); б) споруди, в яких очистка відбувається в штучно створених умовах (біофільтри, аеротенки, комбіновані споруди).

В роботі [4] наведено дані щодо ефективності способів очистки стічних вод. Як правило, процеси очищення стічних вод проводиться в декілька ступенів, зокрема попереднього

очищення, фізико-хімічного очищення, біологічного очищення та третинного очищення.

Загальноприйняті класифікації лише опосередковано враховують фазово-дисперсний стан домішок стічних вод, що утрудняє вибір оптимальних варіантів технологічних схем їх очищення.

У 1980-х роках проф. В.М. Рогов запропонував розділити методи очищення на три основні групи: **методи перетворення**, що забезпечують зміну фізико-хімічних та фазово-дисперсних характеристик домішок стічних вод з метою їх знешкодження або швидшого вилучення з води, що очищається; **методи поділу домішок та води**; **комбіновані методи**. Дана класифікація методів очищення дозволяє на основі аналізу вихідних даних попередньо вибирати схеми очищення стічних вод, не виконуючи тривалих технологічних досліджень у лабораторних та промислових умовах.

**Процеси для вилучення домішок із стічних вод (група 1).** *1-а підгрупа.* Процеси для поділу фаз. *2-я підгрупа.* Процеси концентрування розчинених речовин. *3-я підгрупа.* Процеси вилучення домішок нерегенерируемими матеріалами (речовинами). *4-я підгрупа.* Масообмінні процеси видалення забруднюючих компонентів.

**Процеси для поділу фаз** – це найпоширеніші процеси вилучення домішок до яких відносяться проціджування, відстоювання, флотаж, фільтрування, відцентровий поділ, ультрафільтрація, електрофорез і магнітна сепарація. В результаті поділу фаз утворюються осади, промивні води, шлами, обводнені пастоподібні та рідкі продукти, придатні для утилізації (жири, нафтопродукти, олії) та інші відходи, що містять нерозчинені у воді домішки. Процеси для поділу фаз дозволяють очищати воду або без попереднього безреагентного або реагентного перетворення забруднюючих речовин або після здійснення процесів зміни їх фазово-дисперсного стану.

**Процеси для концентрування розчинених речовин** забезпечують поділ домішок і води, в результаті чого утворюється очищена вода і концентрований водний розчин забруднюючих речовин, наприклад концентрати, елюати,



регенерати, розсоли та інші рідкі відходи, що містять розчинені домішки. Для вилучення зі стічних вод домішок методом концентрування застосовують іонний обмін, діаліз, зворотний осмос, електродіаліз, ректифікація, випарювання, заморожування, пінне фракціонування, а також адсорбція з регенерацією адсорбенту парою. Слід зазначити, що в результаті іонного обміну та адсорбції концентрати утворюються не в процесі очищення стічних вод, а після регенерації іонообмінного або адсорбційного матеріалу. Після концентрування рідкі відходи, що утворюються, повинні піддаватися самостійному очищенню, регенерації, утилізації.

***Процеси для вилучення домішок матеріалами, що не регенеруються.*** Суть методу полягає в тому, що забруднюючі домішки спочатку затримуються, адсорбуються або включаються до структури речовини, а потім видаляються разом з нею з води. В результаті очищення утворюються відходи забруднених нерегенерованих матеріалів, наприклад, фільтруючих картриджів, насадок і завантажень, гранульованих, волокнистих або порошкових адсорбентів, тканин, що вбирають і нетканих матеріалів, поролону, скловолокна що використовуються для очищення речовини. Відходи, що утворюються, можуть складуватися, утилізуватися або вивозитися на полігони промислових відходів.

Для вилучення домішок із виробничих стічних вод за допомогою нерегенерованих матеріалів використовуються такі процеси:

- фільтрування через різноманітні пористі перегородки та насадки, у тому числі керамічні, тканинні, із синтетичних та нетканих матеріалів тощо, змінні картриджі та фільтруючі завантаження, що працюють до граничної механічної, хімічної чи біологічної кольматації матеріалів, що застосовуються забруднювальними компонентами;

- адсорбція на порошкових (наприклад, активоване вугілля, бентоніт, каолін, оксиди та гідроксиди металів), волокнистих, пористих або гранульованих матеріалах, які після вичерпання адсорбційної ємності виводяться з процесу очищення;

- іонний обмін на твердих або рідких іонообмінних речовинах, які після насичення катіонами або аніонами, що витягаються, видаляються зі стічних вод, що очищаються, без регенерації.

**Масообмінні процеси видалення забруднюючих компонентів.** Найбільш поширеним масообмінним процесом вилучення домішок із виробничих стічних вод є віддувка забруднюючих речовин аерацією або зрошенням. Ці процеси застосовуються для зниження концентрації легколетких органічних сполук, сірководню, сірчастого газу, аміаку.

### **Процеси перетворення домішок стічних вод (група 2).**

Використовуються в багатоступінчастих технологічних схемах для підвищення ефективності та швидкості процесів вилучення забруднюючих речовин із стічних вод.

Процеси перетворення домішок поділяються на три підгрупи:

1 – процеси які впливають на зміну дисперсного стану домішок;  
2 – процеси які впливають на зміну фазового стану домішок;  
3 – процеси для іонно-молекулярних перетворень домішок.

У технології очищення виробничих стічних вод для зміни дисперсного стану частинок застосовуються: хімічні (коагуляція, флокуляція), безреагентні (коаліценція), електрохімічні та комбіновані процеси. До ефективних електрохімічних процесів зміни дисперсного стану домішок слід віднести електрокоагуляцію та гальванокоагуляцію.

**Процеси зміни фазового стану домішок.** Крім нерозчинених домішок виробничі стічні води практично завжди містять розчинені неорганічні та органічні забруднюючі речовини. Найбільшого поширення в технологіях очистки виробничих стоків набули процеси хімічного осадження. Ці процеси засновані на утворенні малорозчинних сполук, до складу яких включається забруднююча речовина, що знаходилася у стічних водах у розчиненому стані [20]. Наприклад, хімічне осадження металів у загальному вигляді описується хімічним рівнянням:



де:  $\text{Me}^{n+}$  – катіони металів ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  ...);  $\text{A}^m$  – аніони осаджувача металу ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ...)

**Процеси для іонно-молекулярних перетворень домішок** відбуваються в результаті або окислювальних або відновлювальних процесів при хімічному, електрохімічному, біологічному або комбінованому очищенні стічних вод.

**Комбіновані процеси очищення виробничих стічних вод (група 3).** До них відносяться такі процеси як освітлення у зваженому шарі осаду, електрокоагуляція-флотація, електроосадження. В останні десятиліття інтенсивно ведуться розробки нових комбінованих процесів очищення виробничих стічних вод, що є одним з найбільш актуальних та прогресивних напрямів удосконалення технологічних прийомів, що дозволяють створювати ефективні та компактні водоочисні установки за рахунок одночасного здійснення в одній пристрої процесів перетворення та вилучення забруднюючих речовин.

*Видалення йонів важких металів із стічних вод гальванічного виробництва.*

Стічні води гальванічного виробництва відносяться до найбільш шкідливих рідких відходів промислових підприємств. Стічні води гальванічного виробництва розрізняють за концентрацією домішок, режимом скиду та складом забруднень.

За концентрацією забруднення стоки гальванічного виробництва поділяються на концентровані (відпрацьовані технологічні розчини, електроліти, розчини ванн уловлення) і розведені (промивні води після різних технологічних операцій). Концентрації забруднень у концентрованих стоках зазвичай складають 10–400 г/л, а у розведених стоках – 1–100 мг/л [11].

За режимом скиду, стічні води ділять на періодичні (відпрацьовані технологічні розчини, електроліти, розчини ванн уловлювання, стоки від промивки фільтрів витяжної вентиляції і технічного миття обладнання) і ті, які постійно надходять (промивні води, що утворюються при митті виробів у проточних ваннах після обробки).

За складом забруднень (Табл. 18) стічні води гальванічного виробництва поділяють на: кислотні, лужні, хромовмісні, ціановмісні, фторовмісні, іони важких металів (мідьвмісні, нікель та ін.).

