



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту
України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

**С.М.ЕПОЯН, Р.І.НАЗАРОВА, Л.П.СНАГОЩЕНКО,
Ю.М.ДАНЧЕНКО, В.А.АНДРОНОВ, Т.М.ОБІЖЕНКО**

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА БІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Навчальний посібник

Харків ХНУБА 2012

ЗМІСТ

Передмова.....	5
Розділ 1. Характеристика стічних вод і вимоги до якості очищуваної води	7
1.1. Класифікація стічних вод.....	7
1.2. Склад і концентрація забруднень.....	10
1.3. Умови приймання стічних вод на споруди біологічного очищення.....	12
1.4. Визначення необхідного ступеню очищення стічних вод.....	12
1.4.1. Обчислення ступеня очищення за вмістом завислих речовин.....	13
1.4.2. Визначення ступеня очищення за БПК _{повн}	14
1.4.3. Визначення ступеня очищення за розчиненим у воді киснем.....	15
1.5. Санітарні умови спуску стічних вод у водоймища.....	15
1.6. Вибір методу очищення стічних вод.....	16
Питання для самоконтролю.....	18
Розділ 2. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод.....	19
2.1. Теоретичні основи і класифікація методів флотації.....	19
2.1.1. Пінна флотація.....	24
2.1.2. Метод адсорбційно-пузиркового розділення.....	26
2.1.3. Флотаційні установки.....	34
Питання для самоконтролю.....	37
2.2. Сорбційне очищення стічних вод.....	38
2.2.1. Показники процесу сорбції.....	42
2.2.2. Технологія сорбційної очистки стічних вод.....	47
Питання для самоконтролю.....	51
2.3. Очищення стічних вод випарюванням, дистиляцією і ректифікацією.....	52
2.3.1. Фізико-хімічні властивості води і пари.....	53
2.3.2. Термодинамічні властивості водяної пари.....	58
2.3.3. Випарювання і дистиляція.....	62
2.3.4. Запобігання накипоутворенню і корозії.....	73
Питання для самоконтролю.....	79
Розділ 3. Біохімічні основи методів біологічної очистки стічних вод.....	80
3.1. Загальні уявлення про біологічну очистку стічних вод. Характеристика і хімічний склад мікроорганізмів.....	80
3.2. Живлення мікроорганізмів. Мембранний транспорт.....	95
3.3. Ферменти. Фізико-хімічні властивості ферментів і механізм їхньої дії.....	107
3.3.1. Кінетика ферментативних реакцій.....	122
3.4. Поширення мікроорганізмів у природі.....	135
3.5. Характер і джерела забруднення водойми. Системи сапробності та її використання для оцінки забруднення водойм.....	137
3.6. Водоймище – джерело водозабезпечення та приймач стічних вод	144

3.7.	Процеси самоочищення водойм.....	147
3.8.	Методи біологічного очищення.....	149
3.8.1.	Вплив технологічних факторів на ефективність біологічної очистки стічних вод.....	151
3.8.2.	Біологічне очищення забруднюючих речовин у стічних водах..	156
3.8.3.	Мікроорганізми активного мулу і біоплівки.....	169
3.8.4.	Очищення стічних вод і основні характеристики активного мулу.....	174
3.8.5.	Розкладання органічних речовин в анаеробних умовах.....	180
	Питання для самоконтролю.....	183
4.	Обробка осадів стічних вод.....	184
4.1.	Склад і властивості осадів	184
4.2.	Ущільнення осадів стічних вод.....	196
4.3.	Анаеробне збродження аеробна стабілізація осадів.....	200
4.4.	Кондиціонування.....	203
4.5.	Механічне зневоднення осадів	204
4.6.	Термічна сушка осадів.....	209
4.7.	Методи знезараження і знешкодження осадів	212
4.8.	Утилізація осадів стічних вод.....	213
	Питання для самоконтролю.....	214
	Приклади визначення деяких показників якості води.....	216
	Додатки.....	224
	Словник термінів та визначень.....	255
	Список використаної літератури	296

ПЕРЕДМОВА

Проблема стічних вод залишається актуальною для сучасної цивілізації. Інтенсивний розвиток промисловості, комунального і сільського господарства спричинює значне зростання споживання чистої питної і технічної води, призводить до збільшення кількості забруднених різними домішками відпрацьованих стічних вод. Скидання останніх у водойми зумовлює їх забруднення. При цьому значно зменшуються ресурси прісної води, погіршується стан навколишнього середовища.

В Україні спостерігається недостатнє забезпечення прісною водою, особливо в південних районах країни. Найбільшими прісноводними водоймами є річки Дніпро і Дністер, в басейні яких проживає близько 90% населення. Для потреб промисловості і сільського господарства з Дніпра щороку відбирають близько 15 млрд. м³ води і скидають у нього 10 млрд. м³ неочищених стічних вод. У стічних водах у надлишковій кількості міститься амонійний, нітратний і нітратний нітроген, нафтопродукти, фенол, солі важких металів, пестициди. Значних змін Дніпро зазнав разом з побудовою каскаду гідроелектростанцій. При цьому затоплено сотні тисяч гектарів найродючіших чорноземів. Створення водосховищ змінює тиск на геологічні структури, спричинює застоювання води і її цвітіння через надмірний розвиток водоростей.

У Чорному морі поступово піднімається до поверхні межа насичена сірководнем H_2S глибинних вод. Якщо раніше вона була на глибині 150-200 м, то нині 80-110 м. Шельфові води Чорного моря забруднюються недостатньо очищеними стічними побутовими водами міст, розташованих на узбережжі.

На відміну від атмосфери, різні складові гідросфери зазнають значного антропогенного навантаження. Дану дію на них можна поділити на дві складові: кількісне і якісне виснаження. Кількісне виснаження річкових вод викликане зменшенням їх річного стоку під впливом господарської діяльності людини, зростання величини водозабору, площ випарювання тощо, а якісне – пов'язане із забрудненням вод та розвитком евтрофування, тобто зростання у водоймах концентрації поживних речовин. Це є причиною бурхливого розвитку гідробіонтів різних систематичних груп і можливістю втрати водойм, як об'єктів водогосподарської діяльності та елементів природних ландшафтів. Така ситуація вимагає повсякденної кваліфікованої роботи фахівців за напрямком «Водні ресурси», спрямованої на пошук і практичне застосування науково обґрунтованих методів очистки стічних вод, раціонального використання і охорони водних ресурсів країни.

Дисципліна «Хімія і мікробіологія води» і «Водовідведення та очистка стічних вод» є базою для таких професійно-орієнтованих дисциплін, як «Основи екології», «Безпека життєдіяльності», «Метрологія довкілля та інженерні методи охорони біосфери», «Водопостачання та каналізація» і «Основи конструювання».

Навчальний посібник «Фізико-хімічні та біологічні методи очистки стічних вод» складається із чотирьох розділів:

- Розділ 1. Характеристика стічних вод і вимоги до якості очищеної води;
- Розділ 2. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод;
- Розділ 3. Біохімічні основи методів біологічної очистки стічних вод;
- Розділ 4. Обробка осадів стічних вод.

Перший розділ присвячений загальнотеоретичним питанням: класифікації і складу стічних вод, обчислення ступеня очищення за вмістом завислих речовин, БПК_{повн}, розчиненим у воді киснем, санітарні умови спуску стічних вод у водоймища, вибір методу очищення стічних вод.

У другому розділі наведені: теоретичні основи і класифікація методів пінної флотації, адсорбційно-пузиркового розділення, технології сорбційної очистки стічних вод, випарювання, фізико-хімічні властивості води і пари, термодинамічні властивості водяної пари, запобігання накипоутворенню і корозії.

У розділі три розглянуті загальні уявлення про біологічну очистку стічних вод, хімічний склад мікроорганізмів, їх живлення, транспорт речовин через плазматичну мембрану, фізико-хімічні властивості і механізм дії ферментів, кінетика ферментативних реакцій, типи реакцій біологічного окиснення, характеристика активного мулу, розкладання органічних речовин в анаеробних умовах.

У розділі чотири приведені склад і властивості осадів стічних вод, ущільнення мулу і осадів, анаеробне зброджування і аеробна стабілізація, кондиціонування, механічне зневоднення осадів, термічне сушіння.

Унаслідок вивчення дисциплін «Хімія і мікробіологія води» і «Водовідведення та очистка стічних вод» студенти повинні знати: - найважливіші фізико-хімічні властивості водних розчинів, основні показники ступеня забруднення стічних вод, фізико-хімічні основи очистки стічних вод, основні відомості систематики та фізіології мікроорганізмів, їхню роль у процесах очистки, а також вміти проводити розрахунки обладнання для аеробних і анаеробних методів очистки стічних вод.

Основним видом учбових занять є лекції, лабораторні роботи, консультації (індивідуальні протягом учбового року), складання іспиту.

Даний навчальний посібник підготовлений для надання допомоги студентам у процесі підготовки і проведення лабораторних робіт і успішної здачі іспиту.

Знання отримані при виконанні лабораторних робіт контролюються під час проведення підсумкового контролю (атестації), також комплексних кваліфікаційних контрольних завдань (КККЗ).

Розділ 1. Характеристика стічних вод і вимоги до якості очищеної води

1.1. Класифікація стічних вод

Стічні води – це води, які використані на побутові, промислові та інші цілі і отримали при цьому забруднення, що змінили їх хімічний склад і фізичні властивості. Стічні води поділяють на побутові, виробничі і атмосферні. Вони відрізняються одні від одних походженням, складом, біологічною активністю і в зв'язку з цим способами очищення.

Побутові стічні води утворюються в результаті практичної діяльності і життєдіяльності людей. При цьому змінюються фізичні і хімічні властивості води, а також їх бактеріальна забрудненість. Концентрацію забруднюючих речовин, у побутових стічних водах визначають з урахуванням норми водовідведення на одного мешканця за формулою:

$$C = \frac{a \cdot 1000}{q}, \quad (1.1)$$

де C – концентрація забруднювачів, мг/л;

a – кількість забруднень у розрахунку на одного мешканця, г/доб;

q – норма відведення на одного мешканця, л/доб.

Норма кількості забруднень на одного мешканця (a , г/доб) становить:
завислі речовини - 65;

БСКповне неосвітленої рідини – 73;

БСКповне освітленої рідини – 40;

азот амонійний – 8;

фосфати (в перерахунку на P_2O_5) – 3,3, у тому числі від мийних речовин - 1,6;

хлориди – 9;

поверхнево-активні речовини -2,5.

Побутові стічні води містять домішки мінерального та органічного походження. Мінеральні сполуки наведені солями амонію, фосфатами, хлоридами та гідрокарбонатами.

Органічні сполуки побутових стічних вод поділяють на дві групи: безазотисті (вуглеводи і жири) і азотовмісні (пептиди і амінокислоти). Побутові стічні води мають нейтральну або лужну реакцію ($pH=7,2-7,8$). Крім того, у побутових водах є велика кількість мікроорганізмів, серед яких можуть бути патогенні (бактерії, віруси). Тому побутові стічні води обов'язково піддають очищенню.

Виробничі стічні води – це води, які використані в технологічному процесі виробництва або утворені при добуванні корисних копалин. За типом забруднень промислові стічні води поділяють на такі групи (за А.І.Жуковим):

– води, які містять неорганічні домішки з токсичними властивостями (кислоти, луги, солі важких металів, сульфіді, гідроксиди металів). В групу входять стоки підприємств кольорової і чорної металургії, гальванічних цехів, сірчано-кислотних, азототукових заводів. Вони можуть викликати змінення *pH* води водойм, корозію бетонних і металевих споруджень. Солі важких металів являються токсичними відносно водних організмів і сприяють утворенню «мертвих» донних відкладень;

– води, які містять неорганічні токсичні домішки (шлак, пісок та ін.). До цієї групи відносяться стічні води вугле- і рудозбагачувальних фабрик, цементних заводів. Домішки цього типу знаходяться в завислому стані. Для водойми особливої небезпечності ці води не уявляють. Але вони сприяють утворенню донних відкладень, роблять воду менш прозорою, що негативно впливає на життєдіяльність водних організмів;

– води, що містять нетоксичні органічні речовини. Це стічні води харчової промисловості. Органічні домішки цих вод розкладаються біохімічним способом. При попаданні їх у водоймище різко зростає ХСК (хімічне споживання кисню), знижується кількість розчиненого кисню, зменшується прозорість води, змінюється окисно-відновний потенціал (E_n). Нерозчинні органічні домішки, які осаджуються на дно, розкладаються із виділенням метану, сірководню і інших газів. При високому ступеню забруднення виникає кисневий дефіцит, порушується гідрохімічний режим водоймища;

– води, що містять органічні речовини із специфічними токсичними властивостями (фенолу, ефіру, барвника, вуглеводню та ін.). До цієї групи відносяться стічні води підприємств органічного синтезу з виробництва полімерів, синтетичного волокна і нафтопереробки.

Особливу групу утворюють стічні води, які містять радіоактивні речовини. Радіоізотопи діють не тільки як збудники хвороб, а і викликають мутацію.

Перші ознаки мутації можуть проявитися тільки в наступному поколінні, а можуть як рецесивні ознаки з'явитися фенотипно через кілька поколінь, коли зв'язок з перевищенням дози опромінювання довести вже неможливо.

Наслідком первинної та вторинної дії опромінювання є хімічна реакція тіла та зародку, передусім генетичного матеріалу, наприклад порушення послідовності основ у ланцюгу ДНК або порушення ділення клітини (рис.1.1).

За ступенем мінералізації виробничі стічні води ділять на три групи:

I група – стічні води з мінералізацією до 3 кг/м^3 , їх можна знесолювати йонним обміном;

II група – стічні води з мінералізацією $3\text{-}15 \text{ кг/м}^3$. Для знесолення таких вод використовують мембранні методи;

III група – стічні води з мінералізацією понад 15 кг/м^3 , знесолення яких доцільно здійснювати термічними способами.

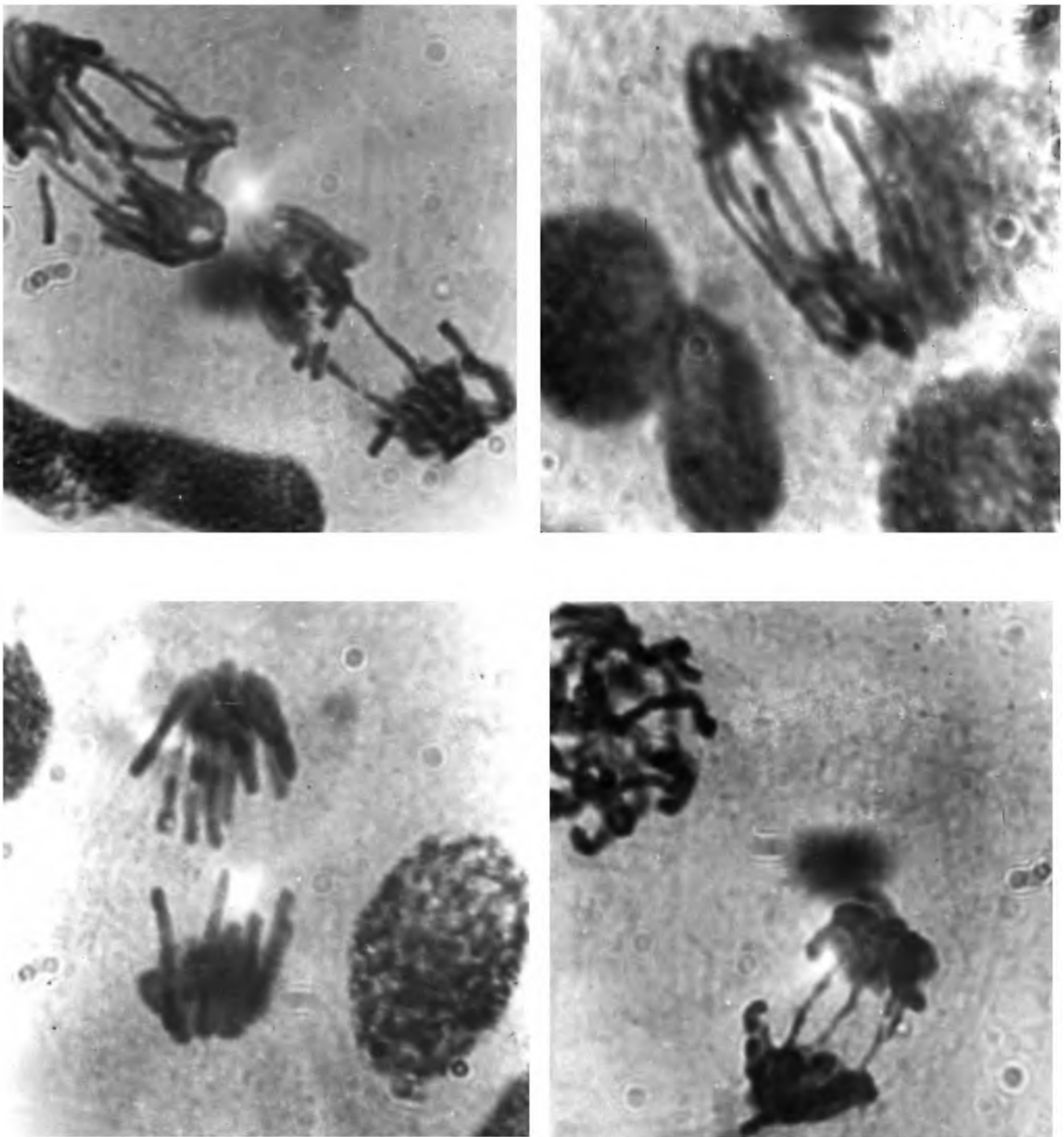


Рис.1.1. Утворення множинних містків між хромосомами при опромінюванні клітин *Vicia Faba*.

За концентрацією органічних домішок промислові води поділяють на чотири групи:

- I група – до 500 мг/л;
- II група – 500-5000;
- III група – 5000-30000;
- IV група – понад 30000 мг/л,

а за ступенем агресивності до матеріалів та споруд на неагресивні ($pH=6,5-8,5$), слабо агресивні ($pH=6,0-6,5$ і $pH=8,0-9,0$) і сильно агресивні (кислі з $pH<6,0$ та лужні з $pH>9,0$).

Така класифікація необхідна для врахування впливу стічних вод на каналізаційні мережі, устаткування тощо.

Ступінь забруднення *атмосферних вод* (дощові та від талого снігу) залежить від багатьох факторів і в першу чергу від загального санітарного стану населеного пункту та його промислового потенціалу.

Класифікація стічних вод має важливе значення для вибору заходів по утилізації та очищенню стічних вод, але важливе значення мають і умови відведення стічних вод.

1.2. Склад і концентрація забруднень

Концентрацію забруднень, які надходять на очисні споруди визначають хімічним аналізом або розрахунком. Для побутових стічних вод виходять з норм водовідведення на 1 мешканця, для виробничих - за технологічними даними або хімічним аналізом. Основними визначальними критеріями забруднення стічних вод є значення БПК (БСК), ХПК (ХСК), концентрація завислих речовин, азоту амонійних солей, фосфатів, хлоридів та поверхнево активних речовин (ПАР), наведені в СНиП 2,04,03-85, п.6,4 [1].

Кількість завислих речовин у побутових стічних водах складає близько 65 г сухої речовини на 1 мешканця на добу. В середньому 40 г (60—75 %) цієї кількості випадає в осад.

Кількість розчинних органічних речовин, які визначаються їх кисневим еквівалентом БКП_{повн}, складає 75 г на 1 людину на добу в неосвітлених стічних водах.

Концентрацію забруднень побутових стічних вод, мг/л, за кількістю завислих речовин, БКП, амонійного азоту, фосфатів (P_2O_5) та хлоридів визначають за формулою:

$$C = a \cdot \frac{1000}{n},$$

де a – кількість забруднень на 1 людину на добу, г/(чол.· добу),

n – норма водовідведення, л/(чол.·добу).

Побутові стічні води надходять на каналізаційні очисні споруди разом з виробничими, тому необхідно розрахувати концентрацію забруднення суміші C_c за формулою:

$$C_c = \frac{(C^{поб} \times Q^{поб} + \sum C^{пп} \times Q^{пп})}{(Q^{поб} + \sum Q^{пп})}, \quad (1.2)$$

де $C^{\text{поб}}$, $C^{\text{пп}}$ – концентрація забруднень побутових та виробничих стічних вод, мг/л;

$Q^{\text{поб}}$, $Q^{\text{пп}}$ – середньодобова витрата побутових та виробничих стічних вод, м³/добу.

При проектуванні станції стічних вод користуються еквівалентним наведеним числами мешканців. Ці величини необхідні для розрахунку осаду, який утворюється при очищенні стічних вод.

Визначення концентрацій забруднень.

Склад споруд станції очищення вибирається залежно від витрат і концентрацій забруднень стічних вод, які надходять на очищення, необхідного ступеня їх очищення і місцевих умов.

Розрахункові витрати стічних вод студенти визначають за продуктивністю головної насосної станції.

Концентрації забруднень побутових стічних вод за завислими речовинами $C^{\text{поб}}$, мг/л, і органічними забрудненнями, які виражаються їх еквівалентом БКП_{повн} $L^{\text{поб}}$, мг/л, визначають, виходячи з питомого водовідведення:

$$C^{\text{поб}} = a_c \times \frac{1000}{n} = 65 \times \frac{1000}{320} = 203,13 \text{ мг/л}, \quad (1.3)$$

$$L^{\text{поб}} = a_L \times \frac{1000}{n} = 75 \times \frac{1000}{320} = 234,4 \text{ мг/л}, \quad (1.4)$$

де a_c – питома кількість завислих речовин, яка дорівнює 65 г/добу на 1 мешканця;

a_L – питома кількість органічних забруднень у неосвітленій рідині, яка дорівнює 75 г/добу на 1 мешканця;

n – питоме середньодобове водовідведення побутових стічних вод, л/добу на 1 людину.

Середні концентрації забруднень суміші виробничих і побутових стічних вод, що надходять на очисні споруди, визначаються за формулами:

для завислих речовин:

$$C_{\text{ен}} = \frac{(C^{\text{поб}} \times Q^{\text{поб}} + C^{\text{пп}} \times Q^{\text{пп}})}{(Q^{\text{поб}} + Q^{\text{пп}})} = \frac{(203,13 \times 50100,48 + 500 \times 6000)}{(50100,48 + 6000)} =$$
$$= 234,88 \text{ мг/л};$$

для БКП_{повн}:

$$L_{en} = \frac{(L^{поб} \times Q^{поб} + L^{пш} \times Q^{пш})}{(Q^{поб} + Q^{пш})} = \frac{(234,4 \times 50100,48 + 580 \times 6000)}{(50100,48 + 6000)} = 271,36 \text{ мг/л;} \quad (1.6)$$

де $C^{пш}$, $L^{пш}$ – відповідно концентрація завислих речовин і значення БКП_{повн} виробничих стічних вод, мг/л;

$Q^{поб}$, $Q^{пш}$ – середньодобові витрати побутових і виробничих стічних вод, м³/добу.

1.3. Умови приймання стічних вод на споруди біологічного очищення

Стічні води, які надходять на очисні споруди населених пунктів, прийнято називати міськими стічними водами. Сюди входить суміш побутових, виробничих та дощових стоків при загально сплавній системі водовідведення або суміш побутових і виробничих стоків — при роздільній. При цьому кількість виробничих стічних вод не повинна перевищувати 40-50 %. Склад та концентрація забруднень регламентуються вимогами, передбаченими в нормативному документі «Правила приймання виробничих стічних вод у системі каналізації населених пунктів» для запобігання порушення роботи водовідвідної мережі та міських очисних споруд.

Суміш побутових та виробничих стічних вод не повинна мати:

- рН нижче 6,5 і вище 8,5;
- температуру нижче 6 і вище 30 °С;
- загальну концентрацію розчинних солей більше 10 г/л;
- нерозчинних масел, смол і мазуту, біологічно жорстких ПАР;
- мінімальну концентрацію біогенних елементів нижче 5 мг/л азоту й 1 мг/л фосфору на кожні 100 мг/л БКП_{повн} суміші стічних вод.

Висока концентрація нерозчинних та розчинних речовин заважає роботі аеротенків та біофільтрів. Тому нормативами обмежено надходження на споруди біологічного очищення стічних вод з концентрацією: завислих речовин більше 150 мг/л; на біологічні фільтри — з БПК_{повн} більше 500 мг/л, в аеротенки — з БПК_{повн} більше 1000 мг/л. Через те стічні води, які надходять на біологічне очищення, слід розбавляти очищеними.

Перед прийманням виробничих стічних вод для сумісного очищення з міськими необхідно на підприємствах уточнити можливості зменшення їх кількості та зниження концентрації забруднення шляхом зменшення технологічних витрат у виробництві, застосування оборотного водопостачання, повторного використання води.

1.4. Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод

Розрахунки для визначення необхідного ступеня очищення стічних вод, що спускаються у водойму, виконуються за вмістом завислих речовин, за

споживанням стічними водами розчиненого кисню, допустимій величині БКП в суміші річкової води і стічних вод.

«Правилами охрани поверхностных вод от загрязнений сточными водами» нормуються граничнодопустимі концентрації (ГДК) забруднень і граничнодопустиме зниження розчиненого кисню в суміші води і стічних вод. Основні нормативи якості води у водоймах залежно від виду і категорії водокористування наводяться в табл.1.1.

Таблиця 1.1. Вимоги до якості води водних об'єктів у розрахунковому створі водокористування

Види водокористування	Категорії водокористування	Граничнодопустимі концентрації (ГДК), мг/л		
		БПК _{повн} , L _{ГДК}	Збільшення завислих речовин, C _{ГДК}	Розчинений кисень, O _{ГДК}
Санітарно-побутове: питне водопостачання культурно побутове	I	3	0,25	4
	II	6	0,75	4
Рибогосподарське: відтворення і збереження цінних порід риб інші рибогосподарські цілі	I	3	0,25	6
	II	3	0,75	6 (влітку) 4 (взимку)

1.4.1. Обчислення ступеня очищення за вмістом завислих речовин

Допустимий вміст завислих речовин у стічних водах, що спускаються в річку, відповідно до санітарних правил визначається за формулою:

$$C_{\text{ex}} = \left(\gamma \times \frac{Q_p}{q} + 1 \right) \times C_{\text{ГДК}} + C_p, \quad (1.7)$$

де $C_{\text{ГДК}}$ – граничнодопустиме за санітарними правилами збільшення завислих речовин у водоймі після спуску стічних вод (залежно від виду водокористування), мг/л;

C_p – вміст завислих речовин у воді водойми до спуску стічних вод, мг/л;

γ – коефіцієнт змішання;

Q_p – витрата води у водоймі, м³/с;

q – витрата стічних вод, м³/с, за середню добу.

$$C_{\text{ex}} = \left(0,75 \times \frac{11}{0,652} + 1 \right) \times 0,25 + 9,5 = 12,91, \quad \text{мг/л.} \quad (1.8)$$

Потрійний ефект очищення обчислюється за формулою:

$$E_c = (C_{en} - C_{ex}) \times \frac{100}{C_{en}} = (234,88 - 12,91) \times \frac{100}{234,88} \approx 95\%. \quad (1.9)$$

1.4.2. Визначення ступеня очищення за БПК_{повн}

Концентрація органічних забруднень за БПК_{повн} у стічних водах, допустимих до спуску, обчислюється за формулою:

$$L_{ex} = [(\gamma \times Q_p) / (q \times 10^{-k_1 \times t})] \times (L_{ГДК} - L_p \times 10^{-k_2 \times t}) + L_{ГДК} / 10^{-k_1 \times t}, \quad (1.10)$$

де L_{ex} – БПК_{повн} стічної рідини, яка повинна бути досягнута в процесі очищення, мг/л;

L_p – БПК_{повн} річкової води до місця випуску стічних вод, мг/л;

$L_{ГДК}$ – граничнодопустима БПК_{повн} суміші річкової і стічної води в розрахунковому створі, мг/л;

k_1, k_2 – константи швидкості споживання кисню стічною і річковою водою, значення яких коливається залежно від температури середовища, непостійності концентрації органічних речовин та ін. У своїх розрахунках студенти можуть прийняти при температурі води 20°C середнє значення константи $k_1 = 0,1$ і $k_2 = 0,2$;

t – тривалість переміщення води від місця випуску стічних вод до розрахункового створу, яка дорівнює відношенню відстані l_ϕ по фарватеру від місця випуску стічних вод до розрахункового створу, до середньої швидкості течії води в річці на даній ділянці:

$$t = \frac{l_\phi}{(V_p \times 86400)} = \frac{11000}{(0,36 \times 86400)} = 0,35 \text{ доби.} \quad (1.11)$$

Звідси

$$L_{ex} = \left[\frac{0,75 \times 11}{(0,652 \times 10^{-0,1 \times 0,35})} \right] \times (3 - 2,4 \times 10^{-0,2 \times 0,35}) + \frac{3}{10^{-0,1 \times 0,35}} =$$

$$= 16,46 \frac{\text{мг}}{\text{л}}. \quad (1.12)$$

Визначимо потрібний ефект очищення за БПК_{повн}:

$$E_L = (L_{en} - L_{ex}) \times \frac{100}{L_{en}} = (271,36 - 16,46) \times \frac{100}{271,36} \approx 94\%. \quad (1.13)$$

1.4.3. Визначення ступеня очищення за розчиненим у воді киснем

Розрахунок допустимої максимальної величини БПК_{повн} стічних вод, які спускаються у водойму, виходячи з умов санітарних правил про збереження у водоймі мінімального вмісту розчиненого кисню C_o (табл.1.1), виконується без урахування реаерації за рівнянням:

$$L = 2,5 \times (\gamma \times Q_p/q) \times (O_p - 0,4 \times L_p - O_{ГДК}) - O_{ГДК}/0,4, \quad (1.14)$$

де γ – коефіцієнт змішання;

Q_p - витрата води у водоймі, м³/с;

q - витрата стічних вод, які надходять до водойми, м³/с;

O_p - вміст розчиненого кисню в річковій воді до місця спуску стічних вод, мг/л;

L_p - БПК_{повн} річкової води, мг/л;

0,4 – коефіцієнт для перерахунку БПК_{повн} у дводобове;

$O_{ГДК}$ - мінімальна концентрація розчиненого кисню, яка повинна зберігатися у воді водойми після випуску стічних вод, мг/л (табл.1.1).

Таким чином

$$L = 2,5 \times (0,75 \times 11/0,652) \times (8,0 - 0,4 \times 2,4 - 6) - \frac{4}{0,4} = 22,9 \text{ мг/л.} \quad (1.15)$$

Потрібний ефект очищення

$$E = (L_{en} - L) \times \frac{100}{L_{en}} = (271,36 - 22,9) \times \frac{100}{271,36} = 91,5\%. \quad (1.16)$$

1.5. Санітарні умови спуску стічних вод у водоймища

При випуску стічних вод у водоймища враховуються граничнодопустимі концентрації (ГДК) забруднень. Нормативи якості води для кожного водоймища встановлюються за видами і категоріями водокористування і повинні бути витримані в розрахункових створах на 1 км вище найближчого за течією річки пункту водокористування або в озерах і водосховищах по 1 км — в обидва боки від пункту водокористування.

Відповідно до «Правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» встановлено два види водокористування:

- водоймища питного та культурно-побутового призначення;
- водоймища, які використовують в рибогосподарських цілях.

Кожен з цих видів підрозділяється на дві категорії (табл.1.1). До першої належать види водокористування, які потребують підвищених вимог до якості

води водоймищ і вживаються для питного водопостачання або для зберігання та відтворення цінних порід риб.

До другої категорії належать види водокористування, які мають культурно-побутове призначення або використовуються для різноманітних рибогосподарських цілей.

Віднесення водоймища до того чи іншого виду водокористування виконується органами Державного санітарного нагляду з урахуванням перспектив використання водоймищ.

Категорії рибогосподарського використання водоймищ визначаються органами рибоохорони з урахуванням перспективного розвитку рибного господарства.

Відповідно до «Правил» забороняється скид у водоймище стічних вод, які можуть бути усунені шляхом переходу на безводне виробництво або шляхом оборотного водопостачання та повторного використання в промисловості чи сільському господарстві.

Нагляд за виконанням умов скиду очищених стічних вод у водоймища здійснюється санітарно-епідеміологічними станціями та басейновими інспекціями.

1.6. Вибір методу очищення стічних вод

Залежно від сутності процесів, які використовуються для очищення стічних вод, розрізняють методи механічного, фізико-хімічного та біологічного повного або неповного очищення. Великі маси осадів, які утворюються при цьому і становлять до 1 % від витрат суміші стічних вод, необхідно знешкоджувати, знезаражувати, збезводнювати, сушити та утилізувати.

У зв'язку з підвищенням вимоги до якості очищених стічних вод повне біологічне очищення може доповнюватися спорудами доочищення. Перед скидом у водоймище стічні підлягають знезараженню з метою знешкодження патогенних мікроорганізмів.

На підставі обчисленого необхідного ступеня очищення стічних вод вибирається метод очищення за даними табл.1.2.

Таблиця 1.2. Залежність методу очищення від необхідного ступеня очищення

Рекомендовані методи очищення	Необхідний ступінь очищення, мг/л	
	за завислими речовинами	за БПК _{повн}
Механічне	80	-
Механічне і частково біологічне	25-80	25-80
Механічне і повне біологічне	15-25	15-25
Механічне, повне біологічне і доочищення	<15	<15

Згідно з табл.1.2 і рекомендованою літературою [1, 3] обираються основні споруди станції очищення і план їх послідовного розташування (рис.1.2).

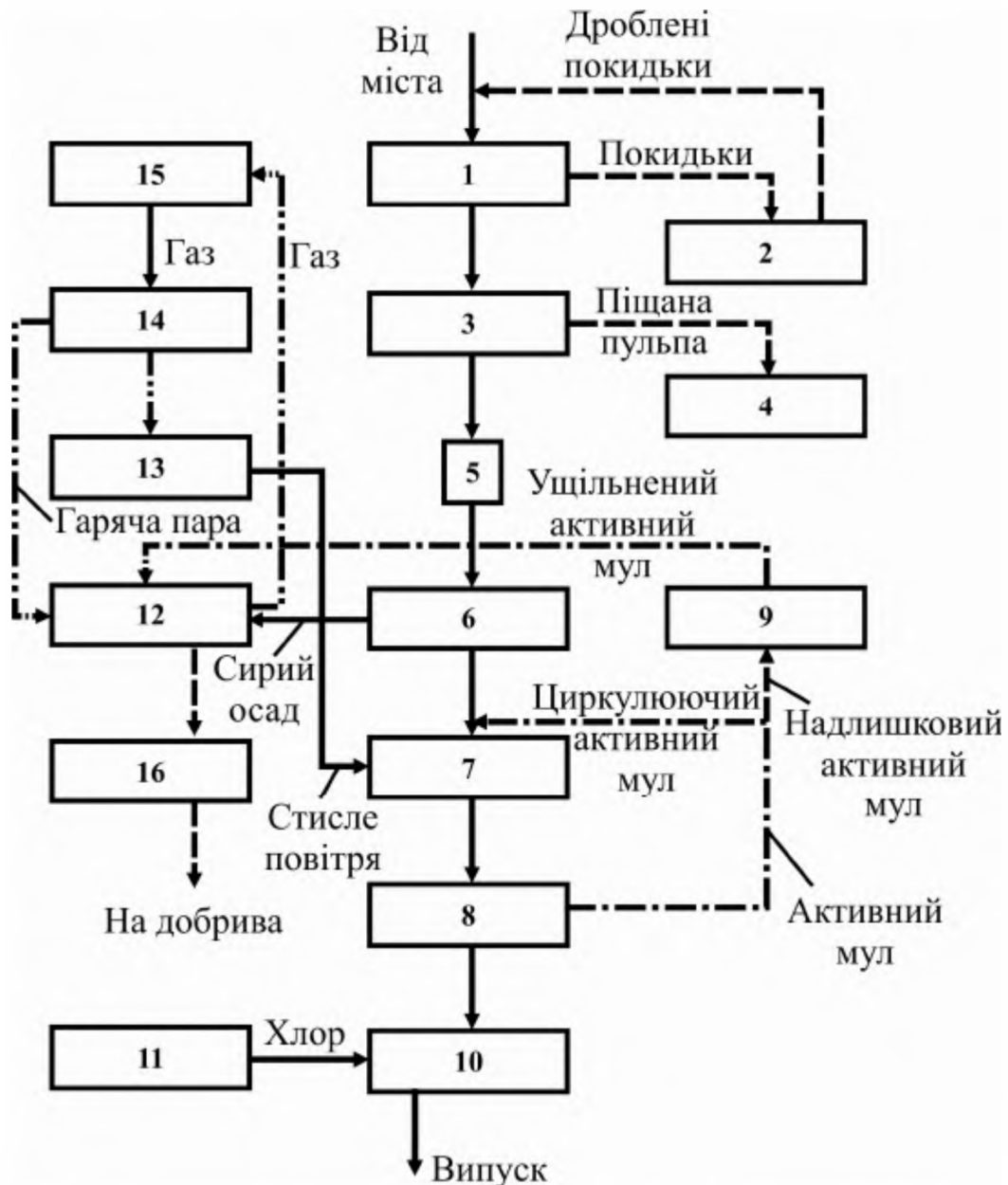


Рис.1.2. Схема розташування споруд і обробки осаду станції біологічного очищення стічних вод в аеротенках і обробки осаду:

1 – gratи; 2 – дробарка; 3 – пісколовка; 4 – піскові бункери; 5 – вимірювач витрати; 6 – первинні відстійники; 7 – аеротенки; 8 – вторинні відстійники; 9 – мулоущільнювач; 10 – контактні резервуари; 11 – хлораторна; 12 – метантенк; 13 – машинне відділення; 14 – котельня; 15 – газгольдери; 16 – збезводнення зброженого осаду.

Питання для самоконтролю

1. За якими ознаками класифікують стічні води?
2. Які умови прийняття стічних вод на споруди біологічного очищення?
3. Які санітарні умови спуску стічних вод у водоймище?
4. Які показники застосовуються для визначення необхідного ступеня очищення стічних вод?
5. Від яких параметрів залежить вибір методу очищення та склад очисних споруд?
6. Що таке самоочищення води у водоймі?

Розділ 2. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод

2.1. Теоретичні основи і класифікація методів флотації

До фізико-хімічних методів очищення стічних вод відносять: коагуляцію, електрокоагуляцію, флотацію, іонний обмін, кристалізацію, електродіаліз, мембранні технології, сорбцію, екстракцію, евапорацію, випарювання, ректифікацію, пом'якшення і знесолення, магнітну обробку.

Більшість методів наведені раніше.

Гетерофазні домішки з води можна видалити, використовуючи явище вибіркового змочування, яке лежить в основі процесу флотації. Суть цього процесу полягає в специфічній дії молекулярних сил, які сприяють злипанню завислих речовин з бульбашками тонкодиспергованого у воді повітря, і утворенні на поверхні води пінного шару, який насичений речовинами, що вилучаються.

Змочування – це поверхневе явище, яке полягає у взаємодії рідини з іншою рідиною або твердим тілом при одночасному контакті трьох фаз, що не змішуються, одиницею з яких є повітря. Воно проявляється у викривленні поверхні, рідини, утворення, меніску, розтіканні рідини, просочуванні пористих тіл, порошоків.

Мірою змочування є кут, який нанесена крапля рідини у рівноважному стані утворює з твердою поверхнею або з поверхнею рідини, що з нею не змішується. Його визначають як кут між поверхнею твердого тіла(або рідини, що не змішується), і дотичною в точці стикання трьох фаз (рис.2.1) і називають крайовим кутом або кутом змочування (θ). Крайовий кут завжди вимірюють з рідини; він може змінюватись в межах від 0 до 180°. Величину $\cos \theta$, якою також характеризують здатність рідини змочувати поверхню, називають змочуванням і позначають B .

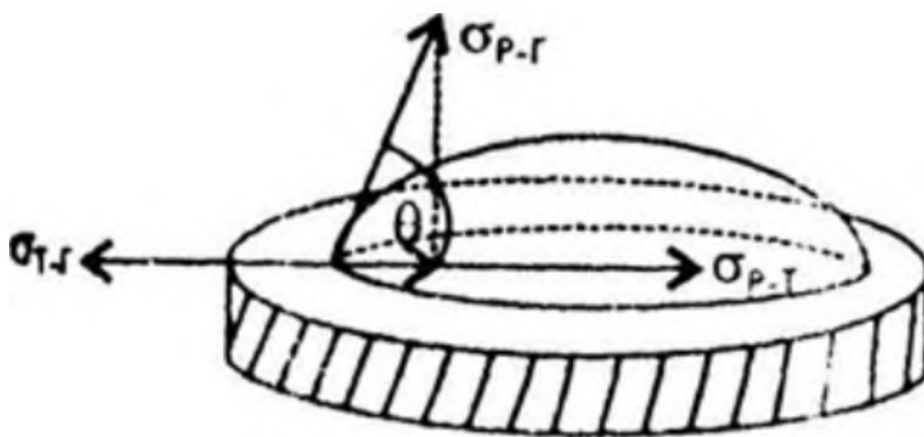


Рис.2.1. Крайовий кут при рівноважному змочуванні

Розрізняють декілька випадків змочування:

Повне незмочування. Кут змочування дорівнює 180° .

Якщо молекули рідини взаємодіють між собою значно сильніше, ніж з молекулами твердого тіла, то розтікання не відбудеться. Навпаки, рідина збереться на поверхні в краплю, яка, якщо б не діяла сила тяжіння, мала б майже сферичну форму

Повне змочування, або розтікання. Кут змочування дорівнює 0° .

Якщо молекули рідини взаємодіють з молекулами твердого тіла сильніше, ніж між собою, то рідина буде розтікатися по поверхні (змочувати її). Розтікання відбуватиметься доти, доки рідина не покриє всю поверхню твердого тіла або доки шар рідини не стане мономолекулярним. Такий випадок називається *повним змочуванням* (спостерігається при нанесенні краплі води на поверхню чистого скла).

Неповне змочування.

Має три випадки (рис.2.2):

а) добре змочування ($\theta < 90^\circ$);

б) середнє змочування ($\theta = 90^\circ$);

в) погане змочування ($\theta > 90^\circ$).

Змочування рідиною твердого тіла можна пояснити як результат дії сил поверхневого натягу.

Поведінка краплі рідини на поверхні твердого тіла залежить від інтенсивності взаємодій усіх речовин, що утворюють у системі межі поділу фаз *твердого тіла* (Т), *рідини* (Р) і *газу* (Г) або іншої рідини, яка не змішується з першою.

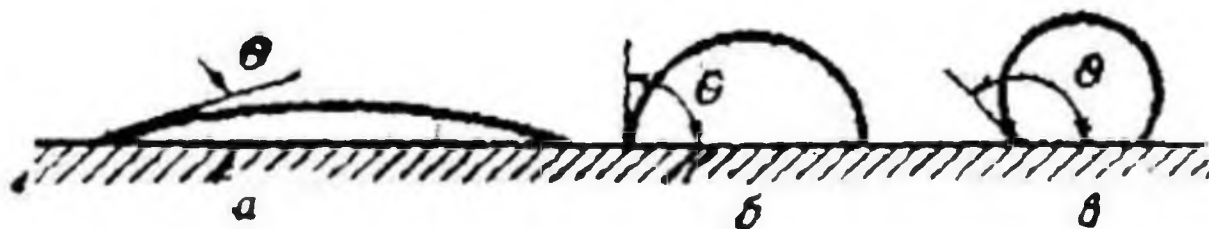


Рис.2.2. Різні випадки неповного змочування:

а) $\theta < 90^\circ$; б) $\theta = 90^\circ$; в) $\theta > 90^\circ$.

Поверхня краплі рідини, яка контактує з газовою фазою або іншою менш полярною рідиною, утворює з поверхнею твердого тіла крайовий кут змочування θ .

Периметр змочування (коло краплі на поверхні твердого тіла) є місцем взаємодії усіх трьох середовищ – твердого, рідкого, газоподібного (або іншої рідини). Ці середовища розділені поверхнями, кожна з яких характеризується своєю питомою вільною поверхневою енергією $\sigma_{Т-Г}$, $\sigma_{Т-Р}$, $\sigma_{Р-Г}$ на межах поділу відповідно «тверде тіло - газ», «тверде тіло - рідина» і «рідина - газ». У кожному

точці межі зіткнення трьох фаз по периметру змочування на одиницю довжини діють сили $\sigma_{Т-Г}$, $\sigma_{Т-Р}$, $\sigma_{Р-Г}$, позначені на рисунку векторами, спрямованими по дотичній до відповідної поверхні поділу. Коли векторна сума цих сил дорівнює нулю, встановлюється рівноважний крайовий кут θ (рис.2.3).

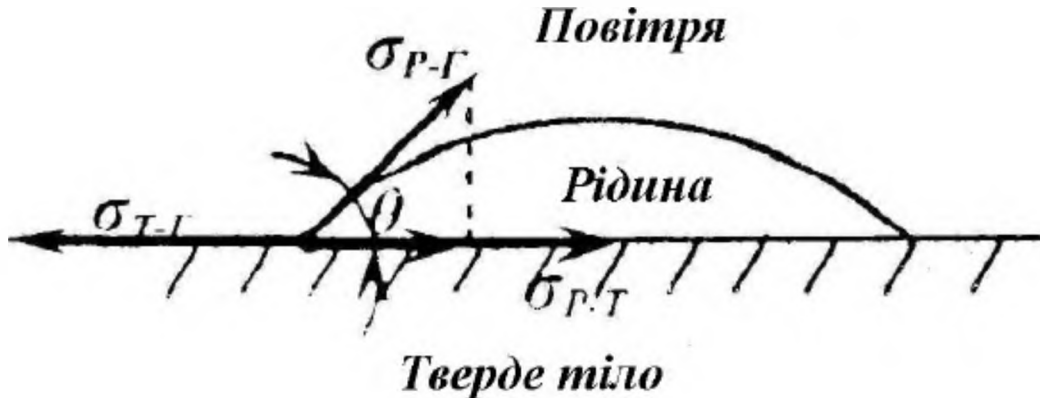


Рис.2.3. Схема зображення процесу змочування твердого тіла рідиною

При утворенні рівноважного крайового кута θ всі три сили урівноважують одна одну. (Оскільки точка прикладення трьох сил тільки переміщується по поверхні, але не може від неї відірватися, то замість сили $\sigma_{Р-Г}$ необхідно взяти її проекцію на площину, тобто $\sigma_{Р-Г} \cdot \cos\theta$.

Умова рівноваги визначається рівнянням Юнга:

$$\sigma_{Т-Г} = \sigma_{Т-Р} + \sigma_{Р-Г} \cdot \cos\theta, \quad (2.1)$$

звідки

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{Т-Г} - \sigma_{Т-Р}}{\sigma_{Р-Г}} \quad (2.2)$$

Чим менший поверхневий натяг $\sigma_{Р-Г}$, тим більший косинус крайового кута змочування і дана рідина краще змочує поверхню.

Як критерій здатності рідин змочувати тверді тіла та розтікатись по поверхні іншої (твердої або рідкої) фази може служити також співвідношення між роботою когезії W_c , роботою адгезії W_a і змочування $\cos\theta$:

$$\cos\theta = \frac{2W_a - W_c}{W_c}$$

За умови $W_a < 1/2 W_c$, відзначають незмочування (ліофобність);

$1/2 W_c < W_a < W_c$ - змочування (ліофільність);

$W_a > W_c$ - розтікання рідини по поверхні (рис.2.4.).

Чим більша різниця між W_a і W_c , тим інтенсивнішими будуть розтікання і змочування.

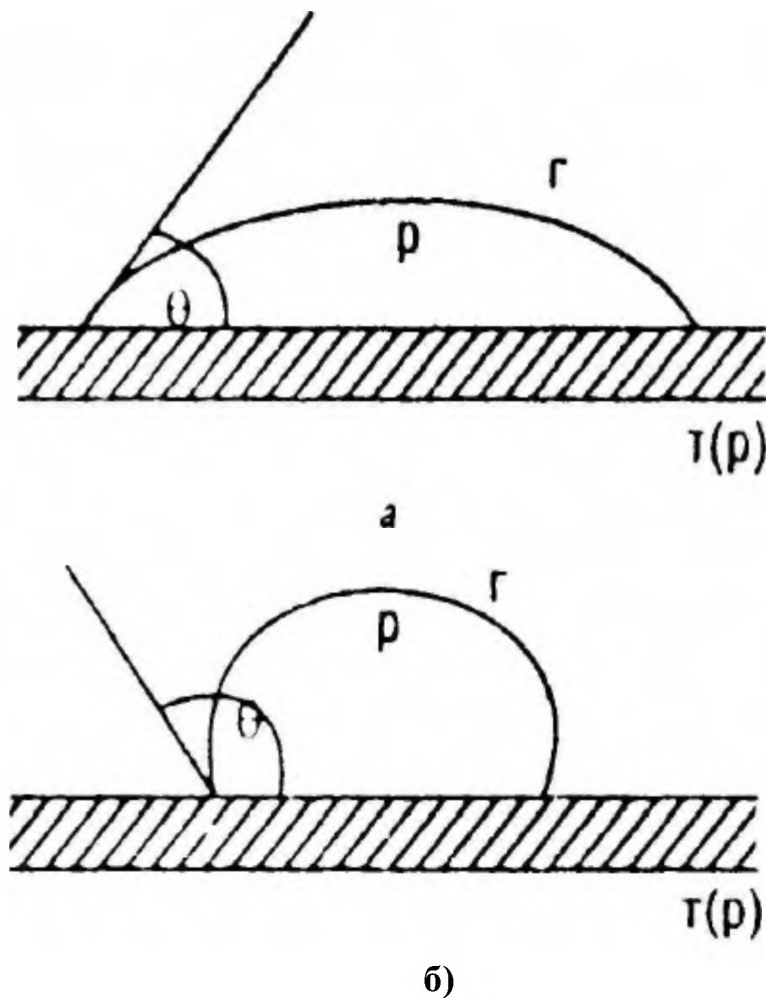


Рис.2.4. Крайові кути і змочування:
а) ліюфільна (гідрофільна) поверхня;
б) ліюфобна (гідрофобна) поверхня.

Слід відзначити, що адгезія (від лат. *adhaesus* – злипання) – це взаємодія між приведеними у зіткнення поверхонь конденсованих фаз різної природи, тобто виникнення зв'язку між поверхневими шарами двох різнорідних (твердих або рідинних) тіл, приведених у зіткнення. Адгезія – результат дії міжмолекулярних (Ван-дер-Ваальсівських) сил утворення іонних або металічних зв'язків.

Внаслідок дії міжмолекулярних сил субстрати злипаються настільки, що для їх роз'єднання треба виконати роботу адгезії W_a . Для рівноважного оборотного ізобарно-ізотермічного процесу адгезії W_a визначається за допомогою поверхневого натягу як вільної поверхневої енергії у розрахунку на одиницю площі поверхні контакту двох тіл (рівняння Дюпре):

$$W_a = (\sigma_{1,3} + \sigma_{2,3}) - \sigma_{1,2} \text{ Дж/м}^2, \quad (2.3)$$

де $\sigma_{1,2}$ – поверхневий натяг на межі субстрат 1 – субстрат 2;

$\sigma_{2,3}$ – поверхневий натяг на межі субстрат 2 – навколишнє середовище 3 (наприклад, повітря);

$\sigma_{1,3}$ – поверхневий натяг на межі субстрат 1 – навколишнє середовище 3.

Величина W_a характеризує міцність адгезійного зв'язку (міцність склеювання, злипання) будь-яких конденсованих тіл за умов відсутності електричної і хімічної взаємодії між ними.

Адгезія проявляється у процесах тертя, змащування, флотації та біологічних об'єктів.

Когезія (лат. cohaesus – зв'язаний, зчеплений) – взаємодія (зчеплення) молекул, атомів, іонів усередині однієї фази (гомогенної частини конденсованої фази) за рахунок хімічного зв'язку та міжмолекулярних сил. Когезію можна характеризувати такими параметрами як енергія кристалічної решітки, внутрішній тиск, енергія утворення пари, температура кипіння рідини та ін. Найважливішою кількісною характеристикою когезії є робота когезії W_c , яку необхідно затратити для ізобарно-ізотермічного розділення тіла на частини по перерізу, площа якого дорівнює одиниці. Тобто рівноважна робота когезії дорівнюватиме подвоєному значенню поверхневого натягу $\sigma_{1,2}$ на межі поділу речовина, що розділяється (1)- повітря (2).

$$W_c = 2\sigma_{1,2}.$$

Когезійні характеристики пов'язані з механічною міцністю, температурою плавлення і склування, характеристиками розчинності, набухання, змочування, сумісності та ін.

Слід відзначити, чим більші гідрофобність часточок і крайовий кут змочування θ , тим більший периметр прилипання бульбашки повітря до часточки та ймовірність її склеювання. Для прискорення флотації твердих часточок крізь водну суспензію пропускають дрібні бульбашки повітря. Підіймаючись угору, бульбашки захоплюють із собою гідрофобні тверді часточки. Для утворення стабільної піни на поверхні очищуваної води в суспензію додають піноутворювачі – поверхнево-активні речовини, які знижують поверхневий натяг води й утворюють адсорбційні плівки на поверхні бульбашок. Як піноутворювачі застосовують деякі фракції кам'яновугільної смоли, соснову олію, деревний дьоготь тощо.

Із рівняння Юнга випливає, що процесом змочування можна керувати, змінюючи міжфазні натяги у системі.

Найефективнішим методом є додавання ПАР до рідкої фази або попередня обробка твердої поверхні розчинами ПАР. Завдяки присутності ПАР можна гідрофілізувати гідрофобні поверхні, тобто викликати їх змочування

водою та іншими полярними рідинами або надати гідрофобні властивості гідрофільній поверхні. Це явище називається інверсією змочування. Його механізм пояснюється певною орієнтацією молекул ПАР в адсорбційному шарі. Наприклад, якщо тверда поверхня була спочатку гідрофільною, то адсорбовані молекули взаємодіють з нею своїми полярними групами, а неполярні ланцюги обертаються назовні, внаслідок чого ця поверхня стає гідрофобною. Якщо тверда поверхня гідрофобна, адсорбовані на ній молекули ПАР обертаються до неї своїми вуглеводневими ланцюгами, а полярними групами — назовні; таким чином поверхня стає гідрофільною. У тих випадках, коли неможливо експериментально визначити θ , наприклад, при змочуванні рідиною порошків, критерієм змочування може бути теплота змочування. Для оцінки гідрофільності порошкоподібних тіл П.О.Рєбіндер запропонував використовувати відношення теплоти змочування їх водою q_1 до теплоти змочування бензолом (або гексаном) q_2 $\beta = q_1/q_2$, де β — коефіцієнт гідрофільності. Для гідрофільної поверхні — $\beta > 1$, для гідрофобної — $\beta < 1$.

2.1.1. Пінна флотація

Елементарний акт пінної флотації полягає у тому, що при зближенні у воді газової бульбашки з гідрофобною поверхнею часточки, адгезія якої до води менше, ніж когезія молекул води, тонкий шар, що їх розділяє, стає нестійким і розривається при досягненні деякого критичного значення. Прилипання бульбашки до поверхні часточки супроводжується утворенням крайового кута змочування. Внаслідок короткочасового стикання бульбашки і часточки при їх зіткненні (0,001-0,002 с) ймовірність злипання визначається кінетикою формування крайового кута змочування.

Вага частинок, які флотуються, не повинні перевищувати сили їх злипання з газовими бульбашками і під'ємної сили останніх. Оптимальна крупність частинок, що вилучаються, знаходиться у межах 10^{-3} - 10^{-4} см. Тонкодисперговані домішки (частинки менші, ніж 5-10 мкм) флотуються повільно і погіршують вилучення крупних частинок. У випадку флотаційної очистки поверхневий натяг води, що оброблюється, не повинен перевищувати 60-65 мН/м, а розмір бульбашок повітря - 15-30 мкм.

При високому значенні поверхневого натягу води його знижують, додаючи поверхнево-активні речовини (реагенти-вспінювачі). Дуже часто виникає необхідність у гідрофобізації поверхні гетерофазних домішок. Цього досягають, додаючи реагенти-колектори, які вибірково сорбуються на поверхні часток домішок, що виділяються, знижуючи змочуваність останніх, внаслідок чого поліпшується їх злипання з бульбашками повітря. Крім згаданих вище реагентів при флотаційній очистці застосовують реагенти-активатори, які збільшують сорбцію колекторів і їх гідрофобізуючу дію.

У деяких випадках флотаційна очистка води поєднується з додаванням флокулянтів і коагулянтів. При цьому гідроксиди алюмінію $Al(OH)_3$ або заліза $Fe(OH)_3$ (III), що виділяються, сорбують домішки, які забруднюють воду.

Поверхня надміцелярних агрегатів, що утворюються, гідрофобізуються або самими сорбованими речовинами (наприклад, нафтами) або додаванням реагентів-колекторів. Після флотаційного розділення гідрофобний осад відпрацьованих гідроксидів займає значно менший об'єм, а вологість його нижча, ніж осаду, який виділений при відстоюванні, що досить важливо, особливо при дезактивації води.

В якості реагентів-колекторів застосовують аніоноактивні, катіоноактивні і неіоногенні поверхнево-активні речовини. Вони сорбуються на границі розділу тверда фаза – вода так, що полярні групи обернені до поверхні частинки, а неполярні – у воду, внаслідок чого завислі речовини гідрофобізуються. У випадку наявності солей лужноземельних металів і мінералів, застосовують вищі жирні кислоти і лужні мила, а також аніоноактивні речовини – натрієві сульфати вищих спиртів, алкіл- і алкіларілсульфонати, що вміщують вуглеводневі ланцюжки з 12-18 атомами вуглецю. Колекторами для кварцу та інших кислотних мінералів є катіоноактивні речовини - вищі аліфатичні аміни і солі четвертичних амонієвих основ, які вміщують радикали з 12 і більше атомами вуглецю. Для завислих речовин з неполярною поверхнею (вугілля, графіт та ін.) колекторами можуть бути різні масла, у склад яких входять вуглеводні.

Речовини, які використовують в якості реагентів-активаторів, досить різноманітні, тому що їх дія залежить не тільки від мінерального складу завислих речовин, але й від застосованого реагента-колектора. Наприклад, іони кальцію виступають активаторами кварцу при флотації його з милами, але є інгібіторами у випадку застосування катіонних колекторів. При флотації деяких алюмосилікатів з домішками катіонних речовин як активатори застосовують фтористоводневу кислоту.

Реагентами-спінювачами є речовини, які здатні до абсорбції на границі розділу вода – повітря і які помірно стабілізують піну. З цією метою використовують продукти, які вміщують терпенові спирти, одноатомні аліфатичні спирти з 6-8 атомами вуглецю, крезолі і ксиленоли, монометилі і монобутилові ефіри поліпропіленгліколів та ін.

Для регулювання лужності води застосовують вапно, соду, сірчану або соляну кислоти.

При флотації вода може звільнятися не тільки від суспензованих твердих домішок, але і від нафтопродуктів, масел та інших емульгованих рідких речовин, а також від окремих іонів розчинених у воді речовин, наприклад, радіоактивних. В останньому випадку реагенти, які додаються, повинні утворювати поверхнево-активні комплекси з іонами, що вилучаються.

При пропусканні через таку систему інертного газу на поверхні у вигляді піни накопичуються поверхнево-активні комплексні сполуки, які вміщують домішки, що вилучаються. Якщо в розчині є декілька розчинених речовин з різною поверхневою активністю, то в процесі флотації виникає перспектива їх фракційного розділення.

Дослідниками встановлена перспективність дезактивації радіоактивних вод, які вміщують Sr^{90} , Y^{90} , Nb^5 , Cs^{134} , введенням у них твердих носіїв (гідроксидів заліза (III) і алюмінію, фероціаніду міді) з наступною флотацією при додаванні відповідних флотореагентів.

У даний час застосовуються численні методи насичення рідини бульбашками повітря, серед яких за розмірами бульбашок повітря або газу можна виділити такі: флотація з виділенням повітря з розчину - *вакуумні, напірні і ерліфтні* установки; флотація з механічним диспергуванням повітря - *імпелерні, безнапірні і пневматичні* установки; флотація з подачею повітря через пористі матеріали, електрофлотація.

2.1.2. Метод адсорбційно-пузиркового розділення

Особливості адсорбції забруднюючих речовин на диспергованій газовій фазі.

Значний вміст у стічних водах ПАР, різноманітних видів нафтопродуктів, високомолекулярних сполук при малій кількості важких домішок визначає наперед ефективність використання методів адсорбційно-пузиркового розділення (АПР). Методи АПР складають основу процесів очистки стічних вод в різних галузях виробництва. Вони застосовуються для очистки стічних вод легкої, нафтовидобувної і нафтоперероблюваної, харчової, металооброблюваної та багато інших галузей промисловості.

Флотація – є одним із методів адсорбційно-пузиркового розділення, який оснований на формуванні спливаючих агломератів забруднюючих речовин з дисперговою газовою фазою (флотокомплексів) і подальшим їх відокремленням у вигляді концентрованого піного продукту (флотошламу). Головна різниця між флотацією і пінним фракціюванням полягає у лімітуючих стадіях цих процесів. Ефективність флотаційного процесу визначається умовами формування флотокомплексів і спливання їх на відкриту поверхню, в той час як для пінного фракціювання принциповим є швидкість інверсії газової фази на відкритій поверхні і відвід пінного продукту.

Методи очистки стічних вод з використанням технології АПР є універсальними для видалення забруднюючих речовин, що перебувають у різних фазово-дисперсних станах.

У процесі флотації із води вилучаються не окремі конкретні види забруднюючих речовин, а гетерофазні структури точно визначеного типу – флотокомплекси (ФК). Структури агрегатів, які флотують представляють собою флотокомплекси у вигляді трьох типів: газово-дисперсійним, дисперсійно-газовим і газово-молекулярним.

Знання закономірностей формування і рух характерних типів дозволяє цілеспрямовано здійснювати конструювання, реконструкцію і експлуатацію флотаційних установок і споруд.

Дослідженнями структур агрегатів, які флотуються було встановлено, що елементарний флотокомплекс може бути трьох типів.

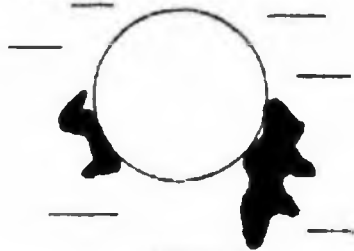
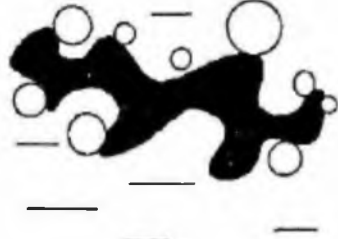
Перший тип утворюється у результаті зіткнення і подальшого «злипання» дисперсних часток забруднюючих речовин (твердих або рідких) з бульбашками повітря, що рухаються, або іншого газу. Структура цього флококомплексу складається із одиночних, відносно великих бульбашок, на поверхні яких закріплюються забруднюючі речовини. Цей тип флококомплексів умовно можна назвати газово-дисперсним. Великі розміри бульбашок обумовлюють невисоку механічну міцність флококомплексу внаслідок високих швидкостей спливання, що створюють значну напругу зсуву міжфазної поверхні, і малої енергії зв'язку частинок з поверхнею бульбашки, що залежить від її кривизни. Цей тип флококомплексу характерний для флотаційних установок з пневматичною і гідромеханічною системою отримання ДГФ.

Другий тип формується при виділенні газу із води, що оброблюється в умовах зменшення його розчинності. Оскільки ймовірність зародження бульбашок на міжфазній межі на багато разів більше ймовірності їх виникнення в об'ємі чистої води, дисперсні частки забруднюючих речовин стають центрами формування флококомплексів. У результаті коалесценції газової фази він може трансформуватися у перший тип. Однак при визначених умовах, наприклад, присутності у воді ПАВ, другий тип флококомплексу достатньо стійкий. Структурно він визначається як дисперсно-газовий. Унаслідок високої поверхневої енергії цей тип флококомплексів може утворювати більш великі флокоагрегати, які складаються із декількох елементарних комплексів.

Органічні речовини, які входять у систему забруднюючих стічних вод, проявляють сорбційні властивості на межі поділу фаз «вода-газ». Контакт спливаючих бульбашок газу з такими речовинами приводять до утворення на їх поверхні адсорбційного шару, формуючи третій тип флококомплексів – газово-молекулярний. Наявність цього типу в структурі флотаційної пульпи обумовлюється головним чином фізико-хімічними властивостями системи забруднюючих речовин і мало залежить від виду флотаційного спорудження.

Газово-молекулярний тип флококомплексів є специфічним для обробки стічних вод, які містять поверхнево-активні речовини (ПАВ). Він володіє достатньо структурною міцністю при гідродинамічних діях, тому аналіз фізико-хімічних явищ, що відбуваються на його поверхні, є найбільш точним. Оскільки, основна доля забруднюючих речовин стічних вод, яка відокремлюється флотацією, приходить на другий і третій типи флококомплексів, результати цього каталізу в частині адсорбційних взаємодій є корисними і для них.

Таблиця 2.1. Основні типи і властивості елементарних флотокомплексів

Тип флотокомплекса	Умови формування	Технологічні властивості	Види забруднюючих речовин, що вилучаються
Газово-дисперсний 	Формується при зіткненні дисперсних часток забруднюючих речовин з ДГФ, що отримана барботажними і гідродинамічними способами при спливанні	Висока швидкість спливання, низька енергія зв'язку часток з поверхнею пузирка. Газова фаза схильна до коалесценції з руйнуванням структури.	Грубодисперсні домішки, ПАР.
Дисперсно-газовий 	Формування відбувається в процесі зародження і росту пузирків, а також в результаті адсорбції ДГФ на міжфазній поверхні. Утворюється при отриманні ДГФ виділенням із води, а також при інтенсивних гідродинамічних спливах.	Низькі швидкості спливання. Існує надлишок поверхневої енергії, який приводить до агрегації комплексів. Динамічно стійкий, здатний до часткової рекомбінації.	Тверді дисперсні речовини і ПАР.
Газово-молекулярний 	Формується в результаті сорбції органічних молекул і іонів, розчинених у воді, на межі поділу фаз.	Швидкість спливання визначається крупністю ДГФ. Зовнішня поверхня сильно поляризована, що перешкоджає коалесценції і агломерації. Динамічно стійкий.	ПАР, частково гідролізовані нафтопродукти, органічні смоли. У поєднанні з комплексоутворювачем вилучення іонів, у тому числі неорганічних.

Стічні води підприємств практично не насичені розчиненими компонентами, тому густина розчину практично співпадає з густиною води як розчинника. У цьому випадку величина адсорбції ПАР дуже слабо залежить від положення межі поділу фаз, і як наслідок, реальна кількість їх на поверхні майже співпадає з адсорбцією по Гіббсу.

Флотаційний процес розпочинається з виникнення динамічної поверхні диспергованої газової фази (ДГФ) в оброблюваній воді.

Період оновлення поверхні ДГФ є період часу, протягом якого існуюча газова дисперсія замінюється новою, яка поступає в камеру флотації.

Період оновлення міжфазної поверхні можна визначити як період існування ФК по диспергованій газовій фазі.

Оскільки адсорбція має динамічний характер, будь-яка молекула ПАР знаходиться на поверхні поділу фаз лише визначений проміжок часу за будь-яких умов руху рідини і газової фази. Отже, при динамічній рівновазі адсорбційний і десорбційний потоки, рівні за густиною.

Для описання стану стаціонарності ФК користуються формулою, яка аналогічна рівнянню ізотерми Ленгмюра:

$$\Phi_i = \Phi_i^{max} \frac{K_i X_i}{1 + K_i X_i},$$

де Φ_i – питома флотосорбція, кг/м³;

Φ_i^{max} – величина флотосорбції при заповненні поверхні газової фази, кг/м²;

K_i – константа рівноваги ФК;

X_i – рівноважна концентрація забруднюючих речовин у структурі ФК, г/м³.

Тут

$$K_i = \frac{\beta}{\alpha \Phi_i^{max}}.$$

Коефіцієнт адсорбції (β) і десорбції (α) відображають пропускну здатність потенційного бар'єра на динамічній поверхні між адсорбованою речовиною і вмістом його у воді.

Величина обернена коефіцієнту десорбції, представляє середній період (τ_ϕ) перебування часток забруднюючих речовин на міжфазній поверхні.

$$\tau_\phi = \alpha^{-1}.$$

Стосовно до структури ФК, параметр τ_ϕ може бути також визначений як період існування ФК за речовиною, що вилучається.

Оскільки тривалість формування флотокомплексу значно менше обох періодів його існування (за умовами ефективності флотації), важливим

показником процесу є відношення періодів знаходження часток у складі ФК і оновлення поверхні ДГФ. Це відношення характеризує утримуючу здатність газової дисперсії:

$$\Theta = \frac{\tau_{\phi}}{\tau_{\psi}}.$$

Більше значення утримуючої здатності відповідає більшій стійкості ФК, і, отже більшій швидкості очистки води. При значенні $\Theta = 1$ практично сформовані флотокомплекси досягають інверсійної поверхні.

Дотримуючись теорії мономолекулярної сорбції Ленгмюра відношення

$$\Phi_i / \Phi_i^{max},$$

характеризує щільність укладки речовин, що вилучаються, на адсорбційній поверхні. У відповідності з рівнянням це відношення має вигляд:

$$\Theta_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_i^{max}}$$

або

$$\Theta_i = \frac{K_i X_i}{1 + K_i X_i},$$

де Θ_i - щільність заповнення доступної поверхні ДГФ речовиною, що вилучається.

Параметр Θ_i відображає ефективність використання поверхні ДГФ у флотаційній камері. Графічна ілюстрація виражень, а також рівнянь ізотерми адсорбції Генрі наведені на рис.2.5 і рис.2.6. Значення констант у рівняннях дані на прикладі аніонного ПАР «Сульфанол НП-3№».

Способи одержання газової дисперсії у воді.

Традиційним признаком класифікації флотаційних установок і споруд прийнятий спосіб одержання диспергованої газової фази (ДГФ) [13, 14]. Усі існуючі способи можна розділити на слідуючі групи: подрібнення газової фази (диспергування) у товщі рідини, безпосередньо виділення з оброблюваної води. Класифікація флотаційних установок і споруд наведена на рис.2.7.

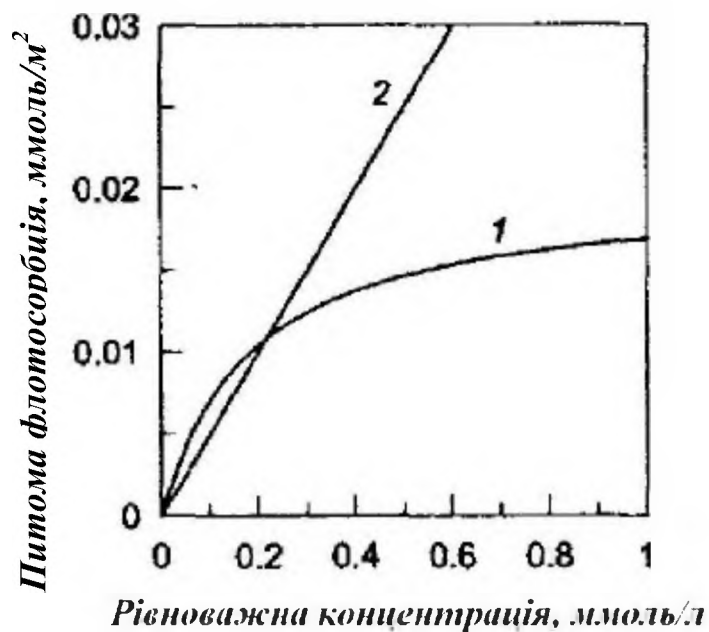


Рис.2.5. Стан газово-молекулярного ФК препарату «Сульфанол НП-3»:

1 – ізотерма стану ФК; 2 – ізотерма Генрі ($\Phi_i^{max} = 0,02 \frac{\text{ммоль}}{\text{м}^2}$, $K_i = 5,46 \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$, $K_r = 0,05$)

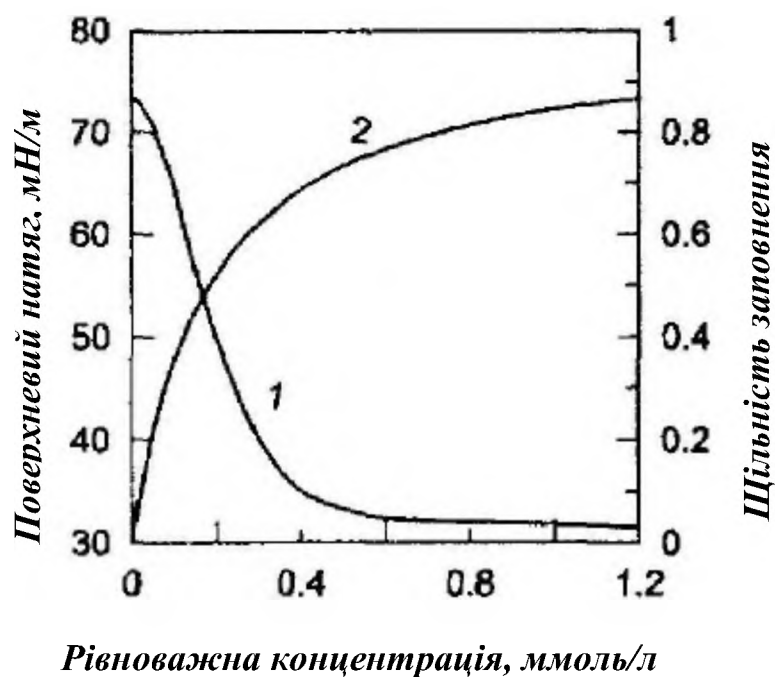


Рис.2.6. Вплив поверхневого натягу на густину заповнення поверхні газово-молекулярного ФК (Сульфанол НП-3):

1 – поверхневий натяг; 2 – щільність заповнення поверхні.

Барботажне отримання ДГФ.

Поширеним методом отримання ДГФ в очисних спорудах є барботажний, коли диспергований газ проходить через пори (отвір) фільтросного пристрою зануреного у воду і утворює потік газових бульбашок.

Розмір бульбашок, що утворюються визначається умовами відриву їх від кромки пор і ймовірності коалесценції у період росту.



Рис.2.7. Класифікація флотаційних установок

Сила, яка утримує бульбашку на кромці парового каналу, пропорційна поверхневій енергії рідини і довжини периметра парового каналу. По мірі росту бульбашки піднімальна сила, пропорційна третьому ступеню його радіусу, збільшується значно швидше утримуючої. У момент рівності цих сил відбувається відрив бульбашки від отвору пористої поверхні. У відсутності коалесценції теоретичне значення діаметра бульбашок, що отримуються у воді, дорівнює:

$$d_n = \sqrt[3]{\frac{3d_0\sigma}{4\Delta\rho g}},$$

де d_n і d_0 – діаметри пузирчика і парового каналу, м;

σ – поверхневий натяг, Н/м;

$\Delta\rho$ – різниця густини рідкої і газової фаз.

Із збільшенням витрати газу число пузирків зростає до тих пір, поки не буде досягнута його критична величина:

$$Q_{\Gamma}^{lim} = \frac{\pi d_n^2 u}{6},$$

де u – швидкість спливання пузирків, м/с.

При витраті газу вище критичного режиму диспергування переходить у режим фонтанування, що характеризується різким скороченням міжфазної поверхні.

Важливим фактором, що впливає на розмір пузирків при отриманні ДГФ є наявність коалесценції. У відповідності з теоретичними положеннями Б.В.Дерягіна, розклинюючий тиск між сусідніми пузирками радіусами r_1 і r_2 на поверхні росту дорівнює:

$$P_d = \sigma(1/r_1 + 1/r_2).$$

Дане рівняння справедливо для води, що не містить синтетичний ПАР. У їх присутності явище коалесценції дуже пригнічено дією структурно-механічної стабілізації. Це обумовлено наявністю на поверхні газового пузирка міцного шару адсорбованих молекул ПАР.

На рис.2.8. наведені поширені типи приладів для барботажного отримання ДГФ.



Рис.2.8. Прилади для барботажного диспергування повітря:

а – дифузрного типу: 1 – кульковий клапан; 2 – корпус; 3 – пориста пластина; 4 – з'єднувальний патрубок;

б – з пористих трубчатих елементів: 1 – магістральний повітрепровід; 2 – перфорований патрубок; 3 – пориста труба.

Найбільш досконалими серед них вважається диспергатори дифузного типу, які виконані із полімерних матеріалів. Їх переваги полягають у малому

аеродинамічному опорі і однорідності парових каналів, корозійній стійкості, простоті монтажу і обслуговування.

2.1.3. Флотаційні установки

У технології очистки природних вод практичне застосування одержали механічні і пневматичні флотаційні установки. У механічних флотаційних установках введення і диспергування повітря здійснюється турбіною насосного типу, а у пневматичних - повітрям, яке виділяється з води внаслідок змінення тиску.

На рис.2.9 наведено флотаційну установку, яка складається з флотомашини 1 з турбіною і лопатевим пінознімачем, приймального 2 і пінозбірного 3 резервуарів, а також насосної станції 4 для відкачування води і продуктів флотації. Вода, що обробляється, надходить у флотаційну камеру, де перемішується з повітрям і у вигляді тонкої водоповітряної емульсії викидається на відбійники. Після руйнації піни суміш води і речовини, що флотується, надходить у пінозбірний резервуар. Очищена вода витікає з флотаційної камери і відводиться у буферний ставок або повертається в систему оборотного водопостачання.

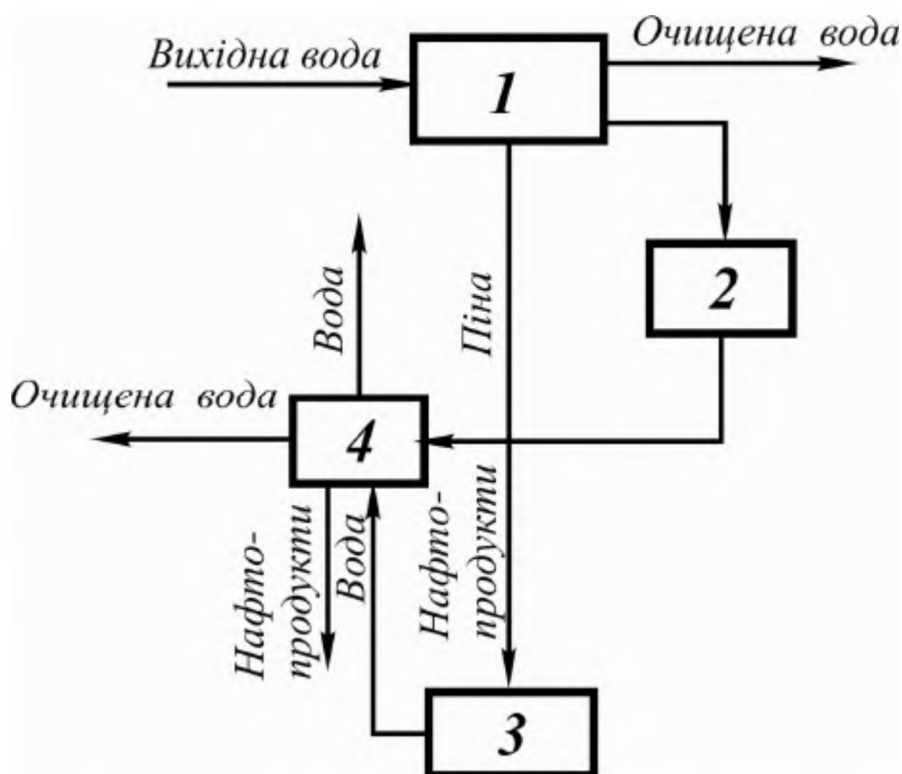


Рис.2.9. Схема флотаційної установки з турбіною насосного типу

Пневматичні флотаційні установки можуть бути *напірними* і *вакуумними*. У напірних установках вода насичується повітрям при підвищеному тиску у напірних резервуарах. При зниженні тиску до атмосферного у флотаційній

камері виділяються дуже дрібні бульбашки повітря, ідеальні для флотаційної очистки. У менше розповсюджених вакуумних установках повітря виділяється з води під дією вакууму.

Схема напірної флотації (рис.2.10) включає насосно-ежекторну станцію 1, реагентну станцію 2, напірний резервуар 3 і флотаційну камеру 4. В одних випадках повітря розчиняється безпосередньо у воді, яка обробляється, а в інших – його вводять у частину води, що рециркулюється після флотації. Повітря подається у всмоктуючу або напірну трубу насоса. У другому випадку замість компресора доцільно використовувати ежектор, який працює за рахунок напору води, що перекачується.

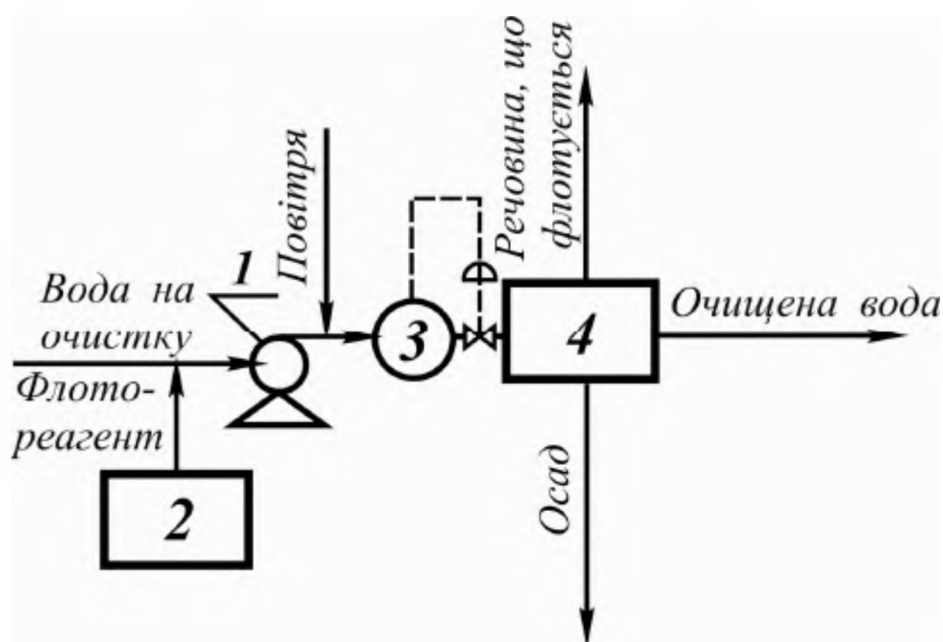


Рис.2.10. Схема флотаційної установки з пневматичним напірним флотатором

Схему найбільш розповсюдженої механічної флотаційної машини з відцентровим імпульером наведено на рис.2.11. Імпульер 1 являє собою диск з радіальними лопатями, укріпленими на вертикальному валу 2, який розташований в обсадній трубі 3. Верхній кінець обсадної труби знаходиться над рівнем пульпи, а нижній опирається на приймальний ковпак з приєднаною до нього надімпульерною кришкою. При обертанні імпульера в приймальному ковпаку утворюється вакуум, внаслідок чого туди підсмоктується вода, яка обробляється, і повітря. Водоповітряна суміш викидається у нижню частину камери, а шар піни, який збирається на поверхні, зганяється в збірний лоток. Очищена вода відводиться з нижньої частини камери.

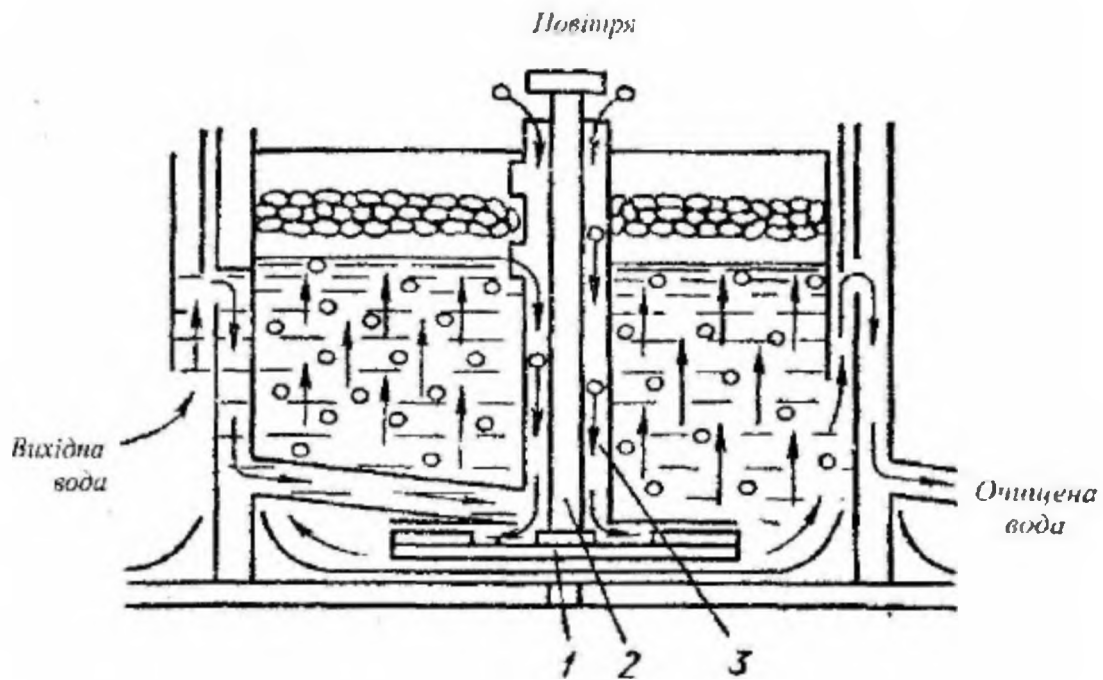


Рис.2.11. Схема механічної флотаційної машини з відцентровим імпелером

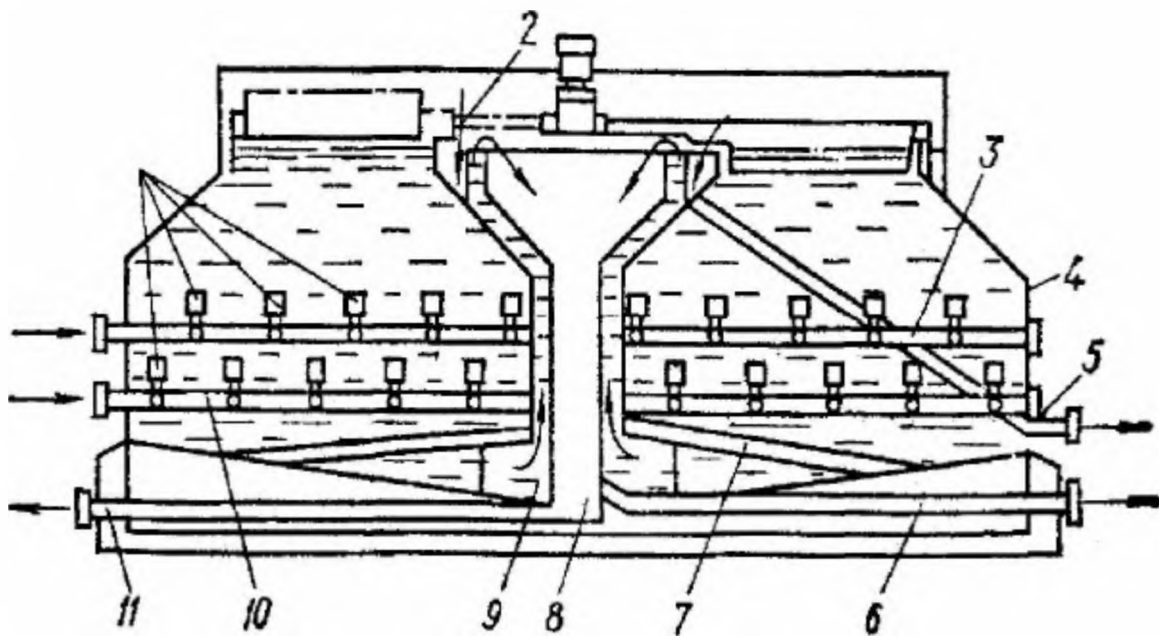


Рис.2.12. Схема пневматичного флотатора

Пневматичний флотатор (рис.2.12) - це резервуар 4, у центральній частині якого розташовані грати 7, а також збірний 9 і відводячий 8 трубопроводи. У резервуарі 4 розміщено два ряди розподільчих трубопроводів 3 і 10 з укріпленими на них форсунками 1. Вода, яка обробляється, насичується повітрям у напірному резервуарі і через розподільчу систему трубопроводів 3 надходить у камеру. Піна, що утворюється на поверхні води, зганяється у

збірний лоток 2 і по трубопроводу 5 надходить у збірний резервуар. Очищена вода відводиться з камери через ґрати 7 по трубопроводу 11. Частина її по трубопроводу 6 спеціальним насосом може подаватися у другий напірний резервуар для донасичення повітрям. З цього резервуару вода надходить у камеру по розподільчим трубопроводам 10. Так, у конструкції флотатора передбачені елементи, які дозволяють насичувати повітрям весь об'єм води або її частину, що рециркулюється.

Флотаційні установки з подачею повітря через різноманітні пористі матеріали в порівнянні зі способами насичення рідини повітрям, які розглянуті вище, відрізняються простотою конструкції флотаційних камер, зменшенням витрат енергії, відсутністю складних механізмів (таких, як насоси або імпелери). Їх недоліки - можливість заростання і засмічення пор і складність підбору дрібнопористих матеріалів, які забезпечують подачу дуже малих за розмірами бульбашок.

В електрофлотаційних установках вода, що обробляється, пропускається в полі між електродами, на поверхні яких утворюються бульбашки газу (водень, кисень). Можуть застосовуватися нерозчинні або розчинні електроди. У разі використання розчинних електродів процес електрофлотації супроводжується процесом електрокоагуляції, що забезпечує більш ефективну флотацію.

Експлуатація флотаційних установок, робота яких базується на складних фізико-хімічних явищах, пов'язана з постійним спостереженням за процесом, що вимагає спеціальної підготовки і високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Слід відмітити, що перевагами флотації є: безперервність і велика швидкість процесу, високий ступінь очищення (95-98%), можливість рекуперації видалених речовин, простота конструкції флотаційних установок, невеликі капіталовкладення.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення методу флотації.
2. Що називають змочуванням і адгезією? Які параметри використовують для їх кількісної оцінки?
3. Що називають крайовим кутом змочування? Як його визначають?
4. З якою ціллю використовують поверхнево-активні речовини при флотації?
5. Які методи флотації Ви знаєте? Коротко охарактеризуйте їх.
6. Основні типи і властивості флотокомплексів.
7. Як можна описати стан стаціонарності флотокомплексу?
8. Основні способи здобування газових дисперсій.
9. Які флотаційні установки застосовуються для очистки стічних вод методом пінної флотації?

2.2. Сорбційне очищення стічних вод

Сорбційні методи відносяться до найбільш ефективних для глибокого очищення стічних вод від розчинених органічних речовин. Сорбційне очищення може застосовуватися самостійно або спільно з іншими методами попереднього і глибокого очищення стічних вод.

Сорбція (лат. *sorbere* – поглинати, всмоктувати) – поглинання рідиною або твердим тілом різноманітних речовин із навколишнього середовища. Тіло, що поглинає, називається сорбентом, а те, що поглинається – сорбатом (сорбитивом).

В залежності від агрегатного стану сорбента розрізняють абсорбцію і адсорбцію. Абсорбцією називають процес поглинання речовин усім об'ємом сорбенту, адсорбцією – поглинання речовин поверхнею сорбенту.

За механізмом взаємодії речовин із сорбентом розрізняють фізичну адсорбцію і хемосорбцію.

Фізична адсорбція характеризується слабкими силами (сили Ван-дер-Ваальса) і енергією міжмолекулярної взаємодії часток адсорбента і адсорбата, і є зворотним процесом.

При *фізичній адсорбції* взаємодія молекул речовин, які сорбуються з поверхнею сорбенту визначається головним чином дисперсійними силами, що викликаються узгодженим рухом електронів у молекулах, що зближуються. Такий механізм характерний для сорбції на активованому вугіллі. Для деяких сорбентів, наприклад, кремнеземів, оксиду алюмінію, цеолітів мають значення електростатичні сили: орієнтаційні, які проявляються при адсорбції полярних молекул на поверхні, і індукційні, обумовлені появою у молекулах, що сорбуються, дипольних моментів.

При сорбції води, спиртів, кетонів, амінів та інших сполук на сорбентах, поверхня яких покрита гідрокси- і оксигрупами (наприклад, кремнезем, оксид алюмінію) відбувається утворення комплексів з міжмолекулярним водневим зв'язком. У цьому випадку може реалізовуватися змішаний механізм.

Крім того, сорбція може супроводжуватися виникненням між сполуками, які сорбуються і поверхнею міцного хімічного зв'язку з утворенням нової хімічної сполуки на поверхні (*хемосорбція*). Такий механізм реалізується на природних і синтетичних сорбентах з іоногенними і хелатоутворюючими групами. На відміну від фізичної адсорбції хемосорбція не повністю оборотна. Використання синтетичних сорбентів з іоногенними і хелатоутворюючими групами найбільш ефективно застосовується для селективного розподілу макро- і мікрокомпонентів.

При хемосорбції утворюються хімічні зв'язки між частками адсорбента і адсорбата. Крім того, відбувається перерозподіл електронної густини в адсорбованому комплексі, що веде до послаблення або розриву визначених зв'язків у молекулі адсорбованої речовини. Процес хемосорбції характеризується великими величинами ентальпії ($|\Delta H_{\text{адс}}| = 25 \dots 450$ кДж/моль) порівняно з фізичною адсорбцією ($|\Delta H_{\text{адс}}| = 10 \dots 25$ кДж/моль).

Із позиції термодинаміки можна провести аналогію хемосорбції з хімічною реакцією і використовувати основні математичні співвідношення, наприклад рівняння Гіббса-Гельмгольца і стандартне рівняння ізотерми адсорбції:

$$\Delta G_{T_{\text{адс}}}^0 = \Delta G_{T_{\text{адс}}}^0 - T\Delta S_{T_{\text{адс}}}^0 = -RT\ln K_{\text{адс}}^0, \quad (1)$$

де $K_{\text{адс}}^0$ - стандартна константа адсорбційної рівноваги.

Ентропія адсорбції $\Delta S_{\text{адс}} < 0$, оскільки відбувається обмеження рухомості адсорбованих молекул.

Аналізуючи рівняння (1) з урахуванням знаків ентальпії і ентропії адсорбції, можна зробити висновок, що при відносно низьких температурах ($\Delta G_{\text{адс}} < 0$) переважає процес адсорбції, а при високих ($\Delta G_{\text{адс}} > 0$) – процес десорбції, тобто вилучення адсорбата з поверхні адсорбента.

Сорбційне поглинання принципово не відрізняється від процесу адсорбції в газовій фазі. Тому в практиці цей метод часто називають адсорбційним методом очищення стічних вод. Його застосовують для очищення стічних вод від органічних (формальдегід, фенол, відходи синтетичних смол та ін.) речовин при умові, якщо їх концентрація у воді невелика, вони біологічно не розкладаються і є сильно токсичними.

Сорбційне очищення вод буває регенеративним (витягування речовин із адсорбенту та їх утилізація) і деструктивним (витягування речовин із адсорбенту та її знищення разом з адсорбентом).

Сорбція розчинених речовин – результат взаємодії молекул розчиненої речовини з часточками поверхні пористого сорбенту. При цьому спостерігаються два види міжмолекулярної взаємодії: молекул розчиненої речовини з молекулами (або атомами) сорбенту і молекул розчиненої речовини з молекулами води в розчині (гідратація). Різниця цих двох сил міжмолекулярної взаємодії і є та сила, з якою утримується витягнута з розчину речовина часточками сорбенту.

Чим більше енергія гідратації молекул розчиненої речовини, тим більше протидію відчують ці молекули при переході на поверхню сорбенту і тим слабше адсорбується речовина з розчину. Тому сорбційне очищення стічних вод доцільне, коли вони містять сполуки, енергія зв'язку яких з поверхнею сорбенту значно перевищує енергію гідратації. У таблиці 2.2 наведені теплоти гідратації іонів.

(Наприклад, для розчинення KCl необхідно затратити 165 ккал/моль енергії ($\Delta H = 81 + 84 = 165$ ккал/моль). Цей процес здійснюється за рахунок енергії гідратації іонів.

Таблиця 2.2. Теплоти гідратації (енергії гідратації) ккал/моль іонів

Іон	Теплота гідратації	Іон	Теплота гідратації	Іон	Теплота гідратації
H^+	265	Rb^+	75	OH^-	122
L^+	127	Cs^+	67	F^-	116
H_3O^+	110	Zn^{2+}	496	Cl^-	84
Ag^+	117	Mg^{2+}	467	Br^-	76
Na^+	101	Cd^{2+}	439	NO_3^-	74
K^+	81	Ca^{2+}	386	J^-	67
Tl^+	82	Sr^{2+}	353	SO_4^{2-}	265
NH_4^+	78	Ba^{2+}	320		

Як сорбенти застосовують природні матеріали, відходи деяких виробництв, активоване вугілля і синтетичні сорбенти. Природні пористі матеріали, такі як торф, активні глини і виробничі відходи (зола, коксовий дріб'язок, силикогелі, алюмогелі), мають малу сорбційну ємність, яка характеризується кількістю речовини, що поглинається, на одиницю об'єму або маси сорбенту (кг/м³, кг/кг).

Ефективними сорбентами є активоване вугілля різних марок. Пористість цього вугілля складає 60-75 %, а питома поверхня - 400-900 м²/г. Адсорбційні властивості активованого вугілля значною мірою залежать від структури пор, їх величини, розподілу за розмірами. Залежно від розміру пор активоване вугілля ділиться на крупно- та дрібнопористе і змішаного типу. Пори за розміром підрозділяють на три види: макропори розміром 0,1-2 мкм, перехідні розміром 0,004-0,1 мкм, мікропори розміром менше 0,004 мкм.

Макропори і перехідні пори відіграють роль транспортуючих каналів, а сорбційна здатність активованого вугілля визначається в основному мікропористою структурою. Розчинені органічні речовини, що мають розміри частинок менше 0,001 мкм, заповнюють об'єм мікропор сорбенту, повна місткість яких відповідає його поглинаючій здатності. У табл.2.3 наведено активоване вугілля різних марок.

Однак активоване вугілля, яке випускається вітчизняною промисловістю, має низьку сорбційну ємність по відношенню до ПАР, фарб та інших органічних сполук із подібними властивостями. Це обумовлено тим, що великі молекули ПАР не можуть проникнути у глибину мікропор активованого вугілля. Наприклад, лінійний розмір аніона ПАР дорівнює (1,4-1,45) нм, який більше максимального ефективного радіуса мікропор (0,8-1,5) нм. Наразі велика увага приділяється цеолітам. Це природні алюмосилікати. Вони мають негативно заряджений трьохмірний каркас з строго регулярною тетраедричною структурою. У проміжку каркасу знаходяться гідротуючі катіони лужних металів, які компенсують заряд каркасу і молекули води. При нагріванні цеолітів із них виділяється вода, в результаті цього утворюються адсорбційні

порожнини, які з'єднуються між собою парами невеликих розмірів. У якості сорбентів найбільш поширені шабазит, морденіт і кліноптілоліт.

В даний час синтезована ціла низка полімерних пористих матеріалів. В процесі виробництва структура їх пор може спрямовано змінюватися в дуже широких межах. Для адсорбційних процесів у водному середовищі синтезовані полімерні пористі матеріали на основі стиролу і дивінілбензолу - полісорби. Технологічні властивості полісорбів відрізняються від активованого вугілля декілька меншою енергією зв'язку вилучених забруднень з поверхні полісорба, проте вони легше піддаються регенерації розчинниками. Це особливо важливо для подальшої утилізації цінних речовин.

Таблиця 2.3. Характеристики деякого вітчизняного активного вугілля

Марка	Об'єм, см ³ /г				По- верхня мезо-пор, м ² /г	Круп- ність, мм	Насипна щільність, кг/м ³
	загаль- ний	мікро-пор (менше 1,5 нм)	мезо- пор (1,5...100 нм)	макро-пор (100...400 нм)			
ОУ-А	2,38	0,26	0,27	1,78	138	порошок	420
ОУ-Б	-	0,39	0,21	-	138	порошок	440
КАД молотий	0,42	0,11	0,009	-	64	0,04	-
АГ-2	0,60	0,30	0,05	0,25	33	1...3,5	600
АГ-3	0,8...1,06	0,32...0,42	0,12...0,16	0,41...0,52	-	2...3	450
АГ-5	0,9...1,06	0,3...0,43	0,18	0,46	-	1...1,5	450
КАД йодний	1	0,34	0,15	0,51...0,98	110	2...5	380...450
СКТ	0,98	0,51	0,2	0,27	108	1,5...2,7	380...450
СКТ-3	0,80	0,46	0,09	0,25	-	2...3,5	420...470
АР-3	0,7	0,33	0,07	0,30	48	2...5	550
БАУ	1,5	0,25...0,39	0,08...0,16	1,19...1,8	50...60	1...3,6	220...350
ДАК	1,2...1,45	0,17	0,04	1,23	30	1...3,6	230

Регенерація сорбентів

Відновлення адсорбційної здатності використовують для гранульованого активного вугілля внаслідок їх високої вартості. Способи регенерації гранульованого активного вугілля поділяють на регенеративні і деструктивні. Регенеративна регенерація вугілля, яке насичене ПАР, здійснюється за допомогою низькокиплячих органічних розчинників етиловим, бутиловим і ізобутиловим спиртами, кислотами і лугами. Активність вугілля від циклу до циклу поступово зменшується.

У зв'язку зі складністю і недостатньою ефективністю процесів регенерації застосовують активне вугілля для очистки стічних вод із початковою концентрацією ПАР не більше як 80-100 мг/л.

У тих випадках, коли адсорбовані речовини не представляють собою утилітарної цінності або затрати на їх утилізацію перевищують їх вартість, використовують деструктивні технології регенерації сорбентів.

Деструктивна регенерація сорбенту здійснюється термічними або хімічними методами. Термічну регенерацію проводять в печах різних конструкцій при температурі 700-800 °С в безкисневому середовищі.

При термічній регенерації утрата сорбенту складає 5-10%. Хімічна регенерація сорбентів досягається в результаті деструкції органічних сорбатів сильними окислювачами такими як хлор і озон.

2.2.1. Показники процесу сорбції

Сорбція може протікати як в статичних, так і динамічних умовах. Статичний варіант використовують тоді, коли сорбція протікає швидко і кількісно. В цьому випадку наважку здрібненого сорбенту контактують протягом часу з відомим об'ємом розчину, із якого здійснюють сорбцію. Одержаний твердий концентрат відділяють, промивають, висушують певним чином.

В динамічному варіанті над сорбентом пропускають потік стічної води з поглинальними компонентами. При цьому кожний компонент поглинається у відповідності із своєю спорідненістю до нерухомої фази, тобто сорбенту. Чим більше енергія взаємодії компоненту з цією фазою, тим краще він сорбується і затримується. Ці компоненти не переносяться потоком стічної води і не будуть десорбуватися. Дана властивість приводить до того, що при кожному акті сорбції – десорбції різниця у швидкості руху компонентів зростає. Одні компоненти затримуються спочатку процесу, другі декілька пізніше, а треті не затримуються. Так відбувається розділення компонентів.

Оскільки сорбція може здійснюватися в статичних і динамічних умовах розрізняють статичну і динамічну активність сорбента.

Статична активність сорбента характеризується максимальною кількістю речовини, що поглинається одиницею об'єму або маси сорбента до моменту досягнення рівноваги при сталій температурі рідини і початкової концентрації речовини.

Динамічна активність сорбента характеризується максимальною кількістю речовини, що поглинається одиницею об'єму або маси сорбенту до моменту появи сорбуючої речовини у фільтраті при пропущенні стічної води через шар сорбенту (кг/м³, кг/кг).

Для описання сорбційних процесів очистки води використовують показники, які забезпечують можливість розрахунку технологічного обладнання і режиму його роботи.

Одним з основних показників процесу адсорбційної взаємодії є ізотерма сорбції (рис.2.13), яка відображає функціональну залежність кількості поглинаючої речовини від концентрації розчину при постійній температурі. Математично ця залежність виражається рівнянням Ленгмюра:

$$n = n_{\infty} \cdot \frac{bc}{1 + bc},$$

де n – кількість адсорбованої речовини при рівновазі;

n_{∞} – максимально можлива кількість речовини, яка може бути адсорбованою;

b – стала;

c – концентрація речовини в розчині.

До основних кількісних показників сорбції відносяться також коефіцієнт розподілення і ступінь вилучення. Коефіцієнт розподілення є відношення концентрації речовини $C_{тв}$ у фазі сорбенту до його концентрації $C_{в}$ у водній фазі:

$$D = \frac{C_{тв}}{C_{в}}.$$

Якщо відомі коефіцієнти розподілення, тоді можливо вирішити питання про розділення речовини на даному сорбенту.

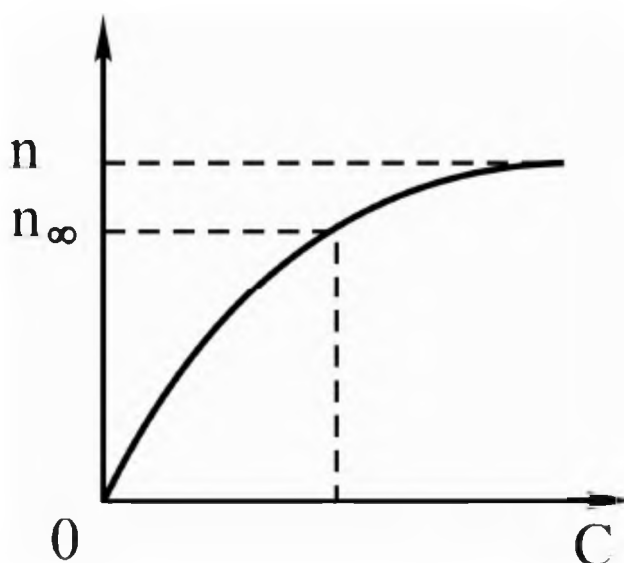


Рис.2.13. Процес сорбції

Залежність адсорбції від температури визначається температурними залежностями константи адсорбційної рівноваги і констант швидкостей процесів адсорбції і десорбції.

Величини K_+ і K_- подібно константам швидкостей багатьох природних процесів пов'язані з температурою за рівнянням Арреніуса (експоненціальна залежність).

$$K_+ = K_{0+} e^{\frac{E_{a+}}{RT}} \quad (1)$$

$$K_- = K_{0-} e^{\frac{E_{a-}}{RT}} \quad (2)$$

де K_{0+} , K_{0-} - предекспоненціальні множники процесів адсорбції і десорбції відповідно;

E_{a+} , E_{a-} - енергії активації цих процесів.

Константа адсорбційної рівноваги $K_{адс} = K_+ / K_-$ залежить від температури за рівнянням:

$$\left(\frac{\partial \ln K_{адс}}{\partial T} \right)_\theta = \frac{\Delta H_{адс}}{RT^2},$$

аналогічному рівнянням «ізобари» і «ізохори» хімічної реакції. Постійним параметром стану в цьому рівнянні є ступінь заповнення (θ) поверхні адсорбента, а відповідна ентальпія (теплота) адсорбції називається ізотермічною.

Співвідношення енергій активації адсорбції, десорбції, ентальпій (теплот) хімічної і фізичної адсорбції графічно добре ілюстровано енергетичною діаграмою адсорбційного процесу (рис.2.14). Діаграма представляє залежність енергії взаємодії часток адсорбата і адсорбента від координати процесу (x) (відстань від поверхні адсорбента). При великих величинах x провідну роль відіграють сили міжмолекулярної взаємодії, спостерігається фізична адсорбція, яка завжди протікає із нульовою енергією активації ($E_{a+физ}=0$), тобто є неактивованою.

При зближуванні часток адсорбата і адсорбента (зменшення x) починають переважати сили хімічної взаємодії із утворенням хімічних зв'язків. Процес входить в область хемосорбції, яка може відбуватися з нульовою ($E_{a+хим}=0$) або із позитивною ($E_{a+хим}>0$) енергією активації. В першому випадку хемосорбція називається неактивованою (наприклад, при високій частоті поверхні металів, які адсорбують газ), в другому випадку мають справу з активованою хемосорбцією (адсорбція на забрудненій домішками поверхні металу).

При аналізі енергетичної діаграми процесу адсорбції (рис.2.15) можна зробити наступні висновки.

1. Хімічна адсорбція супроводжується набагато більшим тепловим ефектом, ніж фізична ($|\Delta H_{адс.хим.}| > |\Delta H_{адс.физ.}|$).

2. Тепловий ефект (ентальпія) хемосорбції дорівнює різниці енергій активації процесів адсорбції і десорбції.

$\Delta H_{\text{адс.хім.}} = E_{a+} - E_{a-}$, тобто спостерігається повна аналогія із оборотною хімічною реакцією, для якої різниця енергій активації прямої і зворотної реакцій дорівнює зміні внутрішньої енергії (тепловому ефекту) реакції.

$$E_{a+} - E_{a-} = \Delta U.$$

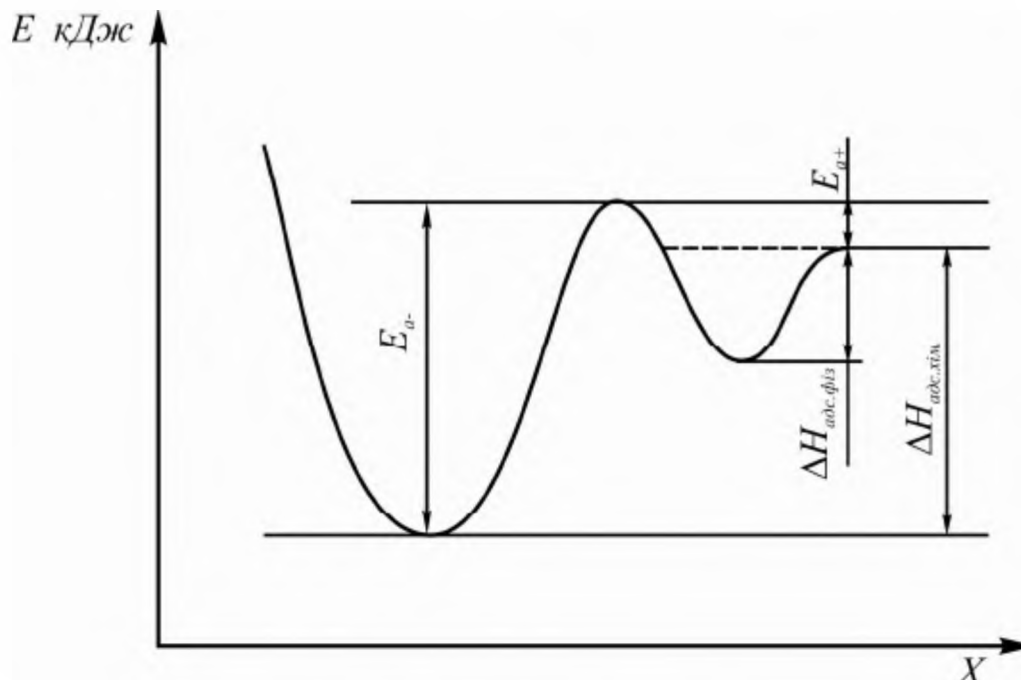


Рис.2.14. Енергетична діаграма процесу адсорбції

Слід відзначити, що між кількістю речовини, адсорбованої сорбентом і залишеної в розчині настає рівновага, яка підпорядковується закону розподілу.

Якщо кількість сорбованих із розчину за одиницю часу молекул дорівнює кількості молекул, які надходять з поверхні сорбенту в розчин, концентрація розчину стає сталою і називається рівноважною.

Швидкість досягнення рівноважного стану відображають динамічні показники сорбції. До них відносяться швидкість сорбції до адсорбера-змішувача і швидкість переміщення фронту адсорбційної хвилі для адсорбційного фільтра.

Механізм сорбції

Сорбційний процес у статичних умовах описується рівняннями, які зв'язують кількість сорбованої речовини c_s і концентрацію речовини c у рідкій (газоподібній) фазі або тиск p у газоподібній фазі і враховують хімічну та геометричну неоднорідність сорбенту і властивості речовини, що сорбується. Графічна залежність $c_s = f(c)$ називається ізотермою сорбції (рис.2.15). У зоні малих концентрацій і при однорідній поверхні сорбенту справедливим є рівняння Генрі:

або

$$c_s = ac$$

$$c_s = a'p.$$

де a і a' - характерні для речовин сталі;
 p - парціальний тиск.

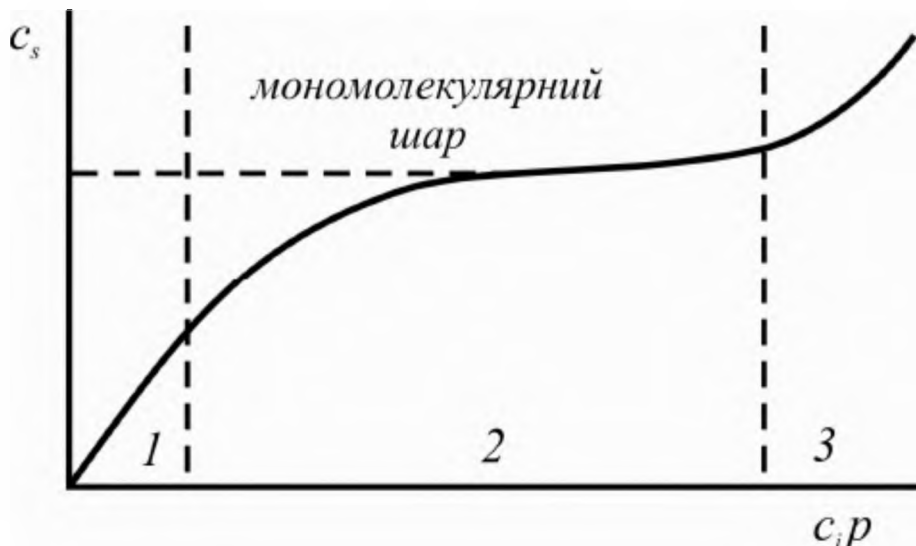


Рис.2.15. Ізотерма сорбції. Сфера застосовності:
 1 – рівняння Генрі; 2 – рівняння Фрейндліха і Ленгмюра;
 3 – рівняння Брунауера-Емметта-Теллера

У цій зоні концентрацій зберігається постійність коефіцієнту розподілення. Після виходу із зони Генрі емпіричний коефіцієнт розподілення стає залежним від рівноважної концентрації речовини, що сорбується, і тоді ізотерма сорбції може бути описана рівнянням Ленгмюра:

$$c_s = \frac{b_1 c}{1 + b_2 c}$$

або

$$c_s = \frac{b_1' p}{1 + b_2' p},$$

де b_1 , b_2 , b_1' , b_2' - сталі.

Для описання адсорбційних процесів на неоднорідних поверхнях при утворенні мономолекулярного шару застосовують рівняння Фрейндліха:

$$c_s = zc^n$$

або

$$c_s = z'p^n,$$

де z , z' і n - сталі.

Для полімолекулярних шарів дійсним є рівняння Брунауера-Емметта-Теллера:

$$V = \frac{V_m K_p}{(p_0 - p)[1 + (K - 1)p/p_0]},$$

де V - об'єм газу, сорбованого при тиску p ;

V_m - об'єм газу, відповідний до мономолекулярного шару;

K - стала, характерна для даної речовини;

p_0 - тиск пари речовини, що сорбується.

Швидкість адсорбції залежить від концентрації, природи і структури вилучених речовин, температури води і властивостей адсорбенту. В загальному випадку процес адсорбції включає три стадії: переніс речовини із об'єму стічної води на поверхню адсорбенту (зовнішньодифузійна область), потім адсорбція сорбата на сорбенті і переніс речовини в паровий простір зерен адсорбенту (внутрішньодифузійна область). Експериментально встановлено, що лімітуюча стадія адсорбції ПАР в більшості випадків лежить у зовнішньодифузійній області масопереносу.

2.2.2 Технологія сорбційної очистки стічних вод

У технології очистки стічних вод використовують процеси статистичної і динамічної сорбції.

Процес статистичної сорбції здійснюють у контактних реакторах у яких сорбент подається у визначеній пропорції до сорбтиву і знаходиться з ним у контакті певний період часу. Для забезпечення найбільшої швидкості масообміну сорбент і оброблювана вода підтримуються в рухливому стані.

Очистка води за допомогою процесів статистичної сорбції може здійснюватися за трьома принциповими схемами: прямиотічною з однократним використанням сорбенту, протівотічною з багатократним використанням сорбенту, циркуляційною з використанням псевдорозрідженого шару. Повний технологічний процес сорбційної очистки води може здійснюватися в одну і більше ступенів. У прямиотічній і протівотічній схемах використовують порошкоподібні сорбенти.