Таблиця 18

Середні показники стічних вод у гальванічних цехах [12]

Показник	Масова концентрація стічних вод, л/г		
	ціаністих	хромових	кислих або основних
pH	7-9,5	3-6	5-11
Завислі речовини, г/л	0,1-0,4	0,05-0,2	0,3-3,5
Сухий залишок, г/л	0,5-1,2	0,3-0,8	0,6-3,6
Хлориди, г/л	<0,05	<0,05	0,1-0,7
Сульфати, г/л	<0,1	0,5-0,2	0,1-0,8
Важкі метали, г/л	0,005-0,08	0,05-0,1	0,01-0,2

З недостатньо очищеними гальваностоками щороку у водні об'єкти потрапляють такі високотоксичні важкі метали, як: цинк – 3,3 тис.т, нікель – 2,4 тис.т, хром – 0,5 тис.т та ін.

Стічні води виробництва у своєму складі містять неорганічні кислоти, луки, солі важких металів, нафтопродукти, а також поверхнево-активні речовини. Гальванічні стоки, в залежності від виду забруднюючих речовин та їх концентрації (Табл. 18) відводять декількома потоками на очисні споруди.

Системи водопостачання на підприємствах гальванічного виробництва – оборотного або замкненого циклу водокористування. Очистка забруднених стічних вод є обов'язковим технологічним процесом і відбувається на

локальних очисних спорудах з використанням комбінаторики методів.

Вибір методу очистки обумовлюється кількісною та якісною характеристикою стічних вод, вимогам до якості очищеної води та можливістю придбання необхідних реагентів та обладнання. Найбільш поширені методи очистки стічних вод від важких металів – реагентні, фізико-хімічні (електрохімічні), іонообмінні, мембранні, біохімічні.

**Реагентні технології очищення** стоків є найпоширенішими (понад 80%). Технічний процес такого методу містить наступні операції: розділ стоків на кислотно-лужні, хромо-, фторо- та ціановмісні; накопичення і усереднення стоків за видами; знешкодження хромо- та ціано-вмісних стоків реагентами у реакторах періодичної або безперервної дії; нейтралізація стоків; виділення утворених гідроксидів у вигляді осаду у відстійниках або на флотаційних апаратах; скид висвітленої води у каналізацію або подання на повторне використання [11].

Для забезпечення ефективного очищення попередньо виконується обробка окремо ціано-, хромо- і фторовмісних стічних вод, після чого вони нейтралізуються спільно з кислотно-лужними стоками. Після чого іде стадія осадження гідроксидів металів та інших нерозчинних з'єднань, а при необхідності очищення на механічних та сорбційних фільтрах [11, 12]. На рис. 21 зображена принципова схема реагентної очистки стічних вод від іонів важких металів.

До недоліків методу слід віднести утворення великої кількості осаду гідроксиду заліза, що в свою чергу збільшує навантаження на вузол освітлення та механічного зневоднення осаду (фільтрпрес) очисних споруд.

**Електрохімічні методи:** електрохімічне відновлення та окислення; електрокоагуляція; електромагнітна очистка; гальванокоагуляція; електродіаліз.

Головною перевагою електрохімічних методів у порівнянні з реагентними є зниження витрат реагентів, що призводить до зниження засолення води в процесі її очистки та сприяє використанню очищеної води у гальванічному виробництві.

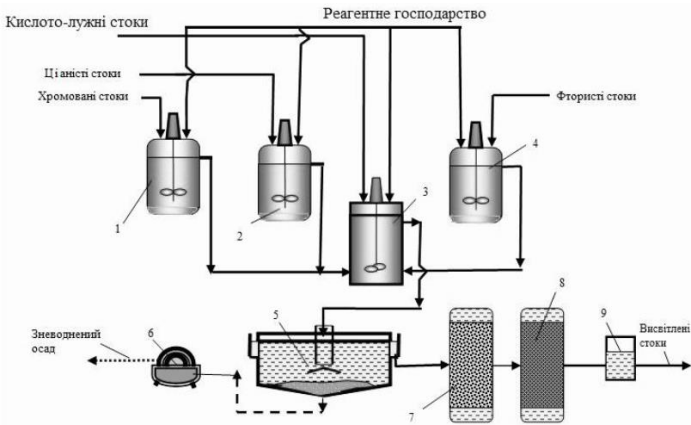


Рис. 21. Принципова схема обробки стоків реагентним методом [11]: 1 – лінія обробки стоків, які містять  $\text{Cr}^{6+}$ ; 2 – лінія обробки стоків, які містять  $\text{CN}^-$ ; 3 – лінія нейтралізації всіх видів стоків; 4 – лінія обробки стоків, які містять фториди; 5 – блок висвітлення стоків; 6 – ділянка зневоднення осаду; 7 – механічні фільтри; 8 – сорбційні фільтри; 9 – ділянка висвітлення осаду [11]

В Науково-інженерному центрі «Потенціал», м. Рівне було розроблено блочно-модульний комплекс «Еліон-М» (рис. 22) призначений для очищення промивних вод гальванічних цехів від іонів важких металів на підприємствах машинобудівного комплексу [12]. Водоочисний комплекс забезпечує необхідні фазоводисперсні перетворення домішок за рахунок електрохімічних процесів, їх вилучення шляхом флотації, освітлення та фільтрування, електрохімічне отримання кислоти та луку з водних розчинів, що очищаються, а також їх знезараження.

Якість очищеної води після БМВК допускає повторне її використання у замкнутому циклі водного господарства гальванічного цеху, а також скидання у виробничу каналізацію. Можливе отримання якості очищеної води на вимогу замовника. Собівартість  $1 \text{ м}^2$  гальванічного покриття під час очищення промивних вод на водоочисному комплексі "Еліон" знижується на 5...10%.

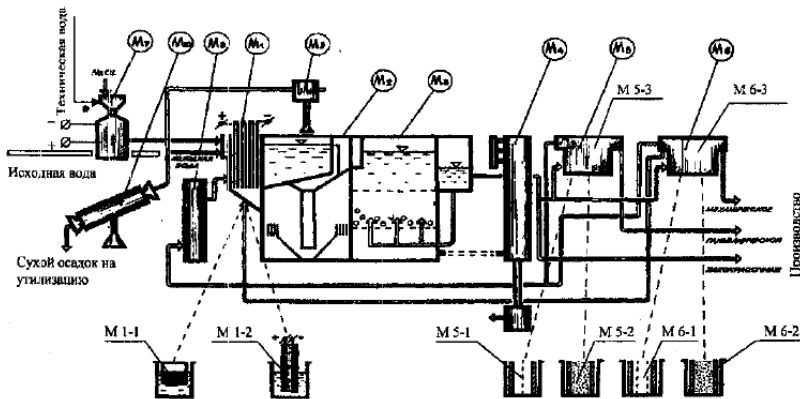


Рис. 4.2. Блочно-модульная схема БМВК «Элион-М»

Рис. 22. Блочно-модульна схема БМВК «Еліон-М» [12]: М1 – електролізер-реактор; М2 – флотатор-освітлювач; М3 – флокулятор-фільтр; М4 – гідроробот; М5 – електрокоректор; М6 – електроконцентратор; М7 – електрогенератор хлору; М8 – пристрій газонасичення; М9 – пристрій збору шлам; М10 – пристрій зневоднення та сушіння шлам [12].

**Іонообмінні методи** очистки води від розчинних домішок ґрунтовані на тому, що катіони та аніони іонообмінних смол мають здатність обмінюватись на катіони і аніони, що містяться у стічних водах. Метод рекомендується для очистки промивних стічних вод з невеликими концентраціями забруднень, а також для очистки стічної води після реагентних або електрохімічних методів, окрім стоків, що містять поверхнево-активні речовини, органічні сполуки та масла [11, 12].

**Мембранні методи** очистки стічних вод засновані на виділенні з води забруднюючих речовин фільтруванням під надмірним тиском через напівпроникні мембрани. В залежності від розміру пор напівпроникних мембран розрізняють процеси ультрафільтрації і гіперфільтрації (зворотній осмос) [11, 12, 20].