Прямиотічна схема не вимагає великих капітальних затрат на будівництво, дозволяє вести процес з використанням різних сорбентів, здійснювати очистку води постійно або періодично (рис.2.16).

У прямиотічній схемі адсорбційна здатність активованого вугілля або другого адсорбенту використовується частково, що обумовлено низькою

питомою адсорбцією в області малих концентрацій забруднюючих речовин. Головний її недолік – велика витрата адсорбента, який в даному випадку є функцією залишкової концентрації домішок. Так, для зниження вмісту ПАВ з 2 до 1 мг/л вимагається в середньому 10 мг/л вугілля. Зменшити загальну витрату сорбенту у протічній схемі можна, застосувавши дрібне дозування в поєднанні з пристроєм декількох послідовних ступенів обробки води.

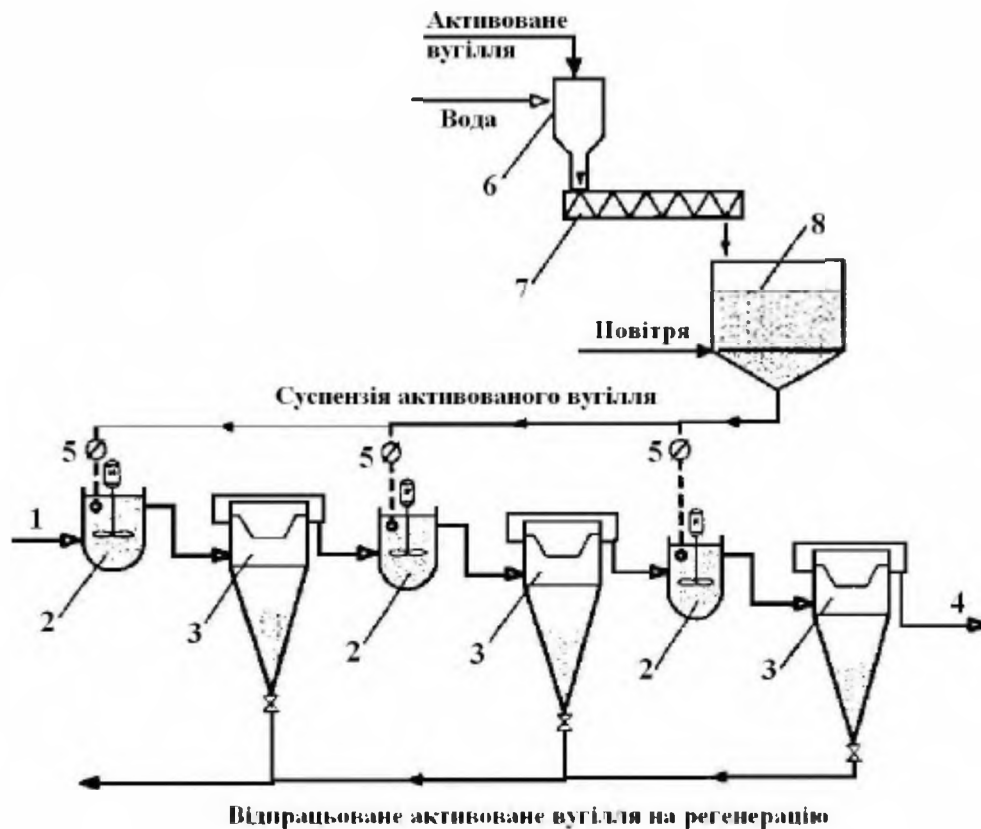


Рис.2.16. Схема трьохступінчатого адсорбційного процесу з протічним однократним використанням активованого вугілля:

1, 4 – вода, яка надійшла, та очищена; 2 – змішувальний апарат з мішалкою; 3 – відкритий гідроциклон; 5 – насос-дозатор; 7 – змішувач; 8 – витратна суміш; 6 – завантажувальний бункер.

Протитічна схема з багатократним використанням сорбенту дозволяє досягти суттєвого зниження його витрат (рис.2.17).

У цій схемі введення свіжого сорбенту здійснюється перед останньою ступенню, в якій встановлюється адсорбційна рівновага. У відповідності з ізотермами сорбції сорбційна ємність в цьому випадку використовується незначно.

При використанні дрібнодисперсних і порошкоподібних сорбентів в якості реакторів застосовують змішувачі з механічним перемішуванням.

Розподіл суспензії в залежності від її фізичних показників може здійснюватися в відстійниках або в гідроциклонах. На заключній стадії очистки води від залишків сорбенту передбачають фільтрування. Для цього використовують швидкі фільтри з крупнозернистим завантаженням, патронні, листові та інші типи.

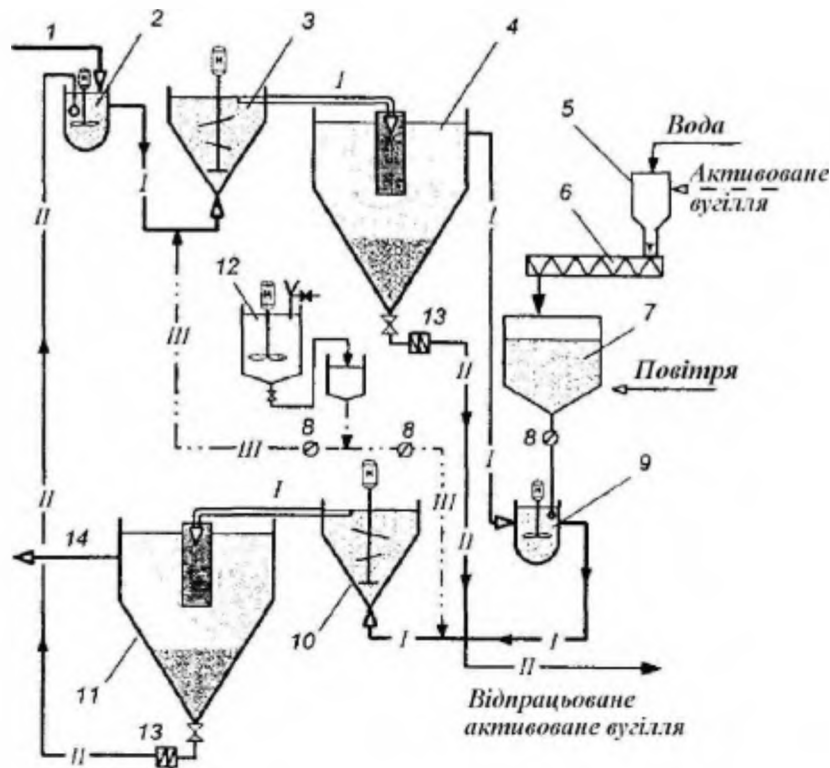


Рис.2.17. Схема двохступінчастого адсорбційного процесу з противотічним використанням активованого вугілля:

1, 14 – вода, що надходить, і очищена вода; 2 – змішувач 1-го ступеня; 3 – контактна камера 1-го ступеня; 4 – відстійник 1-го ступеня; 5 – завантажувальний бункер порошкоподібного вугілля; 6 – змішувач; 7 – витратна ємність; 8 – насос дозатор; 9 – змішувач II-го ступеня; 10 – контактна камера II-го ступеня; 11 – відстійник II-го ступеня; 12 – вузол приготування розчину поліелектроліту; 13 – насос подачі вугільної суспензії; I – оброблювальна вода; II – суспензія вугілля; III – розчин поліелектроліту.

Рециркуляційна схема з використанням псевдорозрідженого шару застосовується в адсорберах, які працюють при великому вмісту в стічних водах завислих речовин здатних замулювати сорбенти.

Псевдорозрідження шару настає при підвищенні швидкості струму стічної води, яка проходить від низу до верху через поперечний перетин споруди, до величини, що дорівнює гідралічній величині зерен завантаження. Найважливішим показником роботи установки з псевдорозрідженим шаром сорбенту є показник розрідження (відносне розширення).

Для циліндричної колони показник відносного розширення дорівнює відношенню висоти псевдорозрідженого шару до його висоти у нерухомому стані сорбенту.

$$\varepsilon = \frac{H_{\text{пр}}}{H_{\text{н}}},$$

де $H_{\text{пр}}$, $H_{\text{н}}$ - висоти псевдорозрідженого і нерухомого шарів сорбенту.

Для псевдорозрідженого шару існують дві характерні величини – швидкість потоку води, що сходять:

- перша критична швидкість, при якій частки дисперсного матеріалу починають скручуватися у потоці води;
- друга критична швидкість, при якій скручені частки виносяться із реактора.

Кращими умовами адсорбції речовини із потоку води є:

- мінімізація відносного розширення ε при підтримці швидкості потоку води більше другої критичної для завислих речовин;
- висока дисперсність адсорбенту для одержання великої поверхні сорбції;
- достатня висота псевдорозрідженого шару для зниження впливу поздовжньої дифузії добутих забруднюючих речовин.

Для активованого вугілля оптимальним є розмір часток 0,25-10 мм при гідравлічному навантаженні на реактор $7 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

При цьому відносне розширення $\varepsilon = 1,5$.

Процес сорбції можна проводити в одну або декілька стадій.

При цьому в першу стадію вводять стільки адсорбенту, скільки необхідно для зменшення концентрації забруднювальних речовин від C_{n} до C_{i} , після чого адсорбент виводять з циклу шляхом відстоювання або фільтрування, а стічну воду направляють у другу стадію очищення, куди вводиться свіжий адсорбент.

Після закінчення процесу адсорбції у другій стадії концентрація забруднюючих речовин у воді зменшується від C_1 до C_2 і т.д.

Кінцеву концентрацію забруднюючих речовин у стічній воді після очищення в багатостадійних установках з n стадіями визначають за формулами:

- з послідовним введенням адсорбенту

$$C_k = \left(\frac{V}{V + km} \right)^n C_n; \quad (2.4)$$

- з протivotічним введенням адсорбенту:

$$C_k = \left(\frac{km}{V} - 1 \right) c_n / \left(\left(\frac{km}{V} \right)^n - 1 \right); \quad (2.5)$$

де C_n і C_k - початкова і кінцева концентрації забруднюючих речовин у стічній воді, мг/м³;

V – об'єм стічної води, м³;

k – коефіцієнт розподілу забруднюючих речовин у стічній воді ($k=0,7-0,8$);

m - витрата адсорбенту (активованого вугілля), визначають за формулою:

$$m = \frac{V}{k} \left(\sqrt{\frac{C_n}{C_k}} - 1 \right); \quad (2.6)$$

Необхідну кількість стадій (ступенів) визначають за формулами []:

- для установок з послідовним введенням адсорбенту:

$$n = \frac{\lg C_n - \lg C_k}{\lg(V + km) - \lg V}; \quad (2.7)$$

- для установок з протivotічним введенням адсорбенту

$$n = \frac{\lg \left[C_n \left(\frac{km}{V} - 1 \right) + C_k \right] - \lg C_k}{\lg \left(\frac{m}{V} \right) k} - 1 \quad (2.8)$$

Швидкість фільтрування стічних вод через шар адсорбенту залежить від концентрації розчинених речовин і коливається від 2-4 до 5-6 м³/(м²·год). Вода в адсорбері рухається знизу до верху, заповнюючи його поступово. Розмір частинок адсорбенту приймають у межах 1,5-5,0 мм. При менших розмірах зерен активованого вугілля росте опір фільтруванню води. Вугілля укладають на шар гравію, розміщеного на решітці. Щоб не допустити забивання адсорбента, стічна вода не повинна мати твердих зважених домішок.

Ефективність адсорбційного очищення стічних вод досягає 80-95 %.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення адсорбційного способу очищення води та назвіть галузі його застосування.
2. Чим пояснюється вибірковість адсорбції органічних речовин?
3. Якими показниками характеризується якість адсорбентів?
4. Які є адсорбенти і чим вони відрізняються?
5. Що розуміють під статичною і динамічною активністю сорбенту?

6. У чому полягає суть константи рівноваги адсорбційного процесу і як її визначити?

7. Що покладено в основу оцінювання технологічних параметрів адсорбційного очищення води?

8. Які показники використовують при сорбції в динамічних умовах?

9. Що відображає ізотерма сорбції?

10. Дайте визначення статичної і динамічної активності сорбентів.

11. Охарактеризуйте прямотічну схему очистки стічних вод.

12. Чим відрізняється противотічна схема очистки стічних вод від прямотічної?

2.3. Очищення стічних вод випарюванням, дистиляцією і ректифікацією

Випарювання – це перехід речовини з рідинного та твердого становища у газоподібне. Випарювання з твердого становища називають сублімацією. Частіше випарюванням називають пароутворення на вільній поверхні рідини при температурі, нижчій від температури насичення при відповідному тиску. Кількість теплоти, необхідної для повного переходу речовини у пар при ізотермічному процесі, називають теплотою випарювання, яка залежить від природи речовини і температури, яка з її збільшенням зменшується. Необхідна теплота випарювання може бути підведена до вільної поверхні від рідини, що випаровується, чи твердого тіла або ззовні. Якщо до фази ззовні підводиться менше теплоти, ніж витрачається на випарювання, то відбувається її охолодження, а коли більше – нагрівання.

Процес концентрування розчинів нелетких або малолетких речовин називають випарюванням, а процес термічного опріснення (виділення опрісненої води) – дистиляцією.

Випарюванню піддають стічні води, в яких розчинені тверді речовини (водні розчини солей, лугів та ін.), а також висококиплячі рідини, які за температур випарювання характеризуються малим тиском пари (багатоатомні спирти, деякі мінеральні та органічні кислоти тощо).

Для розділення рідких однорідних сумішей, які складаються з двох і більше компонентів, застосовують перегонку (дистиляцію і ректифікацію).

Перегонка – це процес часткового випарювання суміші, що розділяється, і подальша конденсація утвореної пари. Перегонка базується на різній леткості компонентів суміші при одній температурі.

В цьому випадку всі компоненти суміші переходять в парову фазу в кількостях, що пропорційні їх фугітивностям. Рідину, яку одержують внаслідок конденсації пари, називають дистилятом або ректифікатом.

Рідина, що не випарювалась, називається залишком. Вона збагачена менш летючим, тобто більш висококиплячим компонентом.

Розрізняють два види перегонки: просту перегонку (дистиляцію) і ректифікацію.

Проста перегонка – це процес одноразового часткового випарювання рідкої суміші і конденсація утвореної пари. Застосовується для розподілу сумішей, що дуже відрізняються леткістю компонентів.

Ректифікація – це процес багаторазового часткового випарювання рідини і конденсації пари. Її застосовують для виділення компонентів у чистому стані у виробництвах органічного синтезу, полімерів, напівпровідників та інших, а також для переробки стічних вод цих виробництв. У практиці очищення стічних вод найбільш поширені випарювання і дистиляція.

2.3.1. Фізико-хімічні властивості води і пари

При ознайомленні очистки стічних вод випарюванням, дистиляцією і ректифікацією необхідно мати уявлення про фізико-хімічні властивості рідкої води і пари та явища, які протікають на межі поділу фаз.

Вода у природі існує в трьох агрегатних станах: газоподібному (пара), рідкому і кристалічному (лід).

Густина води за температури 4°C максимальна і дорівнює $1,00\text{ г/см}^3$. Із зниженням температури густина води зменшується, тому лід плаває на поверхні води. Точка замерзання води за тиску 101 кПа (1 атм) становить 0°C , точка кипіння $+100^{\circ}\text{C}$. Вода має аномально високу теплоємність; $4,117\text{ Дж/(Г.К)}$); теплота танення льоду за температури 0°C дорівнює $338,98\text{ Дж/г}$; теплота випарювання за температури 100°C -2253 Дж/г .

Молекулярна маса води H_2O , яка перебуває в пароподібному стані, дорівнює 18, що відповідає найпростішій формулі води. Експериментальним визначенням молекулярної маси водяної пари за різних температур встановлено, що навіть близько температури кипіння молекулярна маса водяної пари більша ніж 18. Це свідчить про здатність молекул води до полімеризації або асоціації. Саме цим можна пояснити високі температури кипіння та велику густину води. Утворенням найщільніших асоціатів води за температури 4°C пояснюється її найбільша густина за цієї температури. Під час нагрівання асоціати починають розщеплюватись, тому за температури, вищої за 4°C , густина води зменшується.

У разі зниження температури від 4°C утворюються пухкіші, хоч і складніші, асоціати, і густина води також зменшується.

Молекули води H_2O в кристалічних ґратках льоду сполучені між собою водневими зв'язками. Кристалічна структура льоду далека від щільної упаковки; густина льоду становить $0,9\text{ г/см}^3$.

Рентгеноструктурним аналізом води встановлено, що у рідкій воді залишаються фрагменти структури льоду.

Саме наявністю елементів кристалічних ґраток, а також значним дипольним моментом молекул води зумовлені дуже великі значення відносної діелектричної проникності води ϵ ; за температури 25°C вона дорівнює 79,5.

Завдяки цьому всі йонні сполуки дисоціюють у водних розчинах; взаємодія між зародженими частками у водному середовищі приблизно у 80 разів слабкіша, ніж у вакуумі.

Відомо, що вода здатна випарюватись за будь-яких температур. Цей процес може тривати доти, доки встановиться рівновага (простір стає насиченою паром). Кожній температурі відповідає певний частковий тиск (пружність) утвореної над водою пари незалежно від того, який газ перебуває над водою.

Під час нагрівання води на повітрі пружність її пари зростає доти, доки досягне атмосферного тиску (101,3 кПа, рис.2.18, крива ВОСА); при цьому вода закипає (100°C). Під час кипіння випарювання відбувається не тільки з поверхні, а й з усієї маси води.

Якщо вода перебуває під тиском нижчим, ніж атмосферний, вона закипає за нижчої температури.

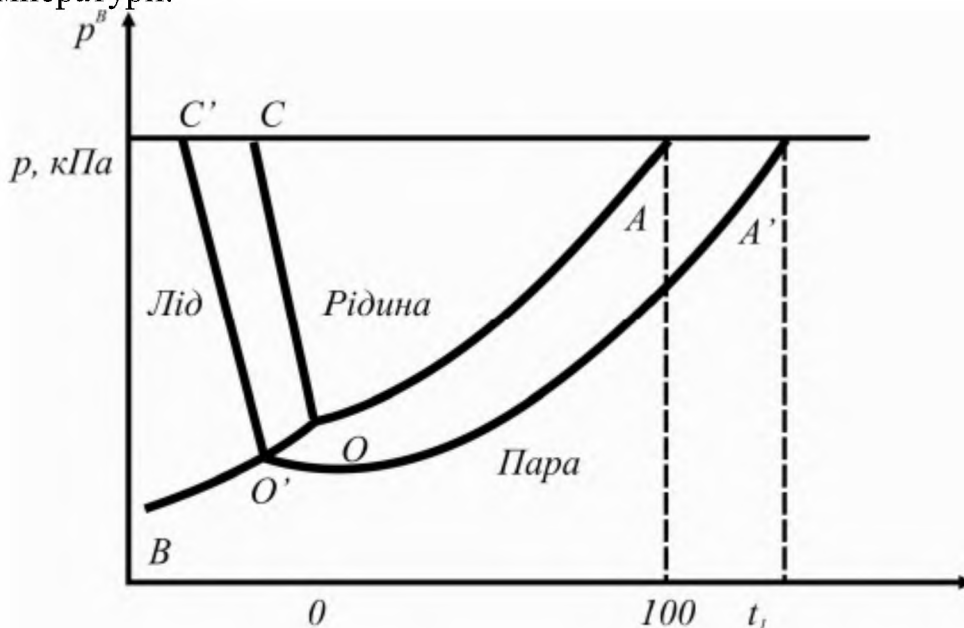


Рис.2.18. Діаграма стану води ВОСА і водного розчину ВО'C'A'.

Крива ВО'C'A' передає залежність тиску насиченої пари розчину деяких концентрацій від температури. Температура кипіння розчину T_1 , яка відповідає точці А' перетину кривої О'А' з ізобарою зовнішнього тиску P_0 завжди вище за температуру кипіння чистої води $t_0=100^{\circ}\text{C}$ за того самого тиску (точка А). Різниця $\Delta t_{\text{кип}}=t_1 - t_0$ тим більша, чим більша молярна частка розчиненої речовини у водному розчині.

Оскільки пара розчину нелетких речовин, якими є розчинені солі містить лише чисту воду, то згідно із законом Рауля тиск насиченої пари розчину завжди буде меншим, ніж тиск насиченої пари чистої води за тієї самої температури. Під час кипіння розчину випаровується тільки розчинник, тому концентрація розчину безперервно зростає і кипіння відбувається в певному температурному інтервалі.

Деякі структурні особливості рідкої води

Структурними одиницями в рідкій воді являються тетрамери $(H_2O)_4$, існування яких доказане спектроскопічними дослідженнями, в них водневі зв'язки однієї молекули з іншими направлені до вершин тетраедра під кутом $\approx 109^\circ$. З'єднуючись між собою, тетрамери утворюють полімерні об'ємні ажурні структури $(H_2O)_n$.

Геометричною характеристикою оточення, в якому перебуває молекула, є координаційне число (КЧ), яке показує, скільки молекул оточує дану молекулу на найближчих відстанях. За схемою ближнього порядку води, в тетрамерах кожна молекула води оточена чотирма іншими, але координаційне число рідкої води не 4, а дещо більше (при 4°C воно наближається до 4,5). Це пояснюється тим, що частина пустот в ажурній структурі рідкої води заповнена окремими молекулами H_2O , які з'являються внаслідок розривів водневих зв'язків в тетрамерах.

Наявність пустот в структурі води підтверджується існуванням *клатратних сполук* (газових гідратів) складу $X \cdot 5,75 \cdot H_2O$, де X – одноатомні молекули благородних газів Ar , Kr , а також молекули CH_4 , Cl_2 та ін. В цих сполуках молекули газу-«гостя» входять в пустоти, утворені молекулами води-«хозяїна». Клатрати газів - кристалічні сполуки, схожі на сніг. При утворенні клатратів важливу роль відіграють геометричні фактори – відповідність розмірів пустот в рідкій воді розмірам молекул «гостя».

Кристал льоду подібний кристалу алмазу, але в його кристалічній решітці існують пустоти із-за того, що розміри протона малі, а відстані $O-O$ великі (рис.2.19).

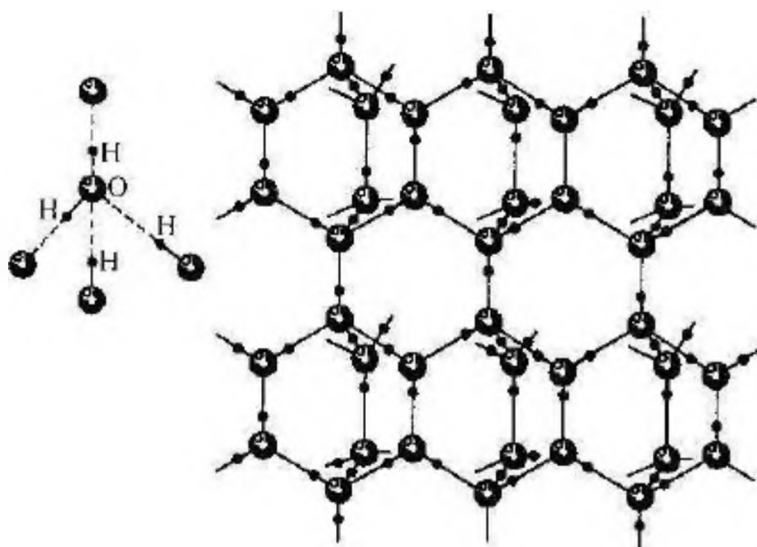


Рис.2.19. Кристалічна структура льоду з водневими зв'язками

При підвищенні температури амплітуда коливань атомів в молекулах збільшується і об'єм кристала зростає, густина при цьому зменшується. При плавленні кристала руйнується приблизно 15% усіх водневих зв'язків, так що в рідкій воді зберігаються структурні фрагменти льоду. Частина молекул, які не

входять в структури, розташовуються в її пустотах. Це приводить до збільшення густини рідини порівняно з густиною кристала і зменшення приблизно на 9% об'єму при плавленні. При плавленні відбувається скривлення залишившихся водневих зв'язків і відхилення кутів між ними від тетраедричних. Скривлення зв'язків збільшується з зростанням температури і тиску, яка приводить до збільшення густини. В той же час, при нагріванні середня довжина водневих зв'язків становиться більшою, а густина зменшується.

Спільна дія двох факторів пояснює наявність максимуму густини води (1 г/см^3) при $3,98^\circ\text{C}$. Ця властивість є унікальною.

Об'ємна система водневих зв'язків зберігається у рідкій воді до самої температури кипіння. Лише у газовій фазі вода практично неасоційована при невеликих тисках пару. При збільшенні тиску молекули води зближаються і утворюють водневі зв'язки. При підвищенні тиску пар наближається по своїй будові до рідини. Це приводить до збільшення розчинності у воді сполук з іонними зв'язками.

Для того щоб зрозуміти властивості рідкої води, необхідно представити структуру ізольованої молекули води в газоподібному стані. Вважали, що в основі будови молекули води лежить sp^3 -гібридизація валентних атомних орбіталей кисню. На рис.2.20, а представлена модель молекули води за Поплом. У площині II під кутом 120° розташовані дві гібридні електронні пари атома кисню. У площині I під кутом $104,5^\circ$ знаходяться два атоми водню.

Рентгенографічний аналіз показав, що для молекули води у твердому стані (лід) характерна тетраедрична структура обумовлена sp^3 -гібридизацією, яка повинна бути і у газі. Отже Бедер вважає, що sp^3 -гібридизація для газоподібних молекул води не забезпечує її стійкість (відсутня рівновага між силами притягання і відштовхування). Бедер запропонував модель будови газоподібної молекули води, у основі якої лежить sp -гібридизація (рис.2.20, б). Значно складнішою є структура рідкої води. У рідкій воді є два типи молекул: одні зв'язані водневими зв'язками, як у структурі льоду, а другі – «вільні», тобто газоподібні.

Згідно моделі О.Я.Самойлова при плавленні льоду його структура повністю не руйнується, тобто у рідкій воді зберігаються фрагменти ажурної структури льоду з пустотами, які заповнюються молекулами «вільної» води. Цим пояснюється збільшення густини при переході від твердої фази до рідкої.

При підвищенні температури збільшується кількість «вільних» молекул води, для яких пустот уже не вистачає. Очевидно молекули води, які зв'язані водневими зв'язками не здатні до взаємодії з розчиненими речовинами, чим вільні молекули, більш рухомі і реакціонноздатні.

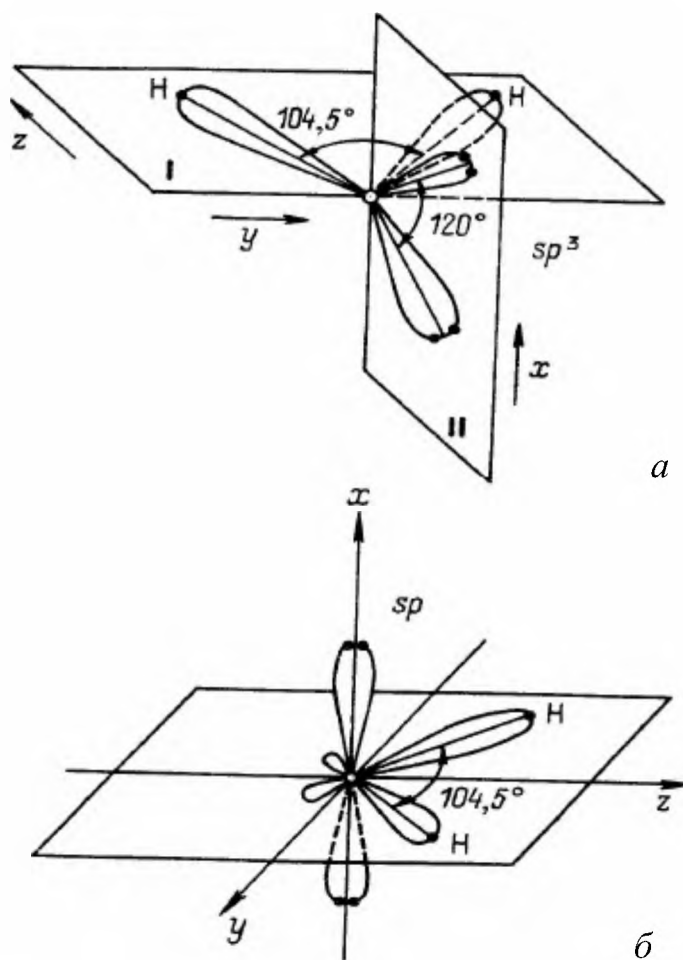


Рис.2.20. Модель структури води:
 а – модель Попла;
 б – модель Бедера.

Підвищення температури збільшує реакційну здатність води. Отже, структура молекул води, зв'язаних водневими зв'язками, і «вільних», неоднакова: для перших зберігається sp^3 -гібридація, яка відповідає льоду, а для других - sp -гібридація, яка характерна для газоподібних молекул. Оскільки рідка вода – термодинамічна рівноважна система, то між молекулами води двох структурних типів за даної температури встановлюється рівновага:

$$W_{\text{лід}} \leftrightarrow W_{\text{д}},$$

де $W_{\text{лід}}$ - термодинамічна ймовірність молекул води льодоподібної структури;

$W_{\text{д}}$ - термодинамічна ймовірність вільних молекул води, які називаються деструктурованими.

Утворення водневих зв'язків у воді при переході від газоподібного стану до рідкого відображається не тільки на структурних особливостях рідкої води,

але і в більшій степені на її хімічних властивостях. В ІЧ- спектрі води на місце вузької смуги, яка відповідає OH^- коливанню ізольованої молекули води H_2O ; з'являється широка смуга – суперпозиція ряду коливань. Тобто рідка вода проявляє властивість амфотерності.

Отже, амфотерність не є винятком багатофункціональних властивостей води. При наявності двох неподільних електронних пар на атомі кисню, молекула води може використовувати їх для утворення донорно-акцепторного зв'язку з іншими молекулами, а також можлива віддача неподільної електронної пари окиснику, вода проявляє відновні властивості. При цьому, маючи в своєму складі два атоми водню з великим ефективним позитивним зарядом вона є електрон-акцептором, а в граничному випадку може стати окисником. Таким чином, молекула води являє собою подвійний симетричний донор і акцептор протонів. Вода може віддавати два протона на зв'язок з іншими молекулами і приймати два протона від інших молекул. Крім того, помітний підвищений ефективний дипольний момент молекул води зв'язаний водневими зв'язками, дозволяє говорити про воду, як про рідкісну речовину.

Своєрідність молекул води полягає в тому, що в цій складній частинці число атомів водню в точності дорівнює числу її неподільних електронних пар. Із вище наведеного амфотерність води означає, що вода може проявляти властивості кислоти і основи, окисника і відновника, електрон-донора і електрон-акцептора.

Фізико-хімічні константи пари при $100^{\circ}C$ і 101325 Па характеризуються такими значеннями:

питомий об'єм	$1,7296 \text{ м}^3/\text{кг};$
в'язкість	$0,0124 \text{ МПа}\cdot\text{с};$
питома теплопровідність	$0,0231 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К};$
питома теплоємність	$2,039 \text{ кДж}/\text{кг}\cdot\text{К};$
питома теплота утворення	$242,49 \text{ кДж}/\text{моль};$
питома теплота випарювання	$44,041 \text{ кДж}/\text{моль}.$

Інші фізико-хімічні характеристики наводяться в довідковій літературі.

2.3.2. Термодинамічні властивості водяної пари

У поведінці реальних газів спостерігаються відхилення від ідеальних газів. Відхилення реальних газів від ідеального стану обумовлені двома причинами: силами притягіння між молекулами і власним об'ємом молекул. Взаємне притягіння спричиняє до зменшення відстані між молекулами і викликає зменшення об'єму, який займає газ, тобто діє як деякий додатковий тиск, прикладений ззовні до газу. Цей тиск називають внутрішнім. Власний об'єм зменшує простір між молекулами і впливає на довжину їх власного пробігу. При високих тисках і низьких температурах відстань між молекулами газу настільки зменшується, а сили притягіння настільки збільшуються, що газ може переходити у рідкий стан. Діаграми PV ізотерм CO_2 показують, що в цілому водяна пара належить до реальних газів і рівняння $PV=RT$ та формули

для обчислення внутрішньої енергії, ентальпії і ентропії, виведені для ідеальних газів, для неї непридатні. Тому для опису термодинамічних властивостей реальних газів, у тому числі й водяної пари, використовують рівняння Ван-дер-Ваальса, яке містить усього дві допоміжні константи:

$$\left(p + \frac{v^2 a}{V^2}\right)(V - vb) = vRT,$$

де p - тиск;

V – об'єм;

v - кількість молей молекул газу;

a і b – константи Ван-дер-Ваальса, що визначаються експериментально для кожного газу.

Одиниці вимірювання констант a і b такі: $[a] = \text{Н} \cdot \frac{\text{м}^4}{\text{моль}}$; $[b] = \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$.

Цей вираз $+v^2 a/V^2$ визначає значення додаткового тиску, що пов'язане з силами міжмолекулярної взаємодії: додток $-vb$ дає поправку на сумарний об'єм молекул.

Мінімальний об'єм, який займає один моль газу більший, ніж $N_A V_0$, де N_A - число Авогардо; V_0 – об'єм однієї молекули. Розрахунок, в якому молекула вважається сферичною, дає таке співвідношення для константи b :

$$b = 4N_A V_0.$$

Ізотерми, відповідні рівнянню Ван-дер-Ваальса (рис.2.21, а), при високих температурах практично співпадають з ізотермами реального газу, отже з пониженням температур нарастають відхилення, що приводять до принципової відмінності ізотерм реального газу від ізотерм ідеального газу. З'являються ділянки нестійкого газового стану, які відповідають співіснуванню рідкої та газоподібної фаз, тобто за певних тисках і температурах експериментально спостерігається перехід з газоподібного до рідкого стану.

Експериментальні ізотерми (рис.2.21, б) реальних газів відрізняються від ізотерм, зроблених згідно рівняння Ван-дер-Ваальса (рис.2.22, а). Наприклад, газ, який міститься в зачиненій посудині під поршнем, починають здавлювати. Із зменшенням об'єму газу його тиск зростає (ділянка АВ на рис.2.21, б). При досягненні тиску насиченої пари (точка В) починається процес конденсації газу в рідину. На ділянці BF більша кількість молекул газу переходять в рідкий стан, при цьому тиск газу що залишився, не змінюється й залишається рівним тиску насиченої пари. Після повної конденсації газу тиск знову починає зростати (ділянка FG), але швидше, ніж на ділянці АВ, тому що рідина слабо стискається. Ділянки AB і FG експериментальної ізотерми добре співпадають з аналогічними ділянками ізотерми Ван-дер-Ваальса (рис.2.22, а).

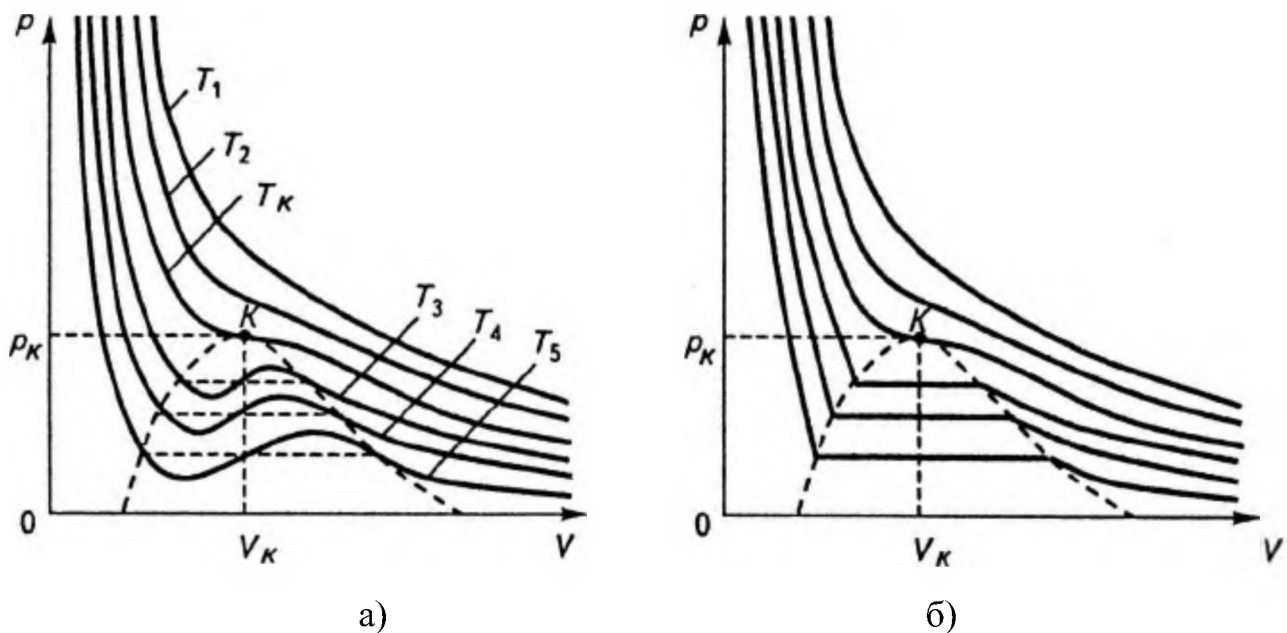


Рис.2.21. Ізотерми реальних газів:

а) збудовані згідно рівнянню Ван-дер-Ваальса;

б) експериментальні ізотерми вуглекислого газу;

K – критична точка; p_K – критичний тиск; V_K – критичний об'єм; T_K – критична температура; співвідношення між температурами, при яких отримані ізотерми: $T_1 > T_2 > T_K > T_3 > T_4 > T_5$; кривою пунктирною лінією зображена ділянка одночасного співіснування рідкого і газоподібного станів.

Ділянці BF експериментальної ізотерми відповідає петля $BCDEF$ ізотерми Ван-дер-Ваальса (рис.2.21, а і б), а тиску насиченої пари – при значенні об'єму відповідає рівняння Ван-дер-Ваальса. Ділянка BC відповідає пересиченому пару – стану газу, що перебуває під тиском, який перевищує тиск насиченої пари; такий стан з'являється при відсутності в газу центрів конденсації.

Ділянка EF відповідає перегрітій рідині, яка існує при температурі вищій, ніж температура кипіння. Цей стан реалізується в ретельно очищеній рідині, в котрій відсутні центри кипіння (бульбашки газів, піщані часточки). Стани пересиченої пари і перегрітої рідини є метастабільними. Стан, відповідний ділянці CDE ізотерми Ван-дер-Ваальса, нездійснюється, тому на цьому проміжку зменшення об'єму повинно супроводжуватись зменшенням тиску.

Горизонтальні ділянки на ізотермах (рис.2.21,б і 2.22, б) відповідають рівновазі рідини і насиченої пари. Межі цих ділянок відповідають об'ємам газоподібної (V_G) і рідкої (V_P) фаз. При зростанні температури ділянка ізотерми, яка відповідає двофазній області, звужується і, при визначеній температурі стягується в крапку, яка називається критичною (рис.2.21, точка K). Температура T_K , відповідна цій крапці, називається критичною. При такій температурі зникає різниця між рідким і газоподібним станом речовини, питома

теплота пароутворення і коефіцієнт поверхневого натягнення обертається в нуль. При температурі вище критичної неможливо перевести газ в рідкий стан.

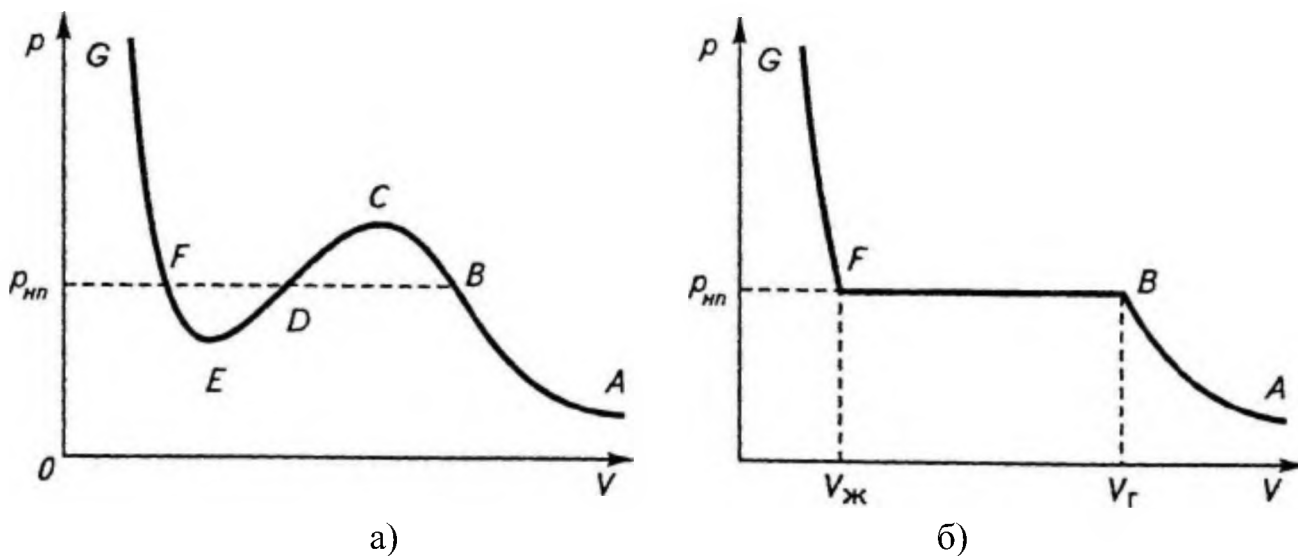


Рис.2.22. Ізотерма, розрахована згідно рівнянню Ван-дер-Ваальса (а), і експериментальна ізотерма (б) реального газу

Критична точка характеризується критичними параметрами T_k , p_k , V_k . Стан речовини, в якому термодинамічні параметри рівні критичним, називається критичним станом. З рівняння Ван-дер-Ваальса можна отримати значення критичних параметрів, в які входять в різних комбінаціях константи a і b :

$$T_k = \frac{8a}{27Rb};$$

$$p_k = \frac{a}{27b^2};$$

$$V_k = 3b.$$

де V_k - критичний об'єм одного моля газу.

Критична температура газу є найвищою температурою, при якій можливе перетворення газу в рідину. Вище цієї температури газ не перетворюється в рідину при будь-якому високому тиску. Критична температура кисню – 120°C , води – 374°C .

Слід відзначити, що для опису термодинамічних особливостей поведінки реальних газів, в тому числі і водяної пари, в широкому інтервалі параметрів їх стану, використовують експериментальний підхід. При цьому деяку частину параметрів визначають експериментально, а іншу – математично.

На практиці використовують різноманітні графіки і табличні залежності:

- PV-діаграми;
- TS-діаграми (де S – ентропія);
- iS-діаграми (де i – ентальпія).

2.3.3. Випарювання і дистиляція

Для випарювання стічних вод, що виділяються при виробництві синтетичних смол, лаків, фарб, реактивів та ін. широко застосовують випарювальні установки із контактними апаратами. В них здійснюється безпосередній контакт між теплоносіями і стічною водою. Для нагрівання води використовують газоподібні, рідкі та тверді теплоносії.

Використання теплоти на випарювання буває одно- і багаторазовим. У першому випадку випарювання проводять в одному апараті, і таку установку називають однокорпусною, а сам процес однокорпусним випарюванням. Теплота вторинної пари не використовується, а сама пара конденсується в дистилят.

У другому випадку теплоту утворюваної вторинної пари використовують для нагрівання упареного розсолу в інших випарних апаратах. У цьому разі випарну установку називають багатокорпусною, а процес випарювання в ній – багатокорпусним випарюванням.

Однокорпусна установка (рис.2.23) працює наступним чином. Стічну мінералізовану воду подають крізь конденсатор 1 у випарювач 3, де вона підігрівається паром за допомогою змішувача розміщеного у воді. Вторинна пара, яка утворена спрямовується крізь каплеуловлювач 2 в конденсатор 1, де вона охолоджується випарюваною стічною водою і конденсується в дистилят. Його використовують для технологічних потреб. У процесі однокорпусного випарювання вихід дистиляту складає 50%. Упарений розсіл, що залишився, подають на переробку для вилучення розчинених мінеральних солей або скидають у море в разі опріснення морської води.

Матеріальний баланс випарного апарата можна розрахувати за рівнянням:

$$G_{\Pi} = G_K + W,$$

де G_{Π} – кількість початкового розчину, що надійшов на випарювання, кг/с;

G_K - кількість випареного (кінцевого) розчину, кг/с;

W - кількість випареного розчинника (води), кг/с.

Схеми однокорпусного випарювання неекономічні, оскільки потребують великих витрат пари на отримання дистиляту (1 кг пари на 1 кг дистиляту). Застосування багатокорпусних випарних установок значно скорочують витрати гріючої пари і питомі витрати теплоти для отримання дистиляту. Наприклад, для отримання 1 кг пари у двохкорпусній установці потрібно затратити 0,7 кг гріючої пари, у трикорпусній – 0,5, у чотирикорпусній – 0,4 кг.

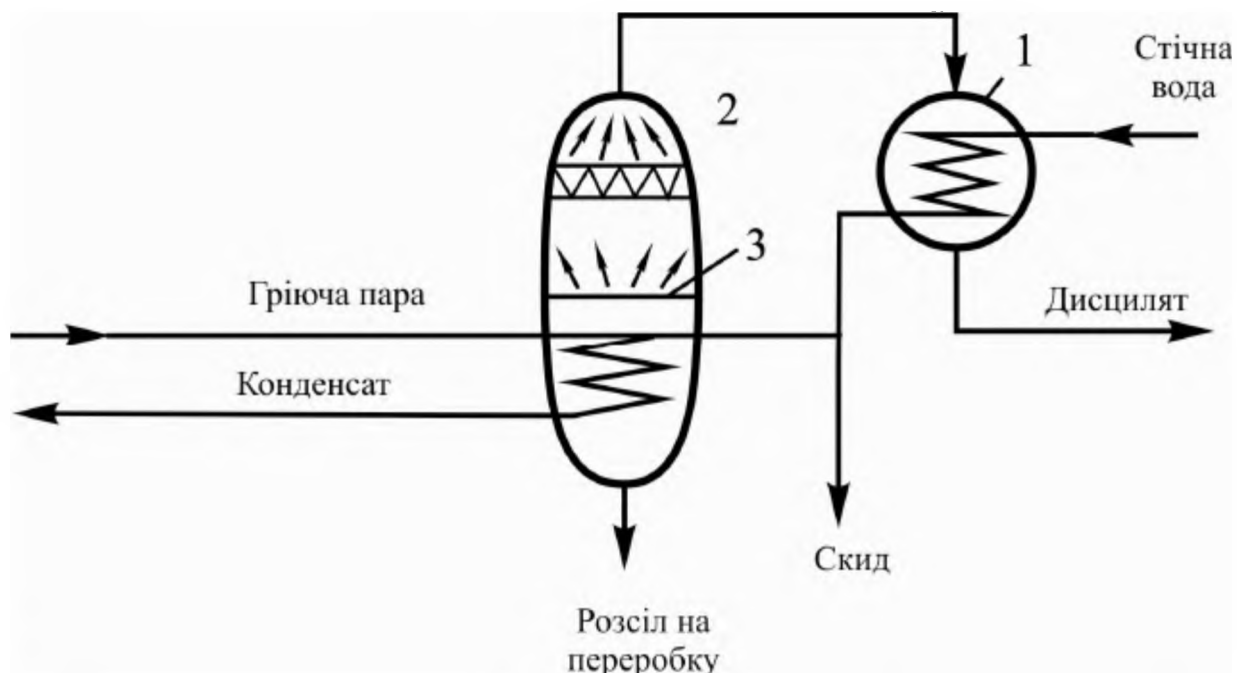


Рис.2.23. Схема однокорпусного випарювача:
1 – конденсатор; 2 – каплеуловлювач; 3 – випарювач.

Принцип дії багатокорпусної випарної установки зводиться до багаторазового використання теплоти гріючої пари, яка надходить у перший корпус установки, шляхом нагрівання кожного наступного корпусу вторинною парою з попереднього корпусу.

На рис.2.24 наведено схему трикорпусної вакуум-випарної установки, яка працює при протічному русі гріючої пари і розчину. Стічна вода підігрівається в підігрівнику 1 до кипіння і подається у перший корпус 2, який нагрівається вторинною свіжою парою. Вторинну пару цього корпусу спрямовують як гріючу в другий корпус 3 і т.д. Вторинна пара останнього корпусу 4 відводиться у багатометричний конденсатор 5, в якому під час конденсації пари створюється необхідне розрідження.

У зв'язку з нещільністю трубопроводів гази, які потрапляють в установку з паром всмоктуються вакуум-насосом 7 крізь каплеуловлювач 6.

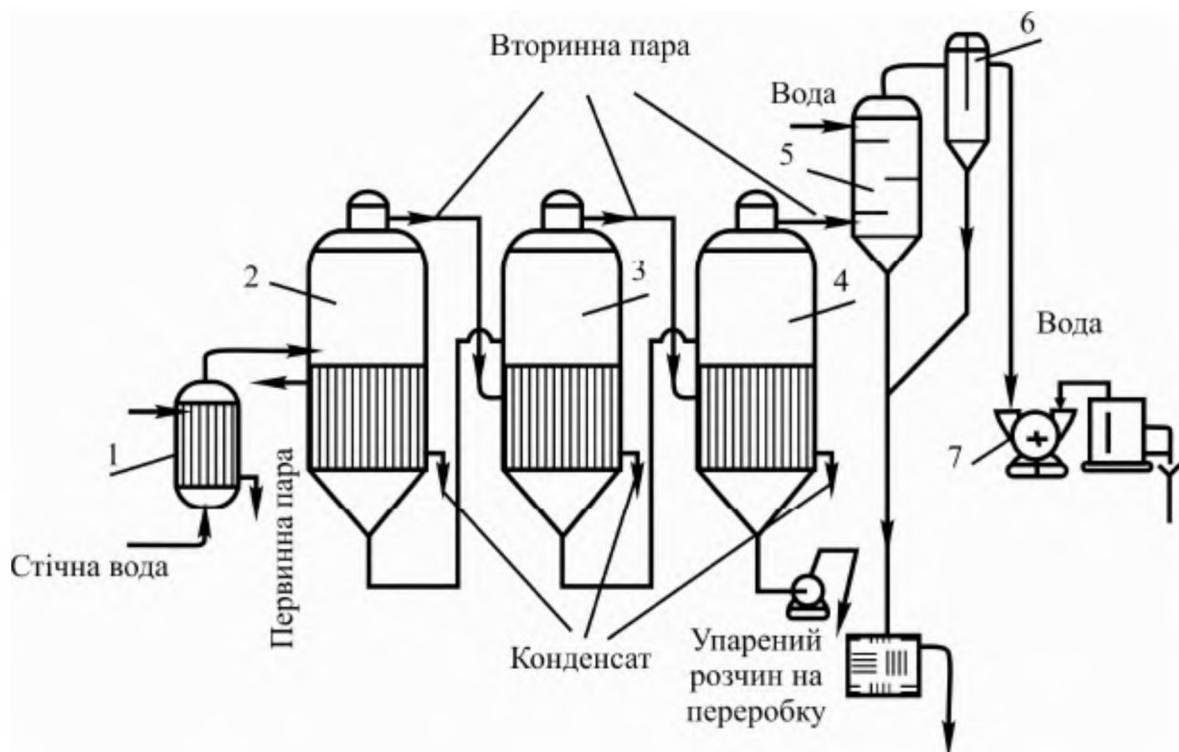


Рис.2.24. Схема багатокорпусної протічної вакуум-випарної установки:
 1 – підігрівник; 2 – перший корпус; 3 – другий корпус; 4 – третій корпус;
 5 – конденсатор; 6 – каплеуловлювач; 7 – вакуум-насос.

Діаграма рівноваги «рідина-пара». Перший закон Коновалова.

Якщо компоненти розчину в індивідуальному стані леткі, то пара над розчином буде містити всі компоненти. Однак відносний вміст компонентів в пароподібній фазі буде відрізнятися від рідкої фази. Кількісний зв'язок між складом пароподібної і рідкої фаз можна встановити лише для ідеальних сумішей. Розглянемо для прикладу бінарну суміш необмежено розчинних одна в одній рідин. Для цього використовуємо закон Рауля:

$$p_1 = p_1^0 N_1 = p_1^0 (1 - N_2)$$

$$\text{і } p_2 = p_2^0 N_2,$$

де p_1 і p_2 – парціальні тиски пари компонентів;

N_1 і N_2 – мольні частки компонентів у рідкій фазі;

p_1^0 і p_2^0 – тиск насиченої пари компонентів в індивідуальному стані при одній і тій же температурі:

$$\frac{p_2}{p_1} = \alpha \frac{N_2}{1 - N_2},$$

де $\alpha = p_2^0/p_1^0$ – відносна леткість другого компонента.

Загальний тиск пари для бінарної суміші, згідно з законом Дальтона, дорівнює:

$$P = p_1 + p_2 = p_1^0 + N_2(p_2^0 - p_1^0).$$

Оскільки компоненти в пароподібному стані підпорядковуються газовим законам, розраховуємо:

$$p_1^0 V = n_1 RT \quad \text{і} \quad p_2^0 V = n_2 RT,$$

тоді відношення парціальних тисків пари компонентів дорівнює:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_2}{1 - n_2},$$

де n_1 і n_2 – мольні частки компонентів у пароподібній фазі. Ураховуючи значення відносної леткості другого компоненту розраховуємо:

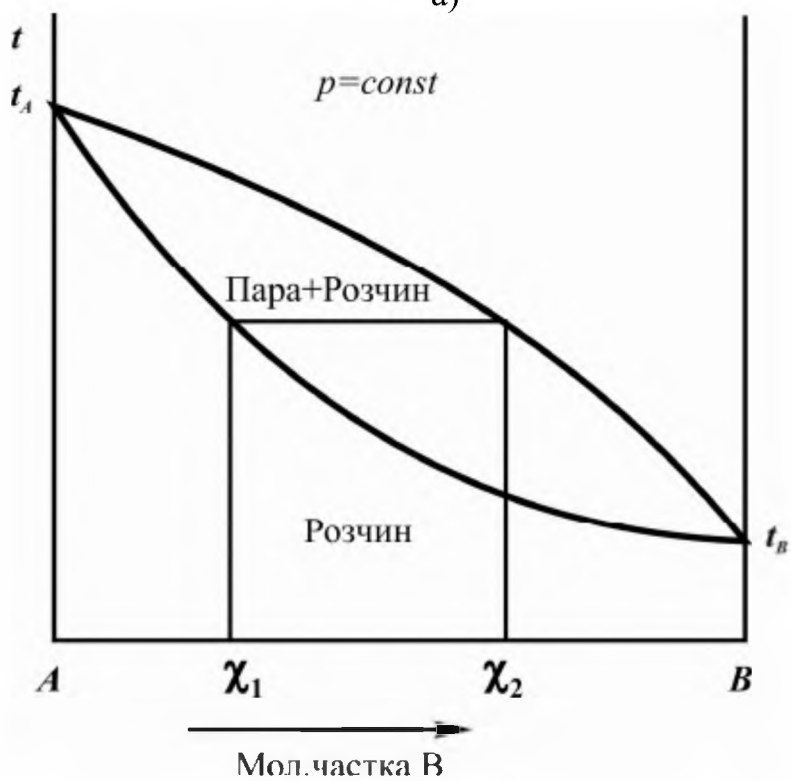
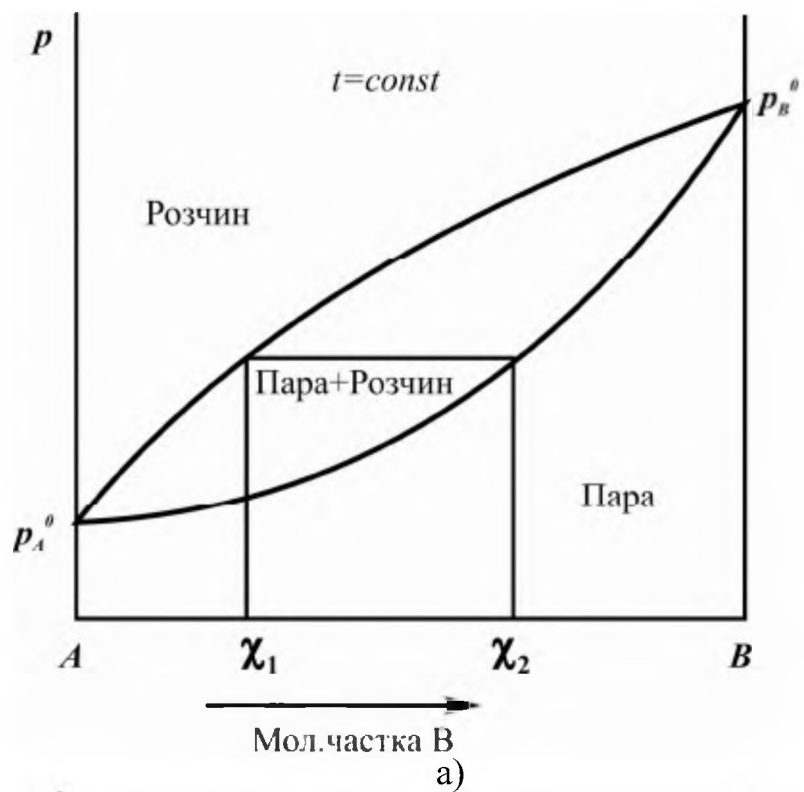
$$\frac{n_2}{1 - n_2} = \alpha \cdot \frac{N_2}{1 - N_2},$$

тоді

$$n_2 = \frac{\alpha N_2}{(\alpha - 1)(1 + N_2)}.$$

З останнього рівняння випливає, що склад рідкої і пароподібної фази буде однаковим ($n_2=N_2$) лише у тому випадку, якщо $\alpha=1$ (для сумішей оптичних ізомерів, сумішей ізоотопів тощо). Отже, в ідеальних системах пара збагачена більш летким компонентом, тобто тим компонентом, який в індивідуальному стані має більший тиск насиченої пари.

При дослідженні великої кількості рідких бінарних сумішей, компоненти яких необмежено розчиняються одна в одній, Д.П.Коновалов встановив таку закономірність: насичена пара порівняно з рівноважним розчином збагачена тим компонентом (В), додавання якого до розчину підвищує тиск насиченої пари над розчином або знижує температуру його кипіння (рис.2.25.).



б)

Рис.2.25. Залежності «тиск насиченої пари – склад» (а) і «температура кипіння – склад» (б) для неідеальних розчинів.