Ультрафільтраційні мембрани дозволяють виділити з води речовини колоїдної ступені дисперсності за тиском фільтрування до 1 МПа. Гіперфільтраційні мембрани

дозволяють виділити з води розчинні солі при надмірному тиску до 10 МПа. У випадку очистки мембранними методами суміші різних стічних вод, виникає складність з подальшою обробкою розсолів, кількість яких досягає 30% від об'єму води, яку очищають [20].

**Питання для самоконтролю.** 1. Основні методи очищення стічних вод. 2. Основні методи які використовуються при очистці міських стічних вод. 3. Перерахувати основні споруди для біологічної очистки стічних вод. 4. Назвіть основні групи на які поділяються методи очищення. 5. Надати коротку характеристику процесам поділу фаз. 6. Надати коротку характеристику процесам концентрування розчинених речовин. 7. В чому полягає суть методу вилучення домішок матеріалами, що не регенеруються. 8. Пояснити сутність процесів перетворення домішок стічних вод. 9. Основні види забруднень в стоках гальванічного виробництва. 10. Перерахувати найбільш поширені методи очистки стічних вод від важких металів.

**Тема 8. Роль мікроорганізмів у процесах очищення природних та стічних вод. Типи живлення мікроорганізмів. Закономірності мікробного росту. Морфологія та будова бактеріальної клітини. Особливості будови водоростей. Вплив життєдіяльності гідробіонтів на роботу очисних споруд водопроводу. Санітарно-мікробіологічне оцінювання якості води\*. Біологічна деноксація хімічних патогенів у водному середовищі\*.**

*Типи живлення мікроорганізмів.* Залежно від джерело вуглецю мікроорганізми поділяються на автотрофні та гетеротрофні.

**Автотрофи** – мікроорганізми, здатні засвоювати або фіксувати вуглекислоту повітря як єдине джерело вуглецю й синтезувати з неї органічні речовини.

**Гетеротрофи** – організми, що використовують для конструктивного обміну вуглець із складних органічних сполук.



Залежно від механізму перетворення *енергії* в доступну для клітини біохімічну (макроергічні зв'язки АТФ) розрізняють два типи метаболізму: **фототрофний** (світло) і **хемотрофний**.

**Фототрофи** – організми, що використовують енергію сонячного світла, трансформуючи її в хімічну (ціанобактерії, анаеробні, фототрофні сіркобактерії).

**Хемотрофи** – використовують енергію, звільнену при реакціях окиснення-відновлення (ОВР).

Залежно від того, які речовини є *донорами електронів*, мікроорганізми підрозділяються на 2 групи: органотрофи й літотрофи.

**Органотрофи** – організми, що використовують у якості донора водню органічні речовини.

**Літотрофи** – використовують у якості донорів електронів неорганічні речовини ( $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $S$ ,  $CO$ ,  $Fe^{2+}$ ).

За трьома вищевказаним критеріями (джерело енергії, джерело вуглецю, донор електронів) виділяють 8 фізіологічних груп (таблиця 19)

*Потреби мікроорганізмів у кисні.*

Джерела надходження кисню до клітини: в складі води, вуглекислого газу, органічних речовин. По відношенню до молекулярного кисню бактерії поділяються на декілька фізіологічних груп [6].

1). **Облігатні (обов'язкові, строгі) аероби** – бактерії, здатні одержувати енергію тільки шляхом дихання й тому потребують молекулярного (атмосферного) кисню для дихання (21%). До них належать сарцини, сінна паличка, туберкульозні паличка, вібріони.

2). **Мікроаерофіли** – бактерії, що потребують низьких концентрацій (низького парціального тиску) вільного кисню (2-5%). Високі концентрації кисню пригнічують їхній ріст. Представники – молочнокислі бактерії, актиноміцети, азотфіксатори, воденьокиснюючі бактерії.

3). **Облігатні анаероби** (або факультативні аероби) можуть споживати глюкозу й розмножуватися, як в аеробних, так і анаеробних умовах. Вони здатні призвичаювати свій енергетичний метаболізм із аеробного дихання (за присутності

O<sub>2</sub>) на бродіння або анаеробне дихання (за відсутності O<sub>2</sub>). Серед них є мікроорганізми, толерантні до відносно високих (близьких до атмосферних) концентрацій молекулярного кисню – тобто аеротолерантні. Прикладом аеротолерантних мікроорганізмів є бактерії роду *Clostridium*, денітрифікуючі та сульфатредуючі бактерії, а також велика група ентеробактерій.

Таблиця 19  
Типи живлення (способи існування) бактерій [6]

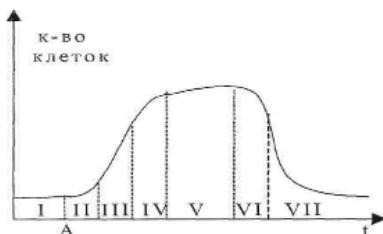
Тип живлення	Джерело енергії	Донор електронів	Джерело вуглецю	Представники
<i>Хемоліто-автотрофія</i>	Окисно-відновні реакції	неорганічні речовини	CO <sub>2</sub>	Нітрифікуючі бактерії, тіонові, водневі бактерії, залізобактерії
<i>Хемоліто-автотрофія</i>			органічні речовини	Метанові, метилредуючі бактерії
<i>Хемооргано-автотрофія</i>		органічні речовини	CO <sub>2</sub>	Факультативні метилотрофні бактерії
<i>Хемооргано-автотрофія</i>			органічні речовини	Ентеробактерії, молочнокислі, маслянокислі
<i>Фотоліто-автотрофія</i>	Сонячне світло	неорганічні речовини	CO <sub>2</sub>	Деякі пурпурні й зелені бактерії, ціанобактерії
<i>Фотоліто-гетеротрофія</i>			органічні речовини	Деякі пурпурні й зелені бактерії
<i>Фотооргано-автотрофія</i>		органічні речовини	CO <sub>2</sub>	Деякі пурпурні бактерії
<i>Фотооргано-гетеротрофія</i>			органічні речовини	Деякі пурпурні й зелені бактерії, галобактерії

4). **Облігатні анаероби** розмножуються тільки в анаеробних умовах. Біохімічно анаеробне дихання протікає по

типу бродильних процесів, молекулярний кисень при цьому не використовується (*Metanosarcina*, *Metanobacterium*, *Cl. tetani*, *Cl. perfringes*, *Cl. acetobutylicum*).

*Закономірності мікробного росту.*

В процесі розвитку бактеріальної популяції відбуваються взаємозалежні процеси: **індивідуальний ріст, розмноження і відмирання клітин** (рис. 23).



Фази росту

Рис. 23. Крива росту розвитку популяції клітин

За стаціонарних умов вирощування виділяють наступні основні фази росту бактеріальної популяції:

**I. Початкова фаза, або лаг-фаза** – від моменту засіву бактерій у рідке поживне середовище й до початку активного росту. Це стадія адаптації з уповільненим темпом приросту біомаси бактерій. Тривалість залежить від умов культивування, віку й видової специфічності бактерій.

**II. Експоненціальна, або лог-фаза** (фаза геометричного росту) – фаза з різким ростом чисельності популяції мікроорганізмів ( $2^n$ ). У цей період розмноження бактерій відбувається з максимальною швидкістю (кількість клітин збільшується в геометричній прогресії). Відбувається швидке поглинання поживних речовин із середовища й нагромадження продуктів метаболізму.

**III. Стаціонарна фаза** (фаза рівноваги розмноження й відмирання мікробних клітин). Наступає, коли кількість біомаси

клітин перестає збільшуватися – кількість новоутворених клітин дорівнює числу відмерлих. Ця фаза характеризується максимальною величиною біомаси мікробних клітин.

**IV. Фаза відмирання** – стадія загибелі – зменшення чисельності популяції у зв'язку зі зменшенням і відсутністю умов для розмноження мікроорганізмів (дефіцит поживних речовин, зміна рН, концентрації іонів й інших умов культивування).