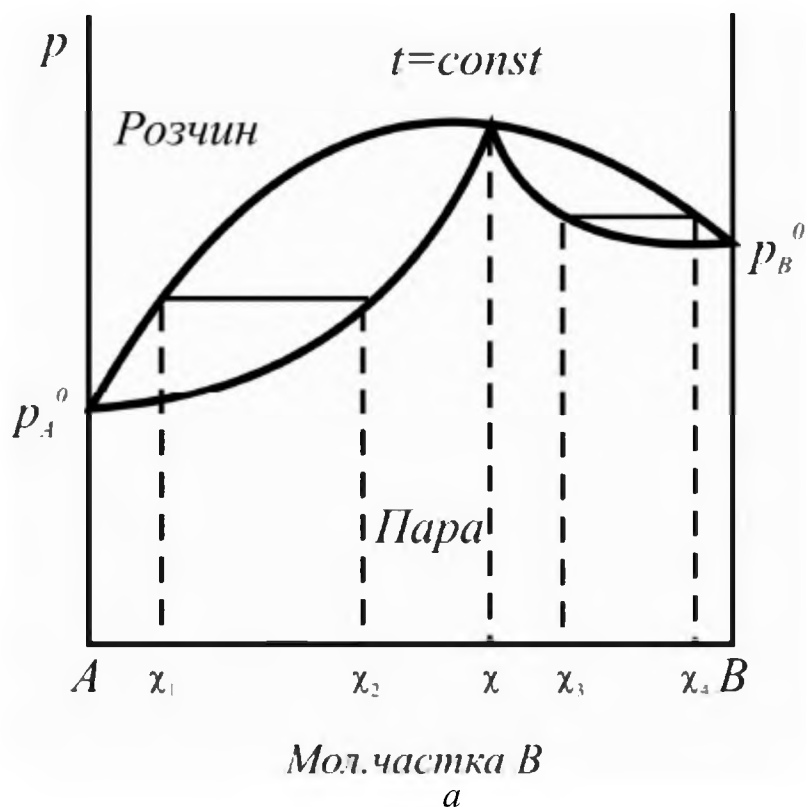
Другий закон Коновалова. Азеотропні розчини.

Позитивні або негативні відхилення від закону Рауля розчинів приводять до появи максимумів і мінімумів на ізотермах «загальний тиск – склад».

Із другого закону Коновалова виходить: у точки максимуму та мінімуму на кривих загального тиску і температури кипіння склад пари і рівноважного з нею розчину однаковий (χ). Такі розчини називаються азеотропними, або азеотропами. До азеотропів з мінімальною температурою кипіння відносяться: вода – етанол, ацетон – метанол, бензол – оцтова кислота та ін.; до азеотропів з максимальною температурою кипіння: хлороформ – ацетон, вода – мурашина кислота, вода – фтороводень. Наведені суміші (вода – етанол, вода – ацетон) застосовують для алкаліметричного титрування сульфаніламідів з константою дисоціації $10^{-7} - 10^{-8}$ (норсульфазол), а також при синтезі багатьох ЛК.

Із третього закону Коновалова витікає: при постійній температурі або тиску зміна складу розчину і насиченої пари відбувається в одному напрямку (симбатно).

Закони Коновалова теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені Д.П.Коноваловим (рис.2.26, а, б, в).



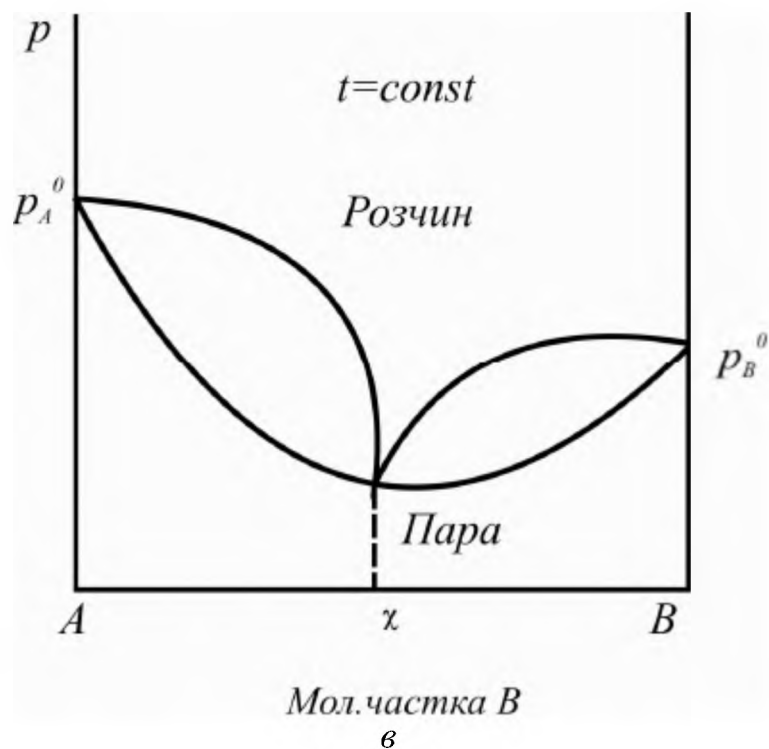
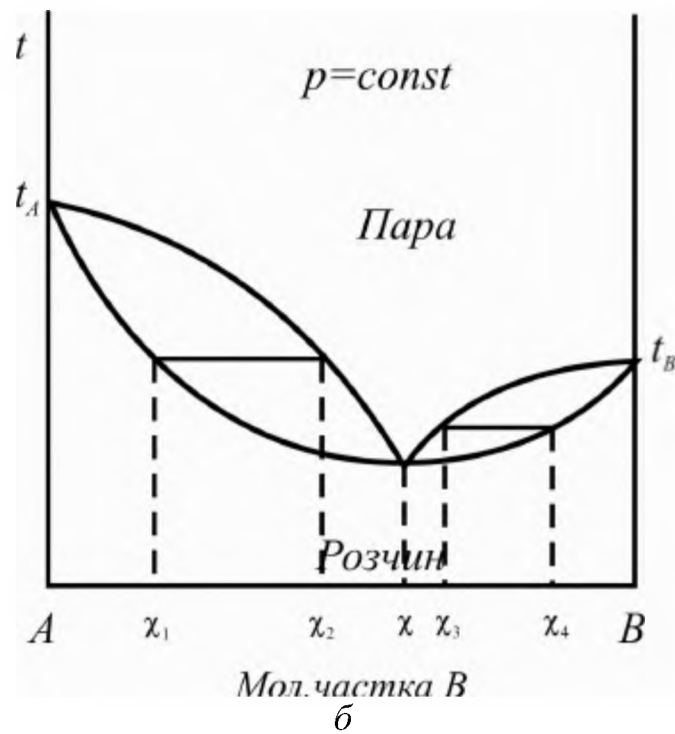


Рис.2.26.

Закони Коновалова відіграють важливу роль при побудові фазової рівноваги, за допомогою яких можна теоретично обґрунтувати процес фракційної перегонки (дистиляції) рідких сумішей. Фракційна перегонка – процес розділення розчину, що складається з двох або кількох взаємно розчинних рідин, на чисті компоненти. Фракційна перегонка основана на різниці в складі рівноважних розчину та пари.

На діаграмі (рис.2.27) початковий склад розчину визначається точкою χ . Розчин нагрівають до температури кипіння t_1 . Пара конденсується, перші краплі рідини мають склад χ_1 . Розчин продовжує кипіти, вміст речовини В збільшується доти, поки температура кипіння не стане, наприклад t_2 , а склад – χ_2 . Останні краплі відігнаної рідини будуть мати склад χ_3 . Перший конденсат має середній склад y , вміст більш леткого компонента. Фракційна перегонка – безперервний процес розділення багатокомпонентних рідин у лабораторних умовах називається дистиляція, у промисловості – *ректифікація*.

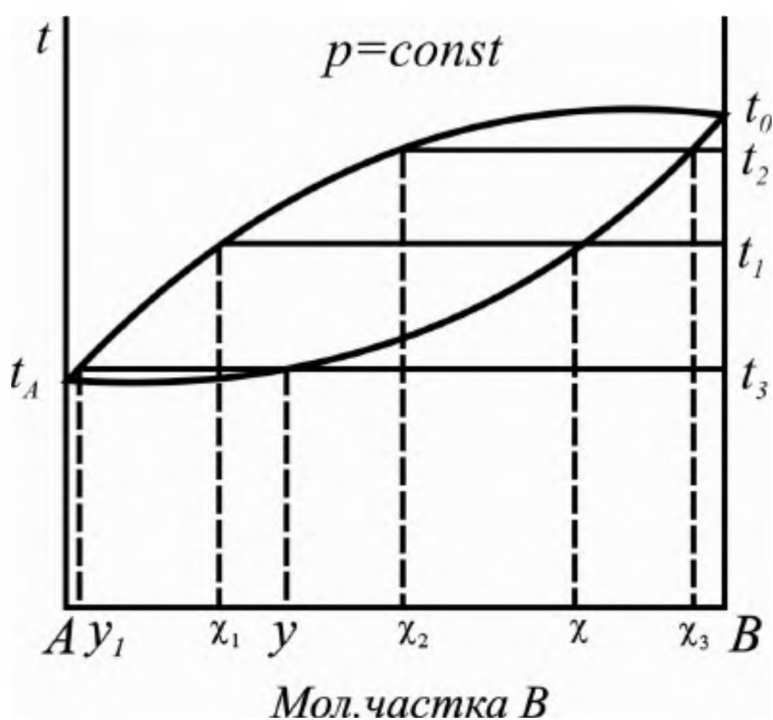


Рис.2.27. Залежність «склад – температура кипіння» розчину

Обмежена взаємна розчинність рідин

Якщо одні рідини розчиняються одна в одній тільки у невеликому інтервалі мольних співвідношень, зміни складу розчину рідини розшаровуються, утворюючи два шари (*обмежена взаємна розчинність*). Наслідком великого позитивного відхилення парціальних тисків пари від закону Рауля є обмежена взаємна розчинність двох рідин.

На рис.2.28, 2.29 наведені різні види діаграм з обмеженою взаємною розчинністю при атмосферному тиску.

Прикладом цього є система "фенол–вода" (рис.2.28). Якщо виходити з початкової точки a , в якій система є гомогенною, при поступовому зниженні температури в точці b відбудеться розшарування розчину з утворенням двох фаз. В точці d , яка відповідає певному складу при певній температурі, співіснують дві фази, обмежені точками c і e . Відносна кількість двох фаз у цій точці визначається відрізками cd і de . Склад бінарної системи, який відповідає точці b на максимумі кривої, носить назву *критичного складу*, а температура,

що відповідає цьому максимуму, називається критичною температурою розчинення.

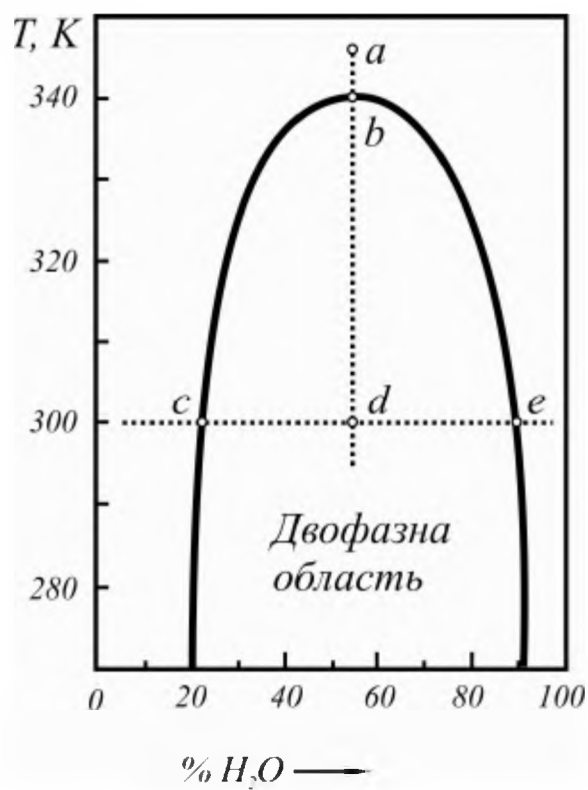


Рис.2.28. Діаграма стану системи «фенол – вода»

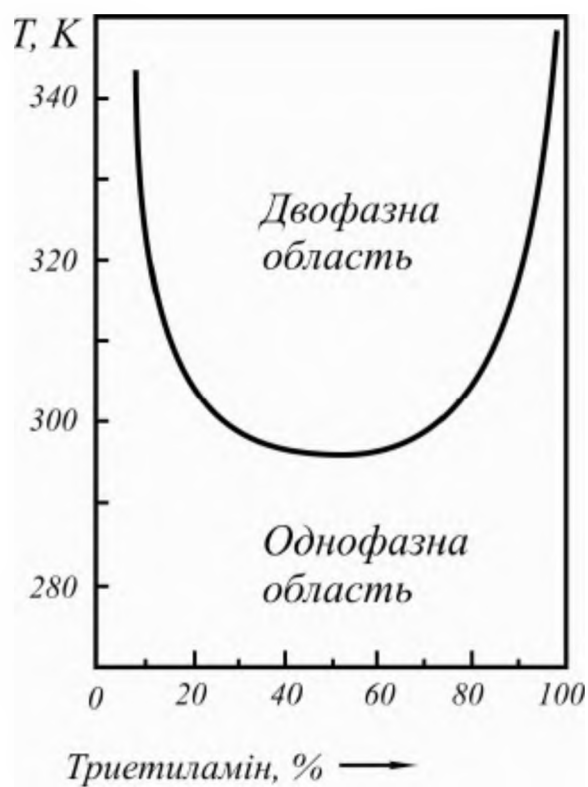


Рис.2.29. Діаграма стану системи «триетиламін – вода»

При поступовому зниженні температури розчину від точки *a* до критичної температури спостерігається оптичне явище – *опалесценція*. Вважають, що опалесценція виникає за рахунок розсіювання світла невеликими скупченнями дрібних краплин рідини другої фази, що зароджується. При вищих температурах дві рідини частково розчинні одна в одній і утворюють дві фази (рис.2.28). При зниженні температури нижче певної межі (до *критичної температури*) вони утворюють одну фазу, тобто розчинні одна в одній при будь-яких співвідношеннях. Прикладом може бути система «триетиламін–вода». При зниженні температури до 291,65 К спостерігається різке збільшення взаємної розчинності цих речовин. Така поведінка є доказом того, що від'ємне відхилення парціальних тисків від закону Рауля (наприклад, за рахунок утворення асоціатів) є домінуючим при низьких температурах і компенсує вплив позитивного відхилення парціальних тисків від закону Рауля в області гетерогенності.

Отже, існують системи, що мають дві критичні температури розчинності: *верхню* і *нижню*. Такі системи існують при більш високих тисках, але система «нікотин – вода» має дві критичні температури навіть при атмосферному тиску (рис.2.30).

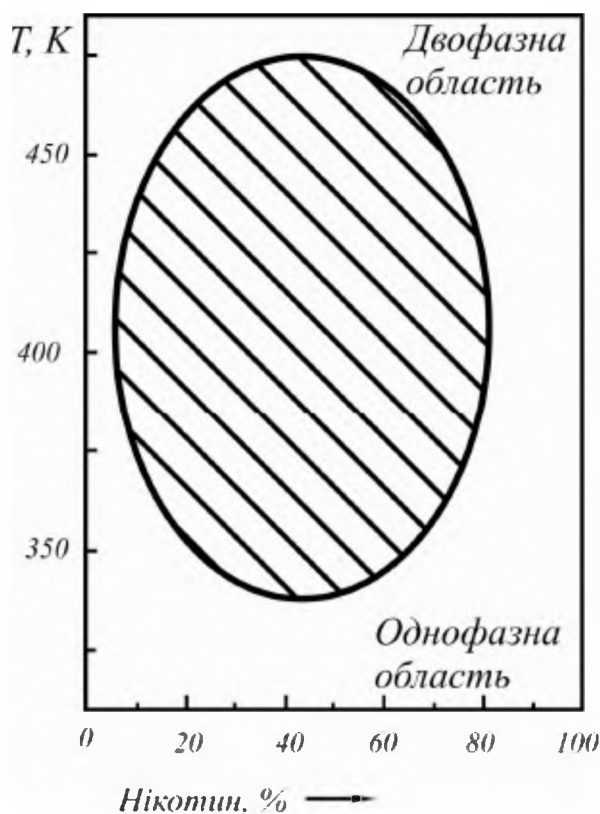


Рис.2.30. Діаграма стану системи «нікотин – вода».

Перегонка з водяною парою

Якщо система складається з декількох взаємно нерозчинних рідин, то тиск пари кожної з них залишається рівним тиску пари в чистому вигляді, незалежно від присутності інших рідин у будь-яких кількостях. Загальний тиск пари над системою з декількох взаємно нерозчинних рідин дорівнює сумі тисків пари чистих компонентів. У випадку суміші двох рідин температура кипіння залишається сталою до тих пір, поки є невелика кількість обох рідких фаз; ця температура буде нижча температури кипіння обох чистих компонентів.

Деякі речовини не витримують нагрівання до температури кипіння, оскільки розкладаються при нижчих температурах. Тому вони переганяються або при вищому тиску (під вакуумом), або з рідиною. Перегонка відбувається при температурі, при якій сума парціальних тисків насиченої пари компонентів дорівнюватиме зовнішньому (атмосферному) тиску. Ця температура кипіння буде нижчою, ніж індивідуально взятої кожної з речовин. Найбільше застосування одержав метод перегонки разом з водою нерозчинних в ній органічних речовин. Він називається перегонка з водяною парою.

При перегонці двох взаємно нерозчинних рідин А і В їх відносні кількості в конденсаті визначаються співвідношенням тисків p_A^0 і p_B^0 насиченої пари при даній температурі і молекулярних мас M_A і M_B цих рідин. Позначимо через n_A і n_B числа молів цих компонентів, а через g_A і g_B – вагові кількості (в кг) рідин, які зібрали в конденсаті.

Отже для кожного компонента:

$$n = \frac{g}{M}$$

і що

$$\frac{p_A^0}{p_B^0} = \frac{n_A}{n_B}$$

можна одержати співвідношення, яке пов'язує вагові кількості обох компонентів:

$$\frac{p_A^0}{p_B^0} = \frac{g_A M_B}{g_B M_A}.$$

Для перегонки з водяною парою, підставляючи замість $p_B^0 = p_{H_2O}$, $g_B = g_{H_2O}$ і $M_B = M_{H_2O} = 18,02$ кг/кмоль, одержуємо:

$$\frac{g_{H_2O}}{g_A} = \frac{18,02 \cdot p_{H_2O}}{M_A \cdot p_A}$$

де ліва частина виражає кількість водяної пари, яка потрібна для перегонки однієї вагової одиниці речовини, тобто так званий *витратний коефіцієнт пари*.

З рівнянь видно, що кількість буде тим більша, чим нижчий тиск пари рідини, що переганяється, і чим менша її молекулярна маса. Речовини, які мають менший тиск пари і більшу молекулярну масу частково компенсують вплив величини тиску пари.

Фракційна дистиляція

Фракційна дистиляція полягає в багаторазовому повторенні процесу випарювання і конденсації. При цьому дистиляти різного складу збирають в декількох приймачах. Дистилат, який знаходиться в приймачі 1, більш багатий на низькокиплячі компоненти, а в приймачі 2 вміст цього компонента значно нижчий і т.п. Кожний з цих дистилятів (фракцій) знову піддається перегонці. З метою покращення ефективності розділення та зменшення кількості перегонки використовують дефлегматори. Для фракційної дистиляції застосовують наступні дефлегматори: кулькові, ялинкові, з насадкою, дефлегматор Арбузова та дефлегматор Гана. Дія дефлегматора базується на тому, що пар конденсується в ньому частково і дистилат, який утворюється при цьому, повертається в камеру випарювання. В першу чергу конденсуються важколеткі компоненти, в результаті чого пар, який залишився в дефлегматорі, збагачується легколеткими компонентами. В промисловості застосовують автоматизовану фракційну дистиляцію, яка здійснюється в спеціальних апаратах – ректифікаційних колонках. Суміші рідин, які не розділяють за допомогою дистиляції на різні компоненти, називають азеотропами. Рідини, які утворюють такі суміші, можна розділити за допомогою дистиляції на ті компоненти, які знаходяться в азеотропі в надлишку.

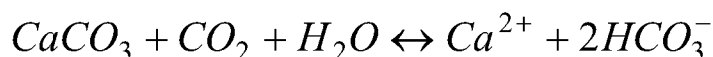
2.3.4. Запобігання накипоутворенню і корозії

Запобігання накипоутворенню одним з істотних недоліків випарювання, дистиляції або ректифікації є відкладання накипу на теплообмінних поверхнях. Це приводить до підвищення теплових затрат і знижує потужність випарних апаратів. До складу утвореного накипу входять карбонат і сульфат кальцію, а також гідроксид магнію і залізу. Інтенсивність утворення накипу залежить від температури, швидкості випарювання, хімічного складу і концентрації розсолу. Різні методи зниження накипоутворення можна поділити на реагентні, фізичні, а також конструктивні і технологічні.

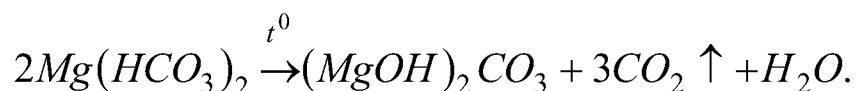
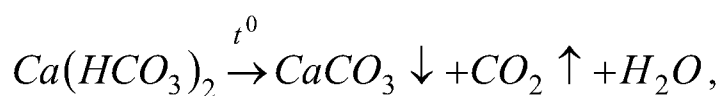
Існує декілька методів пом'якшення води. Вибір визначається якістю вихідної води і необхідною глибиною пом'якшення, тобто максимальною величиною залишкової твердості. Найбільше поширення у техніці набули три основні групи методів пом'якшення води: термічні, реагентні та іонообмінні. Перші дві групи методів ґрунтовані на осадженні кальцію і магнію у вигляді не-

розчинних сполук. Іонообмінний – на обміні іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} на іони Na^+ або H^+ при фільтруванні води через спеціальні матеріали, природні або приготовлені штучно.

Термічне пом'якшення води методом нагрівання до кипіння ґрунтоване на зміщенні карбонатної рівноваги



в бік утворення карбонату кальцію $CaCO_3$ або основного карбонату магнію $(MgOH)_2CO_3$:



Зміщення наведених рівноваг відбувається у результаті зниження розчинності діоксиду вуглецю CO_2 при підвищенні температури. Отже, кипінням можна повністю вилучити CO_2 і зменшити карбонатну твердість води. Цьому ж сприяє зменшення розчинності карбонату кальцію $CaCO_3$ з підвищенням температури при постійному тиску. Крім того, кипінням усувається також і частина твердості, обумовлена сульфатом кальцію $CaSO_4$, розчинність якого зменшується до 0,65 мг/л при температурі 100 °С.

Термічний метод застосовується для пом'якшення води, яка містить переважно карбонатну твердість, що робить її придатною для постачання котлів низького і середнього тиску, а також як допоміжний метод при реагентних способах пом'якшення води.

Реагентні методи пом'якшення води

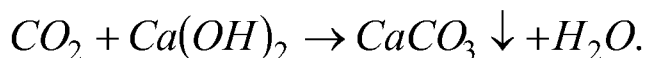
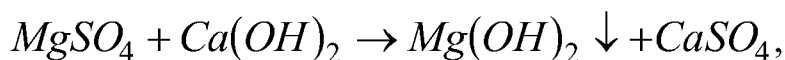
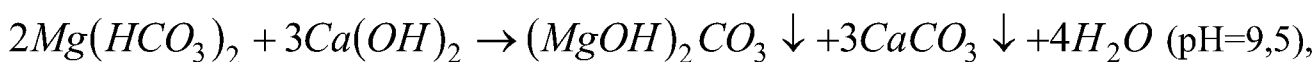
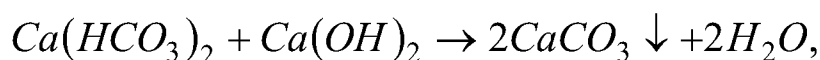
Сутність реагентних методів пом'якшення води полягає в обробці речовинами, які зв'язують іони Ca^{2+} і Mg^{2+} у практично нерозчинні сполуки. Як реагенти для пом'якшення води використовують: вапно $Ca(OH)_2$, соду Na_2CO_3 , гідроксид натрію $NaOH$, фосфат натрію Na_3PO_4 та інші речовини. Серед них найдешевшим є вапно.

У випадку пом'якшення води з великою карбонатною твердістю і незначною некарбонатною твердістю доцільно проводити пом'якшення вапнуванням води.

Сутність даного методу полягає в тому, що розчинні гідрокарбонати кальцію $Ca(HCO_3)_2$ і магнію $Mg(HCO_3)_2$, переводяться у важкорозчинні

сполуки в результаті взаємодії з вапном. При цьому гідроксид-іони, які надходять в розчин з вапна підвищують pH , що приводить до порушення рівноваги між різними формами вугільної кислоти. Стійкою формою вугільної кислоти у лужному середовищі є карбонат іон (див.2.3.1), який утворює важкорозчинні сполуки з іонами Ca^{2+} і Mg^{2+} . Залежно від pH середовища іони Mg^{2+} можуть виділятися з води у формі основного карбонату або гідроксиду магнію ($(MgOH)_2CO_3$ і $Mg(OH)_2$ відповідно).

Хімічні реакції, які відбуваються при вапнуванні води, описуються рівняннями:



Як видно із наведених реакцій при вапнуванні зменшується карбонатна твердість, концентрація вільної вуглекислоти і загальний солевміст.

Вапнування, як правило, проводиться при двох режимах: $pH=9,5$ і $pH=10,3$. При цьому, якщо не передбачається зменшення магнієвої твердості, обробка води проводиться при $pH=9,5$.

Для більш повного пом'якшення води використовують наступні прийоми: підвищення температури, утворення невеликої кількості надлишку реагенту (вапна), перемішування.

Ефективність вапнування води обумовлюється вибором оптимальної дози вапна. На основі рівнянь реакцій, які відбуваються при вапнуванні, можна орієнтовно розрахувати необхідну для пом'якшення дозу вапна:

$$\text{при } \frac{[Ca^{2+}]}{20} > T_K$$

$$D_B = 28 \left(\frac{[Ca^{2+}]}{20} + T_K + \frac{D_K}{Me} + 0,5 \right);$$

$$\text{при } \frac{[Ca^{2+}]}{20} < T_K$$

$$D_B = 28 \left(\frac{[CO_2]}{22} + 2T_K - \frac{[Ca^{2+}]}{20} + \frac{D_K}{Me} + 1 \right),$$

де $[Ca^{2+}]$ - концентрація іона кальцію, мг/л;

T_K - карбонатна твердість води ммоль е/л;

D_B - доза вапна у розрахунку на CaO , мг/л;

$[CO_2]$ - концентрація вільної вуглекислоти, мг/л;

D_K - доза коагулянту в розрахунку на безводний продукт, мг/л;

20,22 – молярні маси еквівалентів Ca^{2+} і CO_2 відповідно, мг/ммоль е;

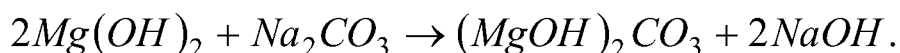
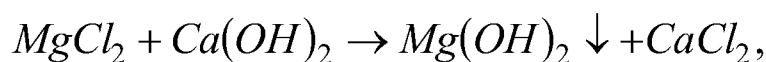
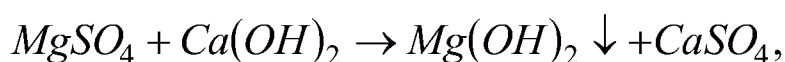
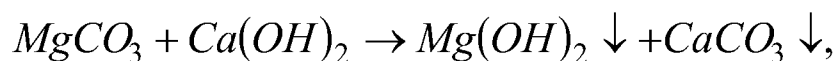
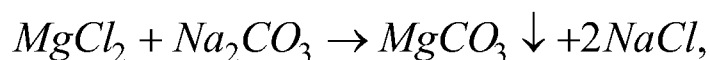
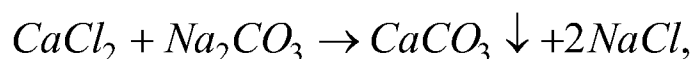
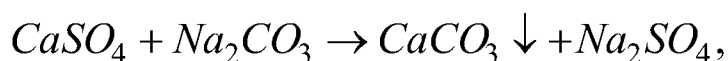
Me – молярна маса еквівалента солі, мг/ммоль е;;

0,5 і 1,0 – надлишок вапна, ммоль е/л;

28 – молярна маса еквівалента CaO , мг/ммоль е.

Вапнування використовується для відносно неглибокого пом'якшення і забезпечує залишкову твердість 1,4-1,8 ммоль е/л.

Вапняно-содовий метод застосовується для усунення карбонатної і некарбонатної твердості води. З цією метою вода оброблюється двома реагентами: вапном і содою $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$. Рівняння хімічних реакцій за участю $Ca(OH)_2$, наведені при описанні вапнування води. Зменшення некарбонатної твердості відбувається при взаємодії з содою відповідно до рівнянь:



Виходячи з рівнянь реакцій, які відбуваються при вапняно-содовому методі пом'якшення, розраховують дозу вапна:

$$D_B = 28 \left(\frac{[Ca^{2+}]}{20} + T_K + \frac{[Mg^{2+}]}{12} + \frac{D_K}{Me} + 0,5 \right),$$

$$D_c = 53 \left(T_{HK} + \frac{D_K}{Me} + 1 \right),$$

де $[Mg^{2+}]$ - концентрація іонів магнію, мг/л;

T_K - карбонатна твердість, ммоль е/л;

T_{HK} - некарбонатна твердість, ммоль е/л;

D_c - доза соди у розрахунку на Na_2CO_3 , мг/л;

D_B - доза вапна у розрахунку на CaO , мг/л;

D_K - доза коагулянта у розрахунку на безводний продукт, мг/л;

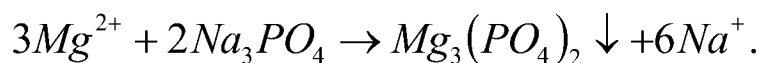
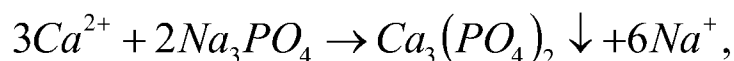
Me - молярна маса еквівалента солі коагулянта, мг/ммоль е;

0,5 - 1,0 - надлишок вапна, ммоль е/л;

28 і 53 - молярні маси еквівалентів CaO і Na_2CO_3 , мг/ммоль е.

Максимальний ступінь пом'якшення вапняно-содовим методом складає 0,3-0,5 ммоль е/л.

Фосфатний метод застосовується для найглибшого пом'якшення води, яка використовується для живлення парових котлів. Оскільки при фосфатному методі пом'якшення води зменшується загальна твердість, то рівняння відповідних реакцій мають вигляд:



Залишкова твердість води при фосфатному методі пом'якшення води становить 0,05 ммоль е/л.

До фізичних методів відносять ультразвукову і магнітну обробку води.

Ультразвуковий метод застосовують для безпосередньої обробки випарюваної води у випарних апаратах з метою зменшення накипоутворення.

В разі магнітної обробки води, що надходить на випарювання, її пропускають крізь магнітне поле, створюване постійним магнітом або електромагнітом.

Конструктивні і технологічні методи застосовують в апаратах з винесеною зоною кипіння (вертикально-трубні апарати). Такі апарати з крейдяною заправкою працюють у безнакипному режимі 6-8 місяців.

До недоліків випарювання відносять корозію деталей, які контактують з розсолами, особливо у присутності кисню.

Для найглибшого пом'якшення води застосовується фосфатний метод, який використовується для живлення парових котлів, випарних апаратів. Використання фосфату натрію NaPO_4 найкращий, оскільки фосфати кальцію, магнію, заліза менш розчинні, чим відповідні їх карбонати і гідроксиди. Особливо ефективний гексаметафосфат натрію $(\text{NaPO}_3)_6$. Ця речовина розчиняється у воді, а її кальцієві і магнієві солі менш розчинені, що приводить до утворення осадів складу $\text{Na}_4\text{ЭР}_6\text{O}_{18}$ і $\text{Na}_2\text{Э}_2\text{P}_6\text{O}_{18}$, де Э – Mg, Ca.

Теплообмінні поверхні вимагають застосування титану, сплавів на мідній основі (ВТ-1), латуні (ЛАМ Ш77-2), бронзи (БРА5), міднонікелевих сплавів. У наш час проводяться дослідження з використання алюмінію, пластмас та бетону.

Корпуси установок виготовляють звичай із нержавіючих сталей або з вуглецевої сталі або плакірованої неіржавіючої сталі (наприклад, Ст3+Х17Н13М3Т), або покритої різними протикорозійними покриттями (епоксидні смоли, синтетичний вініловий лак, неопрен та інші).

І все-таки дослідження показали, що при виготовленні корпусів установок з легованих сталей максимальна температура розсолу не повинна перевищувати 115-120 °С (оскільки упарені води при підвищених температурах мають більшу корозійну активність).

Для боротьби з корозією можна застосувати також протекторну та катодну види захисту.

Для запобігання і зниження вуглекислотної корозії слід здійснювати декарбонацію та дегазацію води, відкачку з установок вуглекислоти і кисню вакуумними засобами, забезпечувати герметичність установок для запобігання потрапляння кисню та вуглекислого газу.

Методи захисту металів від корозії

Для запобігання корозії використовується комплекс протикорозійних заходів, який охоплює захист металевої поверхні різними методами. Методи захисту металів від корозії дуже різноманітні. Їх можна поділити на такі групи: методи дії на метал, електрохімічні методи, методи дії на корозійне середовище.

Електрохімічні методи

Для захисту металевих конструкцій (обшивка кораблів, трубопроводи, кабелі) від морської і ґрунтової корозії до них приєднуються протектори – більш активні метали (тобто метали з більш негативним значенням стандартного електродного потенціалу). Це так званий протекторний захист. При такому способі захисту два метали утворюють електрохімічне коло і метал основного устаткування захищається за рахунок процесу окиснення

(розчинення) протектора. Наприклад, вироби з заліза та його сплавів можна захищати протекторами з цинку або магнію.

Іншим видом електрохімічного захисту є катодний захист. Металеву поверхню, яку захищають, з'єднують з негативним полюсом джерела постійного струму, тобто вона є катодом. Позитивний полюс приєднують до іншого, допоміжного металу, який вміщують у те саме середовище, що й виріб, який захищають, наприклад у ґрунт. Поверхня основного металу буде захищеною (на ній відновлюватимуться окисники з навколишнього середовища), а допоміжний метал буде окиснюватися. Електрохімічні методи найчастіше використовуються для захисту сталюого устаткування від корозії в морській воді та ґрунті.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає зміст методів очищення стічних вод випарюванням, дистиляцією і ректифікацією та які межі їх застосування?
2. Проаналізуйте діаграму стану води згідно з правилом фаз.
3. У чому полягає відмінність діаграм води і водних розчинів?
4. Що характеризує ебуліоскопічна константа?
5. Що називають теплотою перегрівання і теплотою утворення пари? Як їх визначають?
6. Охарактеризуйте основні термодинамічні властивості водяної пари.
7. Чим різняться випарювання і дистиляція?
8. Діаграма рівноваги «рідина-пара». Перший закон Коновалова.
9. Другий закон Коновалова. Азеотропні розчини.
10. Перегонка з водяною парою.
11. Що називають фракційною перегонкою?
12. У чому полягає принцип дії багатокорпусної вакуум-випарної установки? Які її переваги порівняно з однокорпусною установкою?
13. Поясніть процес ректифікаційного розділення суміші на компоненти А і В.
14. Які методи запобігання накипоутворенню Ви знаєте?
15. Методи захисту конструкцій від корозії.

Розділ 3. Біохімічні основи методів біологічної очистки стічних вод

3.1. Загальні уявлення про біологічну очистку стічних вод. Характеристика і хімічний склад мікроорганізмів

Біологічне очищення – один з методів очистки стічних вод від органічних і деяких неорганічних домішок. Біологічне очищення здійснюється за допомогою мікроорганізмів (біоценозу), зв'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаємовідносинами (метабіозу, симбіозу та антагонізму).

Біологічне очищення стічних вод ґрунтується на окисненні органічних сполук, що містяться в них за допомогою мікроорганізмів, які сприяють фільтрації чи розкладанню їх, а також відновленню первісних властивостей середовища.

Серед мікроорганізмів, що використовують при очищенні води, представлені бактерії роду *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, гриби *Mucor*, *Rhizopus*, *Penicillium*, найпростіші джгутикові *Mastigofora*, інфузорії *Infusoria*, коловертки, ракоподібні.

Існує два основних метода біологічної очистки стічних вод – аеробний і анаеробний. Аеробні методи ґрунтуються на використанні аеробних мікроорганізмів, для життєдіяльності яких необхідно присутність у воді вільного кисню. При анаеробній очистці, тобто без доступу кисню повітря, органічні сполуки руйнуються анаеробними мікроорганізмами. Анаеробний метод використовується як перша стадія біологічної очистки промислових стічних вод і для денітрифікації стічних вод. Вибір технології і особливо обробки стічних вод визначається змістом органічних забруднень у них.

В процесах біологічної очистки стічних вод частина окиснених мікроорганізмами сполук використовується в біосинтезі (утворюванні біомаси – активного мулу або біоплівки), а друга частина перетворюється у нетоксичні продукти окиснення і воду, диоксид вуглецю CO_2 , нітрат-іони NO_3^- і ін.

Розкладання органічних сполук мікроорганізмами в аеробних і анаеробних умовах здійснюється з різними енергетичними балансами сумарних реакцій. При аеробному окисненні глюкози 59% енергії, яка міститься у неї, витрачається на приріст біомаси і 41% складає теплові витрати. Цим обумовлено активний ріст аеробних мікроорганізмів. Чим вище концентрація органічних сполук в оброблюваних стоках, тим сильніше розігрів, вище швидкість росту мікробної біомаси і накопичення надлишкового активного мулу.

При анаеробному розкладанні глюкози з утворенням метану лише 8% енергії витрачається на приріст біомаси, 3% складають теплові втрати, і 89% переходить у метан. Анаеробні мікроорганізми ростуть повільно і потребують високої концентрації субстрату. Порівняльна характеристика процесів аеробної і анаеробної очистки наведена на рис.3.1.

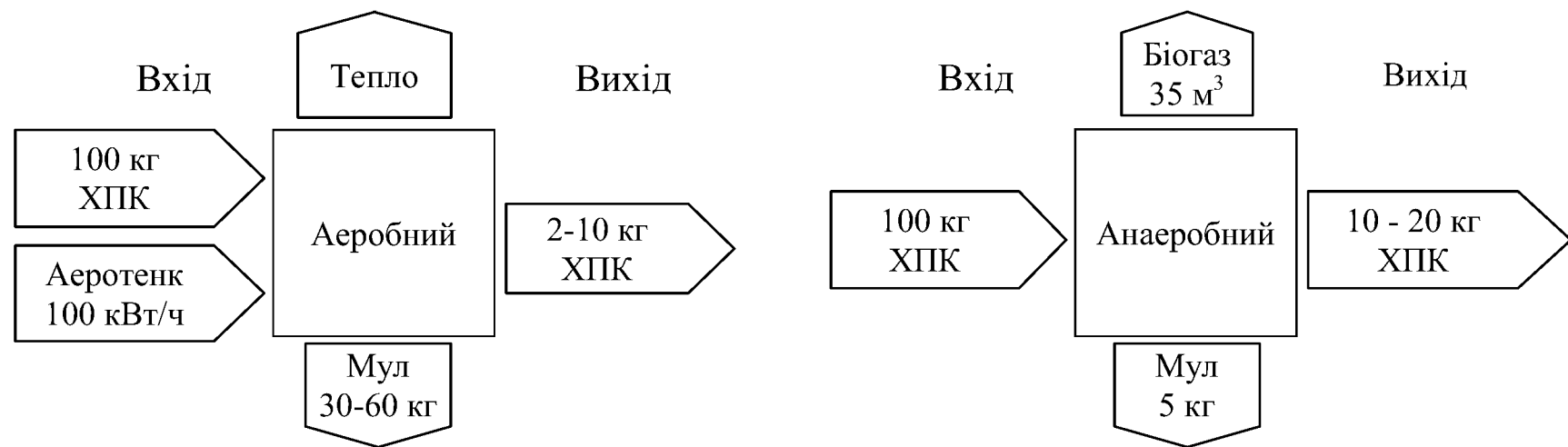


Рис.3.1. Порівняння матеріального і енергетичного балансів методів аеробної і анаеробної очистки стічних вод

Очищення побутових та промислових стоків здійснюють аеробним та анаеробним способами у спеціальних спорудах за допомогою активного мулу та біофільтрів.

Активний мул — це багатокомпонентний біоценоз, до складу якого входять мікроорганізми, водорості та протисти. Цей біоценоз формується в стаціонарних умовах за рахунок біоти стічних вод, або за використання мулу водойм чи городнього ґрунту. Кількість активного мулу, достатня для роботи очисних споруд, формується залежно від пори року від 2 тижнів до декількох місяців.

Очищення стічних вод аеробним способом здійснюють за допомогою дозрілого активного мулу в залізобетонних басейнах — аеротенках. У цих спорудах процес біологічного очищення передбачає проходження кількох технологічних етапів. Перед попаданням в аеротенк зі стічної води у спеціальних відстійниках вилучають важкі частки та завислі речовини (перший етап). Аеротенки мають різну конструкцію. Як правило, це довгі 2-4 коридорні резервуари глибиною від 3 до 6 м, оснащені пристроями для аерації. Це можуть бути спеціальні перемішувачі або система керамічних чи металевих труб з отворами для подавання повітря.

На другому етапі стічна вода змішується з активним мулом, утворюючи так звану мулову суміш. Саме на цьому етапі здійснюється перша стадія окиснення органічних речовин — сорбція забруднювачів. Одночасно починається і друга стадія — процес окиснення сорбованого субстрату. Ефективність очищення можна підвищити за рахунок попередньої аерації стічної води в спеціальних камерах — пререакторах.

Після аеротенка суміш подають у вторинний відстійник (третій етап). У цій камері мул осідає, а воду після дезінфекції (четвертий етап) скидають у водойми. Відділений від води мул повертається з аеротенка, де в одному з коридорів піддається регенерації шляхом посиленої аерації. Це необхідно для завершення процесів окиснення органічних сполук і відновлення сорбційної активності мулу.

Характеристика і хімічний склад мікроорганізмів.

Мікроорганізми (мікроби) — узагальнене найменування для дрібних невидимих неозброєним оком живих істот, представників рослинного і тваринного світу.

Всі мікроорганізми поділяють на такі основні групи: найпростіші, гриби, бактерії, актиноміцети, рикетсії, мікоплазми і віруси. Серед різноманітних форм мікробів, поєднаних у перераховані групи, є одноклітинні і багатоклітинні організми. До перших належать бактерії, дріжджові гриби і найпростіші, до багатоклітинних — нитчасті бактерії й деякі плісняві гриби. Мікроорганізми беруть активну участь у кругообігу речовин на земній кулі. Розкладаючи рослинні і тваринні рештки, вони здійснюють мінералізацію органічними речовинами. Серед мікроорганізмів є патогенні види, які спричиняють інфекційні захворювання людини, тварин і рослин і види, що

викликають розклад харчових продуктів, руйнування будівельних матеріалів і навіть металевих поверхонь.

Відмінною ознакою мікроорганізмів є їхні мікроскопічні розміри (0,5–100 мкм, $1\text{ мкм} = 10^{-6}\text{ м}$) і простота біологічної організації.

Тому вони об'єднані у третій світ живої природи – протисти (грец. *protistos* – самий перший). Основу будови клітин усіх протистів, як і клітин вищих тварин і рослин, складають цитоплазма і ядро. Однак, електронно-мікроскопічні дослідження дозволили встановити принципову різницю в будові клітин протистів і розділити їх на дві групи: вищі протисти – еукаріоти (*eucaryota*, грец. *eu* - істинний + ядро) і нижчі протисти – прокаріоти (*procariota*, грец. *pro* – до + ядро).

Прокаріоти – це клітинні організми, у яких немає сформованого ядра. Ядерний апарат організовано значно простіше, ніж в еукаріотів - він може вважатися попередником ядра, і має назву нуклеоїд. Прокаріоти не мають апарату мітозу, їхня цитоплазма не містить мембранних структур типу мітохондрій, лізосом, ендоплазматичної сітки, але в клітинній стінці є пептидглікан, відсутній у еукаріот, наявні рибосоми. Еукаріоти мають диференційоване ядро з ядерною мембраною, ядерцем та апаратом мітозу. У них, як правило, диплоїдний геном, розвинуті внутрішні мембранні структури у вигляді ендоплазматичної сітки, мітохондрій, лізосом і інші характерні ознаки. Групу прокаріотів складають бактерії і синьозелені водорості. До еукаріотів відносять найпростіших, водорості, гриби.

До основних морфологічних характеристик мікроорганізмів відносяться зовнішній вигляд, структура і форма організмів.

Більшість протистів є одноклітинними організмами, внаслідок чого в їхній будові і функціях поєднуються і клітинні, і організмові риси.

В одноклітинному організмі спеціалізовані частини клітини називаються органелами і виконують роль певних органів. Наприклад, війки в інфузорій, джгутики у бактерій є органами руху. З іншого боку, такі органели, як ядро, рибосоми, мітохондрії за своїми функціями аналогічні відповідним органам клітин вищих рослин і тварин, тобто виконують певну функцію. Ніяких органів для приймання і перетравлення їжі у мікроорганізмів немає.

Поживні речовини засвоюються усією клітиною і необхідні для життя продукти обміну достатньо швидко потрапляють у будь-яку її частину завдяки процесу дифузії. Мікроорганізми легко адаптуються до найрізноманітніших фізичних і хімічних факторів навколишнього середовища.

За формою клітини бувають: циліндричні і кубічні, дископодібні, кулясті, веретеноподібні.

Паличкоподібні мікроорганізми мають циліндричну форму тіла з округлими або загостреними кінцями. Вони широко розповсюджені в природі. Це пояснюється, очевидно, більш вигідним співвідношенням маси і поверхні у циліндра, ніж у кулі. Багато які паличкоподібні форми рухомі, органами руху служать так звані – джгутики.

Потрібно відзначити, що наукові назви усіх живих організмів складаються двома словами латинською мовою. Перше слово (пишеться з великої літери – іменник, це назва роду, до якого відноситься вид. Друге слово (пишеться з малої літери) – прикметник, яким позначається даний вид (наприклад, *Zoogloae ramigera* – бактерія, *Arcella vulgaris* – амеба, *Dinobryon divergens* і *Tribonema viride* – водорості.

Конструктивний і енергетичний обмін. Закономірності життєдіяльності мікроорганізмів і їх взаємодії з навколишнім середовищем виявляється в метаболізмі (обміні речовин і енергії), який є сукупністю усіх хімічних реакцій, що проходять у живому організмі.

Залежно від загальної спрямованості процесів виділяють дві складові частини метаболізму - катаболізм і анаболізм.

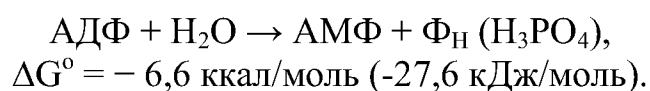
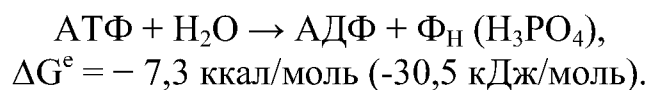
Поживні речовини, які поглинаються клітинами в результаті складних біохімічних реакцій, перетворюються у специфічні клітинні компоненти. Біохімічні процеси, які відбуваються при цьому, складають суть конструктивного обміну або *анаболізму*. Конструктивні процеси йдуть з поглинанням енергії.

Другий вид процесів у клітині пов'язаний з енергетичним обміном або *катаболізмом*.

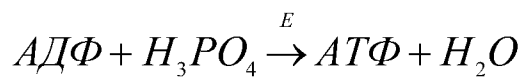
Суть його полягає в руйнуванні речовин, що містяться в організмі, в результаті гідролітичних і окисних процесів. При цьому відбувається виділення енергії, необхідної для біосинтезу. Кожна речовина має певний запас потенційної енергії, основним носієм якої є хімічні зв'язки.

Енергетичний рівень зв'язків неоднаковий. Для одних він має величину порядку 8-10 кДж/моль. Такі зв'язки прийнято відносити до нормальних. Для інших – ця величина складає 25-40 кДж/моль. Такі зв'язки відносять до макроергічних.

Центральне місце в енергетичному обміні займає АТФ – аденозинтрифосфорна кислота. Макроергічні зв'язки в молекулі АТФ дуже нестійкі. Вивільнення хімічної енергії відбувається за умов гідролізу АТФ та АДФ або переносу макроергічних фосфатних груп на інші акцептори.



Запас АТФ в клітинах весь час відновлюється за рахунок реакції приєднання залишку ортофосфорної кислоти до молекули АДФ – аденозиндіфосфорної кислоти:



Цей процес проходить з поглинанням енергії, для чого використовується енергія світла або енергія хімічних реакцій. Обидва види енергій трансформуються в енергію хімічних зв'язків. Таким чином, АТФ виконує в клітині роль трансформатора енергії.

Анаболізм і катаболізм нерозривно зв'язані, оскільки продукти енергетичного обміну (АТФ і деякі низькомолекулярні сполуки) безпосередньо використовуються у конструктивному обміні.

Продукти життєдіяльності мікроорганізмів (метаболіти) виводяться з клітини. Обмін речовин відбувається з великою швидкістю, протягом доби мікроорганізми здатні переробити таку кількість поживних речовин, яка в 20-30 разів вища за їхню власну масу.

Стадії катаболізму біомолекул

У ферментативному розщепленні складних біоорганічних сполук в організмі виділяють три основних стадії (етапи), що є загальними для катаболізму різних біомолекул.

Стадія 1. На першій стадії катаболізму складні молекули (макромолекули вуглеводів, білків, нуклеїнових кислот та молекули ліпідів) розщеплюються до простих компонентів:

- полісахариди – до моносахаридів (переважно – глюкози, фруктози, галактози);
- ліпіди (триацилгліцероли) – до жирних кислот та гліцеролу;
- білки – до амінокислот;
- нуклеїнові кислоти – до нуклеотидів.

Реакції першої стадії катаболізму є гідролітичними за своїм механізмом і каталізуються гідролазами.

Стадія 2. На другій стадії катаболізму декілька десятків метаболітів, що утворились на першій стадії, підлягають ферментативним реакціям розщеплення з вивільненням певної (відносно незначної) кількості хімічної енергії, яка акумулюється у високоенергетичних (макроергічних) зв'язках АТФ.

Реакції другої стадії катаболізму відбуваються внутрішньоклітинно (в цитоплазмі та частково в мітохондріях). Основними з цих реакцій є:

для моносахаридів – гліколіз, кінцевим метаболітом якого є піровиноградна кислота (піруват), що в подальшому окислюється до активної форми оцтової кислоти – ацетил-коензиму А (ацетил-КоА);

для жирних кислот – β-окислення, кінцевим продуктом якого є ацетил-КоА;

для гліцеролу – розщеплення до пірувату, який перетворюється в ацетил-КоА;

для амінокислот та нуклеотидів – дезамінування з виділенням аміаку та розщепленням безазотистих молекулярних скелетів до дво- і тривуглецевих

карбонових кислот та їх похідних; більшість із цих метаболітів у кінцевому підсумку також утворюють ацетильний радикал у формі ацетил-КоА.

Таким чином, *ацетил-КоА* – це загальний кінцевий продукт другої стадії внутрішньоклітинного катаболізму вуглеводів, ліпідів та амінокислот.

Стадія 3. На третій стадії катаболізму відбувається окислення ацетил-КоА до кінцевих метаболітів – двоокису вуглецю та води. Протягом цієї стадії відбуваються основні процеси вивільнення та акумуляції хімічної енергії. Ця стадія має місце в мітохондріях і включає в себе функціонування таких біологічних систем:

- *циклу трикарбонових кислот* (ЦТК, циклу Кребса), при перебігу якого утворюється CO_2 , а атоми водню використовуються для відновлення коферментів нікотинамідаденіндинуклеотиду (НАД) та флавінаденіндинуклеотиду (ФАД);

- *системи електронного транспорту в мембранах мітохондрій*, в якій атоми водню (протони та електрони) переносяться на кисень з утворенням H_2O ; ця система спряжена з окисним фосфорилуванням, в результаті якого енергія реакцій біологічного окислення використовується для синтезу молекул АТФ – головного безпосереднього постачальника енергії у всіх біологічних ендергонічних процесах.

Метаболічна карта загальних шляхів та стадій катаболізму подана на рис. 3.2.

Методи вивчення обміну речовин

Для вивчення обміну речовин використовують різноманітні хімічні, фізико-хімічні та фізичні методи, що дозволяють ідентифікувати певні метаболіти, оцінювати їх перетворення, біологічне значення для здійснення окремих фізіологічних функцій усього організму, спеціалізованих тканин (м'язової, нервової, сполучної тощо), окремих клітин та субклітинних структур.

Сучасними методами розподілу, очищення складних біологічних сумішей та виділення з них окремих сполук є хроматографія – іонообмінна, абсорбційна, розподільна, гель-хроматографія, афінна (біоспецифічна) – та електрофорез. Із метою вивчення структури біомолекул застосовують інфрачервону та ультрафіолетову спектроскопію, спектроскопію електронного парамагнітного та ядерного магнітного резонансів, флуоресцентний та рентгеноструктурний аналіз.

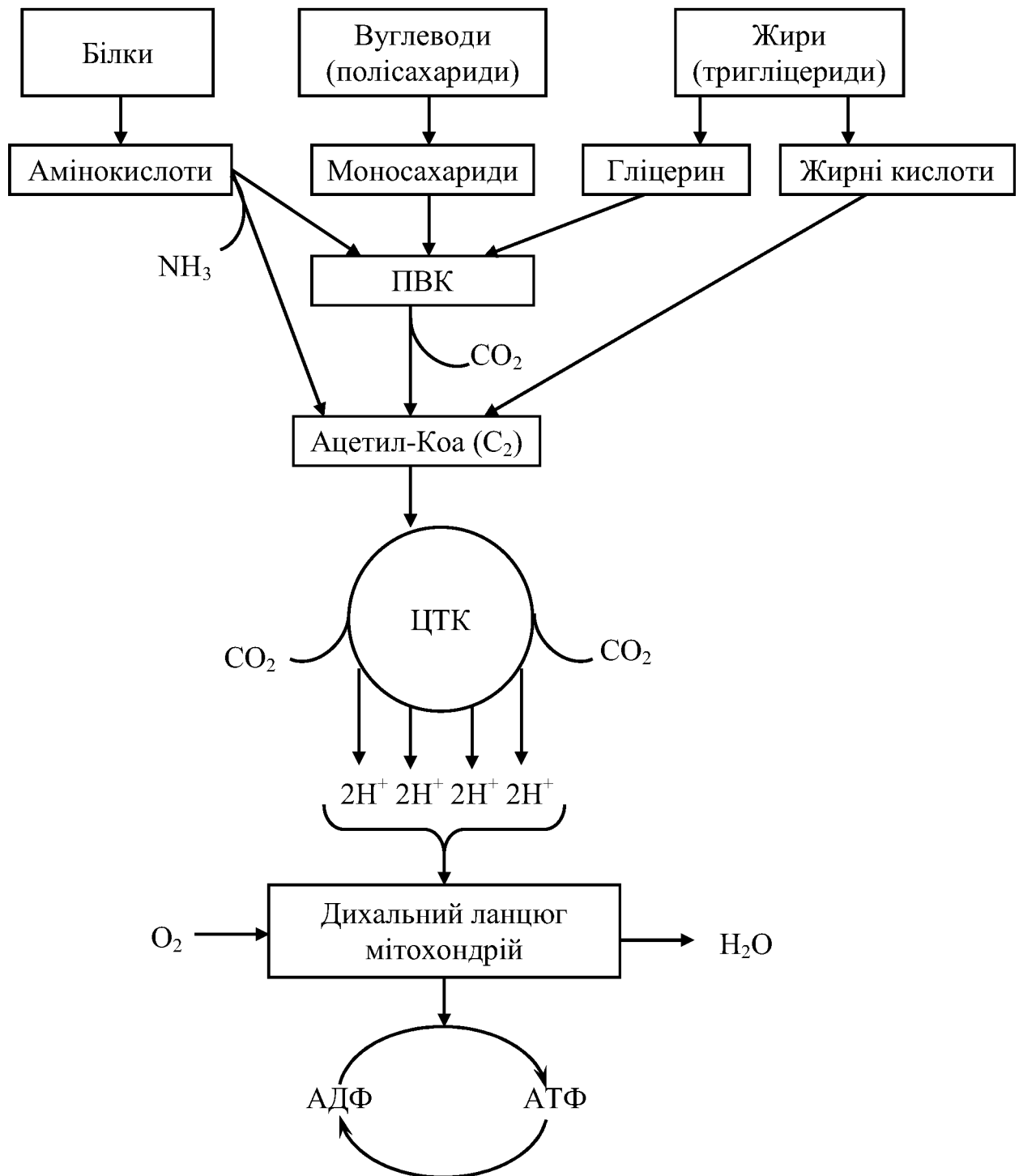


Рис.3.2. Схема загальних шляхів катаболізму біомолекул

Окремі метаболічні шляхи перебігають у визначених внутрішньоклітинних ділянках – *компартаментах*, що відокремлені біологічними мембранами, зокрема:

- в ядрах - реакції біосинтезу (реплікації) ДНК, синтезу інформаційних та інших класів РНК (транскрипції);

- у мітохондріях - реакції циклу трикарбонових кислот, β -окислення жирних кислот, електронного транспорту та окисного фосфорилювання;

– у цитоплазмі (цитозолі) - реакції гліколізу, синтезу жирних кислот, обміну амінокислот тощо;

– в рибосомах - реакції білкового синтезу (утворення поліпептидних ланцюгів);

– у мембранах ендоплазматичного ретикулуму – цитохром Р-450-залежні процеси окисного гідроксилювання гідрофобних субстратів ендогенного та екзогенного походження;

– у лізосомах – реакції гідролітичного розщеплення біополімерів – білків та нуклеїнових кислот (як власних біомолекул, так і чужорідних сполук, які поглинаються клітинами, наприклад макрофагами, за рахунок ендоцитозу).

Для вивчення біохімічних реакцій та окремих метаболітів, які локалізовані в певних клітинних компартментах, використовують метод диференційного центрифугування.