*Морфологія й ультраструктура бактеріальної клітини [6].*

За формою бактерії поділяються на: коки (кулясті), паличкоподібні (циліндричної форми), звивисті (спіралеподібна форми) і нитчасті [18].

**Коки** (лат. *coccus* – зерно). Мають кулясту форму, але бувають сферичні, еліпсоподібні, бобовидні і ланцетоподібні. За характером поділу, розміщенням й біологічними властивостями вони поділяються на мікрококи, диплококи, стрептококи, тетракоки, сарцини і стафілококи (рис. 24).

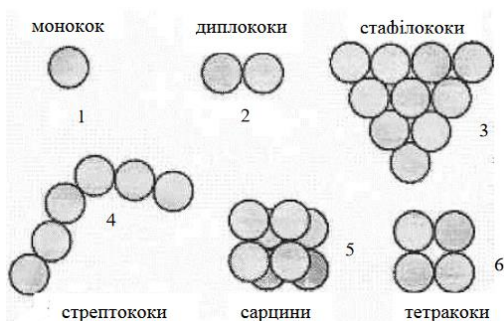


Рис. 24. Кокоподібні форми бактерій: 1 – монококи; 2 – диплококи; 3 – стафілококи; 4 – стрептококи; 5 – сарцини; 6 – тетракоки

**Паличкоподібні бактерії** (від грец. *bakterion* – паличка) мають видовжену циліндричну форму поділяються на бактерії та бацили (рис. 25).

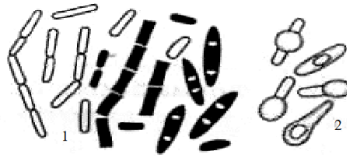


Рис. 25. Паличкоподібні форми бактерій: 1 – бактерії (дипло- і стрептобактерії); 2 – бацили [18]



Рис. 26. Звивисті форми бактерій: 1 – вібріони; 2 – спірили; 3 – спірохети [18]

**Нитчасті бактерії.** Це переважно паличкоподібні одноклітинні і багатоклітинні організми. Їхні нитки утворені багатьма клітинами, з'єднаними за допомогою слизу, чохла, піхви, плазмодесмів тощо (рис 27).

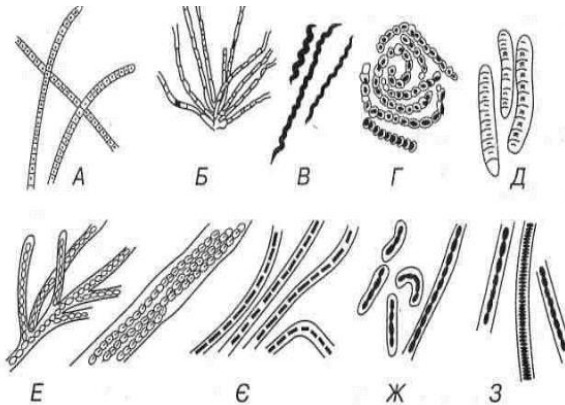


Рис. 27. Нитчасті бактерії: А – *Beggiatoa*; Б – *Thiothrix*; В – *Saprospira*; Г – *Simonsiella*; Д – *Caryophanon*; Е – ціанобактерії класу *Hormogoneae*; Є – *Leptothrix*; Ж – *Sphaerotilus*; З – *Crenotrix* [18]

Нитчасті бактерії, в основному, є водяними мікробами. Нитки трихомних бактерій можуть вільно плавати у воді (ціанобактерії, *Beggiatoa alba*) або бути прикріпленими до субстрату (*Thiothrix nivea*). Здебільшого ниткоподібні бактерії є непатогенними для людей.

#### *Будова бактеріальної клітини.*

Бактеріальна клітина складається з трьох основних частин: поверхневих структур, клітинної оболонки та цитоплазми з органелами. Поверхневі структури бактеріальної клітини, які знаходяться на клітинній оболонці це: капсули, слизовий чохол, джгутики і ворсинки (рис. 28).

**Клітинна стінка** бактеріальної клітини є для неї захистом і опорою. Вона надає мікроорганізму свою, специфічну форму. Клітинна стінка проникна. Через неї проходять живильні речовини всередину і продукти обміну (метаболізму) назовні.

**Капсула** (від лат. *capsula* – футляр) – (рис. 29) шар слизової речовини, який обволікає ззовні оболонку клітини, зберігає їх від висихання.

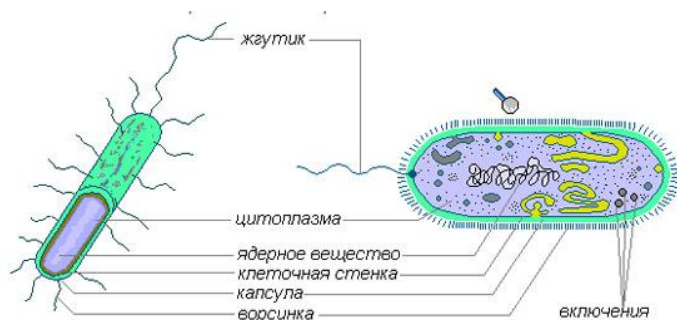
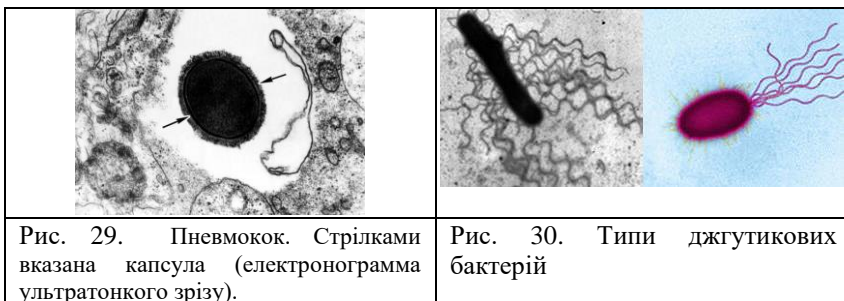


Рис. 28. Схема будови бактеріальної клітини

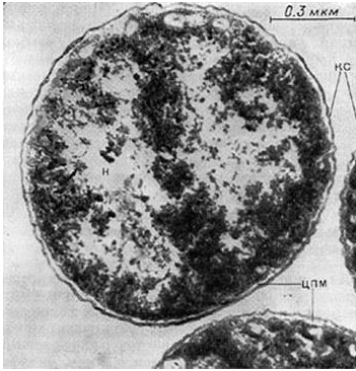
**Джгутики** (рис. 30) – довгі специфічні ниткоподібні вирости поверхні тіла багатьох видів бактерій, структури діаметром 12–13 нм і завдовжки 6–80 мкм. Це – органи руху бактерій у рідкому середовищі.



**Мікрівійки** – ворсинки, які вкривають поверхню бактерій. Мають форму порожнистих циліндриків, стінки яких утворені з білка піліну. На одній клітині їх може бути більше тисячі. Вони набагато, майже в 10 разів, коротші за джгутики, товщина ворсинок сягає 10 нм, а довжина – 0,2-2 мкм.

**Клітинна оболонка** – зовнішня щільна оболонка бактеріальної клітини. На клітинну оболонку припадає від 5 до 50% сухої речовини клітини. Оболонка зумовлює відносну сталість форми клітини, є захистом від несприятливих умов довкілля, бере активну участь в обміні речовин клітини, їй належить важлива роль у регулюванні росту, поділу бактерій і розподіленні генетичного матеріалу. Товщина оболонки коливається від 0,01 до 0,05 мкм і залежить від виду бактерій, віку клітин та умов їхнього культивування. Клітинна оболонка є обов'язковим структурним елементом прокаріотичної клітини, за винятком мікоплазм і L-форм бактерій.

**Цитоплазматична мембрана** є обов'язковим структурним компонентом бактеріальної клітини. Основна функція - відокремлення цитоплазми від клітинної оболонки. Мембрана представляє собою тонкошарове утворення з різною електронною щільністю, завтовшки 5-10 нм (рис. 31) [18]. На її частку припадає до 15% сухої речовини клітини.



На фото чітко видно тонка клітинна стінка (КС), цитоплазматическая мембрана (ЦПМ) і нуклеотид в центрі (бактерія *Neisseria catarrhalis*). Цитоплазматична мембрана є напівпроникненою структурою, яка здатна здійснювати транспорт речовин у клітину та із клітини. На ЦПМ виявлені системи, які беруть участь у синтезі ферментів і токсинів.

У 1972 році С. Дж. Сінгером і Г. Ніколсоном була розроблена модель структури цитоплазматичної мембрани бактерій (рис. 32). "За цією моделлю мембрана є «рідкою», лабільною, динамічною структурою, якій притаманна молекулярна асиметрія і мінливість" [18, с. 116].

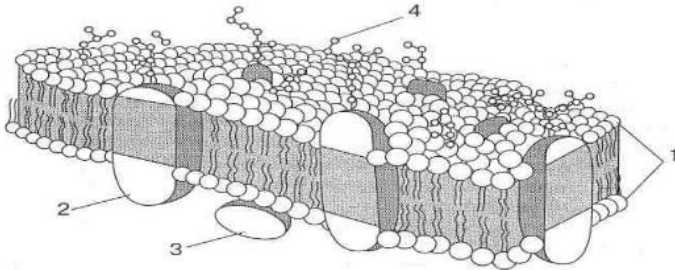


Рис. 32. Рідинно-мозаїчна структура мембран, запропонована С. Дж. Сінгером і Г. Ніколсоном (1972): 1 – біомолекулярний шар фосфоліпідів; 2 – внутрішній білок; 3 – периферійний білок; 4 – олігосахаридні групи [18]

**Внутрішньоцитоплазматичні мембрани** – це розвинуті системи внутрішньоклітинних мембран, які є у фототрофних, хемотрофних та деяких інших бактерій.

**Цитоплазма** – це вміст клітини, оточений цитоплазматичною мембраною. Цитоплазма – складна колоїдна



система, яка містить ферменти, деякі пігменти, цукру, амінокислоти, запас поживних речовин, рибосоми, мезосоми, гранули та всілякі інші включення.

За фізико-хімічною природою цитоплазма складається з води, білків, ліпідів, вуглеводів, мінеральних сполук та інших речовин, співвідношення яких залежить від виду, віку, живлення бактерій та інших чинників.

*Особливості будови водоростей [6, 18, 25].*

Водорості відносяться до найдавніших рослин які є єдиною групою організмів серед яких зустрічаються як прокаріоти (синьозелені водорості) так і еукаріоти (решта водоростей). За розміром водорості коливаються від тисячних часток міліметра до 30–45 метрів. Характерною ознакою є наявність у клітинах **зеленого пігменту** (від лат. pigmentum – фарба) хлорофілу (від грецьк. хлорос – зелений і філон – листок). Крім хлорофілу у водоростях можуть бути фікоціан, ксантофіл, каротин, та інші пігменти які маскують хлорофіл і надають рослинам специфічне забарвлення, червоне, буре, жовто-зелене, маскуючи основний зелений [18].

**Ціанобактерії** (від лат. *Cyanobacteria*). Грамнегативні, клітини мають сферичну, паличкоподібну або вигнуту форму (рис. 33, 34).

*Основні причини цвітіння природних вод:*

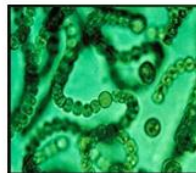
**Високий рівень біогенності води** характерний при високих концентраціях сполук азоту і фосфору. Ці речовини потрапляють у водойми із стоковими водами з полів, де використовувались мінеральні добрива, а також із каналізаційними водами, що отримують фосфати з пральних порошоків та інших мийних засобів;

**стабільна висока температура.** Весною вода прогрівається до 20°C і сонячного світла стає достатньо для фотосинтеза, маса водоростей піднімається до поверхні і починає активно розмножуватись;

**стабільні умови.** Регулювання річок водосховищами й дамбами. Вода рухається повільніше або стає стоячою, що стимулює ріст водоростей.

### Які водорості викликають цвітіння?

**Ціанобактерії, або синьо-зелені водорості,** активно розмножуються у прісноводних озерах, річках або лиманах. Вони виділяють небезпечні для людей і тварин **токсини**, які при **високій концентрації** можуть не виводитися **водоочисними спорудами**. Окрім цього, водорості блокують доступ кисню та **сонячних променів** у товщу води, що **спричиняє масову загибель мешканців водойм**.



**Діатомові водорості та динофлагелати** зазвичай викликають "червоні приливи" на узбережжі океану, морів або заток. Вони **виробляють токсини**, що **здатні накопичуватися** в **моллюсках** і спричиняти отруєння людей, птахів та тварин, які їх **споживають**.

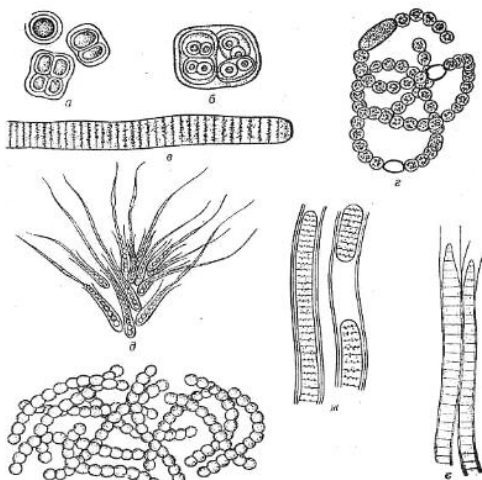


Рис. 35. Синьозелені водорості: а – хрококк (*Chroococcus*); б – глеокапса (*Gleocapsa*); в – рсциляторія (*Oscillatoria*); г – анабена з гетероцистами і спочиваючою спорою (*Anabaena*); д–ривулярія *Rivulana*); е – носток (*Nostoc*), частина колонії; є – формідій (*Phormidium*); ж – лінгбія (*Lyngbya*) з гормогоніями [18, с. 174]

*Вплив життєдіяльності гідробіонтів на роботу очисних споруд водопроводу.* Для водосховищ та озер характерним є масовий розвиток водоростей (цвітіння водойми). На початок весни спостерігається цвітіння поверхневих водойм діатомовими водоростями. В результаті вода набуває жовтувато-коричневого кольору. У середині літа спостерігається цвітіння водойм синьо-зеленими водоростями, які надають воді блакитно-зеленого кольору та неприємного присмаку та запаху. У літній період синьо-зелені водорості у водосховищах можуть становити до 90% загальної маси фітопланктону.

У місяцях скупчення синьо-зелених водоростей мешкають лише коловратки, а кількість бактерій-сапрофітів різко знижується. Під час нагонів вітром у прибережній зоні утворюється суцільна маса водоростей, у якій біомаса синьо-зелених водоростей досягає сотень кілограмів на 1 м<sup>3</sup> (рис. 35).

Водорості виділяють антибіотичні речовини, токсичні не тільки для бактерій, але й для інших гідробіонтів, а також для домашніх тварин та людини. У 1 кг сирової маси водоростей виявляють до 14 – 15 мг фенолів.



Рис. 35. Цвітіння води озера Ері, 2019 рік

Масовий розвиток водоростей призводить до погіршення роботи водозабірних та очисних споруд. Мінімальні розміри клітин водоростей (4 - 7 мкм) роблять неефективними процеси микропроцеживання та фільтрування. На фільтруючій поверхні

створюється непроникний для води щільний шар слизу. В результаті кількість промивок збільшується.

Слід також зазначити що запахи та присмаки, які з'являються у воді під час цвітіння, при застосуванні звичайної технологічної схеми очищення води не усуваються.

Різде порушення санітарного режиму водоймищ спостерігається і при масовому відмиранні водоростей. Так при розпаді синьо-зелених водоростей внаслідок діяльності протеолітичних та амоніфікуючих бактерій підвищується вміст амонійного азоту, діоксиду вуглецю, різко знижується вміст розчиненого кисню, що є причиною масової загибелі риб.