Хімічний склад мікроорганізмів води

Із неорганічних сполук найбільше в клітині води. Чим вища інтенсивність обміну речовин у тій чи іншій тканині, тим більше вона містить води. Вода в клітині виконує багато функцій: збереження об'єму, пружність клітини, розчинення різних хімічних речовин. Крім того, вода — це те середовище, в якому відбуваються всі хімічні процеси. Вона безпосередньо бере участь у всіх хімічних реакціях. Так, розщеплення жирів, вуглеводнів та інших органічних сполук можливе в результаті хімічної взаємодії їх з водою. Завдяки високій теплоємності вода оберігає цитоплазму від різких коливань температури і сприяє терморегуляції клітин і організму. Частина молекул води (~15%) у клітинах перебуває у зв'язаному стані з білковими молекулами. Вони ізолюють білкові молекули одна від одної в колоїдних розчинах.

Велика кількість органічних речовин клітини (ліпіди) мають низьку розчинність у воді. Притягання молекул води до цих речовин досить мале, тому вони, складаючи основу клітинної мембрани, обмежують перехід води з клітини у навколишнє середовище і навпаки, а також з одних ділянок клітини в інші.

Вміст у клітині катіонів має важливе значення для її функціонування. Від концентрації солей залежить надходження води у клітину, оскільки клітинна мембрана проникна для молекул води і непроникна для багатьох великих молекул та іонів. Якщо в навколишньому середовищі міститься менша кількість іонів, ніж в цитоплазмі клітини, то відбувається надходження води в клітину до вирівнювання концентрації солей (осмос).

Наявність солей в цитоплазмі обумовлює її буферні властивості – здатність підтримувати рН на сталому рівні (близько до нейтральної реакції), незважаючи на те, що в процесі обміну речовин безперервно утворюються кислі і лужні продукти.

Різні клітини можуть відрізнятися за вмістом органічних речовин. У перерахунку на суху масу в клітині міститься ліпідів – 5-15%, білків близько 10-12%, вуглеводнів – 0,2-2%, нуклеїнових кислот – 1-2% маси клітини. Більшість

органічних сполук мають довгі молекули (полімери), складені з ланцюга більш простих молекул однорідних або різнорідних мономерів.

Біомолекули.

Біомолекули – біоорганічні сполуки, які входять до складу живих організмів та є спеціалізованими для утворення клітинних структур і участі в біохімічних реакціях. Вони становлять сутність обміну речовин і виконання будь-якою живою клітиною та багатоклітинним організмом притаманних їм фізіологічних функцій.

Функції біомолекул в живих організмах:

а) участь в біохімічних реакціях обміну речовин у ролі проміжних продуктів (метаболітів). Прикладами є моносахариди та їх фосфорні ефіри, жирні кислоти та продукти їх окиснення, амінокислоти, кетокислоти, дикарбонові кислоти, пуринові та піримідинові основи та ін.;

б) участь в утворенні інших, складніших молекул: білків, нуклеїнових кислот, полісахаридів, ліпідів (амінокислоти, нуклеотиди, моносахариди, вищі жирні кислоти тощо) або біологічних структур (мембран, рибосом, ядерного хроматину та ін.);

в) участь в регуляції біохімічних процесів та фізіологічних функцій окремих клітин та цілісного організму. Біомолекулами-регуляторами є вітаміни, гормони та і гормоноподібні сполуки, внутрішньоклітинні регулятори – циклічні нуклеотиди цАМФ, цГМФ та інші.

Головні класи біомолекул, що складають основу структури та функцій живих організмів:

- білки та амінокислоти,
- нуклеїнові кислоти та нуклеотиди,
- вуглеводи, ліпіди.

Нуклеїнові кислоти (лат. nukleus – ядро). Існує два види нуклеїнових кислот: дезоксирибонуклеїнова (ДНК) та рибонуклеїнова (РНК). Основне місце знаходження ДНК – ядро клітини. РНК міститься в ядрах, а також у цитоплазмі.

Нуклеїнові кислоти – це полінуклеотиди, що складаються з мономерних ланок - нуклеотидів (мононуклеотидів).

Нуклеотиди - трикомпонентні сполуки, побудовані з азотистої основи пуринового чи піримідинового ряду, залишків пентоз (рибози або дезоксирибози) та фосфату.

Нуклеїнові кислоти є високомолекулярними сполуками з молекулярною масою від декількох тисяч (транспортні РНК) до кількох мільйонів дальтон (ДНК еукаріотів). Це біополімери, які разом із білками належать до класу *інформаційних біомакромолекул*.

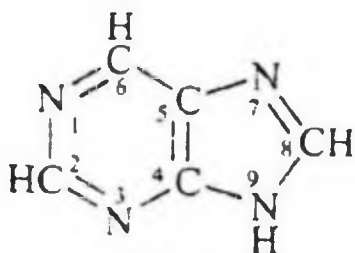
Нуклеїнові кислоти виконують ряд унікальних біологічних функцій, не властивих іншим біополімерам: забезпечують збереження і передавання нащадкам спадкової інформації, беруть безпосередню участь у

механізмах її реалізації шляхом програмування матричного синтезу всіх білків індивідуального організму.

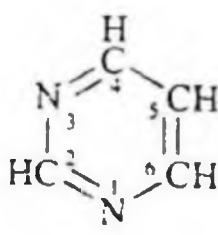
Нуклеотиди є структурними компонентами (мономерними ланками) молекул нуклеїнових кислот – ДНК та РНК. Крім того, деякі рибонуклеотиди та їх похідні, що не входять до складу нуклеїнових кислот (вільні нуклеотиди), виконують функції коферментів, кофакторів різних ферментних систем. Особливе значення вільні нуклеотиди мають у ферментних процесах, що пов'язані з акумулюванням, зберіганням та межмолекулярним перенесенням енергії в клітинах.

В основі структури азотистих основ нуклеотидів лежать ароматичні гетероциклічні сполуки *пурин* та *піримідин*.

Пуринові основи нуклеїнових кислот:

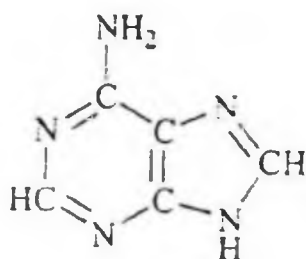


Пуриин

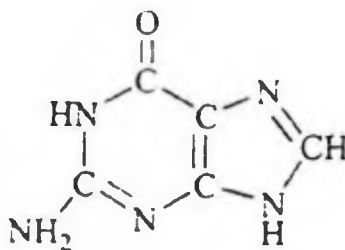


Піримідин

У нуклеїнових кислот постійно містяться дві пуринові основи - *аденін* (А) та *гуанін* (Г), - що мають таку будову:



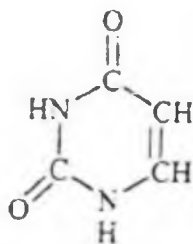
Аденін



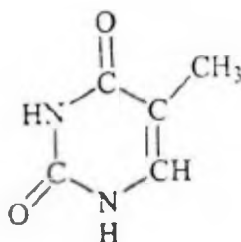
Гуанін

Піримідинові основи нуклеїнових кислот

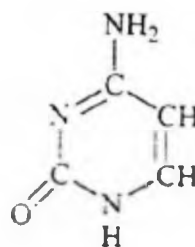
До складу нуклеотидів нуклеїнових кислот входять три головні піримідинові основи: *урацил* (У), *тимін* (Т), *цитозин* (Ц):



Урацил



Тимін



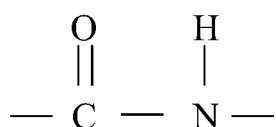
Цитозин

До складу нуклеїнових кислот входить також моносахарид-пентоза (рибоза або дезоксирибоза) і фосфорна кислота.

Азотисті основи поглинають світло в ультрафіолетовій частині спектра з довжиною хвиль 200-300 нм і максимумом близько 260 нм. Ця властивість використовується при кількісному визначенні нуклеїнових кислот.

Білки. Білки найбільш важлива складова частина живого організму, вміст яких в клітині складає 50-80% від сухої речовини.

Білки – полімери, молекули яких побудовані з великої кількості амінокислот, сполучених між собою кислотно-амідним (пептидним) зв'язком у поліпептидний ланцюг:



Молекули білків дуже складні. Виділяють чотири рівні організації білкових молекул.

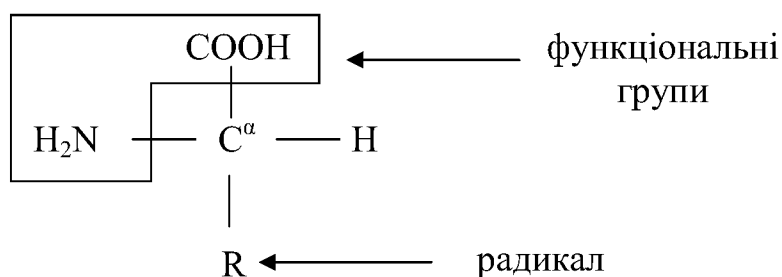
Амінокислоти – структурні мономери білків.

Під час повного кислотного, лужного або ферментативного гідролізу білків звільняються вільні амінокислоти.

Амінокислоти є похідними органічних карбонових кислот, у яких один або декілька атомів водню у вуглеводневому радикалі заміщені на аміногрупу. Залежно від розташування NH₂-групи розрізняють α-, β-, γ- та інші амінокислоти. До складу білків входять лише α-L-амінокислоти, у яких NH₂-група приєднується до α-вуглецевого атома.

Загальною ознакою, характерною для всіх амінокислот, які входять до складу білків, є наявність вільної карбоксильної групи і вільної незаміщеної аміногрупи біля α-вуглецевого атома. Крім цих двох функціональних груп, кожна амінокислота містить характерний тільки для неї радикал (R-групу), який визначає структурну і функціональну особливість амінокислот.

Загальна будова α-L-амінокислоти має вигляд:



Наразі у природі виявлено близько 300 різних амінокислот. Серед них виділено групу з 20 найважливіших амінокислот, які постійно зустрічаються в білкових сполуках.

Назви амінокислот будуються за замінною номенклатурою органічних кислот (наприклад, α -амінопропіонова кислота) або використовують їх тривіальні назви, а також трьохлітерні і однолітерні позначення цих назв, наприклад: гліцин – глі, G; аланін – ала, A.

Кістяк білкової молекули характеризується абсолютною однаковістю будови. При цьому радикали (R) амінокислотних залишків розташовані зовні, по обидва боки поліпептидного ланцюга в трансположенні.

Вісь, стержень усіх поліпептидних ланцюгів побудований однотипно і являє собою чергування атома азоту і двох атомів вуглецю, із яких до першого вуглецю приєднується атом водню і радикал відповідної кислоти R, а до другого – оксигрупа (карбонільний залишок α -амінокислоти). Ця закономірність дозволяє легко записувати первинну структуру поліпептидного ланцюга білка, змінюючи тільки радикали залишків амінокислот:

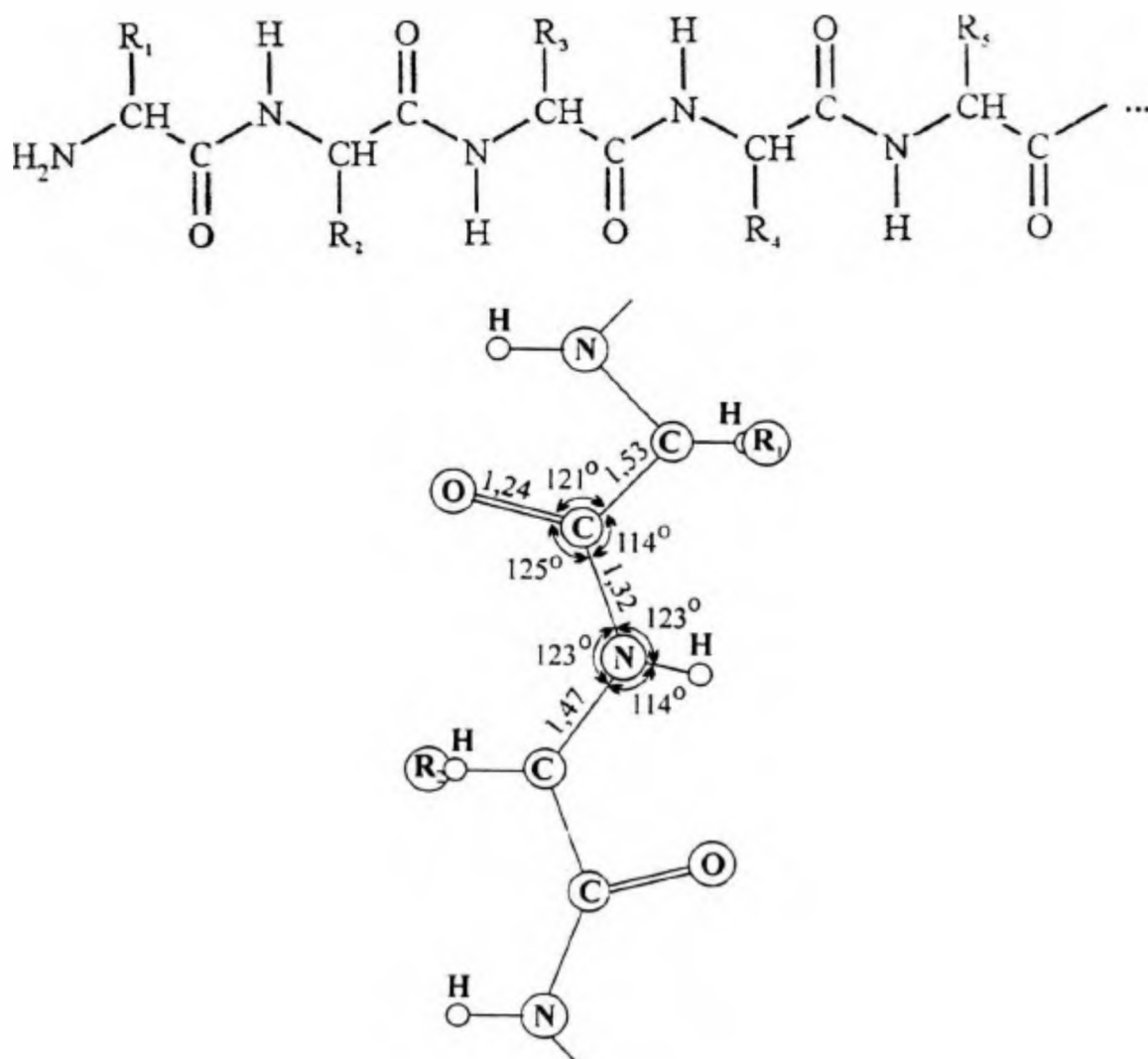
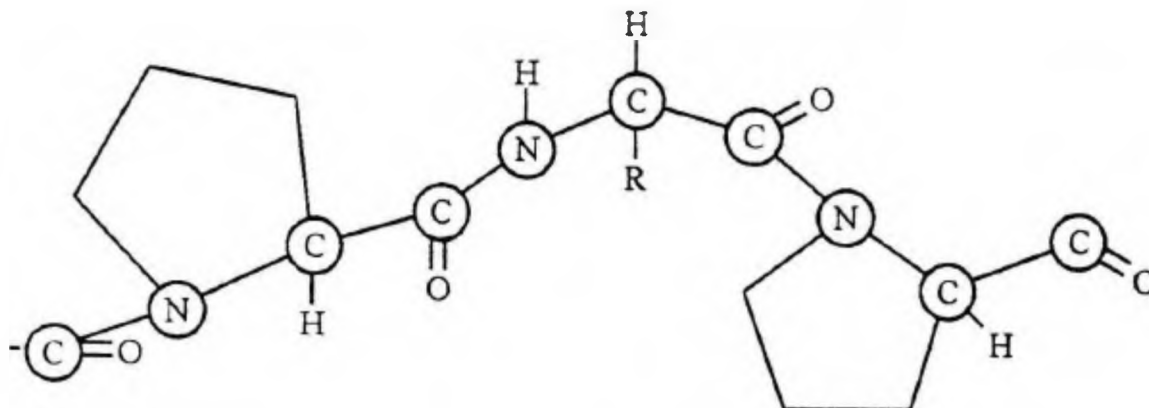


Рис.3.3. Валентні кути і міжатомні відстані у витягнутому поліпептидному ланцюзі

Отже, кожна ланка такого ланцюга представлена залишком тієї або іншої амінокислоти, і весь ланцюг розміщується в одній площині. Якщо в утворенні пептидного зв'язку приймає участь іміногрупа проліну, то поліпептидний ланцюг набуває дещо іншого вигляду:



Поліпептидний ланцюг на ділянці, де знаходиться пролін, легко згинається, що впливає на формування просторових структур.

Функціонування білків є основою найважливіших процесів життєдіяльності організмів. Обмін речовин, м'язові скорочення, нервова збудливість та функціонування клітин в цілому забезпечуються активністю ферментів - біокаталізаторів білкової природи. Білки є основою кісток і сполучної тканини, формують основу клітинних органел. За формою молекули білки поділяють на глобулярні та фібрилярні. Глобулярні згорнуті в компактні глобули сферичної або еліпсоїдної форми. Молекули фібрилярних білків утворюють довгі волокна (фібрили) та мають значну асиметричність. Більшість глобулярних білків на відміну від фібрилярних добре розчинні у воді. У кожній живій клітині білки виконують різноманітні функції: біологічних каталізаторів, регуляторів фізіологічних процесів, транспорт функції, способів захисту організмів.

Вуглеводи – це органічні речовини, які поряд з білками і ліпідами забезпечують існування живого організму. Емпірична формула вуглеводів $C_x(H_2O)_y$, де x і y можуть мати різні значення.

Усі вуглеводи є або альдегідами, або кетонами і в їх молекулах завжди є гідроксі групи. В живому організмі вуглеводи виконують дуже важливі функції:

- енергетичну, вони є джерелом енергії і як будівельні блоки для синтезу більш крупних молекул;
- структурну, входять до складу різних внутрішньоклітинних структур;
- пластичну, вуглеводи використовуються до синтезу нуклеїнових кислот, змішаних вуглеводомісних біополімерів;
- гідроосмотичну, як надзвичайно гідрофільні полісахариди зв'язують міжклітинну воду і катіони, регулюючи міжклітинний осмотичний тиск;

– захисну, участь вуглеводних компонентів імуноглобулінів у підтримці імунітету.

Lipidi (грецьк. *lipos* – жир) – це велика група різноманітних за хімічною будовою органічних речовин нерозчинних у воді і розчинних у неполярних органічних розчинниках – ефірі, хлороформі, ацетоні, бензолі і т.ін.

Специфічною властивістю ліпідів є їхня здатність утворювати у водному середовищі емульсії різного ступеня дисперсності та стійкості.

Ліпіди відіграють подвійну біологічну роль – енергетичну і структурні. При їхньому розщепленні звільняється велика кількість енергії.

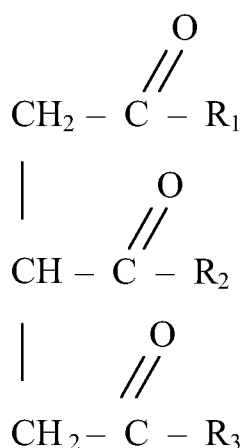
Ліпіди як пластичний матеріал, утворюючи комплекси з білками (ліпопротеїни), вуглеводами (гліколіпіди), складають основу структури клітин і тканин.

Особливо важливою є роль ліпідів у структурі мембран клітин та клітинних органел – мітохондрій, рибосом, ядра тощо.

Мембрани, як відомо, відіграють надзвичайно важливу роль у структурі, обміні та функціях клітини.

У кожному типі мембран внутрішня частина являє собою біомолекулярний шар ліпідів, на якому з внутрішньої і зовнішньої сторін розташовані білки, вбудовані з двох боків у ліпідний прошарок. Тому мембрани вважають багат шаровими або ламелярними структурами (*lamellar* – шаровий, англ.).

Більша частина ліпідів – це складні ефіри гліцерину і жирних кислот. У гліцерину три гідроксильні (-OH) групи, кожна з яких здатна утворювати складний ефір з жирною кислотою. Тому ліпіди, які при цьому утворюються, називають тригліцеридами або триацилгліцеридами.



де R_1 , R_2 , R_3 – радикали жирних кислот. З них частіше всього зустрічаються пальмітинова ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{15}-\text{COOH}$), стеаринова ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$), олеїнова ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}_2-\text{COOH}$) жирні кислоти.

Триацилгліцерили – найрозповсюджені з ліпідів, які зустрічаються в природі. Їх прийнято ділити на жири і масла в залежності від того, залишаються

вони твердими при 20⁰С (жири) чи мають при тій самій температурі рідку консистенцію (масла). Температура плавлення у ліпіда тим нижче, чим вище в ньому доля ненасичених жирних кислот. Триацилгліцероли неполярні і внаслідок цього практично нерозчинні у воді. Їх щільність нижче, ніж у води, тому вони у воді спливають.

Воск – складні ефіри жирних кислот і довголанцюгових спиртів використовуються у рослин і тварин головним чином у якості водозахисного покриття.

Фосфоліпіди – ліпіди, які містять фосфорну групу. Головну роль серед них відіграють фосфогліцериди, в молекулі яких первинна спиртова група гліцерола етерифікована не жирною кислотою, а фосфорною. Таким чином, молекула складається з голови, роль якої відіграє фосфатна група, і двох вуглеводних хвостів (залишки жирних кислот). Фосфоліпіди – основні компоненти мембран, так як ліпопротеїни (продукти з'єднання ліпідів з білками) і гліколіпіди (продукти з'єднання ліпідів з вуглеводами).

Велике значення для життєдіяльності клітини і організму мають і такі складні з'єднання, як гліколіпіди, які складаються з вуглеводів і ліпідів. Особливо їх багато у складі тканини мозку і нервових волокон.

3.2. Живлення мікроорганізмів. Мембранний транспорт

Для здійснення процесів росту й розмноження, тобто життєдіяльності, необхідні поживні речовини з навколишнього середовища.

Надходження поживних речовин у бактеріальну клітину відбувається без енергетичних витрат, за рахунок пасивної дифузії (за градієнтом концентрації) або полегшеної дифузії (за допомогою ферментоподібних білків – *пермеаз*). Більшість поживних речовин транспортується в клітину активним шляхом, за допомогою специфічних пермеаз.

Способи живлення мікроорганізмів дуже різноманітні. Потрібно розрізняти три основних способи живлення: голофітне, сапрозойне та голозойне.

Голофітне живлення (від грец. *holos* – ціликом, *phyton* – рослина) відбувається за типом фотосинтезу рослин. Серед мікроорганізмів цей спосіб властивий водоростям, фарбованим формам джгутикових і деяким бактеріям.

Голозойний спосіб живлення (від грец. *holos* – ціликом, „зоїк” – подібно тварині) обумовлює розвиток у мікроорганізмів спеціальних органів для перетравлення їжі, а в деяких – і для її захоплення. Наприклад, незабарвлені джгутикові та війкові інфузорії мають ротову порожнину, до якої їжа підганяється відповідно джгутиками та війками.

При *сапрозойному* способі живлення поживні речовини потрапляють до клітини через всю її поверхню, оскільки відповідні мікроорганізми не мають спеціальних органів для захоплення їжі. Цей спосіб живлення властивий бактеріям, мікроскопічним грибам, дріжджам.

Необхідна обставина – сприйнятлива форма поживних речовин, у якій вони можуть засвоюватись мікроорганізмом. Отже, залежно від джерел вуглецю, що використовуються в конструктивному обміні мікроорганізми поділяються на дві групи: автотрофи і гетеротрофи.

Автотрофи (від грец. *autos* – сам, *trophe* – їжа) в якості єдиного джерела вуглецю використовують діоксид вуглецю і з нього синтезують усі необхідні біополімери. Здатність до біосинтезу у автотрофів найвища.

Гетеротрофи (від грец. *heteros* – інший) – використовують вуглець різноманітних органічних сполук. В свою чергу, гетеротрофи поділяють на *метатрофи* (сапрофіти), які потребують відносно простих органічних сполук і використовують мертвий поживний матеріал, і *паратрофи* (паразити), які потребують складних сполук, що здебільшого містяться в живих істотах. Патогенні мікроорганізми є метатрофами і паратрофами.

Залежно від джерела енергії для отримання АТФ мікроорганізми поділяються на *фототрофи* (використовують енергію світла) і *хемотрофи* (використовують енергію хімічних реакцій). Процес утворення АТФ – фосфорилювання – пов'язаний з перенесенням електронів під час окисно-відновних реакцій енергетичного обміну. Мікроорганізми, які використовують в якості донорів-електронів неорганічні сполуки (водень, амід, нітрит, залізо та ін.), відносяться до *літотрофів*, ті, що використовують органічні сполуки, – до *органотрофів*.

Звичайно, для росту і розмноження бактерій недостатньо тільки поживних речовин у сприятливому вигляді, потрібні також вітаміни.

Дихання мікроорганізмів. В мікробіології під терміном «дихання» слід розуміти біологічне окиснення, тобто сукупність окисно-відновних реакцій, які проходять за участю ферментів, що знаходяться всередині бактеріальної клітини (ендоферментів).

За способом дихання мікроорганізми поділяються на аеробні та анаеробні. *Аеробні* мікроорганізми потребують широкого доступу вільного кисню. До них відносяться бактерії – нітрифікатори, які окиснюють амонійний азот до нітритів, а потім до нітратів, залізо-, сіркобактерії, бактерії, що окиснюють вуглеводи, органічні кислоти та інші органічні сполуки; а також водорості, гриби, найпростіші, коловратки. При аеробному диханні відбувається окисно-відновні реакції, в яких акцептором водню або електронів є молекулярний кисень. При цьому йде повне окиснення з утворенням кінцевих продуктів розпаду – діоксиду вуглецю і води.

При *анаеробному* диханні, яке відбувається без доступу вільного кисню, необхідна енергія для життєдіяльності клітини отримується при розщепленні складної молекули органічної речовини на більш прості. При цьому виділяється набагато менше енергії, ніж при кисневому диханні. Так, при анаеробному диханні утворюються лише дві вільні молекули АТФ.

До анаеробних мікроорганізмів відносяться масляно-кислі, метанові бактерії та ін. Але деякі мікроорганізми (кишкова паличка, молочнокислі

бактерії, дріжджі та ін.) можуть жити як в присутності вільного кисневого повітря, так і в його відсутності. Вони відносяться до факультативних, або умовних аеробів.

Мембранний транспорт.

Для того, щоб відбувався процес біохімічного окиснювання органічних речовин, що знаходяться в стічних водах, вони повинні потрапити усередину клітин мікроорганізмів. До поверхні клітин речовини надходять за рахунок конвективної і молекулярної дифузії, а усередину клітин – дифузіїєю через напівпроникні цитоплазматичні мембрани, що виникає внаслідок різниці концентрацій у клітині і поза нею. Однак велика частина речовин попадає усередину клітин за допомогою специфічного білка – переносника, а також іонних каналів. Речовина – переносник, що утворює розчинний комплекс, дифундує через мембрану в клітину, де він розпадається, а білок – переносник включається в новий цикл переносу.

Для детального пояснення процесу переносу речовин у клітину розглянемо будову і склад біологічної мембрани. Біологічними мембранами (лат. membrana – перепонка) – це функціональні структури клітин товщиною у декілька молекулярних шарів, які оточують цитоплазму і більшість внутрішньоклітинних структур, а також утворюють єдину внутрішньоклітинну систему каналців замкнутих порожнин. Товщина біологічних мембран не перевищує 10 нм. Біологічні мембрани побудовані з білків, ліпідів, вуглеводів. Білки і ліпіди складають основну частину сухої маси мембран. У функціональному відношенні мембранні білки підрозділяються на ферментативні, транспортні (інтегральні) і регуляторні.

Наразі у 1971 році Ніколсоном і Сингером запропонована рідинно-мозаїчна модель біологічної мембрани (рис.3.4).

Відповідно до цієї моделі основу її будови складає подвійний шар ліпідів. Ліпіди біомембран представлені фосфоліпідами.

Ліпіди володіють властивістю амфифільності (в перекладі з грецької означає «люблячий обох»), мають у своєму складі полярну гідрофільну «головку» і неполярний гідрофобний «хвіст» (рис.3.5), які відносяться один до одного довжиною приблизно 1:4. Завдяки такій будові, у водному середовищі ліпіди прагнуть розташуватися таким чином, щоб неполярні хвости контактували один з одним, а полярні «головки» – з водою. Тому ліпіди в гідрофільному середовищі самочинно формують подвійний шар (бішар): усередині знаходяться гідрофобні участки, а зовні – гідрофільні. Така організація ліпідних молекул відповідає стану з найменшим значенням потенціалу Гіббса (ΔG).

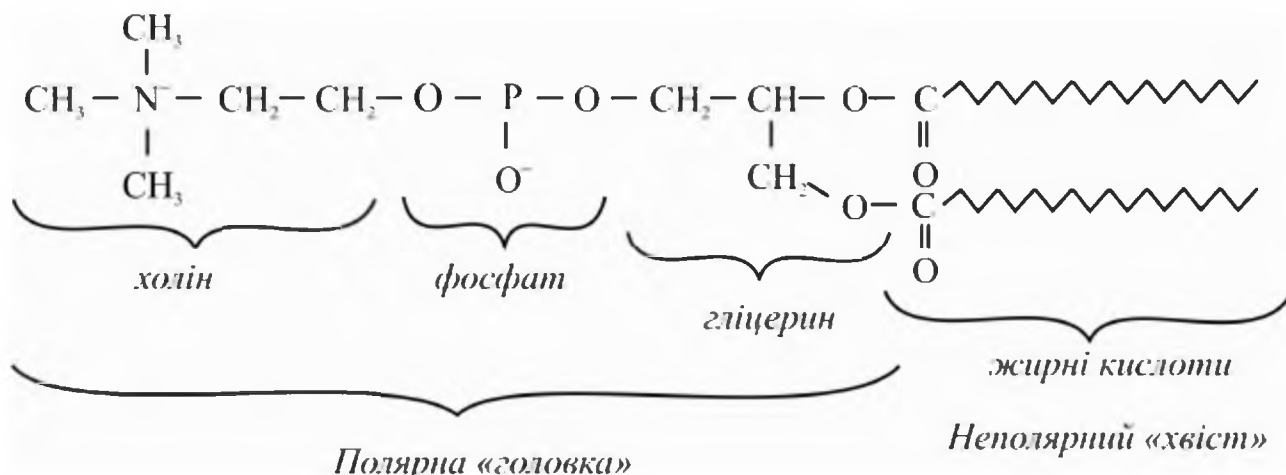


Рис.3.5. Лецитін (фосфатидилхолін)

Біліпідний шар, що утворився, не утворює кінців, а прагне замкнутися на себе.

Мембрани містять велике число різних білків. Їх кількість така велика, що поверхневий натяг мембрани ближче до величини поверхневого натягу на межі поділу «білок-вода» ($\delta = 10^{-4}$ Н/м), ніж «ліпіди-вода» ($\delta \approx 10^{-2}$ Н/м).

Концентрація мембранних білків залежить від виду клітини. Одні білки знаходяться на поверхні мембрани (периферичні білки), інші частково занурені у ліпідний шар або пронизують мембрану наскрізь (інтегральні білки).

Інтегральні білки і ліпіди мають властивість амфифільності, та частина білка, яка міститься в мембрані, складається із гідрофобних амінокислот, що скручені в α -спіраль, друга частина, яка виступає із мембрани, із гідрофільних амінокислот.

Інтегральні білки утримуються в мембрані в результаті гідрофобних взаємодій (рис.3.4).

Більшість інтегральних білків утворюють канали, через які можуть проникати водорозчинні молекули та іони. У цьому випадку внутрішня частина каналу містить гідрофільні радикали амінокислот.

Периферійні білки (рис.3.4) можуть знаходитись як на внутрішній, так і на зовнішній стороні мембрани, оскільки вони зв'язані електростатичними взаємодіями, тобто значно слабше чим інтегральні білки. Тому більшість периферійних білків легко видаляється з мембрани.

Товщина біологічних мембран складає 5-10 нм, однак, їх доля в сухій масі клітин перевищує 50%. Це пояснюється щільною упаковкою компонентів мембран, а також великою сумарною площиною цитоплазматичних і внутрішньоклітинних мембран.

Всі природні мембрани асиметричні, тобто однакові молекули ліпідів знаходяться на зовнішній і внутрішній поверхнях мембрани у різних концентраціях.

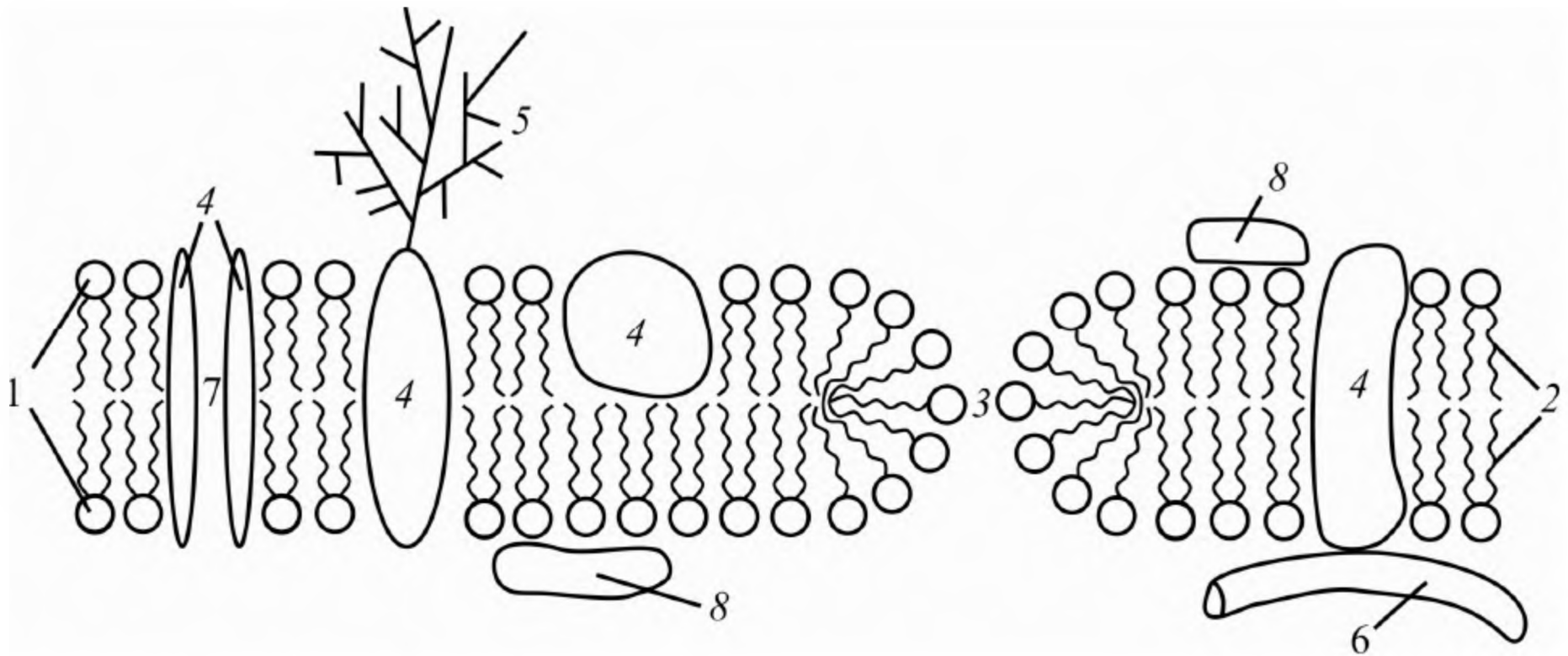


Рис.3.4. Схема будови біологічної мембрани:

1- гідрофільні «головки» ліпідів; 2 – гідрофобні «хвости» ліпідів; 3 – гідрофільна ліпідна пора; 4 – інтегральні білки; 5 – вуглеводна компонента гліколіпіда; 6 – мікротрубочка, що утримує білок; 7 – білковий канал; 8 – периферичні білки.

Мембранні ліпіди і білки мають велику рухомість, тобто здатні дифундувати внаслідок теплового руху. Якщо переміщення їх молекул протікає в межах одного мембранного шару, то такий процес називається латеральною дифузією, якщо ж їхні молекули переміщуються із одного шару в інший, то процес називається «фліп-флоп»-перехід.

Частота перескоків молекул внаслідок латеральної дифузії дорівнює

$$v = 2\sqrt{3} \frac{D}{A},$$

де D - коефіцієнт латеральної дифузії;

A – площа, яку займає одна молекула на поверхні мембрани.

Час осідлого життя молекули в одному положенні зворотно пропорційний частоті перескоків:

$$\tau = \frac{1}{v} = \frac{A}{2\sqrt{3}D}.$$

При цьому середнє квадратичне переміщення молекул за час t складає:

$$S_{\text{сер.кв.}} = 2\sqrt{Dt}.$$

Коефіцієнт дифузії ліпідів дуже великий. Наприклад, ліпіди мембран саркоплазматичного ретикулума при температурі 40 °С мають коефіцієнт дифузії, що дорівнює $1,2 \cdot 10^{-11}$ м²/с. Якщо $A = 7 \cdot 10^{-19}$ м², то ці ліпіди за одну секунду здійснюють $5,9 \cdot 10^7$ перескоків, тобто час осідлого життя ліпіда складає $1,7 \cdot 10^{-8}$ с. Для молекул яйцевого лецитину $S_{\text{сер.кв.}} = 5$ мкм, тобто за одну секунду кожна молекула ліпіда здатна оббігти навколо такої клітини, як *E.coli*. Ліпіди, які знаходяться близько молекул білків в межах двох-трьох діаметрів ліпідної молекули, дифундують з меншою швидкістю, ніж вільні ліпіди.

Молекули білків швидко переміщаються, хоча повільніше ніж ліпіди.

Рухливість багатьох мембранних білків різко обмежена мікротрубочками або мікрофіламентами, які утримують білки у визначеному місці на мембрані.

Крім поступального руху, мембранні молекули здійснюють і обертальний. Молекули фосфоліпідів повертаються на 1 радіан за 10^{-9} хв, родопсин – за 10^{-6} хв, цитохромоксидаза – за 10^{-4} хв.

Порівняно з латеральною дифузією «фліп-флоп» переходи відбуваються значно рідше. Середній час між переходами молекули фосфоліпід з однієї поверхні мембрани на іншу не перевищує однієї години. Молекули білків майже не зазнають таких переходів за рідким виключенням.

Великі відмінності між швидкостями латеральної дифузії і «фліп-флоп» переходів дуже важливі. Така велика швидкість латеральної дифузії забезпечує

високу швидкість хімічних реакцій, які відбуваються на мембранах, а мала швидкість «фліп-флоп» - переходів сприяє збереженню асиметрії мембран.

Іонний транспорт через канали

Транспорт іонів через ліпідний бішар за допомогою простої дифузії здійснюється дуже повільно. Згідно формули Борна, для проникнення одного молу іонів із розчину з діелектричною проникністю $\epsilon_B \approx 80$ в мембрану з діелектричною проникністю $\epsilon_M \approx 2$ необхідно подолати потенціальний бар'єр, який дорівнює:

$$\Delta W = \frac{(ze)^2 N_A}{8\pi\epsilon_0 r} \left(\frac{1}{\epsilon_M} - \frac{1}{\epsilon_B} \right),$$

де z – заряд іона в одиницях елементарного заряду;

N_A – число Авагардо;

ϵ_0 – електрична стала;

r – радіус іона.

Для одновалентних іонів K^+ і Na^+ ΔW складає від 250 до 350 кДж/моль. Коефіцієнт розподілення, тобто відношення числа іонів n_M , які знаходяться в мембрані, до числа іонів n_B , які знаходяться в рідкій фазі, розраховується за формулою Больцмана:

$$K = \frac{n_M}{n_B} = \exp\left(-\frac{\Delta W}{RT}\right),$$

де RT – енергія теплових коливань (R – газова стала, T – абсолютна температура).

При температурі 300 К коефіцієнт розподілення складає:

$$K = \exp\left(-\frac{350000}{8,31 \cdot 300}\right) = \exp(-140) \approx 10^{-60}.$$

Отже із кожних 10^{61} іонів, які знаходяться у водному розчині, тільки один знаходиться в ліпідній фазі мембрани. Тому ймовірність проходження іонів та інших гідрофільних речовин через мембрану внаслідок простої дифузії дуже мала.

Швидкість переносу іонів значно зростає, якщо в мембрані існують іонні канали. Найбільше поширені канали для іонів калію, натрію, кальцію.

Іонні мембранні канали утворені інтегральними білками. Такий канал може бути або відкритим, або закритим для транспорту іона.

Ці два стани реалізуються зміною конформації каналоутворюючих білків, що викликано зміною умов в клітині і позаклітинному середовищі, наприклад, зміною мембранного потенціалу.

Слід відзначити, що канал неоднорідний за будовою.

Уздовж його внутрішньої порожнини розташовуються різні хімічні групи, спорідненість іонів до яких неоднакова. Канал може мати один або декілька іонних центрів зв'язування, які представляють заряджені групи зв'язавшись з якими, іон попадає у потенціальну яму. Для того, щоб потрапити в іншу потенціальну яму, іону необхідно, подолати деякий потенціальний бар'єр. Таких бар'єрів уздовж довжини каналу може бути декілька, при цьому висота їх неоднакова і може змінюватися у залежності від наявності або відсутності іонів у каналі.

Більшість мембранних каналів настільки вузькі, що іони не можуть рухатися в них в різних напрямках незалежно один від одного. Якщо у якій-небудь потенціальній ямі уже знаходиться іон, то інший іон не може до неї потрапити. Це відноситься до калієвих каналів. Зустрічні потоки іонів натрію через натрієві канали є незалежними, але якщо через ці канали рухаються іони калію, то принцип незалежності уже не виконується.

Іонні канали мають властивість селективності, і мають різні величини провідності для різних іонів. Кожний канал транспортує переважно іони одного виду, наприклад, натрієвий канал – іони натрію, калієвий канал – іони калію. Через катіонні канали не здатні проходити аніони і навпаки. Отже для іонів того ж знаку, що і основний іон, канал уже не має такої абсолютної селективності.

Провідність каналу для інших іонів свого знаку нижче, ніж для власного, але відрізняється від нуля. Наприклад, через специфічні натрієві канали здатні транспортуватись також і іони калію, однак в 20 раз повільніше, ніж іони натрію.

Згідно сучасним уявленням, селективність каналу перш за все визначається радіусом транспортуемого іону. Іони, радіус яких перевищує радіус каналу, не здатні проходити через канал внаслідок стеричного фактору.

Іони, радіус яких порівняно з радіусом каналу менший, повинні легко його пересікати. Однак, проникність для них зменшується із зменшенням радіуса іона. Цей ефект пояснюється тим, що іони у водному розчині завжди знаходяться в гідратованому стані. Перенос же через канал вимагає скиду, якщо не усіх, то декількох гідратних оболонок, що супроводжується значними витратами енергії. Наприклад, енергія повної дегідратації іонів K^+ і Na^+ складає від 280 до 400 кДж/моль, тоді як енергія теплових коливань при фізіологічних температурах приблизно дорівнює 2,5 кДж/моль. Для транспорту іону через канал потрібно менше витратити енергії порівняно з енергією повної дегідратації, оскільки скинена гідратна оболонка іона замінюється іншими полярними сполуками, у ролі яких є фіксовані дипольні групи каналу.

Селективність каналів визначається не лише залежністю провідності каналу від радіуса транспортуемого іону і хімічною будовою іона, як у випадку органічних катіонів. Наприклад, через натрієві канали переносяться іони гідроксиламонію (H_3N^+-OH) і не переносяться іони метиламонію (H_3N^+-

CH_3), отже їх радіуси майже однакові і приблизно дорівнюють радіусу каналу. Це пояснюється тим, що гідроксильна група гідроксиламонію здатна утворювати водородні зв'язки з атомами кисню, що вимощують внутрішній діаметр каналу, а метильна група метиламонію з ними не взаємодіє.

Канали можуть блокуватися деякими сполуками, які зв'язуються із селективними фільтрами або при вході у канал, які його закупорюють. Оскільки молекула-блокатор повинна стерично відповідати участку блокованого каналу, то для каналів визначеного виду існують специфічні блокатори. Наприклад, молекули тетрадотоксину блокують натрієві канали, а молекули тетраетиламонію – калієві.

Пасивний транспорт речовин за допомогою переносників.

Для деяких речовин існують специфічні переносники білкової природи, які зменшують енергію активації, що необхідна для переносу речовини через ліпідний бішар. Переносники здійснюють полегшену дифузію. Загальний потік речовин через мембрану за участю переносників складається із двох компонентів: потоку, який визивається простою дифузією (рис.3.6, крива 1), і потоку, який визивається полегшеною дифузією (рис.3.6, крива 2). Тому в даному випадку речовини транспортуються з більшою швидкістю, ніж у випадку простої дифузії.

Переносники, які здійснюють пасивний транспорт, переносять речовини із області з більшою концентрацією в область з меншою концентрацією і при цьому не вимагають затрат енергії.

Переносники забезпечують транспорт речовин, які самі проникають через мембрану дуже повільно із-за високої гідрофільності. Існують переносники для деяких амінокислот, вуглеводів, пурінових і піримідинових основ і нуклеозидів.

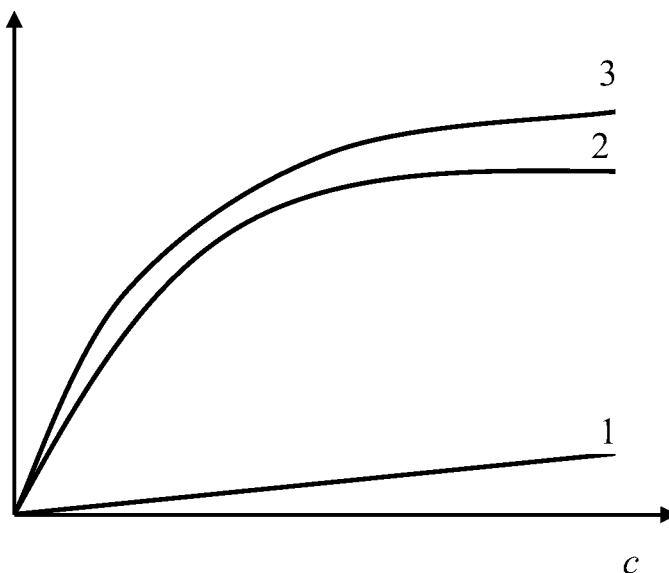


Рис.3.6. Залежність потоку J речовини

Відмінні ознаки транспорту речовин за допомогою переносників:

1. Переносники характеризуються високою хімічною специфічністю, тобто здатні переносити тільки визначені субстрати (переносники навіть здатні розрізняти L і D ізомери однієї і тієї ж речовини).

2. Швидкість переносу зростає пропорційно концентрації переносної речовини лише до деякої визначеної величини, тобто спостерігається ефект насичення переносника (рис.3.6, крива 2). Слід мати на увазі, що у реальній клітині при повному насиченні переносника і збільшенні різниці потенціалів швидкість переносу буде зростати за рахунок простої дифузії (рис.3.6, крива 3).

3. Переносники здатні конкурентно інгібуватися речовинами, структура яких схожа зі структурою субстрату.

Потік речовини, транспортованої переносниками із області, де її концентрація дорівнює c , в область, де концентрація цієї ж речовини дорівнює нулю описується формулою:

$$J = J_{max} \frac{c}{K_{tr} + c},$$

де J_{max} – максимальний потік (потік у випадку насичення переносників);

K_{tr} – константа, аналогічна константі Міхаеліса-Ментена і кількісно дорівнює концентрації речовини, при якій $J = J_{max}/2$.

Транспорт речовин крізь мембрани є життєво важливим з багатьох причин. Він повинен забезпечити підтримку в клітинці відповідного рН і іонної концентрації, необхідних для ефективної роботи кліткових ферментів; він постачає поживні речовини, які стають джерелом енергії, і також «сировиною» для утворення кліткових компонентів; від нього залежать виведення із клітинки токсичних відходів, секреція різних корисних речовин, утворення іонних градієнтів, необхідних для нервової і м'язової активності.

Аналогічно транспорту речовин через плазматичну мембрану працює і транспорт через мембрани кліткових органел. Існує чотири основних механізми для надходження речовин в клітину або виходу їх із клітини назовні: полегшена дифузія, осмос, активний транспорт і екзо- або ендоцитоз.

Два перших процеси мають пасивний характер, два останні – активні процеси, пов'язані з поживанням енергії.

Надходження поживних речовин *шляхом полегшеної дифузії* відбувається за рахунок різниці осмотичного тиску у зовнішньому середовищі та в клітині.

Осмотичний тиск – це тиск розчинених у воді речовин на стінки замкненої судини (або клітини). У відносно слабких розчинах осмотичний тиск змінюється пропорційно концентрації розчинених речовин. Чим більша різниця осмотичних тисків з обох сторін оболонки клітини, тим інтенсивніше дифундує через оболонку вода у розчин з більшим осмотичним тиском. Разом з водою через оболонку дифундують розчинені у воді речовини. Кожна речовина дифундує у відповідності з її власним парціальним осмотичним тиском, тобто у розчин з меншою її концентрацією. Це визначає вибіркового перехід

різноманітних харчових речовин з середовища до клітини та рух продуктів метаболізму у зворотному напрямку.

Поживні речовини, що потрапили до клітини, залучаються до конструктивного та енергетичного обміну. У результаті концентрація їх у клітині зменшується порівняно з зовнішнім середовищем, і тому знову відбувається надходження цих речовин з зовнішнього середовища в клітину. Так процес відбувається аж до повного вичерпання поживних речовин. Продукти обміну, які для мікроорганізмів є шлаками, постійно виводяться із клітини, оскільки у середовищі їхня концентрація менша.

Оболонка клітини пропускає справжні розчини і затримує тільки макромолекули, виконує роль осмотичного бар'єру. Отже цитоплазматична мембрана виконує роль осмотичного бар'єру, який, завдяки властивості напівпроникнення, регулює надходження до клітини та вихід з неї розчинених речовин.

Речовини, нерозчинні у воді, колоїдні розчини (білки, крохмаль), не можуть бути використані клітиною у вигляді цілої макромолекули. Вони проходять через цитоплазматичну мембрану тільки після розщеплення на більш прості молекули поза клітиною. Це відбувається в поживному середовищі під впливом екзоферментів мікроорганізмів. Наприклад, здатність розкладати білки до кінцевих продуктів мають тільки мікроби, які виробляють протеолітичні екзоферменти.

Таким чином, осмотичне проникнення поживних речовин до клітини зумовлене різницею осмотичних тисків між середовищем і клітиною. Це перенесення, яке відбувається до вирівнювання концентрації речовин у клітині із зовнішнім середовищем, не потребує витрат енергії клітини.

Активний транспорт.

Активний транспорт – це перенесення молекул або іонів крізь мембрану проти градієнта концентрації, який пов'язаний з поживанням енергії. Енергія потрібна, тому що речовина повинна рухатися всупереч природному намаганням дифундувати в протилежному напрямку. Рух – це однонаправлений процес, дифузія – оборотний.

Для іонів напрям дифузії визначається двома факторами: концентрацією і електричним зарядом.

При цьому іони дифундують із області з високою концентрацією в область з низькою концентрацією. Крім того, вони притягуються областю з протилежним зарядом і відштовхуються областю з однойменним зарядом.

Отже, іони рухаються по електрохімічним градієнтам, в яких об'єднуються ефект електричного і концентраційного градієнтів. Отже, активний транспорт іонів – це їх переміщення проти електрохімічного градієнта.

Установлено, що в клітинках між двома боками плазматичної мембрани підтримується різниця потенціалів і внутрішній вміст заряджений негативно відносно зовнішнього середовища. Через це катіони прямують до клітинки, тоді

як аніони клітинкою відштовхуються. Однак їх відносні концентрації усередині і за межами клітини залежать, в якому напрямку дійсно дифундують іони.

В рідинах, які містяться в клітині і поза нею, переважають іони натрію (Na^+), іони калію (K^+) та хлорид-іони (Cl^-).

На рис.3.7 показані концентрації цих іонів в цитоплазмі і клітинному соку рослинної клітинки і в цитоплазмі тваринної клітини, іонний склад в клітинах цих обох типів відрізняється від складу зовнішнього розчину, який оточує їх. У них концентрація калію усередині значно вища, ніж ззовні. Отже концентрація калію усередині клітини вища концентрації натрію.

Якщо за допомогою ціаніду пригнітити дихання еритроцитів, то їх іонний склад почне поступово змінюватися і врешті-решт зрівняється з іонним складом плазми крові. Це свідчить, що іони можуть пасивно дифундувати крізь плазматичну мембрану еритроцитів за рахунок енергії, яка поставляється процесом дихання, завдяки якому і підтримуються концентрації показані на рис.3.7.

В клітинах двох типів, зображених на рис.3.3 натрій активно викачується із клітини, а калій активно накачується в неї. Розрахунки показують, що дійсний потік хлорид-іонів з плазми в еритроцити відсутній, не зважаючи на їх більшу концентрацію в плазмі крові. Пояснюється це тим, що вміст клітинки відштовхує хлорид-іони, оскільки він заряджений негативно відносно навколишнього середовища; тобто рух цих іонів визначається електрохімічним градієнтом.

Цифри, наведені на рис.3.7 для клітини *Nitella*, дозволяють зробити аналогічний висновок, що переміщення іонів визначається не лише їх концентрацією. Різниця потенціалів між двома сторонами плазматичної мембрани складає для еритроцита – 10 мВ, а для клітини *Nitella* вона дорівнює – 140 мВ.

Установлено, що у більшості клітин в плазматичній мембрані діє натрієвий насос, який активно викачує натрій із клітини. Натрієвий насос пов'язаний з калієвим насосом, який активно поглинає іони калію із довкілля і переносить в клітину. Такий об'єднаний насос називають натрій-калієвим насосом (Na^+ , K^+ – насос).

Na^+ , K^+ – насос існує в більшості клітин і здійснює в них ряд важливих функцій, він уявляє собою приклад механізму активного транспорту.

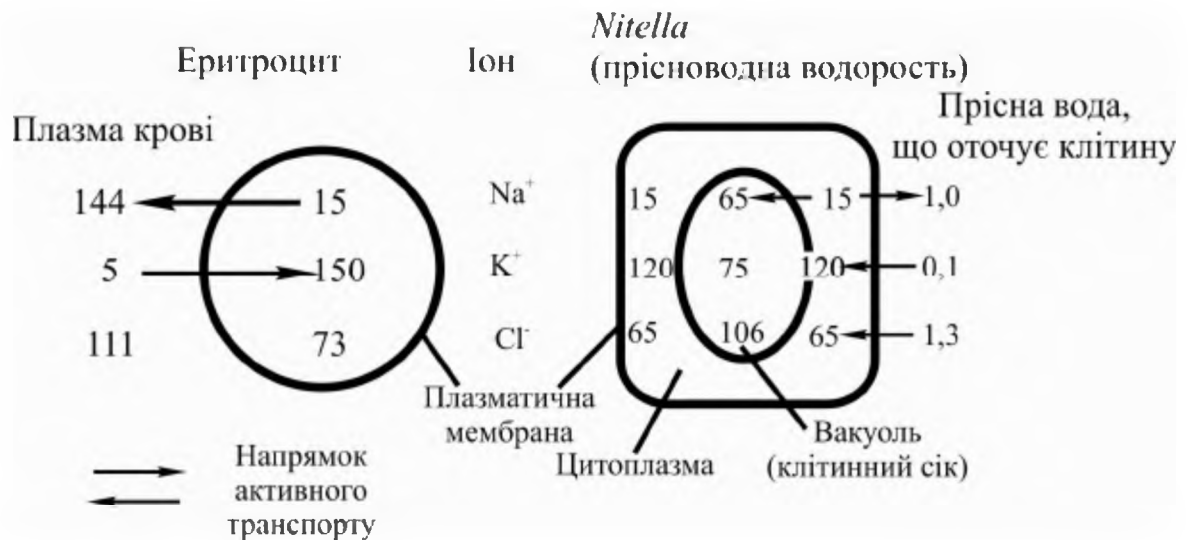


Рис.3.7. Концентрація (в мілімолях) Na^+ , K^+ і Cl^- в клітинах двох типів і в навколишньому середовищі

Досліджено, що Na^+ , K^+ – насос «приводить в рух» АТФ, його фізіологічна значимість визначається тим, що більш третини АТФ, яка споживається клітиною у стані спокою, витрачається на перекачування іонів натрію і калію. Це необхідно для збереження клітинного об'єму (осморегуляції), для підтримки електричної активності в нервових і м'язових, для активного транспорту деяких інших речовин, наприклад сахарів і амінокислот. Великі концентрації калію потрібні також для білкового синтезу, гліколізу, фотосинтезу і для деяких інших життєво важливих процесів.

Насос – це особливий білок, локалізований в мембрані таким чином, що він пронизує всю її товщу. З внутрішнього боку мембрани до нього надходять натрій АТФ, а ззовні – калій. Проникнення натрію і калію крізь мембрану відбувається в результаті конформаційних змін, які зазнає цей білок. Білок діє і як АТФаза (фермент), каталізує гідроліз АТФ з вивільненням енергії, яка і приводить насос в дію.

3.3. Ферменти. Фізико-хімічні властивості ферментів і механізм їхньої взаємодії

Біохімічні реакції, які складають основу обміну речовин і енергії, протікають в присутності біологічних каталізаторів – ферментів (ензимів).

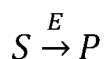
Розділ біохімії, що вивчає структуру, властивості та механізм дії ферментів, називається ензимологією. В ензимології прийняті позначення:

E – фермент, ензим (enzyme, англ.) – біологічний каталізатор;

S – субстрат (substrate, англ.) – хімічна речовина, сполука, перетворення якої каталізує фермент;

P – продукт (product, англ.) – сполука, що утворилася в результаті ферментативної реакції.

Дія ферменту (E) полягає в перетворенні субстрату (S) продукт (P):



Ферменти – специфічні білки, в основі каталітичної дії яких лежать загальні фізико-хімічні та термодинамічні закономірності хімічної кінетики та каталізу.