**Біологічні методи боротьби** з цвітінням полягають у створенні:

- штучних поверхонь обростання у зоні надходження води у водосховище для інтенсифікації процесів біологічного самоочищення;

- умов розвитку вищої водної рослинності, яка є споживачем біогенних речовин;

- використанні мікроорганізмів-антагоністів водоростей які споживають розчинену органіку з об'єму води уповільнюючи розмноження водоростей. Виділено 25 антагоністів синьо-зелених водоростей.

**Фізичні методи** полягають у штучному замутнінні води глиною, аерації, застосуванні всмоктувальних пристроїв для видалення водоростей. У невеликих водоймах та резервуарах, які використовуються в системах технічного водопостачання, для виділення водоростей застосовують метод коагуляції.

**Хімічні методи** полягають у обробці водойм пестицидами, сульфатом міді. Токсичність цих сполук для інших водних організмів обмежує їх використання у широких масштабах.

**Питання для самоконтролю.** 1. Назвіть основні типи живлення мікроорганізмів. 2. Яке відношення стосовно молекулярного кисню мають облігатні аероби. 3. Межі існування мікроаерофілів. 4. Надати характеристику факультативним та облігатним анаеробам. 5. Пояснити основні закономірності мікробного росту. 6. Надати основні відмінні

морфологічні характеристики бактерій. 7. Пояснити основні складові бактеріальної клітини, їх призначення. 8. Пояснити структуру та функції цитоплазматичної мембрани. 9. Надати пояснення особливостей будови водоростей, їх класифікації, умовам росту. 10. З чим пов'язано фактор цвітіння водойм. Біологічні методи боротьби із цвітінням.

**Тема 9. Процеси перетворення сполук азоту при очищенні стічних вод.** *Процеси біохімічної деструкції сполук азоту при біологічному очищенні міських та промислових стічних вод. Екологія азот-трансформуючих мікробіоценозів в очисних спорудах. Використання азот-перетворюючих мікробіоценозів у інноваційних технологіях видалення сполук азоту зі стічних вод.*

В результаті діяльності автотрофних та гетеротрофних мікроорганізмів в поверхневих водах відбувається міграція азоту у формах  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  та  $\text{NH}_4^+$ . Такі процеси як амоніфікація, нітрифікація, денітрифікація та азотфіксація спричиняють кругообіг сполук азоту (рис 36).

У поверхневих водоймах процес фіксації азоту забезпечується синьо-зеленими водоростями (*Anabaena*, *Nostoc*, *Calothrix*), які фіксують азот як самостійно, так і в симбіозі з іншими організмами (грибами, водяними папоротями) [26]. Відповідно до [26, с. 29] "кількість фіксованого в таких умовах азоту може перевищувати 300 кг/га в рік".

В процесі фіксації азоту приймають участь гетеротрофні бактерії родів *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Trichormus* [26].

В стічних водах, які надходять на каналізаційні очисні споруди, азот знаходиться у вигляді мінеральних ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) або органічних сполук.

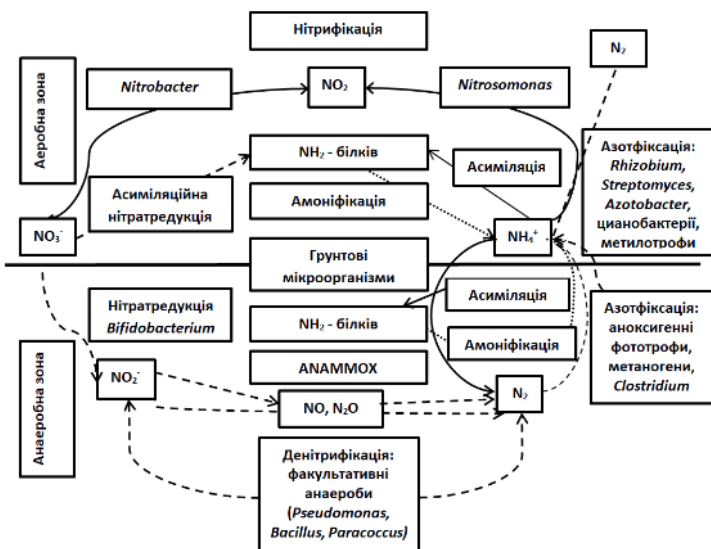
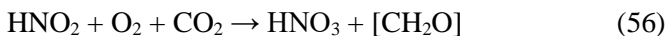
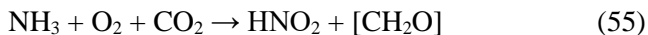


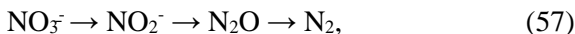
Рис. 36. Глобальний цикл азоту і азоттрансформуючі мікробіологічні процеси [26]

Процес **нітрифікації** в аеробних умови протікає у двох стадіях і здійснюється двома групами бактерій [4, 26]:



Першу фазу нітрифікації здійснюють хемолітоавтотрофні бактерії (*Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio*), що окиснюють іони амонію ( $NH_4^+$ ) до нітритів ( $NO_2^-$ ). Другу фазу – бактерії родів *Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*, *Nitrocystis*, *Nitrospira*, які окиснюють нітрити до нітратів ( $NO_3^-$ ) [4, 6, 26].

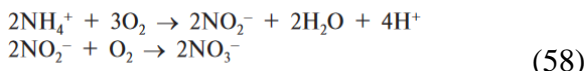
Денітрифікація, в процесі якої нітрати перетворюються в азот, відбувається у декілька етапів:



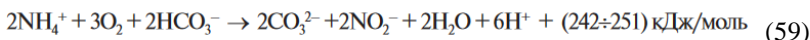
Причому на кожному з них виділяються газоподібні продукти: діоксид азоту, закис азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) і молекулярний азот ( $\text{N}_2$ ).

Відомо, що процеси біологічного окиснення аміаку до нітритів та нітратів є енергозатратними, що впливає на невисокий приріст біомаси нітрифікуючих бактерій.

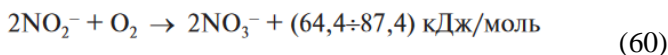
На стадії окислення органічних сполук утворюється  $\text{NH}_4^+$  який може залучатися в процеси нітрифікації. Нітрифікація протікає у 2 стадії:



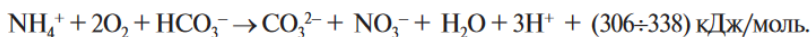
*Енергетична реакція першої фази нітрифікації має вигляд:*



друга фаза нітрифікації:

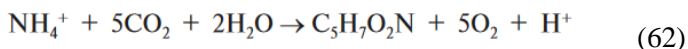


загальна енергетична реакція нітрифікації:

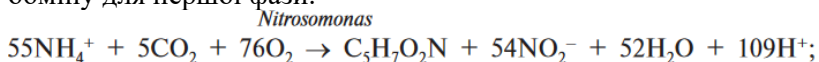


"При біологічному очищенні стічних вод в аеробних умовах значна кількість амонію асимілюється мікроорганізмами активного мулу з утворенням мікробної біомаси. Вміст азоту в білках бактеріальних клітин складає близько 16%. Паралельно відбуваються процеси лізису і самоокислення клітин бактерій, в результаті чого органічний азот клітин мікроорганізмів переходить в амонійний азот (амоніфікується)" [26, с. 36].

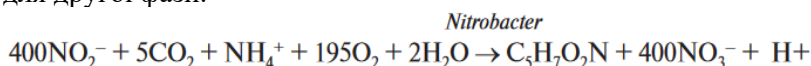
Синтез клітинної речовини під час нітрифікації (конструктивний обмін):



Сукупні реакції енергетичного та конструктивного обміну для першої фази:

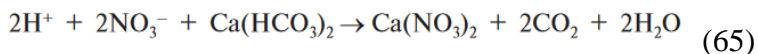


для другої фази:



При окисленні амонійних іонів вихід біомаси бактерій р. *Nitrosomonas* становить близько 0,147 мг на 1 мг окисленого азоту, а *Nitrobacter* – 0,02 мг/мг азоту нітритів. Близько 2% азоту входить у клітинну масу, інше кількість перетворюється на нітратний азот. За стехіометричними розрахунками кисню на нітрифікацію витрачається: на першу стадію 3,16 мг/мг N; на другу стадію 1,1 мг/мг N; загальне споживання кисню 4,26 мг/мг N.

Нітрифікація супроводжується утворенням іонів водню. Ступінь зниження рН залежить від лужності середовища, що зумовлює виділення або зв'язування  $\text{CO}_2$ , буферної ємності середовища та кількості окисленого амонійного азоту. Втрата лужності становить 7,14 мг карбонату кальцію 1 на 1 мг окисленого азоту, і може знадобитися нейтралізація рідини, наприклад за допомогою  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , відповідно до рівняння:



Нітрифікація починається після використання гетеротрофними мікроорганізмами органічної речовини та зростання концентрації розчиненого кисню в середовищі, тому поява нітратів у середовищі свідчить про глибоке біологічне очищення і є показником санітарної оцінки процесу очищення.

Необхідні умови, які забезпечують процес нітрифікації наведено в таблиці 20.



Таблиця 20

Необхідні умови, які забезпечують нітрифікацію

<b>Фактори, що впливають</b>	<b>Діапазон значень</b>
<b>Оптимум рН</b>	
I фаза нітрифікації (NO <sub>2</sub> )	7,2 – 8,6
II фаза нітрифікації (NO <sub>3</sub> )	7,0 – 7,6
<b>Допустима температура, °С</b>	9 - 35
<b>Оптимальна температура, °С</b>	15 - 30
<b>Розчинний кисень, мг/дм<sup>3</sup></b>	
мінімальний вміст:	> 1,0
оптимальний вміст:	
I фаза	1,8 – 3,0
II фаза	2,5 – 3,5
<b>Вміст важких металів у стічних водах, мг/дм<sup>3</sup></b>	> 5
<b>Вік активного мулу (оптимальний), діб</b>	6 - 9

Друга стадія нітрифікації – утворення нітратів починається по завершенні першої стадії, оскільки надлишок аміаку гальмує розвиток збудників другої фази нітрифікації. Швидкості росту бактерій роду *Nitrobacter* значно більші, ніж бактерій роду *Nitrosomonas*. У кислому середовищі бактерії другої стадії не розвиваються, тому що недисоційовані молекули азотної кислоти для них є отруйними. У лужному середовищі на них негативно впливає недисоційовані іони амонію. З цієї причини бактерії другій стадії нітрифікації функціонують у вузьких межах нейтральних значень рН 7,0 –

7,6. Бактерії, які продукують нітрати, більш вимогливі до вмісту розчиненого кисню (при його вмісті 3,5 мг/дм<sup>3</sup> нітрифікація на другій стадії досягає максимальних значень) [26].

Склад **виробничих стічних вод** залежить не тільки від типу виробництва, а і від технології, яка застосовується на конкретному підприємстві. Концентрації забруднень в виробничих стоках значно перевищують концентрації в міських, а співвідношення між ними (важливі екологічні чинники життєдіяльності активного мулу) – суттєво відрізняться. Тому загалом процеси очистки промислових стічних вод можуть включати хімічні і фізико-хімічні методи, які зазвичай не використовують при обробці міських стічних вод.

*Екологія азоттрансформуючих мікробіоценозів в очисних спорудах.* Склад мікроорганізмів, які беруть участь у перетворенні сполук азоту наведено в табл.21.

"Нітрифікуючі мікроорганізми здійснюють очистку стічних вод від амонійного азоту (деамонізацію), денітрифікуючі – очистку стічних вод від сполук азоту з видаленням його з рідкої фази в газоподібну (деазотацію), а апамтох-бактерії – деамонізацію з деазотацією"[26].

*Використання азотперетворюючих мікробіоценозів у інноваційних технологіях видалення сполук азоту зі стічних вод.* В сучасних технологіях створюються оптимальні умови для розвитку консорціумів мікроорганізмів-деструкторів сполук азоту [4, 23, 26]. До таких технологій відносяться: нітрифікація, денітрифікація, одночасна нітрифікація та денітрифікація (SND), однореакторна система для видалення високоактивного амонію над нітритом (SHARON) та анаеробне окислення амонію (Anammox) (табл. 22). Серед згаданих процесів лише SND і Anammox здатні здійснити майже повне видалення NH<sub>4</sub>- N, не утворюючи інших токсичних форм азоту, таких як нітрити і нітрати (деамонізацію з деазотацією).

Таблиця 21

Склад мікроорганізмів очисних споруд, які беруть участь в перетворенні різних форм азот [26]

Процес (реакція)	Мікроорганізми	Продукти реакції
<p><b>Амоніфікація:</b>  Дезамінування амінокислот:  <math>R-CHNH_2-COOH + 1/2O_2 \rightarrow R-CO-COOH + NH_3</math></p> <p><b>Гідроліз сечовини:</b>  <math>(NH_2)_2CO + 3H_2O \rightarrow CO_2 + 2NH_4^+ + OH^-</math></p>	<p><i>Micrococcus, Arthrobacter, Pseudomonas, Proteus, Clostridium putrificum</i></p> <p><i>Bacillus, Sporosarcina pasteurii</i></p>	Аміак, сірководень, вуглекислота
<p><b>Нітрифікація 1-ша фаза</b>  <math>2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 4H^+ + 2NO_2^- + 2H_2O</math></p>	<i>Nitrosomonas, Nitrococystis, Nitrospira, Nitrosococcus, Nitrosolobus, Nitrosovibrio</i>	Нітрити
<p><b>Нітрифікація 2-га фаза</b>  <math>2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-</math></p>	<i>Nitrobacter, Nitrospina, Nitrococcus Nitrocystis, Nitrospira</i>	Нітрати
<p><b>Денітрифікація:</b>  <math>C_xH_yO_z + NO_3^- \rightarrow CO_2 + NO_2^- + H_2O</math></p> <p><math>C_xH_yO_z + NO_2^- \rightarrow CO_2 + OH^- + H_2O + N_2 \uparrow</math></p>	<i>Pseudomonas denitrificans, Thiobacillus denitrificans, Pseudomonas fluorescens, Ps.aeruginosa, Nitrococcus</i>	Вільний азот
<p><b>ANAMMOX-процес:</b>  <math>2NH_4^+ + 1,5O_2 = NH_4^+ + NO_2^- + H_2O + 2H^+</math> (часткова нітрифікація),</p> <p><math>NH_4^+ + NO_2^- = N_2 \uparrow + 2H_2O</math> (власне анаммох),</p> <p><math>2NH_4^+ + 1,5O_2 = N_2 \uparrow + 3H_2O + 2H^+</math> (сумарно)</p>	<i>Planctomycetales, Candidatus Brocardia anammoxidans, Candidatus Kuenenia stuttgartiensis, Candidatus Anammox globus</i>	Вільний азот
<p><b>COMMAOX-процес:</b>  <math>2NH_4^+ + 4O_2 \rightarrow 4H^+ + 2NO_3^- + 2H_2O</math></p>	три види <i>Nitrospira</i>	Нітрати

Анаеробне окиснення амонію (**ANAMMOX**). "До переваг цього методу відносяться: зниження (на 60-90%), в порівнянні з традиційним процесом нітрифікації-денітрифікації, енергетичних витрат; відсутність додаткового джерела вуглецю; зменшення кількості зворотного надлишкового мулу" [26, с. 43]. До недоліків – тривалість накопичення активної біомаси, необхідність запуску біотенків до періоду активної експлуатації.

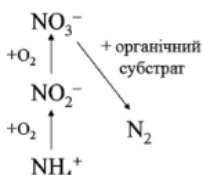


Рис. 37. Схема традиційного процесу видалення сполук азоту

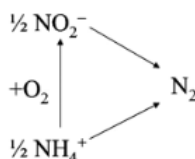


Рис. 38. Схема анамокс-процесу

"Нітрифікація-денітрифікація (**SHARON**) – технологія, яка не потребує рециркуляції мулу. До недоліків відноситься необхідність підтримки високих температур > 26 °С; необхідність у додатковому вуглецевому субстраті (метанол)" [26, с. 43].