Ферменти (ензими) (лат. fermentum - закваска, бродіння) - біологічні каталізатори білкової природи, які синтезуються у клітинах живих організмів, прискорюють і координують біохімічні реакції, що становлять обмін речовин (метаболізм). Жодна реакція в клітині не може відбуватися з нормальною швидкістю без участі ферментів, як біологічних каталізаторів. Залежно від типу хімічної реакції, яку каталізують ферменти, розрізняють шість класів ферментів: 1-й клас - оксидоредуктази (каталізують окисно-відновні реакції); 2-й клас - трансферази (каталізують реакції перенесення окремих атомів та груп від одних субстратів до інших); 3-й клас — гідролази (каталізують реакції гідролітичного розщеплення субстратів); 4-й клас — ліази (каталізують процеси відщеплення певних груп не гідролітичним шляхом з утворенням подвійного зв'язку або приєднання будь-яких груп за місцем подвійного зв'язку); 5-й клас - ізомерази (прискорюють процеси ізомеризації органічних сполук); 6-й клас - лігази (синтетази), каталізують реакції синтезу різних речовин, використовуючи енергію АТФ та інших макроергічних сполук. Згідно з «Номенклатурою ферментів», яку у 1972 р. видала Міжнародна біохімічна спілка, використовують дві назви ферментів - систематичну, яка вказує на дію фермента, ідентифікуючи його, та робочу (тривіальну), якою користуються у щоденній практиці і яка повинна бути короткою. Усі ферменти також мають шифр, де чотири відокремлені крапками цифри мають конкретний зміст:

1-й знак	2-й знак	3-й знак	4-й знак
Клас ферменту (від 1 до 6)	Функціональна група	Кофермент	Субстрат

Фізико-хімічні властивості ферментів

Біологічні каталізатори, тобто ферменти характеризуються наступними основними властивостями:

- усі ферменти представляють собою глобулярні білки;
- вони прискорюють лише енергетично можливі реакції;
- ферменти мають високою специфічністю дії, тобто вибірковістю дії на субстрати, перетворення яких вони каталізують;
- ефективність ферментів вища, ніж у небілкових каталізаторів, швидкість протікання реакції за участю ферменту на декілька порядків вища, ніж за участю інших каталізаторів;
- вони не входять до складу кінцевих продуктів реакції і виходять із реакції в первісному вигляді;

– активність ферментів змінюється в залежності від рН, температури, тиску, концентрації субстрату і ферменту;

– однією із найважливіших властивостей ферментів як біокаталізаторів є їхня урегульованість дії.

Через регуляцію ферментного апарату здійснюється координованість усіх метаболічних процесів у часі і просторі, спрямованих на відтворення живої матерії, підтримку сталості внутрішньоклітинного середовища, на пристосування до зміни умов.

Ферменти збільшують швидкості біохімічних реакцій, які вони каналізують, у 10^8 - 10^{20} разів; при відсутності ферменту будь-яка метаболічна реакція практично не відбувається. Відомо, що константа швидкості хімічної реакції залежить від енергії активації та температури, що виражається рівнянням Арреніуса в експоненціальній формі:

$$K = Ae^{-\Delta E/RT}$$

де K - константа швидкості хімічної реакції;

A – константа, яка визначає частоту зіткнення реагуючих молекул;

$-\Delta E_{\text{акт}}$ - енергія активації;

T – температура;

R – універсальна газова стала;

e – основа натурального логарифма, $e = 2,71828$.

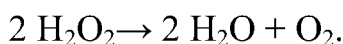
Експоненційна функція записується так:

$$K = \exp -\Delta E_{\text{акт}}/RT \quad .$$

Під енергією активації (ΔE в рівнянні Арреніуса) в хімічній термодинаміці розуміють додаткову енергію, необхідну для переходу молекул (субстратів S) у *перехідний (активований) стан* (S^*), який передуює їх перетворенню в продукти реакції. Згідно з цим, експоненційний член рівняння $e^{-\Delta E/RT}$ (фактор Больцмана) – частка молекул у системі, які мають енергію, достатню для хімічного перетворення.

Оскільки всі метаболічні процеси в живих організмах перебігають в ізотермічних умовах, каталітична дія ферментів реалізується за рахунок зниження енергії активації (ΔE) біохімічної реакції, що збільшує фактор Больцмана і, відповідно, константу швидкості реакції на декілька порядків (рис.3.8).

Порівняно з хімічними каталізаторами, ферменти сильніше зменшують ΔE реакцій, які вони каталізують. Так, наприклад, у реакції розщеплення перекису водню:



Енергія активації може зменшуватися під дією неорганічних каталізаторів (йодиду, платини) або сильніше під впливом специфічного ферменту *каталази*, що призводить до відповідних величин збільшення швидкості реакції (табл.3.1).

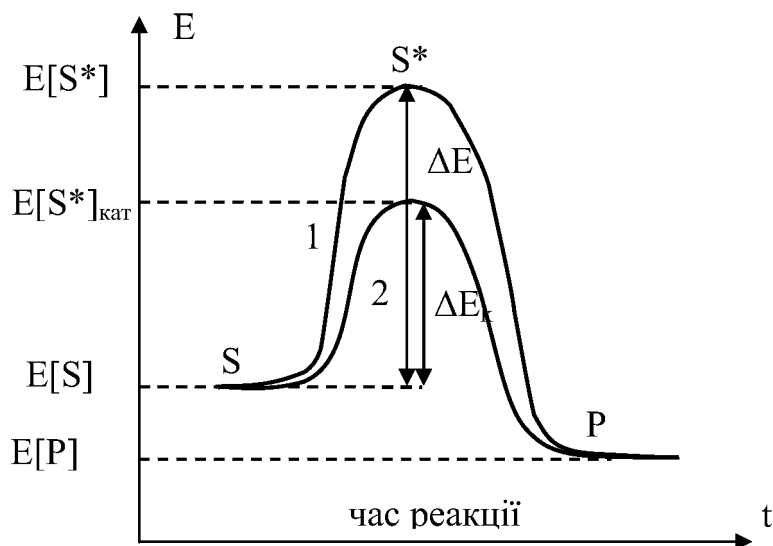


Рис.3.8. Енергетичні діаграми хімічної реакції ($S \rightarrow P$) без каталізатора (1) та в присутності каталізатора – ферменту (2). ΔE та ΔE_k – енергія активації реакції без та в присутності каталізатора, відповідно.

Таблиця 3.1. Неферментативний та ферментативний каталіз розщеплення перекису водню ($t = 25^\circ\text{C}$: константу швидкості реакції без участі каталізатора прийнято за одиницю) (за S.Rapoport, 1964)

Умови реакції	Енергія активації (ккал/моль)	Кількість активованих молекул	Збільшення константи швидкості реакції
Без каталізатора	18	$1,3 \times 10^{-13}$	1
+ Йодид	14	1×10^{-10}	$\sim 8 \times 10^2$
+ Платина	12	3×10^{-9}	$\sim 2 \times 10^4$
+ Каталаза	2	4×10^{-2}	$\sim 3 \times 10^{11}$

Активні центри ферментів

Зниження енергії активації біохімічної реакції і, як результат, високої каталітичної ефективності ферментів досягають за рахунок взаємодії субстратів із певними ділянками ферментної молекули (*активними*, або *каталітичними центрами*), що супроводжується зближенням та орієнтацією відповідних хімічних груп субстратів і створює стеричні умови, необхідні для реалізації специфічних актів каталізу.

Активний центр – ділянка молекули ферментного білка, що взаємодіє із субстратом під час ферментативної реакції і необхідна для перетворення субстрату в каталітичному процесі.

Він формується з певних ділянок поліпептидного ланцюга, що просторово зближені за рахунок унікальної тривимірної конформації ферментного білка.

До складу активних центрів різних ферментів входять радикали певних амінокислотних залишків, головним чином ОН-групи серину, треоніну та тирозину, імідазольне кільце гістидину, SH-група цистеїну, COOH-групи дикарбонових амінокислот, NH_3^+ -групи аргініну та лізину (рис.3.9). В утворенні активних центрів беруть участь також кофактори даного ферменту: простетичні групи, іони металів.

Активний центр локалізується в заглибленні – просторовій ніші, що утворюється в макромолекулі білка-ферменту. Структура активного центру є комплементарною до просторової будови субстрату, що стало основою концепції Е.Фішера про відповідність ферменту і субстрату як «ключа і замка». Пізніше теорії ферментативного каталізу (Д.Кошленд) враховують можливі взаємні зміни просторових конформацій ферменту і субстрату під час їх взаємодії («теорія індукованої відповідності ферменту і субстрату»).

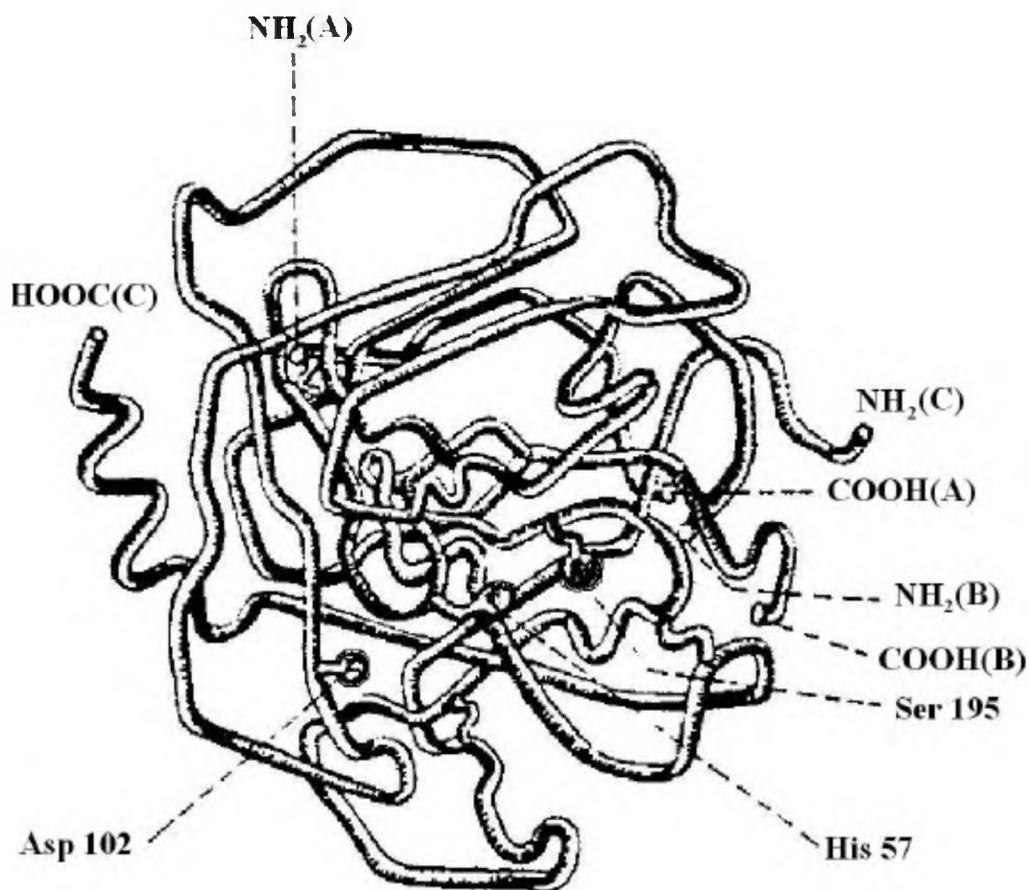


Рис.3.9. Тривимірна будова ферменту хімотрипсину. Активний центр ферменту сформований амінокислотними залишками Ser-195, His-57 та Asp-102

У структурі активного центру розрізняють:

- ділянку, що зв'язує субстрат, або контактну ("якірну") ділянку; вона містить радикали полярних (зв'язують молекули субстрату за рахунок водневих зв'язків або дипольних взаємодій) або неполярних амінокислотних залишків (створюють в активному центрі гідрофобні зони, що взаємодіють із відповідними радикалами в субстраті);

- каталітично активну ділянку, до складу якої входять хімічні групи, що беруть безпосередню участь у перетворенні субстрату (групи $-\text{OH}$, $-\text{SH}$, $\equiv\text{N}$, $-\text{NH}_3^+$, $-\text{COO}^-$).

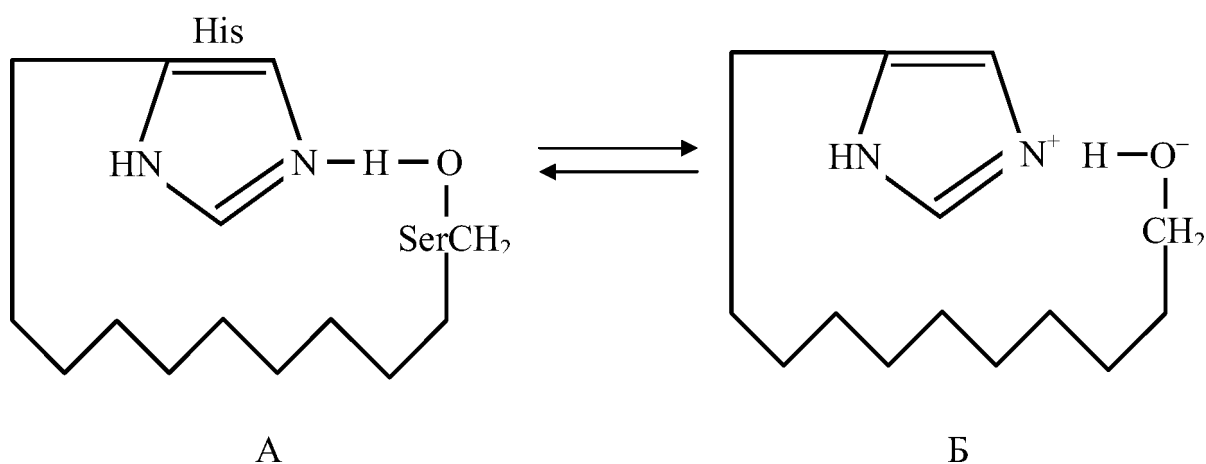
Механізми перетворення субстрату при каталітичній дії ферменту

У механізмі ферментативного перетворення субстрату беруть участь такі молекулярні ефекти:

1. *Ефекти зближення та орієнтації.* Адсорбція та фізико-хімічна взаємодія субстратів з активними центрами ферментів супроводжуються локальним зростанням концентрації реагуючих молекул, їх зближенням та найбільш ефективною орієнтацією одна до одної та до каталітично активних груп активного центру.

2. *Ефекти кислотно-основного каталізу.* Певні функціональні групи радикалів амінокислот, що входять до структури активних центрів, мають властивості кислот або основ Бренстеда, тобто донорів або акцепторів протонів (амінні, карбоксильні, сульфгідрильні, імідазольні групи).

Прикладом кислотно-основного каталізатора є імідазольна група гістидину, яка у взаємодії з гідроксильною групою серину створює кислотно-основну пару Бренстеда. Функціональні групи $\equiv\text{N}$ та $-\text{OH}$, що відіграють каталітичну роль, розміщені в різних ділянках пептидного ланцюга та зближуються за рахунок унікальної третинної структури ферментного білка.

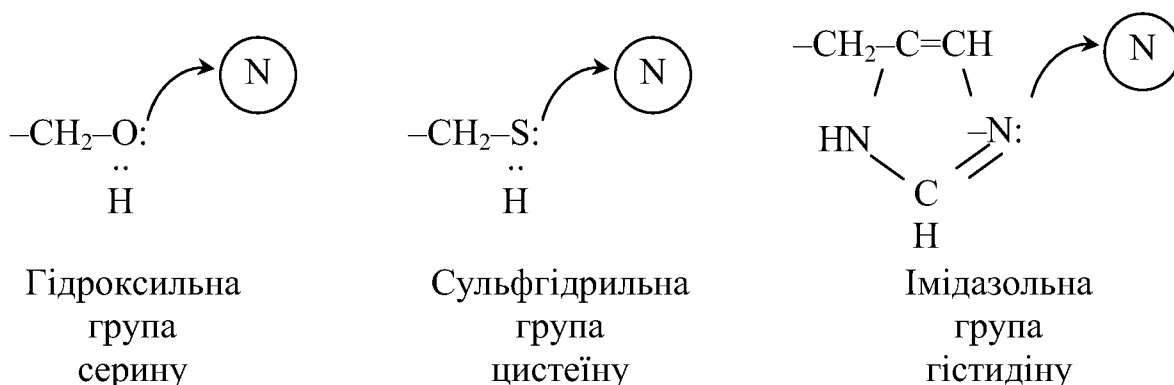


Імідазол-кислота (А) та імідазол-луг (Б) у структурі активного центру білка-ферменту

3. *Ефекти нуклеофільного та електрофільного каталізу.* Функціональні групи амінокислотних залишків, що входять до складу активних центрів, можуть виступати в каталітичному акті перетворення субстратів як донори

електронів (нуклеофіли) або акцептори електронів (електрофіли), тобто як основи або кислоти Льюїса, відповідно.

Нуклеофільні групи у складі активних центрів ферментів:



Електрофільні групи в складі активних центрів ферментів:

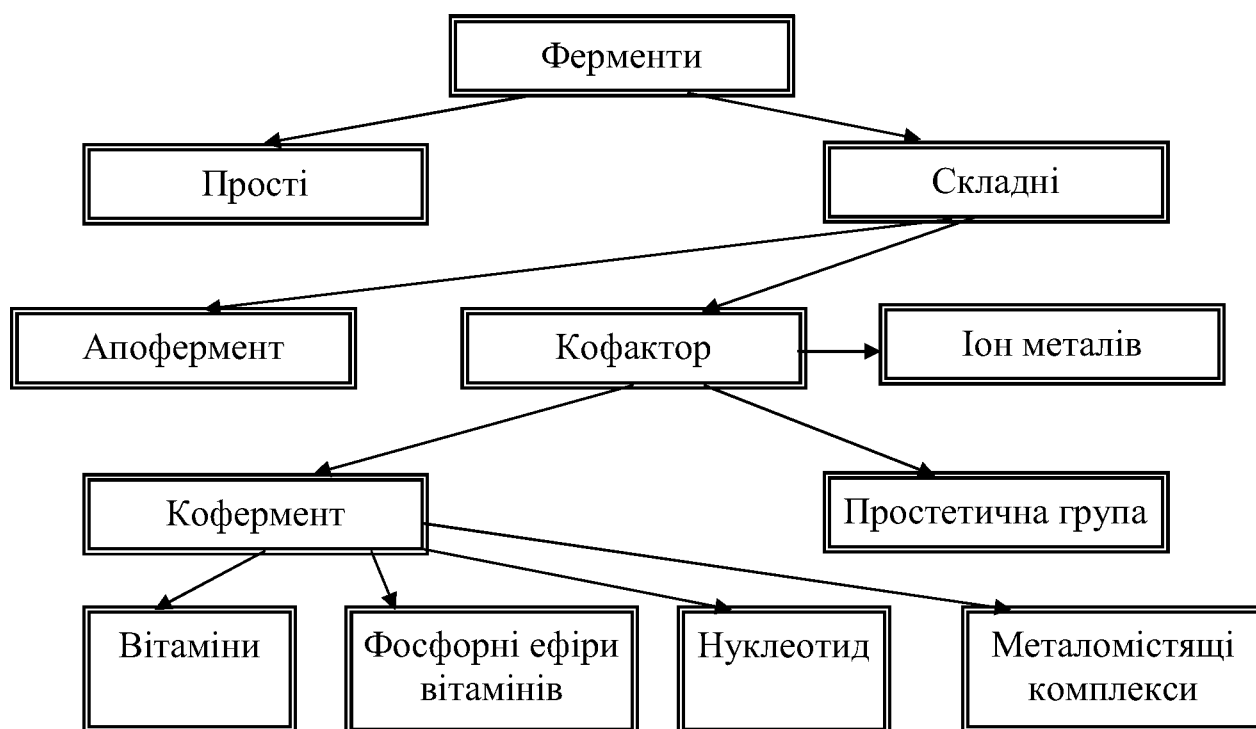
- NH_3^+ – групи аргініну та лізину;
- іони металів-кофакторів (Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+}).

Білкову частину ферменту називають апоферментом, небілкову – кофактором, а усю молекулу в цілому – хелоферментом. Залежно від хімічного складу ферменти поділяти на прості і складні. Прості ферменти – прості білки, побудовані лише із залишків амінокислот. Складні ферменти – білки, молекула яких має небілкову частину, зокрема кофактор.

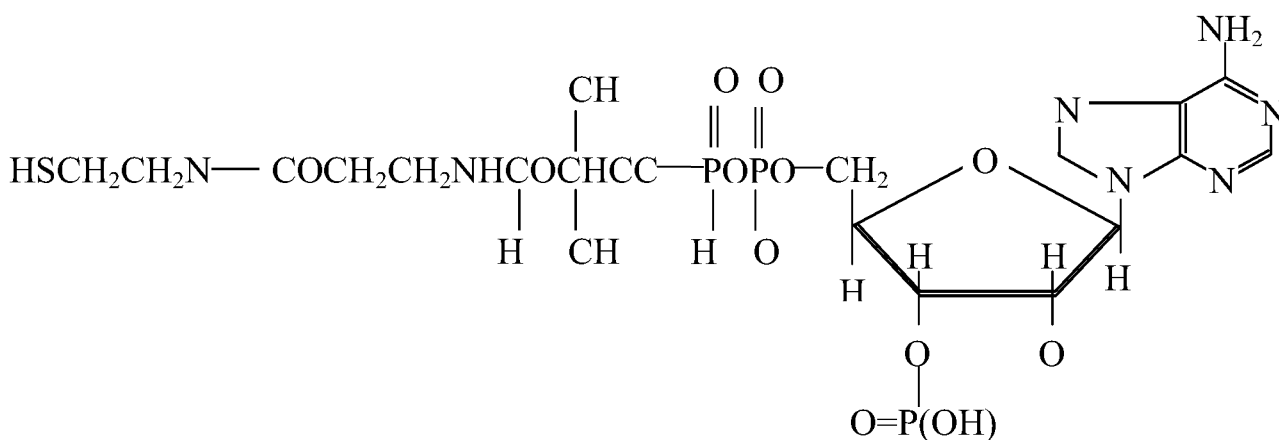
Кофактори і коферменти.

Кофактор — небілкова частина молекул складних ферментів, яка входить до складу їх активних центрів і забезпечує катаболічну активність. Роль кофакторів можуть відігравати сполуки різної хімічної природи, а також іони металів (Ca^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} та ін.). Залежно від виду зв'язку між кофакторами і апоферментом кофактори поділяють на коферменти, простетичні групи та активатори. Коли кофермент з'єднується з апоферментом лише на період ферментативного процесу за участю нековалентних зв'язків (водневих, гідрофобних), він називається коферментом. У тому разі, коли зв'язок між кофактором і апоферментом міцний (ковалентний), кофактор називається простетичною групою. Функцію активаторів переважно виконують іони металів. Між коферментом і апоферментом у процесі ферментативної реакції існує тісна взаємодія.

Коферменти виконують роль переносників різних функціональних груп атомів, електронів і протонів. До них відносяться нікотинамідні коферменти (НАД^+ і НАДФ^+) і кофермент А (коензим А, КоА, кофермент ацилування, Q, КоQ).



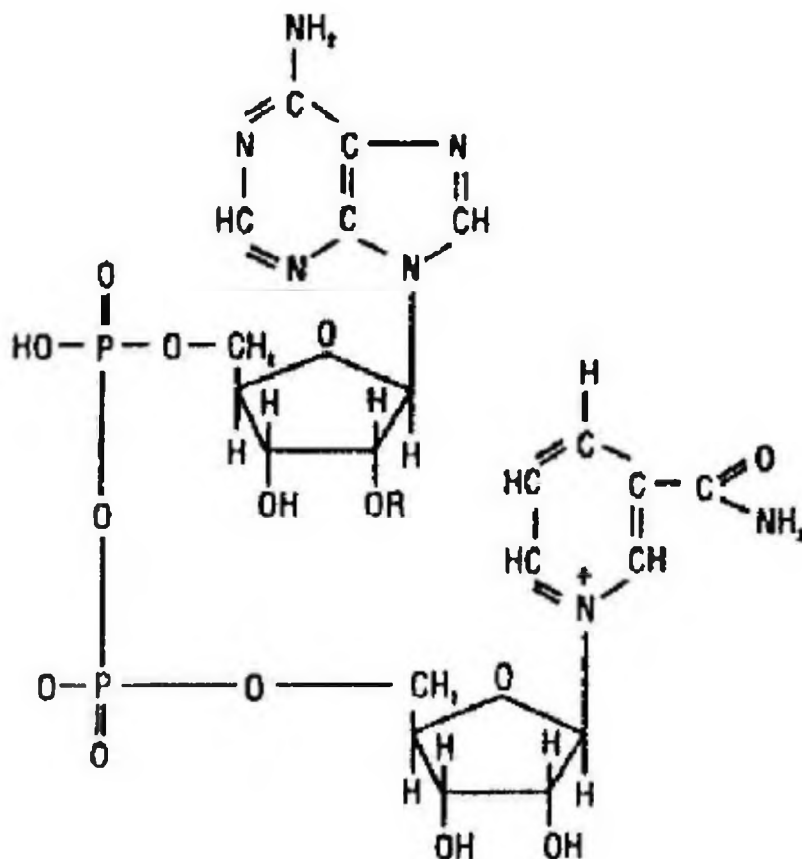
Кофермент А (коензим А, КоА, кофермент ацилювання) - один із найважливіших коферментів.



У живих клітинах бере участь у реакціях окиснення, синтезу жирних кислот, ліпідів та ін. Кофермент А бере участь у реакціях переносу ацильних груп. Молекула коферменту А складається із залишку аденілової кислоти, зв'язаної пірофосфатною групою із залишком аденілової кислоти, зв'язаної пірофосфатною групою із залишком пантотенової кислоти, яка в свою чергу з'єднана пептидним зв'язком із залишком β- меркаптоетаноламіну. З коферментом А пов'язане велике коло біохімічних реакцій, що лежать в основі окиснення і синтезу жирних кислот, біосинтезу ліпідів, окисних перетворень продуктів розпаду вуглеводів і т.д. У всіх випадках кофермент А діє як проміжна сполука, що зв'язує (акцептує) і переносить кислотні залишки на інші

речовини. При цьому кислотні залишки або піддаються у складі сполуки з коферменту А тим чи іншими перетвореннями, або передаються без змін на метаболіти. Активною формою органічних кислот є ацильні залишки, приєднані до сульфгідрильної (SH) групи коферменту А макроергічним ацилтіоефірним зв'язком. Велика заслуга в дослідженні хімічної структури і біологічної ролі коферменту А належить Ф. Ліпману і Ф. Лінену, що виділили кофермент А з печінки голуба (1947 р.). Повний синтез коферменту А здійснив Х.Корана (1961р.).

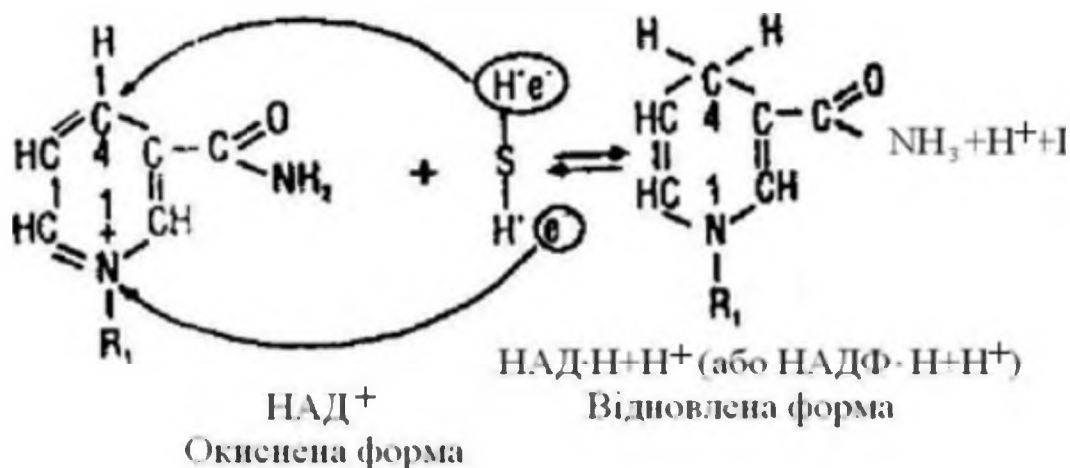
Нікотинамідні коферменти - похідні вітаміну РР (нікотинамід). Нікотинамідаденіндинуклеотид (НАД⁺) та нікотинамідаденіндинуклеотид-фосфат (НАДФ⁺) входять до складу ферментів дегідрогеназ, які відносяться до класу оксидоредуктаз. За хімічною природою ці коферменти є динуклеотидами, в яких є мононуклеотиди аміду нікотинової кислоти та аденіну, сполучені за допомогою кисневого містка між залишками фосфату (НАД⁺). НАДФ⁺ крім того, містить ще один залишок фосфату біля С₂-атома рибози аденозинмонофосфату:



де R – Н(НАД) або фосфат (НАДФ).

Нікотинамідні коферменти виконують роль проміжних акцепторів протонів електронів від субстратів, що окислюються, на різні акцептори в системі дихального ланцюга, забезпечують поетапне окислення численних метаболітів обміну білків, ліпідів, вуглеводів. Механізм взаємодії

нікотинамідних коферментів під час біологічного окиснення полягає у їх здатності до оборотного окиснення - відновлення.

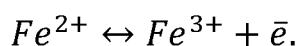
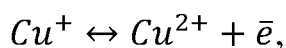


Здатність НАД⁺ і НАДФ⁺ виконувати функцію проміжного переносника водню пов'язана з наявністю в їх структурі аміду нікотинової кислоти. Один з атомів водню (Н⁺ і е⁻), відщеплених від субстрату, приєднується до вуглецю нікотинамідного кільця в положенні 4. Електрон другого атома водню (Н⁺, е⁻) приєднується на зовнішній енергетичний рівень електропозитивного атома азоту в положенні 1, нейтралізуючи його позитивний заряд, а протон (Н⁺) переходить у середовище, підкислюючи його. У процесі приєднання електронів і протонів змінюється структура піридинового гетероциклу. Кільце нікотинамиду, яке в окисненій формі має три подвійні зв'язки, відновлюється і має два подвійні зв'язки. Особливістю НАД-залежних дегідрогеназ є те, що вони забезпечують перебіг процесів, спряжених з виділенням та акумулюванням енергії в макроергічних зв'язках АТФ. Крім того, НАДФ·Н+Н⁺ відіграє важливу роль донора протонів водню у процесах синтезу багатьох біополімерів клітини.

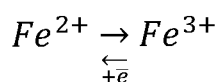
Цитохроми (грец. Kητος - клітина + chroma - колір, забарвлення) - складні залізовмісні білки, які у вигляді простетичної групи містять залізо-порфіринові комплекси. Вони знаходяться в усіх клітинах з аеробним енергозабезпеченням. Цитохроми локалізовані у внутрішніх мембранах мітохондрій, хлоропластів, ендоплазматичного ретикулу та ін. мембранних структурах клітини. Біологічна роль цитохромів полягає в їх участі у різних окисно-відновних процесах - тканинному диханні, біологічному окисненні, окисному фосфорилуванні, фотосинтезі, хемосинтезі та ін. Роль цитохромів в окисно-відновних процесах клітини була досліджена Д. Кейлінім у 1925 р.

Із різних видів організмів виділено близько 30 цитохромів. Залежно від будови простетичної групи їх поділяють на чотири групи - А, В, С і D. У кожній групі є цитохроми типу *a*, *b*, *c*, *d*, які відрізняються боковими ланцюгами порфіри нових структур. При позначенні цитохромів, в яких встановлена структура, біля букв ставлять цифрові індекси, які визначають належність

цитохромів до певної підгрупи. Різні типи цитохромів відрізняються природою гему та боковими ланцюгами, а й білковою частиною та способом приєднання гему до білка. Структурні особливості різних видів цитохромів визначають відмінності в їх окисно-відновних потенціалах. У ланцюгу передачі електронів беруть участь 5 типів цитохромів (a , a_3 , b , c , c_1). За винятком цитохрому c , всі цитохроми знаходяться у внутрішній мембрані мітохондрій у вигляді складних білкових комплексів. Цитохром c - периферичний водорозчинний мембранний білок з молярною масою 125 000 Дальтон, який має один поліпептидний ланцюг зі 100 амінокислотних залишків та молекулу гему, ковалентно пов'язану з поліпептидом. Цитохромоксидаза складається з двох цитохромів типу a/a_3 , кожен з яких має центр зв'язування з оксисеном. Цитохроми a і a_3 мають характерну залізопорфіринову простетичну групу, яку називають гемом А; вона відрізняється від гему цитохрома c і c_1 . Інша особливість комплексу a/a_3 - наявність у ньому іонів купруму, зв'язаних з білковою частиною. Перенос електронів комплексом a/a_3 включає реакції:



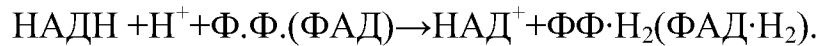
Комплекс цитохромів a/a_3 безпосередньо реагує з молекулярним оксисеном. У внутрішній мембрані мітохондрій цитохрома, як правило, утворюють ланцюги, по яких трансформуються електрони від донора до акцептора. Транспорт електронів супроводжується оборотною зміною ступеня окиснення заліза простетичної групи:



Порядок розміщення цитохромів b , c_1 , c , a/a_3 визначається редокс-потенціалами окисно-відновних систем так, що перенесення електронів здійснюється від меншого потенціалу до більшого. Завершує цитохромну систему цитохромоксидаза (a/a_3). До субстрату, який безпосередньо є донором електронів на цитохромоксидазу, належить аскорбінова кислота. Інгібіторами переносу електронів цитохромною системою є ціаніди, оксид вуглецю (СО) та сірководень, які інактивують цитохромоксидазу; рух електронів від a/a_3 до оксисену припиняється; синтез АТФ блокується, що призводить до загибелі організму. Ціаніди найбільш токсичні для людини, оскільки вони приєднуються до Fe^{3+} цитохромоксидази.

Флавінові ферменти (лат. flavus – жовтий; лат. xermentum – закваска) – флавінзалежні дегідрогенази, флавопротеїни, які належать до 1 класу ферментів – оксидоредуктази. Вони беруть участь у багатьох реакціях біологічного окиснення, зокрема у тканинному диханні - переносі електронів і протонів від

субстратів на кофермент Q або до молекулярного кисню. Їх небілковими складовими компонентами є похідна вітаміну B₂ – ФМН або ФАД. При біологічному окисненні флавінові ферменти здійснюють перенос відновних еквівалентів (протонів та електронів) від відновлених коферментів – нікотинамідаденінуклеотиду (НАД⁺) або його фосфату (НАДФ⁺) :



Інколи (наприклад при окисненні жирних кислот) флавінові ферменти можуть відігравати роль первинних дегідрогеназ, тобто безпосередньо, без участі НАД- або НАДФ-залежних дегідрогеназ приймати електрони і протони від субстратів, що підлягають окисненню. ФМН і ФАД дуже міцно, на відміну від коферментів НАД і НАДФ, приєднуються до білкового апоферменту і не відщеплюються від нього на жодній стадії каталітичного циклу. Окиснені форми ФМН або ФАД мають спектр поглинання з максимумом при 450 нм. При відновленні ФАД і ФМН смуга 450 нм у спектрі поглинання зникає. Флавінові ферменти зв'язані головним чином з внутрішніми мембранами мітохондрій. У процесах біологічного окиснення певні флавінові ферменти відіграють роль як анаеробних, так і аеробних дегідрогеназ.

Механізми дії ферментів

Розкриття за допомогою рентгеноструктурного аналізу просторової будови ряду ферментів стало головним для побудови раціональних схем механізму їх дії. У одних випадках ці схеми обґрунтовуються цілком у процесі аналізу структури фермент-субстратних комплексів у кристалі, в інших – використовуються результати досліджень з хімічної модифікації ферментів, кінетики реакцій, що каталізуються та інші дані. Встановлення механізму дії ферментів має ключове значення для розкриття структурно-функціональних зв'язків у безлічі біологічно активних систем.

Велику роль у розвитку уявлень про механізм дії ферментів зіграли роботи Л.Міхаеліса і М.Ментена, які розвивали положення про фермент-субстратні комплекси. Згідно з їх уявленнями, увесь процес ферментативного каталізу описується простим рівнянням (рис.3.10).

У процесі ферментативного каталізу можна умовно виділити три стадії, кожна з яких має свої особливості.

Перша стадія – дифузія субстрату до ферменту і стеричне зв'язування його з активним центром ферменту з утворенням фермент-субстратного комплексу (ФСК). При цьому субстрат з'єднується з посадочною ділянкою активного центру ферменту. Утворення ФСК стає можливим завдяки певній спорідненості ферментів зі своїми субстратами за типом «замок-ключ».

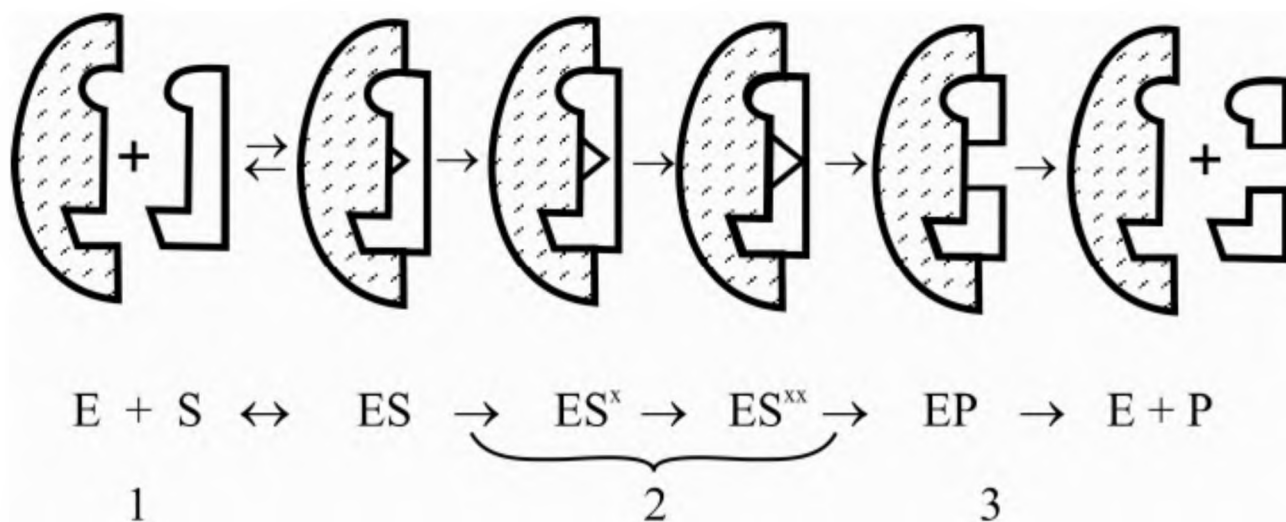


Рис.3.10. Схема стадій ферментативного каталізу (E – фермент, S – субстрат, P – продукт)

Е.Фишер припускає, що висока специфічність фермента обумовлена особливою формою його молекули, яка точно співпадає з формою субстрату. Цю концепцію називають як «ключа і замка». В ній субстрат порівнюють з ключем, який точно підходить за формою до замка, тобто ферменту.

Американський учений Д.Кошленд висунув теорію індукованої відповідності ферменту і субстрату. До взаємодії просторова структура субстрату й активного центру лише приблизно відповідають одна одній; строга комплементарність виникає в процесі взаємодії унаслідок змін конформації (індукована відповідність). Конформація молекули ферменту й активного центру може змінюватися під впливом субстрату і коферменту. Доказом конформаційних змін ферменту під час зв'язування субстрату є відмінність рентгенограм вільного ферменту у присутності специфічного інгібітора. На рис.3.11 схематично показано молекулу ферменту з її функціональними групами А, В і С. Приєднання субстрату до ферменту змінює структуру активного центру, і його функціональні групи розміщуються так, що може відбуватися реакція.

Перша стадія протікає недовго – це залежить від концентрації субстрату і швидкості його дифузії до активного центру ферменту. Утворення ФСК відбувається майже миттєво.

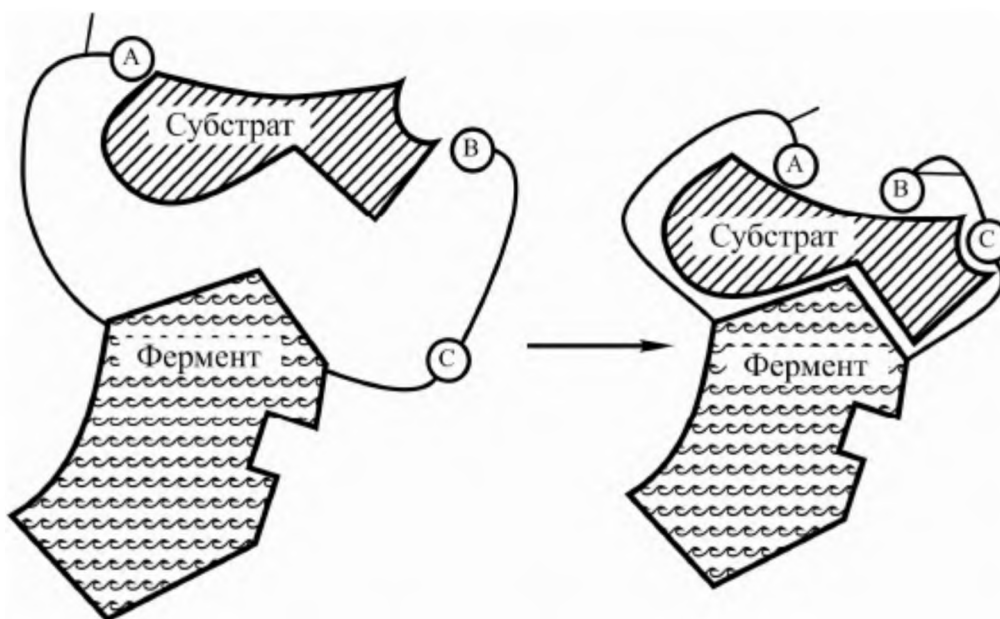


Рис.3.11. Зміна конфорації активного центру ферменту під дією субстрату.

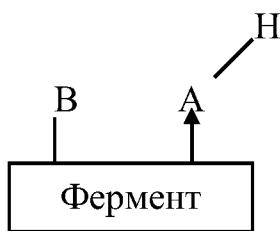
Друга стадія – перетворення первинного ФСК в один або декілька активованих фермент-субстратних комплексів, позначених у рівнянні ES^x і ES^{xx} . Ця стадія конфораційних змін є найповільнішою і викликає більш різке зниження енергії активації. Тут відбуваються взаємодії субстрату з каталітичною ділянкою активного центру ферменту. У цьому разі розхитуються зв'язки в молекулі субстрату, спостерігається його дестабілізація і деформація у зв'язку з напруженням, вигином або натягом молекули – так званий ефект «диби». Чим більша довжина «розтягування» міжатомного зв'язку в субстраті, тим менша енергія його розриву, тобто знижується енергія активації. Місця деформації легше атакуються, наприклад, молекулами води.

Третя стадія – вихід продуктів реакції з активного центру в оточуюче середовище. Утворювані в процесі реакції продукти мають іншу стеричну конфорацію, ніж субстрати, і легко залишають активний центр. Ця стадія є нетривалою і визначається швидкістю дифузії.

Важливою особливістю ферментативної реакції є те, що перетворення субстрату протікає як поліфункціональний каталіз. Поліфункціональність забезпечується різноманітністю амінокислотних радикалів білкової частини ферменту і груп кофакторів в активному центрі.

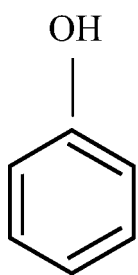
Пуш-пульний механізм каталізу ферментами

З експериментальних даних було встановлено, що крива залежності швидкості ферментативних реакцій від рН проходить через максимум. Поясненням цього може бути те, що активний центр ферменту містить як кислотний ($-A-H$), так і основний ($-B$) залишки. Тому схематично будова ферменту може бути представлена таким чином:

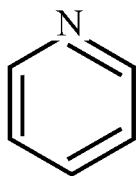


В механізмах кислотно-основного каталізу існує нуклеофільна атака на карбонільний атом вуглецю і передача протону до спиртового атома кисню. Тому виникла ідея, що і у випадку каталізу існує можливість нуклеофільної атаки основною групою В і одночасно передача протону кислотною групою – А – Н. Такий механізм дії названо «пуш-пульним» (або одноразовим). Завдяки одночасній дії кислотної і основної груп каталізатора можна пояснити високу каталітичну активність ферментів.

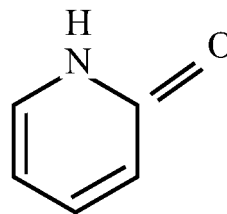
На прикладі реакції гідролізу етерів у присутності простих каталізаторів, які містять кислотну і основну групи, було одержане чітке підтвердження пуш-пульного механізму. Так, в реакції мутаротації в якості каталізаторів порівнювали три речовини: фенол (I) як слабка кислота, піридин (II) як слабка основа і 2-оксипіридин, який існує переважно у формі (III).



I



II



III

Остання сполука є більш слабкою кислотою, ніж фенол, і більш слабкою основою, ніж піридин. Якщо припустити, що каталітична дія 2-оксипіридину здійснюється у такий же спосіб, як дія фенолу або піридину, то тоді слід було очікувати, що вона буде найменш ефективною, тобто практично не буде каталізувати процес. Насправді все виявилось навпаки: 2-оксипіридин виявився кращим каталізатором, ніж фенол і піридин. З цього можна було зробити висновок про те, що 2-оксипіридин діє не тільки як простий кислотний або основний каталізатор, а як «біфункціональний» каталізатор, тобто його кислотна і основна групи діють одночасно за пуш-пульним механізмом.

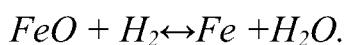
3.3.1. Кінетика ферментативних реакцій

Загальні уявлення про каталіз

Каталіз – це процес прискорення хімічних реакцій під впливом каталізаторів, які беруть участь у даному процесі, але наприкінці реакції залишаються хімічно незміненими.

Речовини-каталізатори взаємодіють з реагентами даної реакції, створюють з ними ті чи інші проміжні речовини, входять до складу активного комплексу, а після закінчення реакції виділяються у початковому вигляді. Розрізняють *позитивний каталіз* (забезпечує прискорення хімічної реакції), та *негативний каталіз* (забезпечує гальмування хімічної реакції, або *інгібування*).

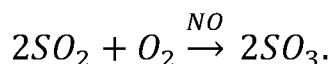
Якщо каталізатором є один з реагентів хімічної реакції, то такі реакції називають *автокаталітичними*. Типовий приклад автокаталітичної реакції - відновлення оксиду заліза воднем:



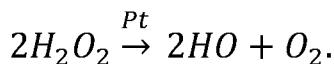
Процес відновлення каталізується залізом, яке є продуктом реакції. Швидкість такої реакції у часі змінюється та проходить через максимум (залежність $v = f(t)$ має екстремум). Це пов'язано з одночасним зниженням концентрації початкових речовин та зростанням концентрації каталізатора.

Усі види каталізу можна поділити на гомогенний, гетерогенний та ферментативний.

Гомогенний каталіз – це такий вид каталітичних реакцій, у яких каталізатор та всі учасники каталітичної реакції складають одну фазу. Приклад – реакція окислення діоксиду сірки киснем за наявності оксиду азоту (каталізатору):



Гетерогенний каталіз характеризується тим, що реагуючі речовина та каталізатор перебувають у різних фазах, а безпосередньо каталітична реакція проходить на межі розподілу фаз. Приклад – реакція розкладання рідинного пероксиду водню на поверхні твердого каталізатора (платини):



Ферментативний каталіз. Цей вид каталітичних реакцій ще називають мікрогетерогенним каталізом. У ролі каталізатора виступають речовини білкової природи, які мають молекули великих розмірів та складної будови. Більшість біологічних процесів, які відбуваються в організмах тварин та рослин, є каталітичними. Швидкості таких реакцій регулюються речовинами-каталізаторами - *ферментами*. Ферментативні реакції чутливі до зовнішніх умов, зокрема до іонної сили розчину, температури і *pH* середовища.

Узагальнення досвіду в галузі каталітичних реакцій дозволяє відзначити характерні особливості каталітичних реакцій.

- Каталізатор не впливає на стан термодинамічної рівноваги, а лише змінює швидкість досягнення рівноважного стану. Він не може викликати реакцію, яка буде проходити у напрямку зростання енергії Гіббса або енергії Гельмгольца.

- Дія каталізатора вибіркова. Для конкретних взаємодіючих речовин він лише посилює певні реакції. Наприклад, використання конкретних каталізаторів дозволяє в ході реакції розкладання етилового спирту отримати сім різних продуктів. Платина, як правило, використовується як каталізатор загальної дії.

- Для суттєвого каталітичного ефекту необхідні, як правило, знехтувано невеликі дози каталізатора.

- Швидкість гомогенної каталітичної реакції у більшості випадків прямо пропорційна концентрації каталізатора.

- Дія каталізатора залежить від його фізичного стану (густини, поверхні та ін.) та від наявності сторонніх речовин.

Речовини, які посилюють дію каталізатора, називаються *промоторами*. Наприклад, реакція синтезу аміаку на металевому каталізаторі може прискорюватися діоксидом калію.

Речовини, які знижують ефективність дії каталізатора, називають *каталітичною отрутою*. Як правило, це сполуки сірки, фосфору, свинцю та миш'яку, а також ртуть, оксид вуглецю та вільні галогени.

Каталізатори не змінюють термодинамічну рівновагу системи. Константа рівноваги $K_C = K_1/K_2$ залишається сталою. Тому зміна константи K_1 швидкості прямого процесу супроводжується пропорційною зміною константи K_2 швидкості зворотного процесу.

Специфіка дії каталізаторів

Різні проміжні сполуки, які утворюються в процесі каталітичних реакцій при взаємодії початкових речовин з каталізатором, підвищують ступінь компенсації та знижують енергію активації за рахунок енергії взаємодії реагентів з каталізатором. Слід відзначити, то механізм реакції за наявності каталізатора також змінюється і може бути досить складним.

Компенсація енергії, необхідної для розриву хімічних зв'язків в молекулах реагента може здійснюватися за двома механізмами: стадійним або злитим. Схематично можливі механізми наведені на рис.3.12. Стадійний механізм (крива 1) характеризується послідовністю проходження окремих стадій: на кожній стадії утворюються проміжні продукти – сполуки однієї чи декількох вихідних речовин з каталізатором. Енергетична крива під час реакції має декілька максимумів, які відповідають активним комплексам, а також декілька мінімумів, які відповідають проміжним речовинам (у конкретному прикладі - два максимуми та один мінімум).

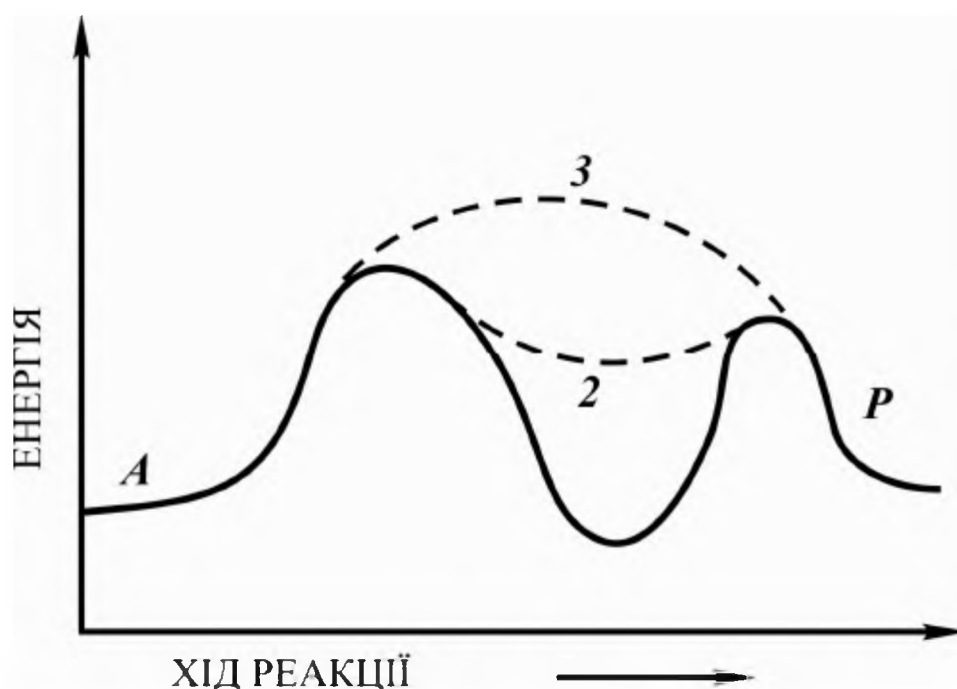


Рис.3.12. Енергетичні перетворення в ході каталітичної реакції:
А – початкові речовини, Р – продукти реакції

Об'єднаний механізм (крива 3, рис.3.12) характеризується поєднанням стадій каталітичного процесу. Активний комплекс містить каталізатор та всі реагуючі речовини; на енергетичній кривій відзначається тільки один максимум.

Можливим є третій механізм - проміжстадійна компенсація другого виду (крива 2, рис. 3.12). При реалізації цього механізму зростає ступінь компенсації та зниження енергії активації однієї із стадій, що обумовлено використанням енергії попередніх.

Ступінь компенсації χ в каталітичних реакціях вищий, ніж у некаталітичних. Він може досягати 85...90 %. Більш високі значення χ та більш низькі значення енергії активації досягаються при злитому механізмі каталізації. Однак, при цьому ентропія активного комплексу і перед-експоненційний множник мають більш низькі значення, ніж при реалізації стадійного механізму.

Відзначимо також, що при стадійному механізмі значення енергії активації та ентропії вищі порівняно з тими ж параметрами при об'єднаному механізмі. При цьому підвищення температури супроводжується зменшенням енергетичного члена $e^{E^*/RT}$, а ентропійний член $e^{-\Delta S/RT}$ при цьому не змінюється. Отже, підвищення температури знижує роль енергетичного фактора і більш вигідним стає стадійний механізм каталізу. При низьких температурах навпаки: більш високі швидкості реакції забезпечують злитий механізм каталізу.

Гетерогенний каталіз

Цей тип каталітичних реакцій широко використовується у промисловості, наприклад, для синтезу аміаку, у виробництві сірчаної кислоти, метилового спирту, тощо.

Для гетерогенного каталізу характерними є кілька стадій, найбільш важливими з яких є:

- дифузія початкових речовин до поверхні каталізатора та їх адсорбція на цій поверхні;
- десорбція продуктів реакції;
- відведення продуктів реакції від поверхні каталізатора у глибину відповідної фази за рахунок дифузії.

Швидкість каталітичної реакції визначається повільнішою стадією, дифузією або адсорбцією. Зміна умов проходження реакції (температура, тиск та ін.) може змінити контролюючу стадію.

Енергетична схема проходження гетерогенної реакції за наявності стадій дифузії і десорбції наведена на рис.3.13. Енергія початкових речовин E_1 після їх адсорбції на поверхні каталізатора стає рівною E_2 . Потім починається хімічна взаємодія, подолання енергетичного бар'єра та створення продуктів з енергією E_3 ; ці продукти також знаходяться в адсорбованому стані. Їх десорбція приводить до зміни їх енергії до E_4 .

На рис.3.13 показано, що стадії адсорбції та десорбції мають свої власні енергетичні бар'єри. Пунктирна лінія відповідає реакції без каталізатора. Окрім того, з енергетичної схеми видно, що навіть енергія активації є найбільш загальмованою стадією і її енергія E_{ict} менша за енергію активації E^* без каталізатора, це визначає прискорення хімічної реакції.

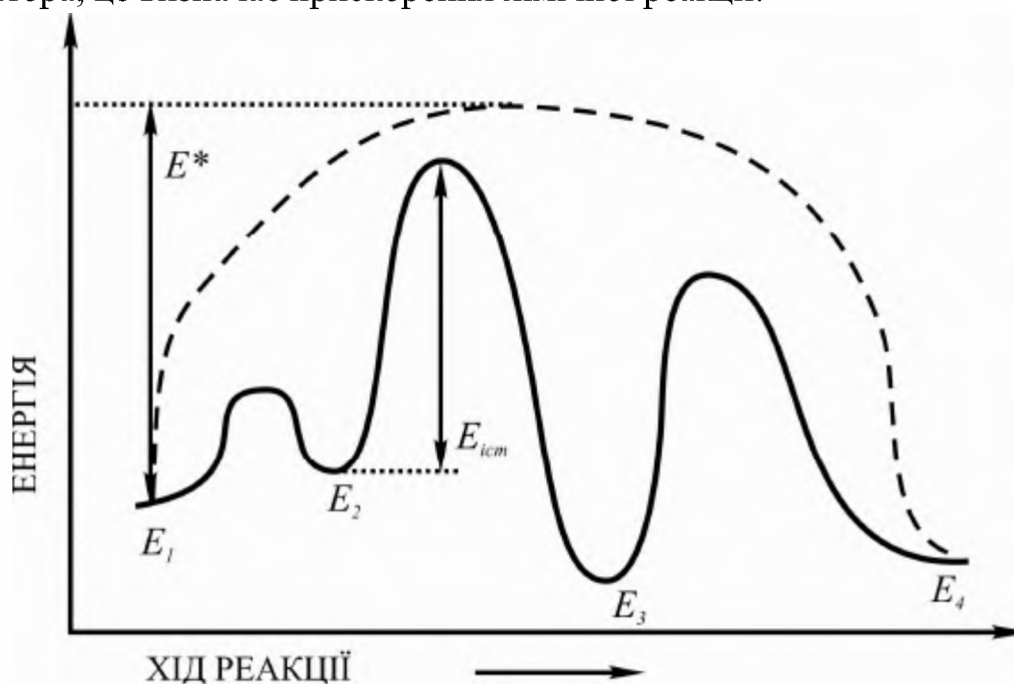


Рис.3.13. Стадії гетерокаталітичної реакції

Активність каталізаторів залежить від їх розмірів та стану поверхні. Тому важливим моментом є приготування каталізатора.

На практиці часто використовують так звані *адсорбційні* каталізатори, які готують шляхом нанесення його на спеціальний носій з неактивного матеріалу. Цим матеріалом може бути вугілля, азбест, силікагель, фарфор та ін. Отримані таким способом каталізатори суттєво економлять дорогі матеріали, мають підвищену стійкість проти температури та каталітичної отрути.

Кінетика ферментативних реакцій

Ферментативна кінетика є розділом хімічної кінетики, що займається вивченням впливу різних хімічних і фізико-хімічних факторів на швидкість реакцій. Вона вивчає залежність швидкості ферментативних реакцій від концентрації ферменту, субстрату та температури середовища, дії активаторів та інгібіторів.

Залежність швидкості реакції від концентрації субстрату і ферменту.