Таблиця 22

Процеси біологічного видалення азоту [26]

Процеси	Основна реакція	Необхідні кисневі умови
Нітрифікація	$\text{NH}_4\text{-N} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$	Аеробні
Денітрифікація	$\text{NO}_3\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$	Анаеробні
SND	$\text{NH}_4\text{-N} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$	Аеробні та анаеробні
SHARON	$\text{NH}_4\text{-N} + \text{O}_2 \rightarrow 0.5\text{NH}_4\text{-N} + 0.5\text{NO}_2\text{-N}$	Аеробні (при низьких концентраціях $\text{O}_2$ )
Anammox	$\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$	Анаеробні

"Часткова нітрифікація спільно з анаеробним окисненням амонію в двох розрізних реакторах (**SHARON — ANAMMOX**). Технологія не вимагає додаткового вуглецевого субстрату. Високий ступінь видалення азоту, але потрібні значні територіальні та енергетичні витрати для розміщення реакторів і їх обслуговування" [26, с. 44].

"Часткова нітрифікація спільно з анаеробним окисненням амонію (**CANON**). Переваги: за рахунок утворення спільної культури ANAMMOX бактерій і аеробних бактерій досягається високий ступінь видалення азоту в одному реакторі. Недоліки: необхідність аерації стоку і контроль вмісту розчиненого кисню" [26, с. 44].

**Питання для самоконтролю.** 1. За рахунок яких процесів відбувається кругообіг сполук азоту. 2. Пояснити стадії процесу нітрифікації за допомогою бактерій. 3. Пояснити механізм денітрифікації. 4. Надати характеристику процесам біохімічної деструкції сполук азоту при біологічному очищенні міських стічних вод. 5. Присутність яких речовин в стічних водах лімітує розвиток нітрифікуючих мікроорганізмів. 6. Оптимальні умови водного середовища для проходження процесу нітрифікації. 7. Надати характеристику Anammox процесу. Його переваги в порівнянні з традиційним процесом нітрифікації-денітрифікації. 8. Надати коротку характеристику інноваційним технологіям видалення сполук азоту зі стічних вод. 9. Яка речовина виділяється при очищенні стічних вод з використанням методу нітри-денітрифікації. 10. Параметри які впливають на систематизацію технологічних схем видалення азоту із промислових стічних вод.

### **Література** **Базова**

1. 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. 367с
2. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник. К. : Вища школа, 2005. 671 с.
3. Хімія води і водних розчинів : навчальний посібник / Камінський Б. Т. та ін. Житомир : ЖІТІ. 2000. 415 с.

4. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навчальний посібник. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. 622 с.  
URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/15447/>
5. Кульський Л. А., Накорчевська В. Ф. Хімія води. К. : Вища школа, 1986. 239 с.
6. Накорчевська В. Ф. Мікробіологія води. К. : ВПОЛ, 1999. 68 с.
7. Орлов В. О., Литвиненко Л. Л., Орлова А. М. Водопостачання промислових підприємств : навчальний посібник. К. : Знання, 2014. 278 с.

### Нормативно-правова

8. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення: Наказ № 316 від 01.12.2017 р.; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15.01.2018 р., № 56/31508.  
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>
9. ДСТУ 7526:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Прийнято та надано чинності: наказ Інституту колоїдної хімії та хімії води імені А. В. Думанського НАН України від 23.10.2014 № 1257. [Чинний від 2012-01-01]. URL: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/gost/dstu-7525-2014/>

### Допоміжна

10. Бойчук О., Баранюк О., Мірошник В., Синявська Н. Фізична і колоїдна хімія. Електронний посібник / Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти, Київ, 2020. URL: [https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/hargowi\\_tehnologii/fizuchna\\_i\\_koloidna\\_ximii/fizuchna\\_i\\_koloidna\\_ximii/Golovna/Golovna.htm](https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/hargowi_tehnologii/fizuchna_i_koloidna_ximii/fizuchna_i_koloidna_ximii/Golovna/Golovna.htm)
11. Босюк А. С., Шестопалов О. В. Аналіз сучасних технологій та методів очистки гальванічних стоків машинобудівних підприємств. *Екологічні науки*. № 4(43) С. 74–78.
13. Квартенко О. М. Характеристика підземних вод Північно-Західних областей України та технологічні схеми їх кондиціювання. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. *Науково-технічний збірник*. Київ : КНУБА, 2011. Вип. 16. С. 32–40.
14. Квартенко О. М., Сафонов Р. В. Аналіз ступеня агресивності підземних вод Рівненської області. *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць*. Рівне, 2015. Випуск 1(69). С. 49–57.
15. Квартенко О. М. Використання біотехнологій для очищення підземних вод північно-західних областей України. Глав 23. С. 537–565. *Підвищення ресурсного потенціалу Українського Полісся* :

- монографія / за ред. д.т.н., проф., акад. НААН В. А. Сташука, д.с.-г.н., проф. В. С. Мошинського, д.т.н., проф. А. М. Рокочинського та ін. Рівне : НУВГП, 2024. 792 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/30397/>
16. Квартенко О. М. Розвиток наукових засад удосконалення технологій очищення багатокomпонентних підземних вод. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.21 – технологія водоочищення. / КПІ, Київ, 2019. 429 с.
17. Кононцев С. В., Саблій Л. А., Гроховська Ю. Р. Екологічна біотехнологія очищення стічних вод та культивування кормових організмів : монографія. Рівне : НУВГП, 2011. 151 с.  
URL: [https://duikt.edu.ua/uploads/1\\_1233\\_45082245.pdf](https://duikt.edu.ua/uploads/1_1233_45082245.pdf)
18. Коваленко Т. М., Пінчук Н. В., Вергелес П. М. Мікробіологія та вірусологія : навч. посіб. Ч. 1 / За ред. Н. В. Пінчук. Вінниця : ВНАУ, 2020. 346 с.
19. 03-06-116 Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Якісні показники природних та стічних вод» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» («Водопостачання та водовідведення») всіх форм навчання [Електронне видання] / Квартенко О. М. Рівне : НУВГП, 2020. 42 с.  
URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/18374/>
20. 03-06-141М Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Інноваційні технології водовідведення промислових підприємств з курсовим проектом» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Водопостачання і водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання [Електронне видання] / Квартенко О. М., Мартинов С. Ю., Ковальчук В. А. Рівне : НУВГП, 2023. 33 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/27806/>
21. Мітченко Т. Є., Косогіна І. В. Новітні технології водопідготовки: Лабораторний практикум. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. ВУВТ WATERNET, 2023. 40 с.
22. Орлов В. О., Квартенко О. М., Мартинов С. Ю., Гордієнко Ю. І. [Знезалізнення підземних вод для питних цілей](#) : монографія. Рівне : УДУВГП, 2003. 155 с.
23. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні та управління безпекою праці : підручник для студ. ВНЗ спец. «Біотехнології та біоінженерія», рекомендованою вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського / Саблій Л. А., Бунчак О. М., Жукова В. С.,

- Кононцев С. В. ; під ред. Л. А. Саблій ; 2-е вид., перероб. і доп. Рівне : НУВГП, 2018. 377 с
24. Филипчук В. Л. Очищення багатокомпонентних металовміщуючих стічних вод промислових підприємств : монографія. Рівне : УДУВГП, 2004. 232 с.
25. Филипчук В. Л., Древецький В. В., Филипчук Л. В., Клепач М. І. Автоматизоване керування природоохоронними системами очищення металовмісних стічних вод : монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 288 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua//16867/>
26. Цитлішвілі К. О. Екологія іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу в системах очистки стічних вод. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія / Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем». Харків, 2021. 187 с.
27. Чуб І. М. Мікробіологія і хімія води : конспект лекцій з дисципліни для студентів 1-2 курсів денної і заочної форм навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія спеціалізація (освітня програма) «Гідротехніка» (Водні ресурси) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 122 с.
28. Chaplin M. Water Structure and Behavior. URL: <http://www.lsbu.ac.uk/water/> (31.08.2021).