У більшості випадків швидкість ферментативної реакції прямо пропорційна концентрації ферменту – $[E]$ і носить лінійний характер: $V=K \cdot [E]$ (рис.3.14).

Одним з найважливіших факторів, які визначають швидкість ферментативної реакції, є концентрація субстрату $[S]$.

При відносно невеликому значенні $[S]$ величина V пропорційна $[S]$, а в разі досягнення достатньо великих значень $[S]$ величина V наближається до певного сталого значення, яка називається максимальною швидкістю ($V_{\max}$).

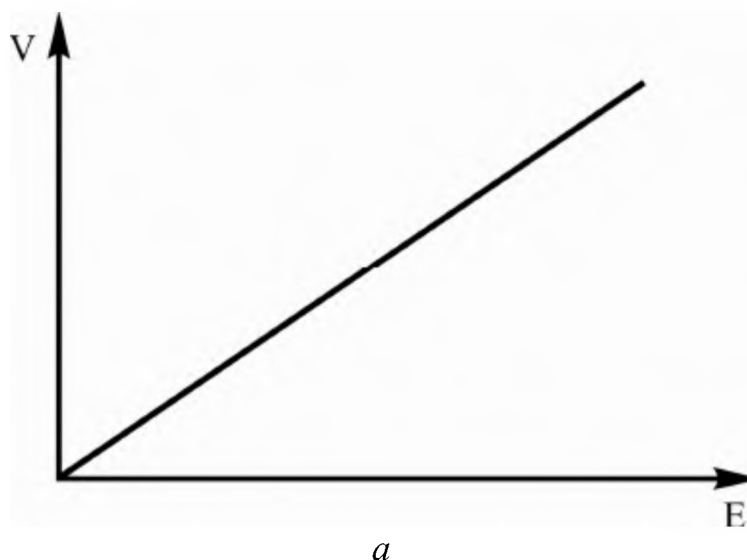
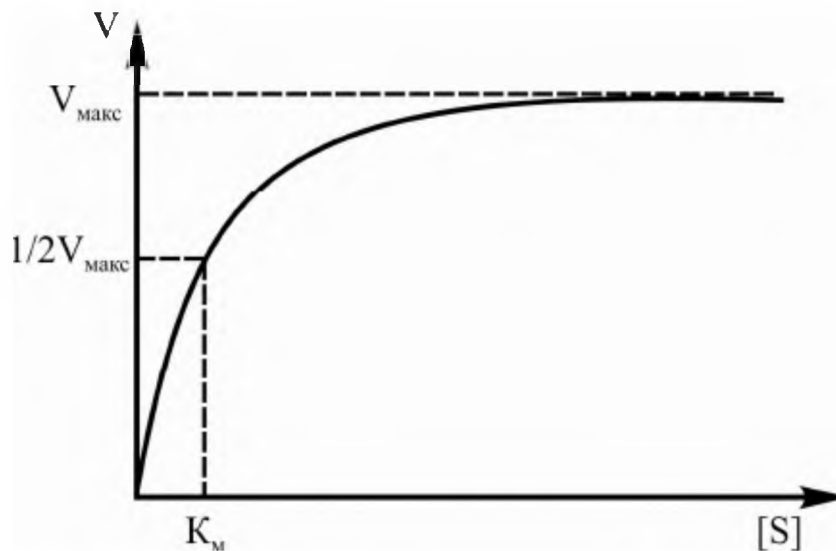
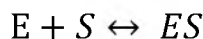


Рис.3.14. Залежність швидкості ферментативної реакції від концентрації ферменту (а) і субстрату (б)

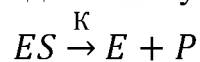


б

На основі аналізу залежності V від $[S]$ Л.Міхаеліс і М.Ментен встановили, що ферментативна реакція є двостадійною. На першій стадії фермент вступає до швидкої оборотної взаємодії з субстратом з утворенням фермент-субстратного комплексу (ФСК):



На другій стадії ES розпадається з утворенням продукту реакції P :

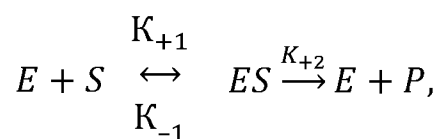


Друга стадія повільніша, вона визначається концентрацією ES і константою швидкості його розпаду K . Зв'язок між V , $[S]$ і K відомий за рівнянням Міхаеліса:

$$V = \frac{V_{max} \cdot [S]}{K_m + [S]},$$

де V - швидкість реакції можна вважати приблизно сталою, оскільки витрата субстрату є невеликою, а концентрація продукту незначна.

У рівняння входять дві сталі величини: V_{max} - максимальна швидкість, це швидкість реакції в умовах насичення ферменту субстратом, і K_m - константа Міхаеліса для пари фермент-субстрат. Однособстратна реакція відбувається за схемою:



де

K_{+1} – константа швидкості утворення ES,

K_{-1} – константа швидкості оборотного розпаду ES на E та S,

K_{+2} – константа швидкості розпаду ES з утворенням продукту P.

Рівняння Міхаеліса є справедливим і без припущення того, що на стадії утворення ES установлюється рівновага, і що стадія розпаду ES з утворенням продукту P є лімітуючою. У цьому разі K_m виражають через константи швидкостей окремих стадій:

$$K_m = \frac{K_{-1} + K_{-2}}{K_{+1}}$$

Величини $V_{\max}$ і K_m визначають за графіком залежності швидкості ферментативної реакції V від субстрату $[S]$ (рис.3.14, б). Із рівняння Міхаеліса слідує, що при достатньо високій концентрації субстрату (коли $[S] \gg K_m$)

$$V = V_{\max},$$

тобто швидкість є сталою і максимальною, реакція протікає за кінетичним законом нульового порядку. Реакціями нульового порядку називають такі реакції, у яких кількість субстрату, що перетворюється за одиницю часу, залишається постійною незалежно від його концентрації. За низьких концентрацій субстрату V прямо пропорційна $[S]$; дійсно, при $[S] \ll K_m$ за рівнянням Міхаеліса виявляється, що

$$V = \frac{V_{\max} \cdot [S]}{K_m}.$$

У таких умовах реакція протікає за кінетичним законом першого порядку. Реакції першого порядку – це такі реакції, у яких кількість субстрату, яка перетворюється за одиницю часу, пропорційна кількості субстрату, що є на даний момент.



Рис.3.15. Графічне зображення рівняння Міхаеліса

На графіку (рис.3.14, б) це відповідає початковій лінійній ділянці. Із рівняння Міхаеліса слідує, що K_m чисельно дорівнює концентрації субстрату, за якої швидкість реакції дорівнює половині максимальної. У випадку, коли

$$V = \frac{V_{max}}{2}$$

маємо:

$$\frac{V_{max}}{2} = \frac{V_{max} \cdot [S]}{K_m + [S]},$$

звідки:

$$\frac{1}{2} = \frac{[S]}{K_m + [S]},$$

а після відповідних перетворень:

$$K_m = [S],$$

Потім через відповідну точку на ординаті провести пряму паралельну осі абсцис до перетину з графіком; перпендикуляр, опущений з точки перетину на вісь абсцис, покаже величину $[S]$, чисельно рівну K_m . (рис.3.15).

Обробка рівняння Міхаеліса-Ментен за методом подвійних зворотних величин дає змогу представити залежність V від $[S]$ прямою лінією – рівняння Лайнуівера-Берка:

$$\frac{1}{V} = \frac{K_m}{V_{max}} \cdot \frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_{max}}$$

Перевагою цього рівняння є прямо пропорційна залежність між $1/V$ та $1/[S]$, яка дозволяє легко отримати значення кінетичних констант K_m і V_{max} , що неможливо при аналізі звичайної гіперболи Міхаеліса-Ментен.

Із рівняння Лайнуївера-Берка та графіка очевидно, що кутовий коефіцієнт прямої (тангенс кута нахилу) дорівнює K_m/V_{max} . Значення цих констант визначають за графіком.

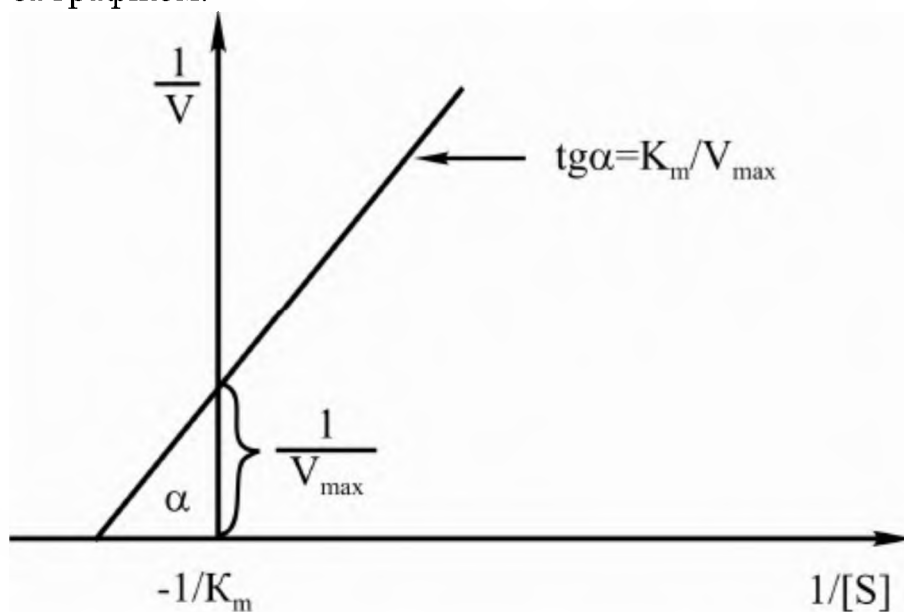
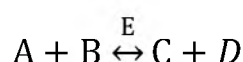


Рис.3.16. Графічне зображення рівняння Лайнуївера-Берка

Більшість ферментів каталізують реакції за участю двох (або більше) субстратів:



Дослідження кінетики таких реакцій надає змогу визначити величини K_m і V_{max} для кожного із субстратів; для цього будують графіки залежності швидкості реакції від концентрації одного із субстратів у разі фіксованої (зазвичай такої, що насичує) концентрації іншого.

Залежність швидкості ферментативної реакції від температури

Згідно з законом Я.Вант-Гофа, швидкість хімічних реакцій збільшується приблизно вдвічі у разі підвищення температури на кожні 10°C . Ця закономірність є справедливою і для ферментів, однак тільки в обмеженій зоні значень температур, в основному, в інтервалі від 0 до 50°C . За температури, яка не перевищує $35-50^\circ\text{C}$, швидкість більшості ферментативних реакцій збільшується згідно з теорією хімічної кінетики. Оскільки температурний

оптимум, у межах якого ферменти проявляють найвищу активність. Підвищення температури призводить до зниження активності ферменту і швидкості реакції, а при 80°C і вище фермент припиняє свою дію - він інактивується. Це пов'язано з денатурацією ферментного білка. Водночас змінюється його вторинна і третинна структура, і структура активного центру змінюється настільки, що фермент не може взаємодіяти із субстратом:



Визначені ферменти (у мікроорганізмів гарячих джерел), які пристосувалися до навколишнього середовища і зберігають свою активність і за 70-90 °C.

Визначення активності ферментів рекомендують проводити при 25 °C.

Певний інтерес викликають дані про вплив на швидкість ферментативної реакції низьких температур. Зниження температури нижче оптимальної тимчасово уповільнює активність ферменту у результаті зменшення дифузії молекул. Якщо ж температуру знову підвищити до оптимальних величин, активність ферменту і швидкість реакції відновлюються.

Графічна залежність швидкості більшості ферментативних реакцій від температури має шароподібну форму (рис.3.17).

Таким чином, термолабільність або чутливість до підвищення температури є однією із характерних властивостей ферментів, яка відрізняє їх від небіологічних каталізаторів. Слід відзначити, що на термолабільність ферментів певним чином впливають концентрація субстрату, рН середовища та інші фактори.

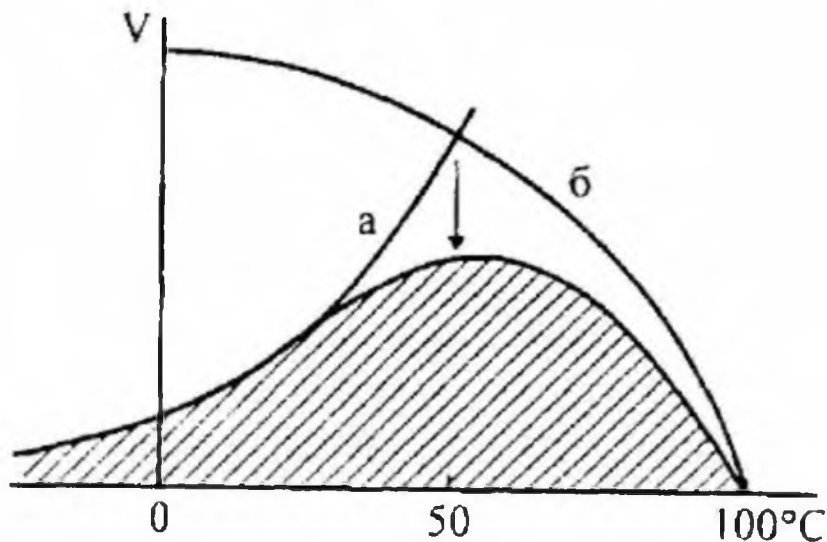


Рис.3.17. Залежність швидкості ферментативної реакції від температури:
 а – підвищення швидкості реакції як функція температури;
 б – зниження швидкості реакції як функція денатурації білка-фермента;
 стрілка вказує на оптимум температури.

Залежність швидкості ферментативної реакції від рН середовища.

Ферменти є досить чутливими до змін рН середовища, в якому вони діють. Кожний фермент виявляє свою оптимальну активність за певного рН середовища, наприклад, пепсин - 1,5-2,0, амілаза слини - 6,8-7,4, трипсин - 7,5-8,5, аргіназа - 9,5-10,0, тобто фермент має свій оптимум рН, за якого він є найактивнішим.

Відхилення рН від оптимальних величин викликає зниження активності ферменту, тому що призводить до зміни ступеня іонізації іоногенних груп в активному центрі, а це впливає на спорідненість субстрату із посадочною ділянкою активного центру ферменту і на каталітичний механізм перетворення. Окрім того, зміна іонізації білка (не тільки в зоні активного центру) викликає конформаційні зміни молекули ферменту. На рис.3.18 наведена крива, яка означає, що існує певний оптимальний стан іонізації ферменту. Оптимум рН для більшості ферментів лежить у межах вузької зони концентрації водневих іонів, які відповідають фізіологічним значенням рН середовища - 6,0-8,0. У кислому і лужному середовищах їхня активність не виявляється через денатурацію білка-ферменту.

Відхилення рН у будь-який бік від оптимального значення призводить до зниження активності ферменту.

У багатьох випадках до іонізації здатні і певні групи субстрату, що також відбувається на оптимальному рН для дії ферментів.

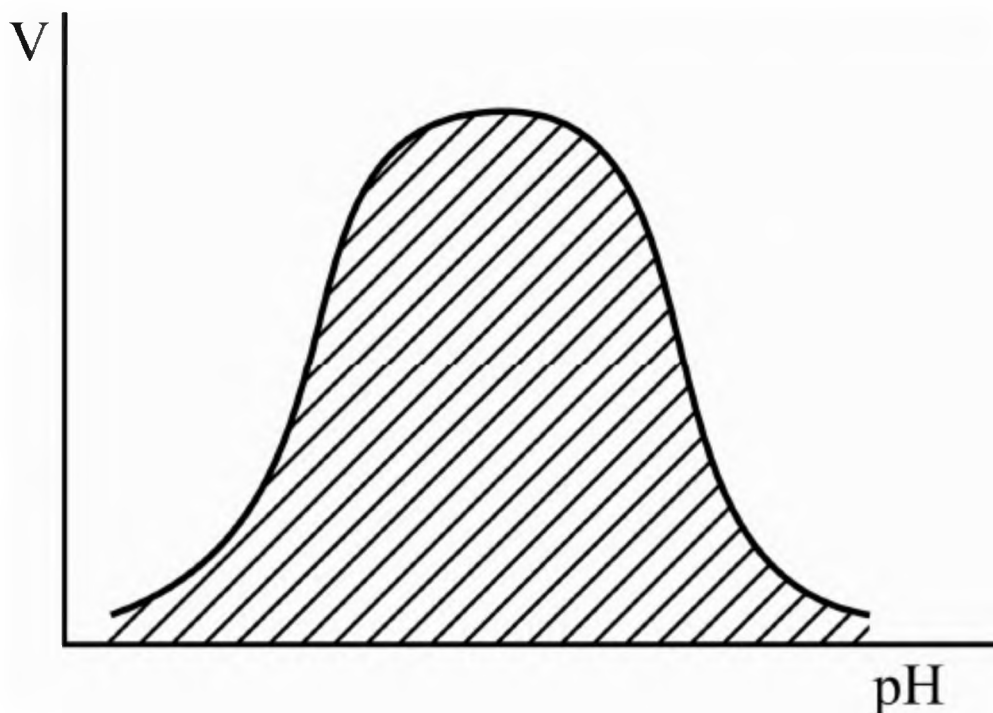


Рис.3.18. Залежність швидкості ферментативної реакції від рН

Зміна рН може також впливати на стан активаторів та інгібіторів ферментів. Значення рН, відповідне оптимальному, не завжди збігається зі значенням рН, характерним для внутрішньоклітинного середовища. Отже рН може відповідати за регулювання ферментативної активності у клітинах.

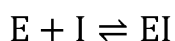
Під час визначення активності ферменту створюється оптимальне значення рН середовища.

Інгібітори ферментів

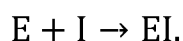
Інгібітори – хімічні сполуки, що зменшують каталітичну активність ферментів. На відміну від речовин, які інактивують ферменти за рахунок їх денатурації, дія інгібіторів є специфічною певних ферментів або груп ферментів.

Залежно від характеру змін, що відбуваються в молекулі ферменту, розрізняють:

– *оборотне інгібування*, що описується таким рівнянням взаємодії ферменту з інгібітором *I*:



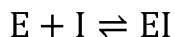
– *необоротне інгібування*



Оборотне інгібування ферментів, залежно від механізму взаємодії ферменту з інгібітором, поділяється на *конкурентне* та *неконкурентне*.

Конкурентне інгібування

Конкурентне інгібування спричиняють ліганди, що за своєю хімічною структурою близькі до субстрату і взаємодіють із тим самим активним центром на молекулі ферменту, що і субстрат, утворюючи комплекс EI:



Класичним прикладом конкурентного інгібітора є малонова кислота $\text{HOOC-CH}_2\text{-COOH}$. Конкурентне інгібування викликають: антивітаміни, речовини, близькі до амінокислот, пуринових та піримідинових основ і нуклеотидів.

Конкурентне інгібування ферменту можна усунути за рахунок підвищення концентрації субстрату в інкубаційному середовищі.

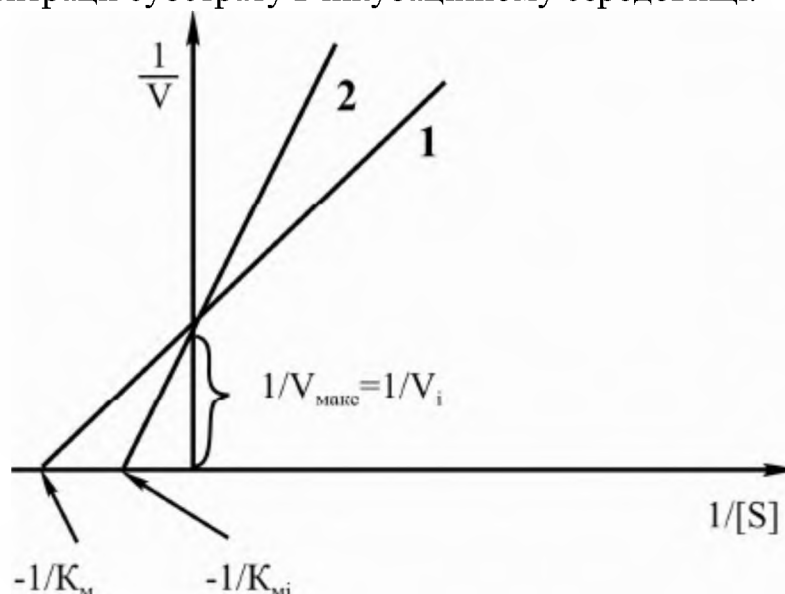
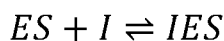


Рис.3.19. Конкурентне інгібування ферменту:
1 – без інгібітора; 2 – в присутності інгібітора.

Неконкурентне інгібування

Неконкурентні інгібітори реагують з іншими, відмінними від активних центрів, ділянками на молекулі ферменту і можуть зв'язуватися не тільки з вільним ферментом, а й із фермент-субстратним комплексом:



Приєднання неконкурентного інгібітора до ферменту зменшує його активність (максимальну швидкість реакції ($V_{\text{макс}}$), і не впливає на спорідненість ферменту із субстратом (K_m) (рис.3.20).

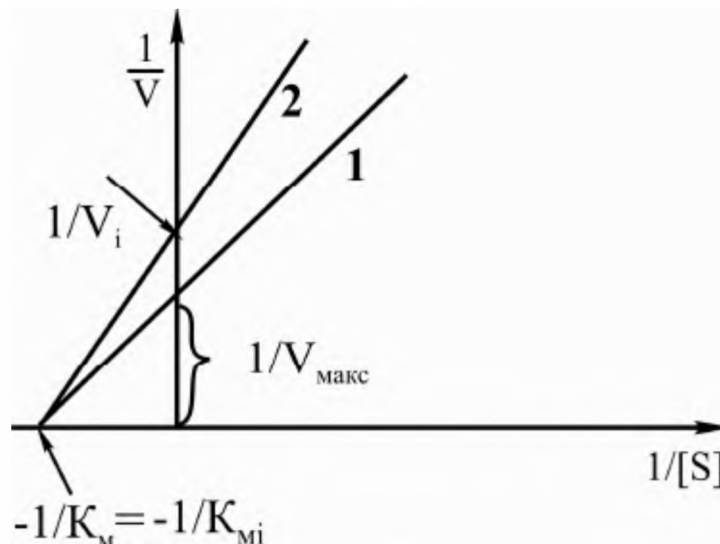
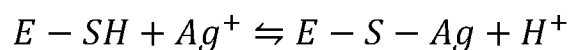


Рис.3.20. Неконкурентне інгібування ферменту:

1 – без інгібітора; 2 – в присутності інгібітора.

Неконкурентними інгібіторами є іони важких металів (Cu^{2+} , Hg^{2+} , Ag^{2+}).



Необоротне інгібування ферментів – процес, що відбувається внаслідок руйнування однієї чи декількох функціональних груп ферменту. Необоротні інгібітори мають властивості *клітинних отрут*.

3.4. Поширення мікроорганізмів у природі

Взаємозв'язок мікроорганізмів з навколишнім середовищем

Природне суспільство різних популяцій організмів, поєднаних єдиним середовищем проживання називається *біоценозом*.

Простір, в якому знаходиться біоценоз, називають *біотопом*.

Вони впливають одне на одне і утворюють екологічну систему.

Між представниками окремих видів біоценозу існують такі типи відносин:

- симбіоз;
- метабіоз;
- антагонізм;
- паразитизм.

Симбіотичні відносини виявляються, коли один мікроорганізм сприяє життєдіяльності інших (симбіоз зелених водоростей і інфузорій).

Метабіотичні взаємовідносини виявляються в тому, що одні мікроорганізми живляться продуктами обміну речовин, які виділяють інші мікроорганізми. Метабіоз обумовлює послідовність перетворень одних речовин в інші і лежить в основі колообігу речовин у природі. Так, наприклад, органічні кислоти, що виділяються при розкладанні целюлози бактеріями, служать живильними речовинами для азотобактерій. А виділення продуктів обміну

речовин з навколишнього середовища сприяє життєдіяльності целюлозо-розкладаючих бактерій. Слід мати на увазі, що між симбіозом і метабіозом неможна провести чітку межу.

Антагоністичні взаємовідносини між організмами можуть виявлятися в тих випадках, коли продукти обміну речовин одних мікроорганізмів токсичні для інших. Такі метаболіти відносяться до антибіотиків. Так, життєдіяльність гнильних бактерій пригнічується речовинами, що виділяються плісеневими грибами. Особливою формою антагонізму є хижацтво, тобто використання одних мікроорганізмів іншими як їжу: деякі види інфузорій живляться бактеріями та іншими простішими, наприклад, джгутиковими.

Паразитизм полягає в тому, що мікроорганізми, які живляться живою органічною речовиною, проникають в організм хазяїна і розвиваються в ньому, порушуючи обмін речовин. До паразитичних форм належать бактеріофаги, хвороботворні бактерії, віруси, деякі простіші.

Бактеріофаги – це віруси, які розвиваються в клітинах бактерій.

Поширення мікроорганізмів у природі. Найменш сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів є повітря: в ньому мало вологи, відсутні поживні речовини. На мікроорганізми згубно впливають прямі сонячні промені та різке коливання температури. Мікроорганізми потрапляють у повітря з пилом і крапельками рідини. Тому найбільша кількість мікроорганізмів утримується в повітрі над містами в нижчих шарах атмосфери у теплу пору року.

Найбільш сприятливим середовищем для мікроорганізмів є ґрунт. В ньому вони захищені від прямих сонячних променів, забезпечені живильними речовинами, достатньо вологою і близькою до оптимальної температурою. Найбільш населений шар ґрунту знаходиться на глибині 10-15 см. Кількість мікроорганізмів в 1 г ґрунту коливається від 300 до 3000 млн. штук залежно від характеру і типу ґрунту, ступеня аерації, *pH*, пори року, віддаленості від поверхні землі та інших факторів. За типом живлення мікроорганізми у ґрунті відносяться до автотрофних (бактерії – нітрифікатори, залізо- і сіркобактерії, водорості) та гетеротрофи, які забезпечують розпад органічних речовин. Мікроорганізми ґрунту приймають участь в утворенні гумусу (перегній), склад якого обумовлюється діяльністю різних груп мікроорганізмів.

Водне середовище також відрізняється сприятливими умовами для розвитку мікроорганізмів. Це зумовлено великою кількістю живильних речовин, розчиненого кисню, температурою, характером водойми та іншими факторами. Так підземні води – води артезіанських колодязів і джерел містять в 1 мл води біля десятка бактерій. Мало їх міститься у дощовій воді, снігу, особливо, якщо у повітрі немає пилу. В 1 мл такої води міститься не більше 10 бактерій.

Чисельність мікроорганізмів залежить від ступеня забруднення води органічними речовинами. У водах річок вона може коливатися від кількох тисяч до мільйона і більше бактерій в 1 мл води. У стоячій воді (ставки, озера)

кількість мікроорганізмів завжди більша у прибережній зоні, ніж віддаленій від берегової лінії зони.

Багато бактерій у донному мулі, особливо в поверхневому шарі, де бактерії утворюють плівку. У цій плівці багато сірко- і залізобактерій, які окиснюють сірководень до сірчаної кислоти і тим самим запобігають отруєнню риб. Є нітрифікуючі бактерії, що перетворюють аміак у нітрати $NH_3 \rightarrow NO_3^-$ і азотфіксуючі бактерії, які здійснюють біологічну фіксацію атмосферного азоту.

Мікроорганізми виконують величезну позитивну роль у самоочищенні водойм. Вони руйнують різні забруднення, які надходять у воду і поступово здійснюють біологічне очищення води.

3.5. Характер і джерела забруднення водоймищ. Системи сапробності та її використання для оцінки забруднення водойм

Основними джерелами забруднення водоймищ є побутові, виробничі, сільськогосподарчі та зливові стічні води.

Побутові стічні води утворюються внаслідок господарсько-побутової діяльності та фізіологічних виділень людей.

Основну частину органічних забруднень побутових стічних вод складають білки, жири, вуглеводи та продукти їхнього розкладу. Неорганічну частину забруднень становлять частинки піску, глини, розчинні солі: гідрокарбонати, фосфати та амонійні солі – продукт гідролізу сечовини, а також поверхнево-активні речовини, що входять до складу синтетичних миючих засобів.

Забруднення стічних вод органічними речовинами, які можуть бути джерелом живлення та енергії для мікроорганізмів, оцінюють посередньо - за кількості кисню, який споживають мікроорганізми в процесі біохімічного окиснення цих речовин. Такою характеристикою є БПК – біохімічна потреба в кисні.

Окрему форму домішок побутових стічних вод складають мікроорганізми, серед яких можуть бути і хвороботворні форми. Тому неочищені побутові стічні води небезпечні в епідеміологічному відношенні.

Виробничі стічні води утворюються внаслідок технологічних процесів різних виробництв. Для очистки багатьох видів таких стоків використовують біологічні методи. Однак далеко не всі домішки виробничих стоків можуть окиснюватися біохімічним шляхом. Тому визначають крім БПК ще і хімічну потребу в кисні – ХПК. Під ХПК розуміють кількість кисню, необхідного для окиснення органічних речовин до вуглекислого газу, води та аміаку.

Важливою характеристикою виробничих стічних вод є відношення БПК до ХПК. Воно вказує, яка частина загального вмісту органічних домішок може бути окиснена біохімічно. Вважається, що біохімічна очистка доцільна, якщо

$$\frac{БПК}{ХПК} > 0,5 .$$

Суміш побутових і виробничих стічних вод утворює так звані міські стічні

води. Для них встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) для токсичних речовин, БПК = $500 \frac{\text{мг}}{\text{л}}$, вміст розчинних солей $10 \frac{\text{г}}{\text{л}}$, $T = 6-30^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 6,5-8,6$. Ці води не повинні містити нерозчинні масла, смоли, мазут.

Зливові стічні води утворюються внаслідок випадіння атмосферних осадків, а також водою для поливу вулиць. Вони містять багато піску, сміття, глинистих частинок, нафтопродуктів.

Збільшення концентрації біогенних елементів (азоту, фосфору, калію) відбувається внаслідок змиву добрив з полів. Цьому ж сприяють і стічні води, які надходять у водойми після біологічної очистки.

Забруднення, що надходять зовні, створюють первинне забруднення водойми. Як наслідок цього у великій кількості розвиваються мікроорганізми, рослинні і тваринні організми у водному середовищі. Їхнє відмирання викликає вторинне забруднення, що сприяє підвищенню вмісту органічних речовин у водоймі, тобто евтрофікації.

Для оцінки санітарного стану водоймища поряд з фізико-хімічними і бактеріологічними методами дослідження використовується гідробіологічний метод. Цей метод заснований на вивченні видового і кількісного складу водних організмів біоценозів.

Одержані дані свідчать про ступінь і тривалість забруднення водойми і його здатність до самоочищення.

Крім того, за результатами гідробіологічного аналізу визначають режим роботи спорудження, навантаження по органічним речовинам, установлюють факт попадання промислових стічних вод у водойми.

Оскільки водойма являє собою єдину екологічну систему, тому для визначення санітарного стану її вивчають групи гідробіонтів, які населяють товщу води (фіто- і зоопланктон), донні відкладення (бентос) і водні організми обростання (періфітон).

Дослідниками Р.Кольквітцем і М.Марссоном, Я.Я. Нікітинським, Г.І.Долговим, А.С.Разумовим була запропонована оцінка забруднення водойми в залежності від проживання у них різних груп організмів по зонам сапробності. У залежності від ступеня забруднення виділяють такі зони сапробності (грец. *sapros* – гниlostний): ксеносапробна зона, олігосапробна зона (α), α -мезосапробна (αm), β -мезосапробна (βm) і полісапробна (p).

Полісапробна зона (зона сильного забруднення) відповідає забрудненню водойми побутовими стічними водами. Вона характеризується наявністю великої кількості білкових сполук. Вільний кисень відсутній, БСК₅ дорівнює 10-50 мг/л, тому відбуваються біохімічні процеси, які мають відновний характер. При розкладанні органічних сполук утворюються сірководень, метан, діоксид вуглецю, аміак.

α -мезосапробна зона характеризується великою ступеню розкладу органічних речовин. Наявність незначної кількості кисню обумовлює протікання окисно-відновних процесів. В цій зоні містяться амінокислоти,

аміак, які утворилися у результаті розкладу білкових сполук. Сірководень та діоксид вуглецю присутні у незначній кількості. У зоні з'являються фотосинтезуючі форми мікроорганізмів. Кількість бактерій нараховується сотнями тисяч в 1 мл, БСК₅ дорівнює 2,5-5 мг/л. Зона містить поширені гриби, інфузорії, коловратки, кількість видів складає 70-76.

β-мезосапробна зона характеризується наявністю продуктів мінералізації органічних сполук – солей амонію, нітратів та нітритів. У воді ця зона містить значну кількість розчиненого кисню, кількість видів складає 116-133. Кількість бактерій складається десятками тисяч в 1 мл. Показними видами є зелені, діатомові, синє-зелені водорості. У цій зоні присутні коловратки, інфузорії, комахи, риби. Ця зона відповідає якості води ставків, водойм, річок.

Олігосапробна зона – зона чистої води, яка характеризується кінцем окиснення органічних речовин. Азот міститься у формі нітратів, вода може бути пересиченою киснем. Вода такої водойми придатна для усіх видів господарського використання, а після хлорування вживається в якості питної води.

Ксеносапробна зона – дуже чиста вода, яка практично не містить мінеральних речовин, БСК₅ не перевищує 1 мг/л; кількість завислих речовин не більше ніж 3 мг/л, насичення киснем досягає 95%. Вода таких водойм придатна для усіх видів використання.

Численність бактерій досягає мільйон в 1 мл води. Крім бактерій присутні джгутикові, гриби. Загальна кількість видів 30-36.

Визначення сапробності водоймища за методом Пантле і Букка

Даний метод дозволяє порівняти стан водоймища в різних пунктах, наприклад за повздовжнім профілем річки, і представити результати у цифровому і графічному вигляді. Зонам сапробності S надається цифрове значення від 1 до 4 в порядку зростання забруднення.

Зона	Умовне позначення	Числове значення	Зона	Умовне позначення	Числове значення
Оліго-сапробна	о	1	Альфа-мезосапробна	α	3
Бета-мезосапробна	β	2	Полісапробна	ρ	4

Визначається також частота ймовірність знаходження h організмів в угрупованні. Обидві величини входять у формулу для обчислення індекса сапробності:

$$IndS = \sum(sh) / (\sum h).$$

В таблиці 3.2 приведені відносні частоти видів (табл.3.2).

Таблиця 3.2. Оцінка відносної ймовірності знаходження видів

Шкала частоти	Кількість екземплярів одного виду в процентах від загального числа особів	Значень h
Дуже рідко	1	1
Рідко	2-3	2
Нерідко	4-10	3
Часто	10-20	5
Дуже часто	20-40	7
Масово	40-100	9

Перелік видів-індикаторів з зазначеною ознакою віднесення їх до зон сапробності є у методичному посібнику “Уніфіковані методи дослідження якості води”, М., “СЭВ”, 1975 (табл.3.3).

Таблиця 3.3. Зразковий список організмів-індикаторів сапробності

Організми	Сапробність	Організми	Сапробність
Ниткуваті бактерії:		інфузорії:	
<i>Sphaerotilus natans</i>	p	<i>Colpidium campylum</i>	p
<i>Beggiatoa</i> sp.	p	<i>Colpidium colpoda</i>	p
<i>Thiothrix</i> sp.	p	<i>Euplotes charon</i>	β
Гриби:		<i>Clilodon cucullulus</i>	p
<i>Leptomit</i> us lacteus	α	<i>Opercularia coaretata</i>	α
<i>Mucor racemosus</i>	α	<i>Paramecium caudatum</i>	α
<i>Fusarium aquaeductum</i>	p	<i>Spirostomum ambiguum</i>	α
Водорості:		<i>Stentor coeruleus</i>	α
синьо-зелені:		<i>Vorticella convallaria</i>	α
<i>Anabaena flos aquae</i>	β	<i>Vorticella microstoma</i>	p
<i>Microcystis aeruginosa</i>	β	<i>Podophrya fixa</i>	α
<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	β	коловратки:	
<i>Oscillatoria tenuis</i>	α	<i>Kellicottia longispina</i> (syn. <i>Notholca longispina</i>)	α
Діатомові:		<i>Keratella cochlearis</i>	β
<i>Cymbella cesati</i>	α	<i>Keratella quadrata</i>	β
<i>Gomphonema ceyli</i>	α	<i>Leucane lunaris</i> (syn. <i>Monostyla lunaris</i>)	β
<i>Melosira granulata</i>	β	<i>Rotaria rotatoria</i> (syn. <i>Rotifer vulgaris</i>)	α
<i>Navicula angustata</i>	α	олігохети:	
<i>Navicula apiculata</i>	α	<i>Limnodrilus hofmeisteri</i>	p
<i>Synedra acus</i>	β	<i>Tubifex tubifex</i>	p

Продовження таблиці 3.3

Організми	Сапроб-ність	Організми	Сапроб-ність
Synedra ulna	β	Stylaria lacustris	β
Nitzschia palea	α	ракоподібні:	
евгленові:		Daphnia magna	α
Euglena acus	β	Daphnia pulex	α
Euglena viridis	p	Leptodora Kindtii	o
Euglena deses	α	Eudiaptomus gracilis	o
зелені і протококові:		Astacus fluviatilis	o
Volvox globator	$o-\beta$	комахи:	
Ankistrodesmus falcatus	$\beta-\alpha$	Caenis macrura	o
Crucigenia rectangularis	$\alpha-\beta$	Heptagenia coerulana	β
Scenedesmus quadricauda	β	Chironomus Plumosus	p
Draparnaldia sp.	o	риби:	
Ulothrix zonata	o	лящ	β
Stigeoclonium tenue	α	усач	β
Тваринні:		форель	o
амеби:		лінь	$\beta-\alpha$
Pelomyxa palustris	p		

Приклад розрахунку індексу сапробності на підставі біологічного аналізу проби води наведений у табл.3.4.

$$\sum h_p = 3; \quad \sum h_\alpha = 15; \quad \sum h_\beta = 23.$$

$$s = \sum (sh) / (\sum h) = 103 / 41 = 2,51.$$

Обчислення погрішності:

$$\sigma_s = \pm \sqrt{[3(4-s)^2 + 15(3-s)^2 + 23(2-s)^2] / (41 \cdot 40)} =$$

$$= \pm 16,25 / 1640 = \pm 0,1.$$

Примітка:

$S = 1,0 - 1,5$ – олігосапробна зона;

$S = 1,5 - 2,4$ – β -мезосапробна зона;

$S = 2,5 - 3,5$ – α -мезосапробна зона;

$S = 3,5 - 4,5$ – полісапробна зона.

Таблиця 3.4

Організми:	s	Угрупування h	Обростання sh
<i>Euglena viridis</i>	p	3	12
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	β	1	2
<i>Spirogyra sygmoidea</i>	β	3	6
<i>Closterium acerosum</i>	α	2	6
<i>Closterium moniliferum</i>	β	1	2
<i>Cyclotella menengiana</i>	α	3	9
<i>Cymbella vesiculosa</i>	β	2	4
<i>Diatoma vulgare</i>	β	3	6
<i>Melosira italica</i>	β	3	6
<i>Melosira varians</i>	β	5	10
<i>Navicula cryptocephala</i>	α	2	6
<i>Navicula viridua</i>	α	2	6
<i>Nitzschia acicularis</i>	β	3	6
<i>Nitzschia palea</i>	α	2	6
<i>Surirella ovata</i>	β	2	4
<i>Chilidonella cuculata</i>	α	2	6
<i>Colpoda cuculus</i>	α	2	6
		$\Sigma h=41$	$\Sigma(sh)=103$

Інтервал точності для статичної надійності 95%.

$$S = s \pm t_{0,05} \sigma_s = 2,51 \pm 2,02 \cdot 0,1;$$

$$S = 2,51 \pm 0,2.$$

Індекс сапробності обчислюється з точністю до 0,1.

Сапробність організмів визначається за списками, приведеними в табл.3.5. Середній індекс сапробності для кожної даної ділянки водоймища одержують, виводячи середнє арифметичне із індексів різних угруповань (бентос+планктон+обростання і т.п.).

Багато видів-індикаторів зустрічаються в водах 2, 3 або 4-х зон сапробності, це є причиною неточності при встановленні середньої сапробності біоценозу. Для уточнення Зелінка і Марван в 1961 році ввели поняття сапробної валентності. Сапробна валентність показує, в якій ступені вид характерний для тієї або іншої ступені сапробності. Сапробні валентності виражають однією або декількома цифрами, сума яких для виду дорівнює 10. Щоб при оцінці забруднень підвищити роль видів, присутність яких характерна для визначеної ступені сапробності, у порівнянні з видами, які зустрічаються в

зонах різної сапробності, Зелінка і Марван вводять поняття індикаторної ваги (J), яка оцінюється для кожного виду в балах від 1 до 5 і, яка показує, наскільки високе індикаторне значення виду.

Для визначення ступені сапробності всього біоценозу розраховують середньозважені сапробні валентності для ксеносапробної ступені – А, для олігосапробної ступені – В і т.д за формулою:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n a_i h_i J_i}{\sum h_i J_i},$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n b_i h_i J_i}{\sum h_i J_i}$$

де h_i - кількість особів i -го виду;

J_i - індикаторна вага i -го виду;

a_i, b_i, c_i – сапробні валентності виду i .

Список індикаторів сапробності наведено у табл.3.5.

Таблиця 3.5. Список індикаторів сапробності за В.Сладечка (за Макрушиним, 1978).

Вид	А	В	С	Д	Е	J
	ксено-	оліго-	β-мезо	α-мезо	полі-	
X1	-	10	-	-	-	5
X2	-	8	2	-	-	4
X3	2	7	1	-	-	3
X4	-	4	5	1	-	2
X5	1	4	4	1	-	1

Величини сапробної валентності і індикаторні ваги знаходять за опублікованими таблицями (Уніфіковані методи дослідження якості води, 1966; Макрушин, 1974 р.) Розраховуються добутки $a \cdot J \cdot h$, $b \cdot J \cdot h$, $c \cdot J \cdot h$ і т.д. для кожного виду і їх суми. Ці суми діляться на суми добутків $J \cdot h$. Отримані величини (А, В, С, Д, Е) є середньозваженими сапробними валентностями біоценозу, сума яких дорівнює 10. відношення значень А:В:С:Д:Е слід розуміти як картину сапробних умов в біоценозі. Положення найвищого значення в цьому ряду визначає, до якої зони сапробності слід віднести вивчаємий біоценоз. Сусідні величини дозволяють судити про те, в яку сторону можливі відхилення (Макрушин, 1974).

Система Кольквітца-Марссона, яка удосконалювалась на протязі довгого часу, стала найбільш детально розробленою системою біологічного аналізу якості води. Однак, деякі автори вказують на ряд недоліків. Використання

методів Пантле і Букка, Зелінки і Марвана вимагає багато часу і кваліфікованих спеціалістів з систематики водної фауни і флори (Макрушин, 1974; Мороз, 1978; Макрушин, Кутикова, 1976).

Ці методи дають позитивні результати для грязних і забруднених ділянок, де зустрічаються організми з індексами сапробності в основному відомими.

Ступінь забруднення води та відповідний їм індекс сапробності наведені у таблиці 3.6.

3.6. Водоймище – джерело водозабезпечення та приймач стічних вод

Слід мати на увазі, що життя мікроорганізмів нерозривно зв'язане з навколишнім середовищем. З одного боку, діяльність мікроорганізмів значно змінює навколишнє середовище в результаті усунення з нього поживних речовин і виділення продуктів обміну, з другого – інтенсивність обмінних процесів усередині клітини багато в чому залежить від умов навколишнього середовища. Наука, яка вивчає взаємовідносини живих організмів з навколишнім середовищем, є екологія. Різноманітні види організмів утворюють складні групування – біоценози, які є не випадковим скупченням організмів, а організованою системою. Склад і характер біоценозу визначаються властивостями навколишнього середовища і взаємовідносинами між представниками окремих видів.

Простір, що займає біоценоз – це біотоп. Біоценоз і біотоп зв'язані, впливають один на одного і утворюють екологічну систему. Різноманітні водоймища або їхні ділянки є природними екосистемами. До штучних екосистем відносяться усі спорудження біологічної очистки стічних вод. Для будь-яких екосистем характерні постійний обмін речовин та енергії, як зовні, так і всередині неї.

Організми, що населяють водне середовище, відносяться до гідробіонтів. Гідробіонти у водоймищах утворюють біоценози, кількісний і якісний склад яких зумовлений рядом фізичних, хімічних та біологічних факторів.

Природні поверхневі водоймища, що використовуються як джерела водозабезпечення, підрозділяються на текучі, у яких водна маса переміщується в одному напрямку, і стоячі, де таке переміщення води відсутнє. До перших відносяться річки, до других – озера. Крім природних водоймищ велику роль у забезпеченні водою відіграють водосховища, штучно створені на річках. У водосховищах розрізняються зони з гідрологічним режимом, близьким до річкового (верхів'я) і до озерного (поблизу греблі).

Рух води у водоймищі суттєво впливає на температурний режим окремих ділянок водоймища і характер ґрунтів. Температура води у річках швидко змінюється зі зміною сезонів року. В озерах різкі сезонні коливання температури зазнає в основному верхній шар води.

Кисневий режим у водоймищі залежить від багатьох факторів і визначається швидкістю розчинення і споживання.

Таблиця 3.6. Ступінь забруднення води та індекс сапробності для різних зон

Клас якості води	Ступінь забруднення	Індекс сапробності S, (по Патле і Букку)	Загальна кількість бактерій, 10^6 клітин/мл	Число сапрофітних бактерій, 10^3 клітин/мл	БПК ₅ , мг/л	ІЗВ	Найменування зони
1	дуже чиста	<0,5	<0,5	<0,5	<1	≤0,2	Ксеносапробна
2	чиста	0,5-1,5	0,5-1,0	0,5-5,0	1-2,5	0,2-1,0	Олігосапробна
3	помірно забруднена	1,5-2,5	1,0-3,1	5,1-10,0	2,5-5	1,0-2,0	α-мезосапробна
4	забруднена	2,51-3,5	3,1-5,0	10,0-50,0	5-10	2,0-4,0	β-мезосапробна
5	гязна	3,5-4,0	5,0-10,0	50,0-100,0	10-50	4,0-6,0	Полісапробна
6	дуже гязна	>4,0	>10,0	>100,0	50-400	6,0-10,0	Ізосапробна

У порівнянні з придонними шарами верхні шари води звичайно більш насичені киснем, оскільки саме тут відбувається фотосинтез.

Відкриті водоймища відрізняються також більшою різноманітністю і мінливістю хімічного складу і мікро населення води. У складних біологічних суспільствах, які формуються у водоймищі, залежно від місце проживання розрізняють два основних біоценоза: бентос і планктон. Бентос є сукупністю організмів, що населяють дно водоймища і донні відкладення. До бентос них форм мікроорганізмів відноситься велика кількість бактерій, водорості, найпростіші, гриби тощо. Особливо багато бактерій, здійснюючих перетворення біогенних елементів, перебувають у верхньому шарі відкладень.

Вони можуть утворювати на їхній поверхні плівку товщиною у декілька міліметрів широко розповсюджені у донних відкладеннях найпростіші, коловертки. Максимальна кількість мікроорганізмів у донних відкладеннях спостерігається влітку та восени. На великих глибинах мікробентоносні форми широко представлені в основному бактеріями – мінералізаторами. Процеси розкладення органічних речовин з найбільшою інтенсивністю відбуваються саме у поверхневих шарах донних відкладень.

Під планктоном розуміють рослинні і тваринні організми, що перебувають у завислому стані. При цьому рослинні форми – це фітопланктон, тваринні організми – зоопланктон. Підтримці мікроорганізмів у завислому стані сприяє наявність у деяких з них у клітинах газових бульбашок, як це спостерігається у раковинної амеби. До планктонних видів мікроорганізмів відносяться найпростіші, коловертки, деякі водорості та бактерії.

У зимовий період спостерігається мінімум розвитку бактеріального планктону, за повені кількість бактерій значно збільшується, часто досягаючи максимуму. Далі з розвитком водоростей чисельність їх знижується, заширюючись, постійною протягом літа, восени під час масового відмирання фітопланктона кількість бактерій різко зростає. Причина сезонних змін планктону полягає у коливаннях складу поживних речовин, необхідних для певних груп планктону.

Мікроорганізми водоймища класифікують також за фізіологічними ознаками. В основу класифікації покладена їхня здатність засвоювати усілякі речовини з водного середовища в аеробних або анаеробних умовах. Мікроорганізми різноманітних фізіологічних груп вступають між собою у складні метаболічні або антогоністичні відносини. Основна роль у біоценозах відводиться групі мікроорганізмів, які беруть участь у круговороті найважливіших елементів – вуглецю, азоту, сірки, фосфору. До цієї групи належать мікроорганізми, які гідролізують складні білки до простих та амінокислот, амоніфікатори, нітрифікатори, азотфіксуючі бактерії, денітрифікатори та інші групи мікроорганізмів. Серед цих численних форм є як аероби, так і анаероби.

Фотосинтезуючі форми мікроорганізмів представлені у водоймищах різноманітними групами водоростей (діатомових, зелених, синьозелених).

На закінчення необхідно відмітити, що мікроорганізми водоймища беруть активну участь в його очищенні. Вони мінералізують органічні речовини і окиснюють відновлені сполучення неорганічного походження (наприклад, залізо- (II) – у залізо (III), амоній – у нітрити і нітрати, сірководень – у солі сірчаної кислоти тощо).

3.7. Процеси самоочищення водойм

Забруднення, які надходять у водойми з різних джерел, порушують у ньому природну рівновагу. Самоочищення полягає в здатності водойми протистояти цьому порушенню, звільнитися від внесених забруднень і відновлювати свої природні властивості.

Самоочищення – сукупність фізичних, хімічних і біологічних процесів, внаслідок яких водойма звільнюється від забруднень. У водоймі відбуваються хімічні реакції гідролізу, нейтралізації, окиснення. Наприклад, гідроліз солей заліза і алюмінію приводить до утворення гідроксидів цих металів, здатних до осадження.

Нейтралізуюча здатність води водойми використовується при забрудненні її речовинами кислого або лужного характеру. Лужні речовини природної води – бікарбонати і карбонати – беруть участь у нейтралізації кислот, тоді як нейтралізація лужних компонентів стока відбувається внаслідок взаємодії їх з розчиненою у воді вугільною кислотою.

Реакції хімічного окиснення у водоймах надто різноманітні. Розчинений у воді кисень здатний окиснювати численні органічні сполуки з утворенням оксидів і навіть пероксиду водню H_2O_2 . Як окислювач H_2O_2 вступає в хімічні реакції окиснення, які можуть прискорюватися іонами металів, зокрема іонами Fe^{2+} і Mg^{2+} .

Окиснення органічних речовин ініціює також ультрафіолетове випромінювання. При цьому фотохімічні реакції проходять у поверхневому шарі води. Швидкості окиснення різноманітних речовин суттєво розрізняються, але в цілому забруднення побутового характеру окиснюються у 2-10 разів швидше, ніж домішки виробничих стічних вод.

До фізико-хімічних факторів самоочищення належать сорбція, коагуляція, розчинення, емульгування речовин, які часто приводять до зміни фізико-хімічного стану забруднень, що нерідко сприяє прискоренню процесів самоочищення.

Наприклад, сорбція розчинених та колоїдних речовин завислими частками спричиняє збільшення їх концентрації у мікрозонах та сприяє підвищенню швидкості хімічного та біохімічного окиснення речовин.

Емульгування мастил та нафтопродуктів збільшує поверхню контакту у системі кисень – речовина – клітина.

Процеси осадження тісно пов'язані з життєдіяльністю гідробіонтів – фільтраторів і седиментаторів. Гідро біонти, прискорюючи процеси осадження, сприяють очищенню води від завислих, яка транспортується у донні відкладення.

Таким чином, забруднення розподіляється між водним шаром та донними відкладеннями. Однак цей процес може проходити і у зворотному напрямку.

Самоочищення від іонів важких металів відбувається в результаті ряду процесів співосадження з гідроксидами тривалентних металів, а також сорбції іонів органічними колоїдами та мікроорганізмами.

У самоочищенні водойми біохімічна діяльність гідробіонтів домінує. Практично усі хімічні та фізико-хімічні процеси самоочищення прискорюються завдяки участі мешканців водойми.

Роль зоопланктону у процесі самоочищення полягає в зниженні біомаси і продукції фітопланктону. Одночасно продукти життєдіяльності зоопланктону сприяють стимулюванню процесу фотосинтеза і приросту біомаси фітопланктону. Таким чином, зоопланктон певним чином регулює кількість фітопланктону у водоймі. Чим швидше регенеруються біогенні речовини, які містяться у бактеріях, в результаті життєдіяльності тваринних організмів, тим більш інтенсивно протікає самоочищення.

Велику роботу по розкладанню органічних речовин виконують мікроорганізми обростання. Роль водорості полягає у продуцерованні кисню і створенню сприятливих умов для мікроорганізмів, які окиснюють органічні речовини.

Важливу роль в процесах самоочищення докільля відіграють вищі рослини. На основі вивчення їх морфо-фізіологічних особливостей були створені біоплато – спеціальні конструкції, в яких рослини виконують такі функції: фільтраційну (сприяють осіданню завислих часточок); поглинальну (засвоюють біогенні елементи); накопичувальну (акумулюють у зеленій масі певні елементи та важкі метали); окиснювальну (продукують кисень); детоксикаційну (накопичують і перетворюють токсичні речовини).

Для створення біоплато використовують широко розповсюджений очерет, рогозу, стрілолист, сусак, уруть, земноводну гречиху, рдеспій та елодею. Так плантації очерету використовують для очищення побутових стоків у Нідерландах, Норвегії, Австралії, Японії та Китаї, а для очищення шахтних вод – у країнах Південної Америки. Встановлено, що рогоз (*Typha angustipolia*) та очерет (*Fragmites communis*) у разі сумісного вирощування очищують побутові стоки від завислих часточок на 95%, від біогенів на 48-50%. Чисельність умовно-патогенних мікроорганізмів знижується на 50%. Для створення біоплато все ширше використовують водяний геопіонт (*Eichornia crassipes*), який відрізняється дуже високою поглинальною активністю і швидкістю наростання біомаси. За даними молдовських колег за 10 діб вирощування ейхорнії вміст нітратів у побутових стічних водах зменшується в 25 разів, амонію – в 7 разів, фосфатів – у 5 разів, Coli-індекс - у 4 рази і показник БСК – на 53 %. У зеленій масі ейхорнії вміст сирого протеїну становить 30-40%, жирів -1,5-1,7%, клітковини -8,3-11,4%, каротину – 10,4-24,5 мг/кг. Вміст нітратів, фосфатів, хлоратів та сульфатів нижчий за ГДК для кормів 1 класу, що дозволяє використовувати «урожай» для годівлі худоби. Переваги біоплато полягають у

тому, що в цих природно-інженерних спорудах формується біоценоз з високою біохімічною активністю практично без витрат енергії. Мікроорганізми активного мулу прикореневої зони вищих рослин утворюють біоплівку на поверхні їх стебел. Біоплати бувають поверхневі, інфільтраційні та наплавні.

В Україні створено і випробувано біоплато гідропонного закритого типу – водоохоронна споруда, що поєднує якості плато з використанням мікрофлори, і мобілізованої на інертному носії. Ці споруди можуть бути різної форми, ярусності і виконувати додатково ще й функції елементів дизайну.

Здатність водойми до самоочищення не безмежна. Як будь-який складний біохімічний процес біологічне самоочищення чутливе до зовнішнього впливу, у тому числі до перевантаження, до токсичних сполук. За високої концентрації органічних речовин, які надходять у водоймище, гідробіонти не встигають їх використати, внаслідок чого забруднення накопичуються і стан водойми різко погіршується. Токсичні сполуки, які порушують цілісність екологічної системи водойми, також знижують його здатність до самоочищення.

3.8. Методи біологічного очищення

Біологічне очищення стічних вод засноване на здатності деяких мікроорганізмів руйнувати в процесі своєї життєдіяльності розчинні органічні речовини, що містяться в стічних водах. В результаті цього складного біохімічного процесу здійснюється мінералізація органічних речовин з утворенням простих продуктів розпаду.

Біологічне очищення може виконуватися в умовах, близьких до природних (поля зрошення, поля фільтрації, біологічні ставки), та в штучно утворених (біофільтри, аеротенки).

Доцільність використання стічних вод для сільського господарства за санітарними вимогами, місцевими умовами або техніко-економічними міркуваннями дозволяє обирати метод біологічного очищення в природних умовах.

При влаштуванні полів зрошення досягаються дві мети: санітарна – очищення стічних вод та сільськогосподарська – використання стічних вод як джерела вологи, а речовин, які в них містяться, – як добрива.

Для зрошення також можливе використання виробничих стічних вод, які не містять отруйних речовин у неприпустимих кількостях. Так, загальна концентрація солей не повинна перевищувати 3–4 г/л.

Але існують серйозні вади в устаткуванні та експлуатації полів зрошення та фільтрації, які призвели в промислово розвинених країнах до практично повної відмови від їх застосування:

- накопичення в ґрунті неокиснених забруднень;
- надходження до ґрунту зі стоками речовин, які згубно впливають на флору та фауну;
- дорожнеча землі;
- складність придбання для очищення стічних вод земель навколо

населених пунктів;

- різке підвищення енергетичних витрат при великій відстані між полями та населеними пунктами;

- санітарна ненадійність як самих полів, так і сільськогосподарської продукції з них.

При влаштуванні біологічних ставків порівняно з полями зрошення та фільтрації більш повно використовуються земельні ділянки. Стічні води, які пройшли біологічні ставки, можуть бути використані для зрошення за допомогою поливальних машин, дощування, підгрунтового зрошення тощо.

Розробка сучасних методів та схем очищення стічних вод у штучно створених умовах, серійно налагоджений випуск малих очисних установок практично на будь-яку пропускну спроможність, типізація будівництва великих очисних споруд дозволяють перейти до інтенсивних шляхів очищення та знезараження стічних вод, не використовувати споруди, які працюють у природних умовах і практично не піддаються технологічному контролю та управлінню.

Біологічні фільтри (біофільтри) та аеротенки, які працюють у штучно створених умовах, мають різноманітне конструктивне оформлення та працюють за різними технологічними схемами.

Залежно від способу з'єднання потоків стічної рідини і зворотного активного мулу з метою створення однакових умов з навантаження забруднень на активний мул і підтримки розчиненого кисню на необхідному рівні вздовж усього аеротенка розрізняють:

- аеротенки-витискувачі з зосередженим поданням стічної рідини та активного мулу, які доцільно застосовувати при $BPK_{повн}$ у стічній рідині до 300 мг/л;

- аеротенки-змішувачі та аеротенки з розосередженим поданням стічної рідини та стислого повітря при $BPK_{повн}$ у стічній рідині до 1000 мг/л.

Біологічний метод дозволяє знизити кількість забруднень на 65-95 % і довести воду до кондиції технічної води, придатної до повторного застосування в технічному водопостачанні, для зрошення в сільському господарстві або до скиду у відкриті водоймища.

Розрахункова величина $BPK_{повн}$ стічних вод, які пройшли механічне очищення і надійшли на біологічне очищення в аеротенк, складає $L_{en}=244,22$ мг/л і в процесі очищення повинна бути знижена до $L_{ex}=16,46$ мг/л.

Аеротенки розраховуються на повне біологічне очищення і повинні мати регенератори, бо $BPK_{повн}$ стічної води, що надходить, перевищує 150 мг/л.

У даному випадку доцільно застосувати аеротенки-витискувачі 2-4-коридорного типу, конструкція яких дозволяє відводити 25–50 % їх об'єму під регенератори (рис. 3.21).

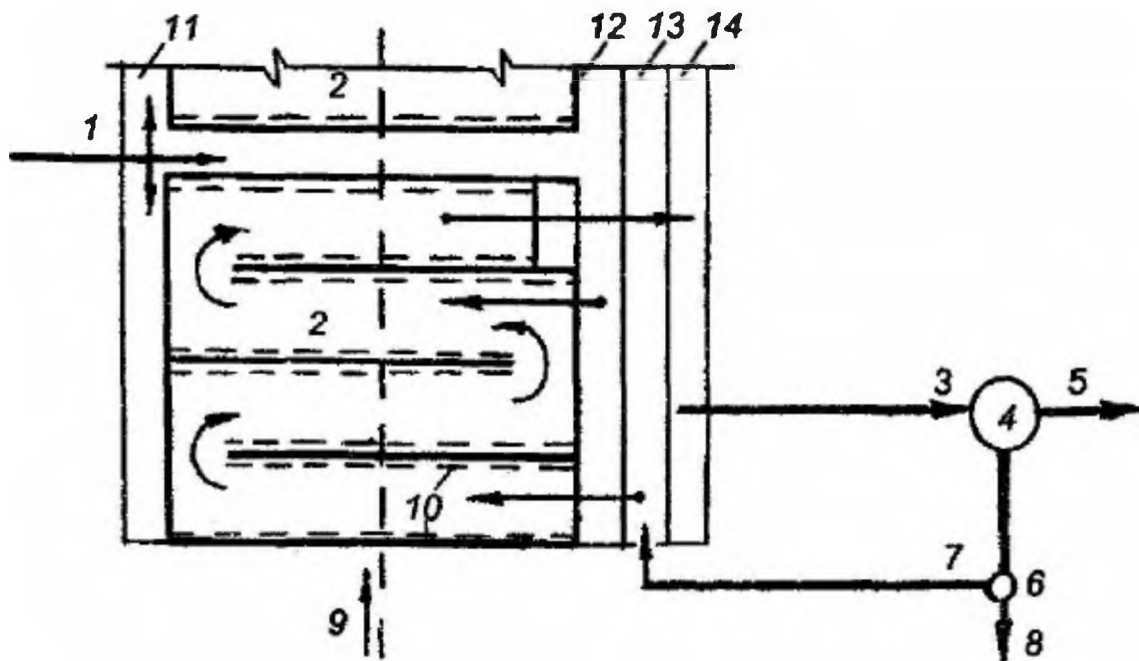


Рис.3.21. Аеротенк-витискувач з регенерацією (50%):

1 – стічна вода після первинних відстійників; 2 – коридори аерації; 3 – мулова суміш з аеротенків; 4 – вторинний відстійник; 5 – очищена вода; 6 – мулова камера; 7, 8 – циркуляційний і надлишковий мул відповідно; 9 – повітря від повітродувок; 10 – аераційна система для розподілу повітря в аеротенку; 11, 12 – розподільчі верхній і нижній канали; 13 – канал активного мулу; 14 – канал відведення суміші стічних вод і активного мулу до вторинних відстійників

3.8.1. Вплив технологічних факторів на ефективність біологічної очистки стічних вод.

На ріст мікроорганізмів впливають слідуючі фактори: температура середовища, в якій ростуть мікроорганізми, рН середовища, перемішування і аерація, характеристика стічних вод.

Мікроорганізми ростуть у визначених температурних межах. Температурний фактор чинить вплив на максимальну швидкість росту мікроорганізмів. Якщо максимальна швидкість росту досягнута, то із збільшенням температури спостерігається подальше повільне збільшення швидкості росту мікроорганізмів.

У процесі біологічної очистки стічних вод відбувається змінювання біоценозу в залежності від змінювання температури. Температура біологічної очистки стічних вод коливається в межах від 2-5 до 25-35⁰С.

Ранньої осені, літом і весною температура стічних вод досягає 15⁰С. При цій температурі переважно розвиваються деякі мезофільні і термофільні мікроорганізми, а ранньої весни, пізньої осені і зимою переважають психрофільні форми.

Якщо температура стає вище фізіологічної норми мікроорганізмів вони гинуть, а зниження температури пригнічує їх активність.

При низьких температурах знижується швидкість процесу біологічної очистки, зменшується глибина очистки і погіршується процес флокуляції мікроорганізмів, що призводить до збільшення кількості мікроорганізмів, які виносяться зі стічними водами із первинних відстійників. У процесі аеробної очистки стічних вод при зниженні температури стічної води від 20 до 6 °С число видів мікрофлори і мікрофауни в біоценозі активного мулу зменшується. Змінення температури від 20 до 37°С збільшує швидкість біологічного окиснення в 2-2,3 рази, а змінення температури від 20 до 6°С уповільнює швидкість процесів приблизно у 2 рази.

Підвищення температури вище визначеної межі призводить до пригнічення росту бактерій.

Кількість теплоти, яка виділяється мікроорганізмами, визначається за формулою:

$$Y_{\text{ккал}} = \frac{Y_s}{H_s - Y_s H_c},$$

де $Y_{\text{ккал}}$ – відношення маси клітин до кількості виділеної енергії, г/кКал;

Y_s - відношення маси клітин до маси, що поглинається субстратом, г/г;

H_s - кількість тепла, що виділяється при згорянні субстрату, кКал/г;

H_c - кількість тепла, що виділяється при згорянні клітин, кКал/г.

Швидкість виділеного тепла за одиницю часу розраховується за формулою:

$$Q_w = V \mu_x \frac{1}{Y_{\text{ккал}}},$$

де V - об'єм реактора;

μ_x – швидкість росту бактерій.

Мікроорганізми ростуть у широкому діапазоні змінення рН від 1 до 11. Для більшості бактерій ефективна очистка стічних вод відбувається при рН 5,5-8,5, оптимальне значення рН 6,5-7,5. Нижче рН 5 і вище 8,5 бактерії практично не ростуть.

У процесі життєдіяльності більшість бактерій можуть підкислювати або створювати лужне середовище. Наприклад при розкладанні мочевины або білків утворюється аміак, а при споживанні солей органічних кислот у середовищі накопичуються катіони лужних металів.

Сутність біохімічних процесів полягає в тому, що в них приймають участь живі клітини, субклітинні структури або ферменти, які виділені із клітин та їх комплекси. Клітини зв'язані в довгі ланцюги, а гіфи грибів значно збільшують в'язкість середовища. Крім того, рідина містить нитчатоподібні утворення. Підсилення порогової величини, що докладене до цієї рідини не

сприяє її перемішуванню. Надлишкове підсилення приводить до пошкодження і загибелі клітин, гнобить ріст біооб'єкту.

Отже, для аеробних процесів необхідно підведення кисню і відвід продуктів метаболізму та життєдіяльності, а також гарні пристрої для перемішування.

За способом перемішування і циркуляції біореактори підрозділяються на апарати з механічним, пневматичним і циркуляційним перемішуванням.

Апарати з механічним перемішуванням мають механічну мішалку і відбивні перегородки.

Для вирощування грибів використовують мішалки з плоскими лопатями, які не розривають міцели. Обертання мішалки сприяє диспергуванню повітря у рідині.

У апаратах з пневматичним перемішуванням перемішування здійснюється шляхом барботажу бульбашками повітря. Апарат представляє собою барботажну камеру, в якій розширене барботером повітря піднімається знизу наверх і перемішує середовище в апараті.

Апарат з циркуляційним перемішуванням. У цих апаратах біореактори містять насоси і ежектори, які створюють направлення течії рідини по замкнутому контурі. Рідина захоплює бульбашки повітря, і здійснюється одночасно аерація. Апарати циркуляційного типу заповнюються насадкою, в якості якої є пісок, обпалена глина, полімерні матеріали. Клітини ростуть у вигляді плівки на поверхні насадок.

Ефективність аерації підвищується за допомогою носіїв кисню, які додаються в середовище для вирощування клітин.

Механізм дії таких носіїв слідує:

- носій приймає кисень при контакті з газоподібною фазою і віддає її у рідку фазу;
- носій приймає кисень у рідку фазу і віддає його при контакті з клітиною;
- носій приймає кисень із газоподібною фазою і віддає його клітині.

Недостатністю при аерації є піноутворення, що пов'язане з наявністю у середовищі ПАВ. Пінний шар над середовищем культивування у біореакторі має подвійне призначення. З одного боку вона сприяє росту багатьох аеробних мікроорганізмів. Укорінюючись у межу поділу вода-повітря, вони стимулюють масопередачу між фазами, що знижує витрати на перемішування і аерацію. З іншого боку, надмірне піноутворення веде до скорочення корисного об'єму реактора, створює загрозу зараження культури сторонньою мікрофлорою. Тому необхідною складовою частиною реактора є система піногасіння. Розрізняють хімічні, механічні, акустичні види гасіння. Ефективними хімічними піногасниками є рослинні, тваринні і мінеральні жири.

Стічні води, які направляються на біологічну очистку, характеризуються величинами БСК і ХСК.

БСК – це біохімічна потреба в кисні, або кількість кисню, який використовується при біохімічних процесах окиснення органічних речовин (не

включаючи процеси нітрифікації) за певний проміжок часу (2, 5, 8, 10, 20 діб), мг кисню на 1 мг речовини.

Наприклад, $БСК_5$ – біохімічна потреба в кисню з 5 діб, $БСК_{повн}$ – повна біохімічна потреба в кисні на початку процесу нітрифікації.

$ХСК$ – хімічна потреба в кисню, тобто кількість кисню, еквівалентна кількості окиснювача, що витрачається, необхідного для окиснення усіх відновників, що містяться у воді. $ХСК$ виражають у мг кисню на 1 мг речовини.

Для установлення можливості подачі промислових стічних вод на біохімічні очисні споруди установлюють максимальні концентрації токсичних речовин, які не впливають на процеси біохімічного окиснення ($МК_6$) і на роботу очисних споруд ($МК_{6,0.с}$). Якщо такі дані відсутні, тоді можливість біохімічного окиснення встановлюють за біохімічним показником, під яким розуміють відношення $БСК_{повн}$ до $ХСК$. При цьому необхідно, щоб стічні води не містили отруйних речовин і домішок важких металів. Для неорганічних речовин, які практично не окиснюються, встановлюють максимальну концентрацію. При перевищених концентраціях стічні води не можливо піддавати біохімічній очистці.

Біохімічний показник є необхідним параметром для розрахунку і експлуатації промислових споруд для очистки стічних вод. Значення показника коливається у широких межах для різних груп стічних вод. Промислові стічні води мають низький біохімічний показник (0,05-0,3); побутові стічні води більше 0,5.

За біохімічним показником, концентрації забруднення і токсичності промислові стічні води ділять на чотири групи.

Біогенні елементи і мікроелементи є необхідними для успішного протікання біохімічних реакцій в стічній воді. До них відносяться N, S, P, K, Mg, Ca, Na, Cl, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Zn, Cu та інші.

Основними елементами є N, P, K, які при біологічній очистці знаходяться у необхідних кількостях, а вміст інших елементів не нормується.

Недостатня кількість азоту гальмує окиснення органічних забруднювачів і приводить до утворення важкоосаджуваного мулу. Недостатня кількість фосфору приводить до розвитку нитчастих бактерій, спуханню активного мулу, поганого осаджування і виносу його із споруд, сповільненню росту мулу і зниженню ефективності окиснення.

Кількість біогенних елементів залежить від складу стічних вод і повинно встановлюватися експериментально. Співвідношення $БСК_{повн}:N:P$ при тривалості очистки до трьох діб складає 100:5:1. При тривалості очистки 20 діб це співвідношення повинно складати 200:5:1.

При недостатній кількості азоту, фосфору і калію в стічні води додають азотні, фосфорні і калійні добрива. Сполуки азоту, фосфору і калію містяться у побутових стічних водах, тому при їх спільній очистці з промисловими стоками додавати біогенні елементи не потрібно.

Абсорбція і споживання кисню

Для окислювання органічних речовин мікроорганізмам необхідний кисень, але вони можуть його використовувати тільки в розчиненому у воді виді. Для насичення стічної води киснем проводять процес аерації, розбиваючи повітряний потік на пухирці, що, по можливості, рівномірно розподіляють у стічній воді. З пухирців повітря кисень абсорбується водою, а потім переноситься до мікроорганізмів. Перенос кисню з газової фази до кліток мікроорганізмів відбувається в два етапи. На першому етапі відбувається перенос кисню з повітряних пухирців в основну масу рідини, на другому - перенос абсорбованого кисню з основної маси рідини до кліток мікроорганізмів, головним чином, під дією турбулентних пульсацій. Ці етапи зв'язані з подоланням дифузійних опорів з боку рідини в пухирців повітря й у клітин пластівців мікроорганізмів. Схематично цей процес представлений на рис.3.22. Оскільки кисень є погано розчинним у воді газом, то дифузійним опором газової фази можна зневажити, тому швидкість абсорбції його буде лімітуватися опором рідкої фази.

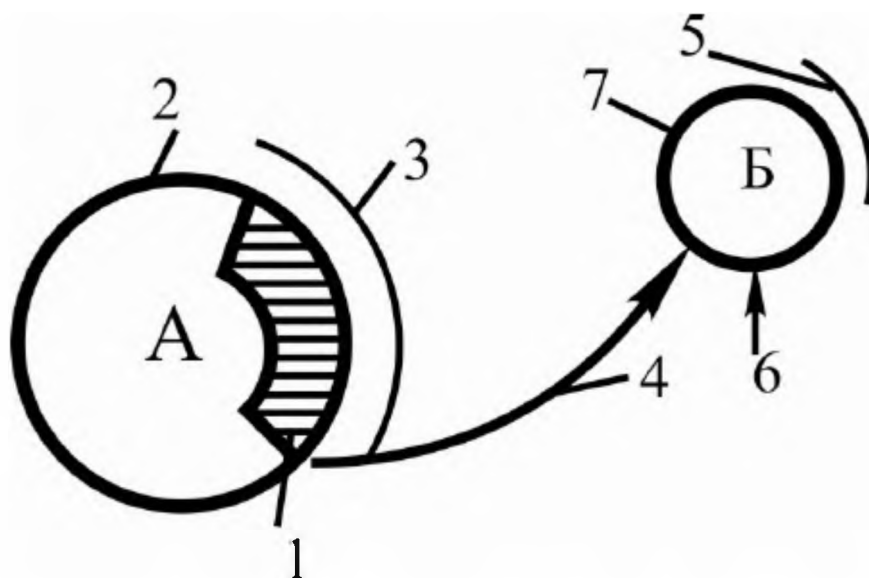


Рис.3.22. Схема переносу кисню від пухирців газу до мікроорганізмів:

А - пухирець газу; Б - скупчення мікроорганізмів; 1 - прикордонний дифузійний шар з боку газу ($1/\beta_g$); 2 - поверхня розподілу; 3 - прикордонний дифузійний шар з боку рідини ($1/\beta_r$); 4 - перенос кисню під пухирця до мікроорганізмів; 5 - прикордонний дифузійний шар і боку рідини в мікроорганізмів ($1/\beta_r$); 6 - перехід кисню усередину кліток; 7 - зона реакції між молекулами кисню з ферментами.

Товщина дифузійного прикордонного шару δ при обтіканні тіла розміром l залежить від коефіцієнта дифузії D , в'язкості μ_v , щільності ρ_v і швидкості v_v :

$$\delta = D^{1/3} \left(\frac{\mu_B}{\rho_B} \right)^{1/6} \sqrt{\frac{1}{v_B}}$$

Оскільки мікроорганізми мають незначний розмір і рухаються в очисних спорудженнях зі швидкістю, рівною швидкості стічної води, то товщина рідкого дифузійного прикордонного шару біля стінок кліток значно менше, ніж навколо пухирців газу, тому він не робить помітного опору в переносі кисню. З огляду на те, що питома поверхня мікроорганізмів значно перевищує питому поверхню пухирців газу, можна зробити висновок, що процес переносу кисню з пухирців газу до мікроорганізмів лімітується в основному дифузійним опором рідини навколо пухирців газу.

3.8.2. Біологічне окиснення забруднюючих речовин у стічних водах

Біоенергетичні процеси - біологічне окиснення та спряжене з ним окисне фосфорилування є кінцевою фазою катаболізму молекул у живих організмах, що реалізується складними мультиензимними комплексами внутрішніх мембран мітохондрій. Результатом цих структурованих у біомембранах реакцій є генерація макроергічних зв'язків у молекулі АТФ – основному постачальнику енергії для всіх ендергонічних процесів клітин.

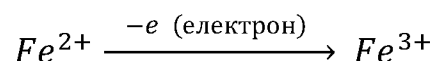
Реакції біологічного окислення

Внутрішньомолекулярне окислення біологічних субстратів (біологічне окислення) є основним молекулярним механізмом, за рахунок якого забезпечуються енергетичні потреби функціонування живих організмів.

Окислення - це процес втрати атомом, молекулою, що окислюється (субстратом окислення), електронів або атомів водню (протонів та електронів).

Відновлення - реакція, зворотна окисленню, - супроводжується приєднанням органічним субстратом електронів або атомів водню (гідруванням субстрату).

Прикладом окислювально-відновлювальної реакції, поширеної в біологічних системах, є перетворення феро-іона у фери-іон:



В окислювально-відновлювальному процесі завжди беруть участь два типи речовин: окисник (сполука, що приймає електрони) та відновник (сполука, що віддає електрони окиснику).

Електрони та атоми водню, що беруть участь в окислювально-відновлювальних реакціях, мають назву відновлювальних еквівалентів.

Окислювально-відновлювальна реакція може полягати в міжмолекулярному або міжатомному передаванні відновлювальних еквівалентів від донора електронів (сполуки, що окислюється) акцептору

електронів (сполуці, що відновлюється) без безпосереднього приєднання акцептора до донора. Існують також реакції, в ході яких утворюється новий хімічний зв'язок між атомом вуглецю біомолекули, що окислюється, та гетероатомом, який є більш електронегативним і виступає окисником (зокрема, атомом кисню).

Окисник та відновник складають окислювально-відновлювальну пару (систему) (редокс-систему). Здатність окислювально-відновлювальної системи віддавати або приймати електрони характеризується її окислювально-відновлювальним потенціалом, значення якого обчислюється за рівнянням Нернста:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]}{[Red]}$$

де: R - газова стала;

T - абсолютна температури;

n - кількість електронів, то беруть участь у реакції,

F - число Фарадея,

$[Ox]$ та $[Red]$ - концентрації, відповідно, окисленої та відновленої форми сполуки,

E_0 - стандартний окислювально-відновлювальний потенціал системи (тобто окислювально-відновлювальний потенціал за умов рівностей концентрацій окисленої та відновленої форм редокс-пари).

Величина E_0 кількісно визначає здатність системи бути донором або акцептором електронів відносно іншої редокс-системи. Згідно з рекомендаціями Міжнародного союзу з теоретичної та прикладної хімії (International Union of Pure and Applied Chemie - IUPAC), прийнято вважати, що більш негативні редокс-потенціали мають системи з підвищеною здатністю віддавати електрони, а більш позитивні - системи, що схильні акцентувати електрони.

Стандартні окислювально-відновлювальні потенціали (у вольтах) вимірюють відносно потенціалу водневого електрода H^+/H_2 , приймаючи останній за 0,0 в при $pH = 0$. Однак для біологічних систем більш зручно визначати редокс-потенціали за умов $pH=7,0$ - такий стандартний окислювально-відновлювальний потенціал позначається E_0' . За цих умов E_0' водневого електрода дорівнює - 0,42 в. Значення E_0' біологічно важливих редокс-систем наведені у табл.3.7.

Тканинне дихання

Реакції біологічного окислення складають молекулярну основу тканинного дихання - поглинання O_2 живими тканинами, яке є інтегральним фізіологічним показником інтенсивності перебігу в них окислювально-відновлювальних процесів. Джерелом кисню для цього процесу є O_2 , який надходить в тканини за умов нормальної діяльності системи зовнішнього

дихання та кисеньотранспортувальної функції гемоглобіну крові, і через плазматичні мембрани дифундує всередину клітин.

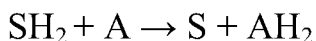
У результаті окислювально-відновлювальних реакцій, які відбуваються в мітохондріях, атоми кисню включаються в молекулу води, а вуглець біоорганічних сполук, що окислюються, виділяється у формі двоокису вуглецю. Саме мітохондріальне дихання є біохімічною основою утворення та акумуляції вільної хімічної енергії, яка використовується в ендергонічних процесах.

Типи реакцій біологічного окислення

Усі окислювально-відновлювальні реакції, що відбуваються в живих клітинах, каталізуються ферментами з класу оксидоредуктаз.

У процесах біологічного окислення, що мають місце в живих системах, виділяють такі класи реакцій:

1. Реакції, пов'язані з передаванням субстратом, що окислюється (SH_2), певному акцептору (А) водню (тобто протонів і електронів):



Реакції такого типу називаються реакціями дегідрування, а ферменти, що їх каталізують, - дегідрогеназами.

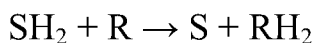
Коферментами дегідрогеназ, що виконують функції безпосередніх акцепторів відновлювальних еквівалентів, є такі сполуки:

– нікотинамідні (піридинові) коферменти – нуклеотиди НАД (нікотинамідаденіндинуклеотид) та НАДФ (нікотинамідаденін-динуклеотидфосфат);
флавінові коферменти - нуклеотиди ФАД (флавінаденіндинуклеотид) та ФМН (флавінмононуклеотид).

Ці коферменти передають електрони на подальші біохімічні акцептори, утворюючи ланцюги передавання відновлювальних еквівалентів у біологічних системах.

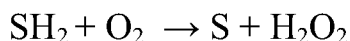
Залежно від хімічної природи акцептора, з яким взаємодіють дегідрогенази, реакції дегідрування поділяють на такі класи:

1.1. Реакції дегідрування, в яких акцептором є хімічна сполука (R), відмінна від кисню:



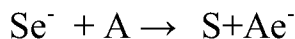
Ферменти, що каталізують такі реакції, - анаеробні дегідрогенази.

1.2. Реакції дегідрування, в яких як акцептор використовується кисень:



Ферменти, що каталізують ці реакції, - аеробні дегідрогенази, або оксидази; в результаті їх дії утворюється перекис водню.

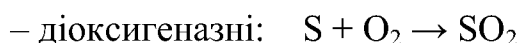
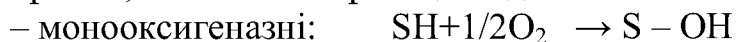
2. Реакції, що відбуваються з передаванням від субстрату до акцептора електронів (одного або двох):



Реакції такого типу каталізуються цитохромами дихального ланцюга мітохондрій.

3. Реакції, що полягають у безпосередньому приєднанні до субстрату, який окислюється, одного або двох атомів кисню.

Такі реакції дістали назву оксигеназних, а відповідні ферменти, що їх каталізують, – оксигеназ. Залежно від кількості атомів кисню, що взаємодіють з субстратом, оксигеназні реакції поділяють на:



Монооксигеназні реакції каталізуються цитохромом Р-450 і лежать в основі окислювального гідроксилування багатьох гідрофобних субстратів екзогенного та ендогенного походження (мікросомальне окислення). До діоксигеназних належать реакції перекислого окислення ліпідів, тобто ненасичених жирних кислот, що входять до складу ліпідів природного походження.

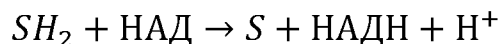
Ферменти біологічного окислення

Дегідрогенази, залежні від нікотинамідних коферментів (НАД(Ф)-залежні дегідрогенази)

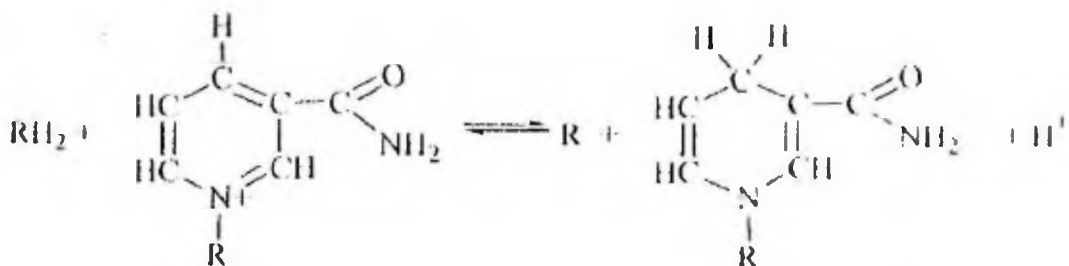
Коферментами цих дегідрогеназ є нуклеотиди НАД або НАДФ, у структурі молекул яких міститься похідна піридину - нікотинамід.

Зв'язок між НАД (або НАДФ) та білковою частиною ферменту (апоферментом) у складі піридинзалежних дегідрогеназ нестійкий: він утворюється та руйнується в процесі каталітичного циклу, що дозволяє вважати нікотинамідні нуклеотиди субстратами, ніж простетичними групами.

Реакції, що каталізуються НАД(Ф)-залежними дегідрогеназами, можуть бути зображені в загальному вигляді такими рівняннями:



Активною структурою в молекулі НАД або НАДФ, що акцептує відновлювальні еквіваленти від субстрату, є піридинове кільце нікотинамідну. У ході ферментативної реакції субстрат відщеплює два атоми водню ($2H^+ + 2e^-$), один з яких у формі гідридїона: H^- (тобто $H^+ + 2e^-$) приєднується до піридинового кільця НАД(Ф), а другий у вигляді протона (іона H^+) надходить у реакційне середовище.



Як свідчить наведене рівняння, під час реакції до четвертого вуглецевого атома нікотинаміду приєднується атом водню (тобто $H^+ + e^-$), а додатковий електрон гідрид-іона взаємодіє з азотом піридинового кільця. В подальшому відновлені форми нікотинамідних коферментів (системи НАД(Ф)Н+ H^+) для спрощення будуть в деяких випадках позначатися як НАД(Ф)Н, або НАД(Ф)Н₂.

Дегідрогенази, залежні від нікотинамідних коферментів, дуже поширені в живих клітинах. Вони виконують функції анаеробних дегідрогеназ, що відщеплюють протони та електрони від багатьох субстратів, відновлюючи НАД або НАДФ, які передають в подальшому відновлювальні еквіваленти на інші акцептори.

НАД-залежні дегідрогенази - ці ферменти каталізують окислювально-відновлювальні реакції, що містяться на окислювальних шляхах метаболізму гліколізу, циклу лимонної кислоти, β -окислення жирних кислот, окисного дезамінування амінокислот, дихального ланцюга мітохондрії.

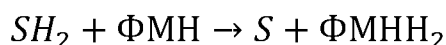
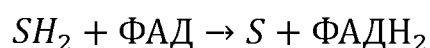
НАДФ-залежні дегідрогенази - ці ферменти беруть участь у процесах відновлювального синтезу, що відбуваються в цитозолі, зокрема постачають атоми водню при синтезі жирних кислот та стероїдів. Головним джерелом відновленого НАДФ є дегідрогеназні реакції пентозофосфатного шляху окислення глюкози.

Флавінзалежні дегідрогенази

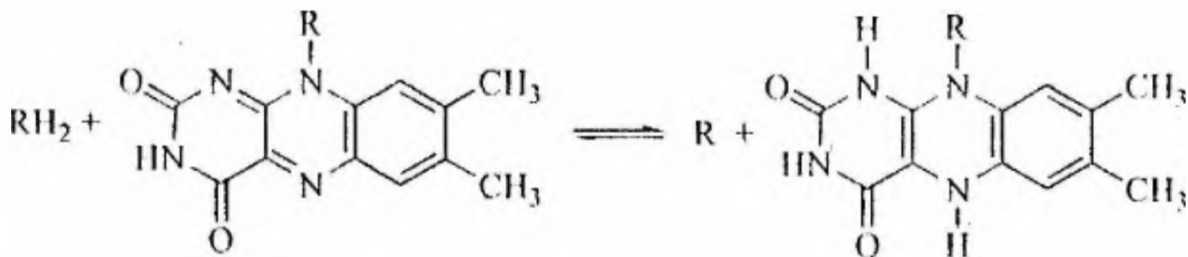
Дегідрогенази цього типу за хімічною природою є флавопротеїнами, простетичними групами в яких є флавінаденіндинуклеотид (ФАД) та флавінмононуклеотид (ФМН).

На відміну від піридинзалежних дегідрогеназ, у більшості флавінзалежних ферментів коферменти (ФАД та ФМН) міцно зв'язані з білковою частиною і не відщеплюються від неї на жодній стадії каталітичного циклу. Виключенням є ФАД-залежна оксидаза D-амінокислот, у складі якої білок має низьку спорідненість із коферментом.

Загальні рівняння окислення субстратів за участю флавінзалежних дегідрогеназ:



Активною частиною молекули ФАД або ФМН, що бере участь в окислювально-відновлювальній реакції, є ізоалоксазинове кільце рибофлавіну, яке акцептує два атоми водню ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$) від субстрату:

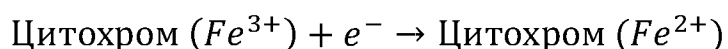


У процесах біологічного окислення певні флавопротеїнові ферменти відіграють роль як анаеробних, так і аеробних дегідрогеназ.

Цитохроми

Цитохроми - залізовмісні білки мітохондрій, що належать до класу гемопротеїнів. У цитохромах іон заліза входить до складу металопорфіринового комплексу (гемінове залізо), близького за хімічною структурою до простетичних груп гемоглобіну та міоглобіну.

За рахунок оберненої зміни валентності гемінового заліза цитохроми виконують функцію транспорту електронів у ланцюгах біологічного окислення в аеробних клітинах:



Залежно від характерних особливостей спектрів поглинання, розрізняють три класи цитохромів (a, b, c). У мітохондріях еукаріотів наявні п'ять різновидів цитохромів - b, c, c₁, a, a₃: в ендоплазматичному ретикулумі гепатоцитів містяться цитохроми P-450 та b₅, що беруть участь у реакціях окислювального гідроксилювання.

Молекулярна організація ланцюга біологічного окислення в мітохондріях

Система біологічного окислення, що локалізована в мембранах мітохондрій, здійснює дегідрування органічних субстратів та послідовний перенос відновлювальних еквівалентів на кисень через ряд проміжних переносників-транспортів електронів та протонів. Ця система організована у вигляді ланцюга електронного транспорту, або дихального ланцюга мітохондрій.

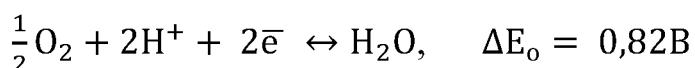
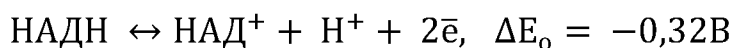
Дихальний ланцюг мітохондрій – сукупність молекулярних компонентів (ферментів, коферментів, додаткових електронно-транспортних білків), що здійснюють дегідрування органічних субстратів та послідовний перенос відновлювальних еквівалентів (протонів та електронів) на кисень через ряд проміжних переносників транспортів протонів та електронів.

Окремі білки та небілкові переносники відновлювальних еквівалентів, які складають дихальний (електронно-транспортний) ланцюг, структурно об'єднані

між собою в надмолекулярні мультиензимні комплекси, вбудовані в ліпідний матрикс внутрішніх мітохондріальних мембран, то створює стеричні умови, необхідні для ефективного перебігу окислювально-відновлювальних реакцій.

Послідовність передавання електронів від одного компонента дихального ланцюга мітохондрій до іншого визначається стандартними окислювально-відновлювальними потенціалами цих компонентів – табл.3.7.

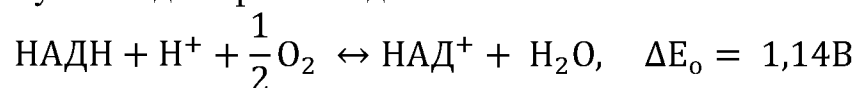
Враховуючи дані таблиці 3.7 виконаємо розрахунок вивільнення хімічної енергії за умов перенесення двох електронів від піридинзалежних дегідрогеназ до кисню:



Таблиця 3.7. Стандартні окислювально-відновлювальні потенціали компонентів дихального ланцюга мітохондрій

Окислювально-відновлювальна пара	E_0 , в
НАДН/НАД*	-0,32
Лактат/піруват	-0,19
Сукцинат/фумарат	+0,03
Убіхінол/убіхінон	+0,10
Цитохром <i>b</i> ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)	+0,12
Цитохром <i>c</i> ₁ ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)	+0,21
Цитохром <i>c</i> ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)	+0,25
Цитохром <i>a</i> ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)	+0,29
Цитохром <i>a</i> ₃ ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)	+0,55
$\text{H}_2\text{O}/1/2\text{O}_2$	+0,82

Підсумовування двох рівнянь дає:



що відповідає:

$$\Delta G = -nF\Delta E_0,$$

де n – кількість електронів, що транспортуються (дорівнює двом при утворенні молекули води);

F – число Фарадея (23,062 ккал/В · моль).

$$\Delta G = -2 \cdot 23,062 \cdot 1,14 = -52,6 \text{ ккал } (-220 \text{ кДж}).$$

Синтез однієї молекули АТФ з АДФ та Фн потребує витрат хімічної енергії, що дорівнюють +7,3 ккал (+30,5 кДж). Очевидно, що енергія, яка

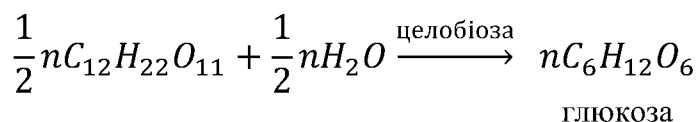
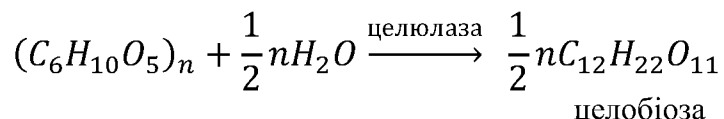
вивільняється за умов транспорту електронів у дихальному ланцюгу мітохондрій, достатньо для синтезу декількох молекул АТФ.

Окиснення целюлози і пектинових речовин

Органічна речовина – целюлоза, до складу якої входить 50% вуглецю біосфери. Полімер дуже стійкий до дії кислот і лугів, у воді лише набухає. Синтезується рослинами й оцтовокислими бактеріями, а розпад здійснюється мікроорганізмами, що належать до різних екологічних ніш із різноманітними природними режимами. Розщеплення целюлози забезпечує повернення CO_2 в атмосферу, формує структуру ґрунту взагалі, й гумусових речовин, зокрема.

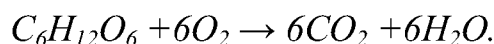
В аеробних умовах розпад забезпечують бактерії, актиноміцети, гриби родів *Cytophaga*, *Myxococcus*, *Sporocytophaga*, *Streptomyces*, *Streptosporangium*, *Micromonospora*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*.

Розкладання целюлози починається з ферментативного гідролізу спочатку до дисахариду целобіози, а потім – до глюкози:



При окисненні глюкози в результаті ферментативних реакцій утворюється пировиноградна кислота, яка вступає в цикл трикарбонових (цикл Кребса) кислот, в результаті цього виділяється диоксид вуглецю, а звільнені атоми водню у кінці дихального ланцюга зв'язуються з киснем у воду.

Сумарно схему цих складних ферментативних процесів з урахуванням тільки початкових речовин і кінцевих продуктів можна записати наступним чином:



Розкладання целюлози в аеробних умовах здійснюється бактеріями з роду *Cytophaga*, актиноміцетами – *Micromonospora*, *Streptomyces*, із грибів – *Fusarium*, *Aspergillus*.

Пектинові речовини містяться в серединних пластинках, що склеюють рослинні клітини у тканини. Крім того, у великих кількостях наявні в шкірці та м'якоті яблук, груш, цитрусових, винограду, у листках і коренеплодах. Відомо три типи пектинових речовин: пропектин, пектин, пектинова кислота (розрізняються за розчинністю).

Бактерії розкладають усі пектинові речовини. Кількість пектинолітичних бактерій у ґрунті складає 10^5 на 1 г. Процес розщеплення схожий до маслянокислого бродіння. Мікроорганізми синтезують 3 види ферментів: пропектиназу (розщеплює пропектин до пектину), пектиназу (гідролізує метилефірний зв'язок пектинової кислоти і метилового спирту), полігалактуранази (руйнує 1,4- β -глікозидні зв'язки між мономерами). Продукти розпаду – моноцукри галактоза, арабіноза, які в подальшому піддаються окисленню чи бродінню. У практиці має значення як процес, що призводить до виділення волокон клітковини прядильних культур. Пектинові речовини руйнують вимочуванням:

Водяним – в анаеробних умовах за допомогою *Clostridium, Bacillus*;

Росяним – в аеробних умовах за допомогою бактерій і цільових грибів *Fusarium, Erwinia*;

Тепловим – за температури 32-38°C із використанням чистих культур.

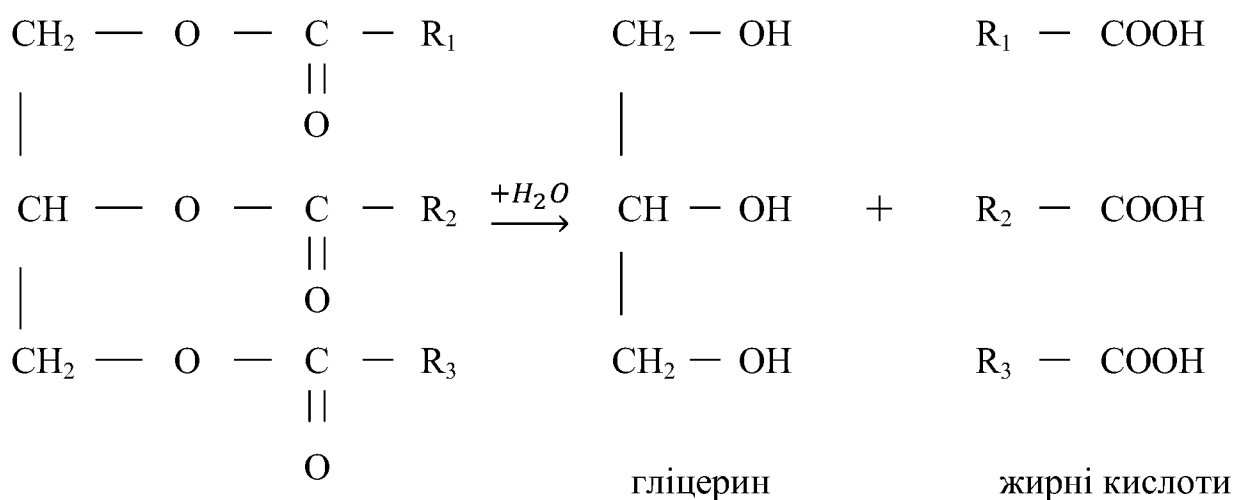
Окрім того, кальцієві солі полігалактуранових кислот використовуються для виготовлення фруктових желе і мармеладу, а пектинолітичні ферменти – у технічних цілях (наприклад, для освітлення соків).

Аеробні процеси розкладання безазотистих речовин.

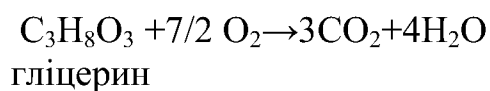
Процеси окиснення надзвичайно різноманітні. В присутності кисню біохімічному розкладу підлягають вуглеводи, жири, органічні кислоти, вуглеводні і інші сполуки. Органічні речовини мають попередній і основний шляхи окиснення. Попереднє руйнування органічних сполук відбувається в результаті гідроліза або окиснення їх до таких речовин, які потім вступають на основний шлях біохімічного окиснення.

Окиснення жиру

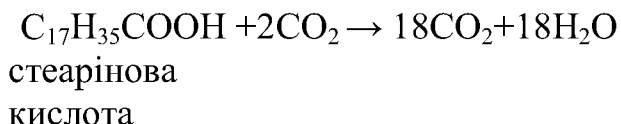
Розклад жиру починається з їх гідролізу під впливом ферменту – ліпази, яка міститься в багатьох мікроорганізмах – актиноміцетах, пліснявих грибах роду *Aspergillus* і *Penicillium*, пігментних бактеріях:



Трьохтонний спирт швидко окиснюється до діоксиду вуглецю і води



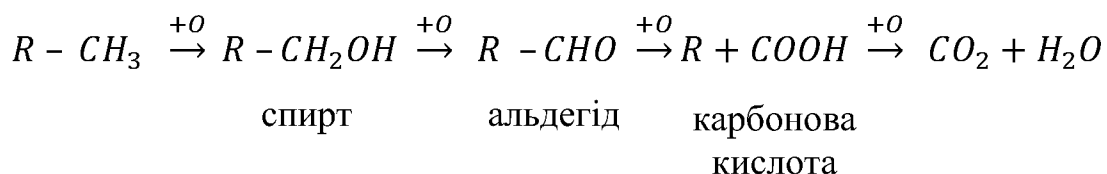
Вищі жирні кислоти, нерозчинені у воді, окиснюються значно важче. Під впливом мікроорганізмів вони перетворюються в аеробних умовах до діоксиду вуглецю і води



Окиснення жирних кислот протікає через стадії утворення деяких кислот, які вступають у цикл Кребса. Органічні кислоти можуть використовуватися мікроорганізмами у якості джерела енергії і як матеріал для біосинтезу.

Окиснення насичених вуглеводнів (алканів)

Деякі мікроорганізми в аеробних умовах розкладають вуглеводні з різною довжиною вуглеводного ланцюга, від метану до складних вуглеводнів нафти. Група метаноокиснюючих мікроорганізмів *Methanomonas* під дією ферментів трансформують метан у діоксид вуглецю і воду. Вуглеводні з великим числом вуглецевих атомів окиснюються деякими групами бактерій за різними механізмами. основний шлях можна навести схемою



Остання стадія завершається перетворенням кислот в циклі Кребса до простих продуктів, при повному окисненні до діоксиду вуглецю і води. Найбільш енергійно окиснюють алкани бактерії *Pseudomonas*, Мікобактерії, актиноміцети. Розкладання вуглеводнів можуть виникати і в анаеробних умовах в присутності речовин, які здібні віддавати кисень.

Окиснення ароматичних вуглеводнів і їх похідних.

Більшість сполук ароматичного ряду, наприклад, фенол і його гомогі, є токсичними по відношенню до мікроорганізмів. Однак, існують специфічні мікроорганізми із груп мікобактерій, бацили, які розкладають ці сполуки при певній концентрації їх у навколишньому середовищі. Найбільш повно і швидко окиснення цих сполук виникає у воді при достатній кількості кисню. У цих умовах сполуки ароматичного ряду розкладаються до діоксиду і води без утворення проміжних продуктів.

Постійними компонентами міських стічних вод є поверхнево-активні речовини. По відношенню до біохімічного окиснення вони поділяються на «м'які» і «жорсткі». Жорсткі ПАВ практично не підлягають біохімічному окисненню. Легко підлягають біохімічному окисненню аніонні ПАВ – алкілсульфати з нормальним вуглеводним ланцюгом. ПАВ, які мають розгалужений вуглеводний ланцюг з бензолом, і неіогенні ПАВ найбільш стійкі до біохімічного окиснення.

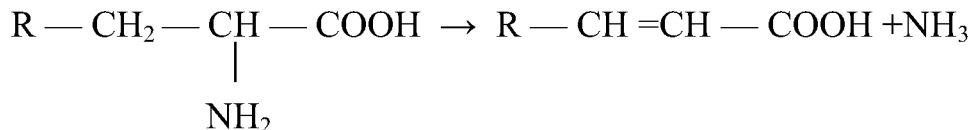
Процеси окиснення азотомістящих органічних речовин.

Органічні сполуки, які містять азот, широко розповсюджені в природі, тому, що азот входить у склад білків. Білки безпосередньо не можуть засвоюватися мікроорганізмами. Однак, деякі групи мікроорганізмів мають здібність виділяти в зовнішнє середовище протеолітичні екзоферменти, які гідролізують білки з утворенням сполук меншою молекулярною масою, здібних проникати через оболонку клітини.

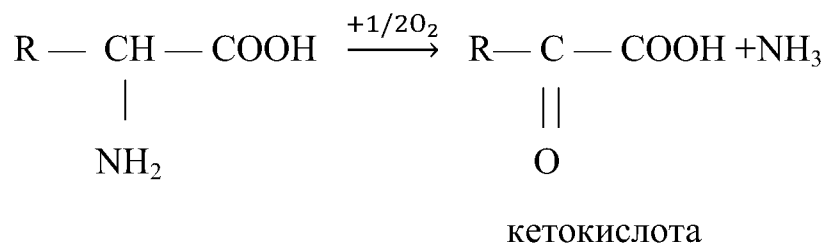


Утворювані амінокислоти під впливом деяких мікроорганізмів, які мають фермент трансаміназу, підлягають дезамінуванню, тобто розкладанню з виділенням аміаку. Дезамінування здійснюється різними шляхами.

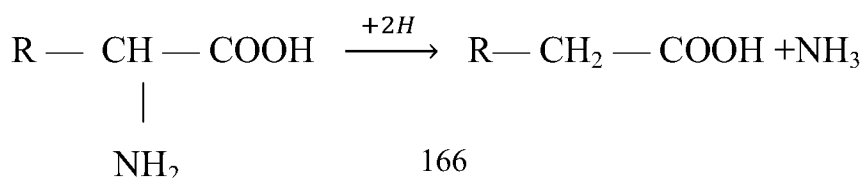
Пряме дезамінування:



окисне дезамінування



відновне дезамінування

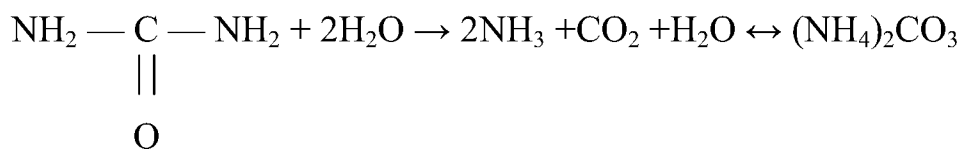


Процес розкладання продуктів гідролізу білкових сполук мікроорганізмами з утворенням аміаку називається аммоніфікацією, а мікроорганізми - аммоніфікаторами.

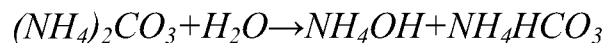
Окиснення білкових сполук відбувається до кінця з утворенням аміаку, диоксиду вуглецю, води. Коли в білках міститься сірка, то в якості проміжних сполук створюються і меркаптани (тіоспирти), а при повному розкладу – сірководень. Найбільш розповсюджені аеробні збудники розкладу білків: *Bacterium*, *Auorescens*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus mycoides*.

Розкладання карбаміда (сечовини)

Карбамід $NH_2+CO-NH_2$ представляє собою продукт білкового обміну у тварин і людини. Під дією фермента уреази карбамід гідролізується уробактеріями з утворенням аміаку і диоксиду вуглецю:



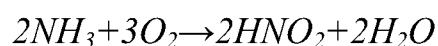
Розкладання карбаміда здійснюється в основному аеробними мікроорганізмами. При цьому карбонат амонію підлягає гідролізу:



Гідроксид амонію і гідрокарбонат амонію зумовлюють буферні властивості стічної води.

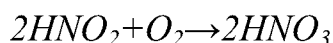
Нітрифікація.

Аміак, який утворюється в результаті розкладу азотмістящих органічних сполук використовується в якості енергетичного матеріалу нітробактеріями. Енергію, яка необхідна для життєдіяльності нітробактерій, одержують в результаті ферментативних реакцій окиснення аміаку і солей амонію киснем:



Найбільш енергійними окисниками аміаку є бактерії роду *Nitrosomonas*. Вони – округлі, злегка витягнуті клітини з довгими джгутиками, спор не утворюють, оптимальне значення рН для їх розвитку 8,5.

Азотиста кислота у присутності достатньої кількості кисню окиснюється деякою групою мікроорганізмів – нітробактеріями до азотної кислоти:

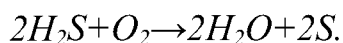


Цей процес протікає при енергичній аерації. Збудниками процесу є бактерії роду *Nitrobacter*, які представляють собою дрібні нерухомі, неспороутворюючі палички. Оптимальне значення рН для їх розвитку 8,3-9,3. всі нітрифікуючі бактерії добре розвиваються і виявляють свою життєдіяльність при рН 8-9. Температурний оптимум розвитку нітрифікуючих бактерій 30-37°C.

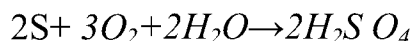
Розкладання сполук, що містять сірку.

Сірка входить до складу деяких білків. При гідролітичному розпаді білків вона відновлюється до сірководню, що є токсичною сполукою для багатьох груп мікроорганізмів. Але у водоймищах і ґрунті зустрічаються сіркобактерії, що окиснюють відновлені сполуки сірки до вільної сірки і сульфатів. Ці бактерії живуть при високих концентраціях сірководню в навколишньому середовищі. Сірководень для них є джерелом енергії для синтезу органічних речовин.

Окиснення сірководню здійснюється у два етапи. Спочатку при достатній кількості сірководню утворюється вільна сірка, яка відкладається в клітинах сіркобактерій у вигляді включень:



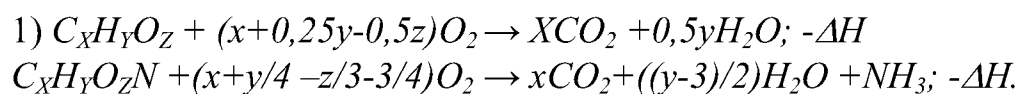
Потім при зниженні концентрації сірководню в навколишньому середовищі відбувається окиснення сірки до сульфатів.



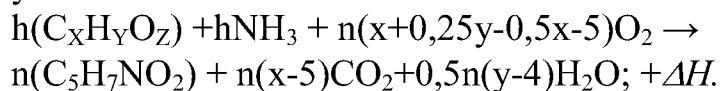
До сіркобактерій, що окиснюють сірководень до утворення вільної сірки, відносяться безбарвні і пурпурні сіркобактерії. З безбарвних сіркобактерій частіше зустрічаються *Beggiatinalba*. Ці бактерії утворюють довгі, плаваючі нитки діаметром від 8 до 50 мкм і визивають обростання. Пурпурні сіркобактерії (*Thiorodactae*) містять пігмент бактерію пурпурин. Вони здатні одержувати енергію шляхом фотосинтезу. Група тионових бактерій окиснюють сірководень до сульфатів. Із них частіше зустрічається невелика рухома *Thiobacillus thiparus*.

Загальна направленість аеробних процесів

Загальна направленість процесів аеробного окиснення здійснюється бактеріями – гетерофами за схемами:



2) Синтез біомаси клітин мікроорганізмів у процесі конструктивного обміну:



3) Окиснення органічних речовин, що входять до складу клітин мікроорганізмів.



Умовні позначення: $C_xH_yO_z$ – безазотні органічні речовини; $C_xH_yO_zN$ – азотвмісні сполуки; $C_5H_7NO_2$ – формула, яка виведена на основі середньостатистичного співвідношення між елементами в синтезованій клітинової речовині. Кількість кисню, необхідного для окиснення органічних домішок у ферментативних реакціях конструктивного і енергетичного обміну (рівняння 1.2), характеризує повне БСК.

Після окиснення органічних домішок стічних вод відбувається розкладання вмісту клітин мікроорганізмів. Коефіцієнти (x, y, z) і середньостатистичне співвідношення між основними елементами можуть відрізнятися для різних груп мікроорганізмів. Отже, ця схема умовна, але за допомогою її можна простежити загальний хід процесів перетворення органічних речовин при аеробних способах очистки стічних вод. Перший і третій процеси є екзотермічними, а другий (біосинтез) – ендотермічним.

3.8.3. Мікроорганізми активного мулу і біоплівки

Діючою основою при очистці стічних вод в аеротенках є активний мул, являє собою частинки органічних речовин, які заселені різними групами мікроорганізмів – аеробів і факультативних анаеробів.

Аерація води сприяє створенню оптимальних умов для їх життєдіяльності і інтенсифікації процесів окиснення органічних речовин. Крім того, перемішування повітрям сприяє підтриманню активного мулу у завислому стані.

Активний мул з фізико-хімічного погляду являє собою структуровану колоїдну систему, що володіє високою сорбційною здатністю. Активний мул є середовищем проживання багатьох мікроорганізмів води і групу, який утворює складний біоценоз. Він утворюється при тривалій аерації біологічної плівки біофільтрів або побутових стічних вод. Склад активного мулу визначається природою органічних домішок і може змінюватися якісно і кількісно. При окисненні стічних вод, які містять фенол у біоценозі активного мулу переважають псевдомонади (*Pseudomonas*) при загальній кількості видів мікроорганізмів 48 і густина бактеріального населення 550 млн. клітин у 1 мл. А при окисненні стічних вод, що містять аніонні ПАВ (алкілсульфонати), розвиваються тільки десять видів із значною перевагою мікробактерій при загальній кількості мікроорганізмів 500 000 у 1 мл.

Біоценоз активного мулу при нормальній роботі аеротенка представлений різними групами бактерій, серед яких є гетеротрофи і літотрофи. Чисельність бактерій в активних мулах складає 10^8 - 10^{12} клітин на 1 мг сухої речовини. У активному мулі зустрічаються усі морфологічні групи бактерій: порядок Pseudomonadineae і роди: Bacillus, Bacterium, Sarcina, Micrococcus та інші. У нормально працюючому мулі містяться у невеликій кількості нитчаті бактерії (сферотилус і кладотрикс, рис.3.23).

Бактерії у процесі очистки води утворюють слизисті скупчення – зооглеї, які характерні для гарно сформованого активного мулу. У зооглеях переважають коккові і паличковидні форми. При утворенні зооглей приймають участь бактерії Zooglea ramigera, які утворюють розгалужені зооглеї у вигляді лопатей.

Основними представниками біоценозів активного мулу є бактерії, що здійснюють біохімічні процеси розкладання органічних речовин. Серед них представлені усі групи бактерій, які розкладають безазотисті і азотомісткі органічні сполуки і недоокислені неорганічні речовини: протеоліти, гідролізуючі білкові сполуки; амоніфікатори; бактерії, розкладаючі вуглеводні, жири, органічні кислоти; нітрифікатори, сіркобактерії та інші.

Крім бактерій в активному мулі розвиваються гриби і актиноміцети. Водорості зустрічаються рідко і в невеликій кількості. Актиноміцети і близькі до них мікробактерії розкладають вуглеводні, жири, органічні кислоти, вуглеводи. Плісняві гриби приймають участь у розкладанні вуглеводів, спиртів, органічних кислот, деякі із них засвоюють органічні форми азоту. Вуглеводи і органічні кислоти вживаються дріжджами. Співвідношення між різними групами мікроорганізмів в активних мулах наведена на рис.3.24.

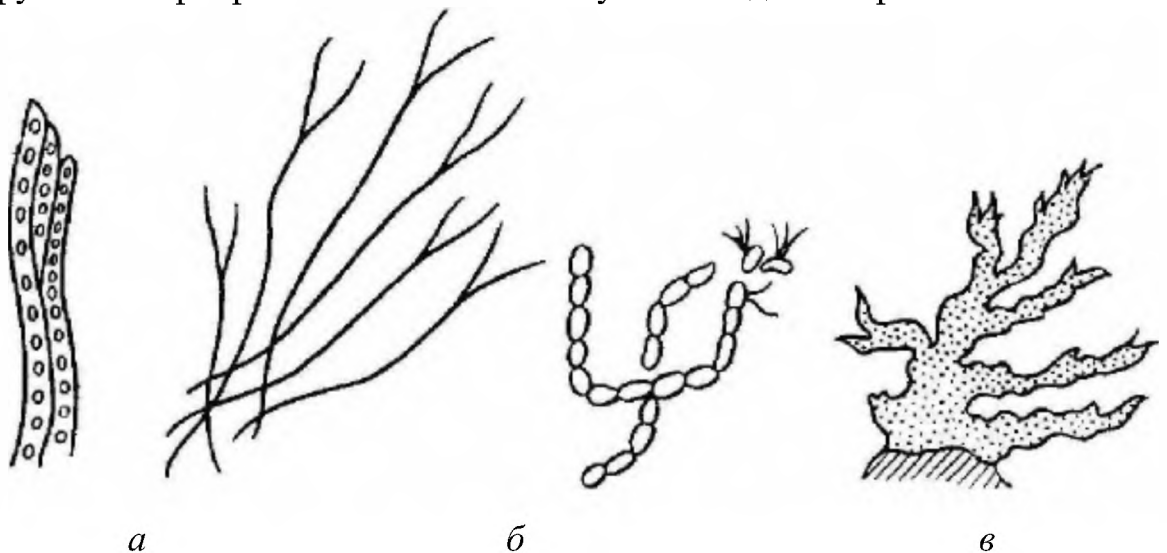


Рис.3.23. Нитчаті і зооглейні бактерії:
а – Sphaerotilus natans; б – Cladothrix; в – Zooglea ramigera

При утрудненні аерації або надлишку в аеротенках органічних забруднювачів спостерігається зміна біоценозу активного мулу. При тривалості анаеробних умов більш ніж 15 хвилин відбувається значне збільшення кількості факультативних анаеробів і подавляється життєдіяльність аеробних форм. Подібна зміна груп мікроорганізмів супроводжується утворенням неосаджуваного мулу. При цьому в активному мулі спостерігається масовий розвиток нитчастих бактерій і грибів (*Fusarium*).

Мікрофауна активного мулу представлена різноманітними групами простіших (джгутиковими, саркодовими, інфузоріями), коловратками, зустрічаються малощетинкові черви (олігохети), рідше – водні кліщі.

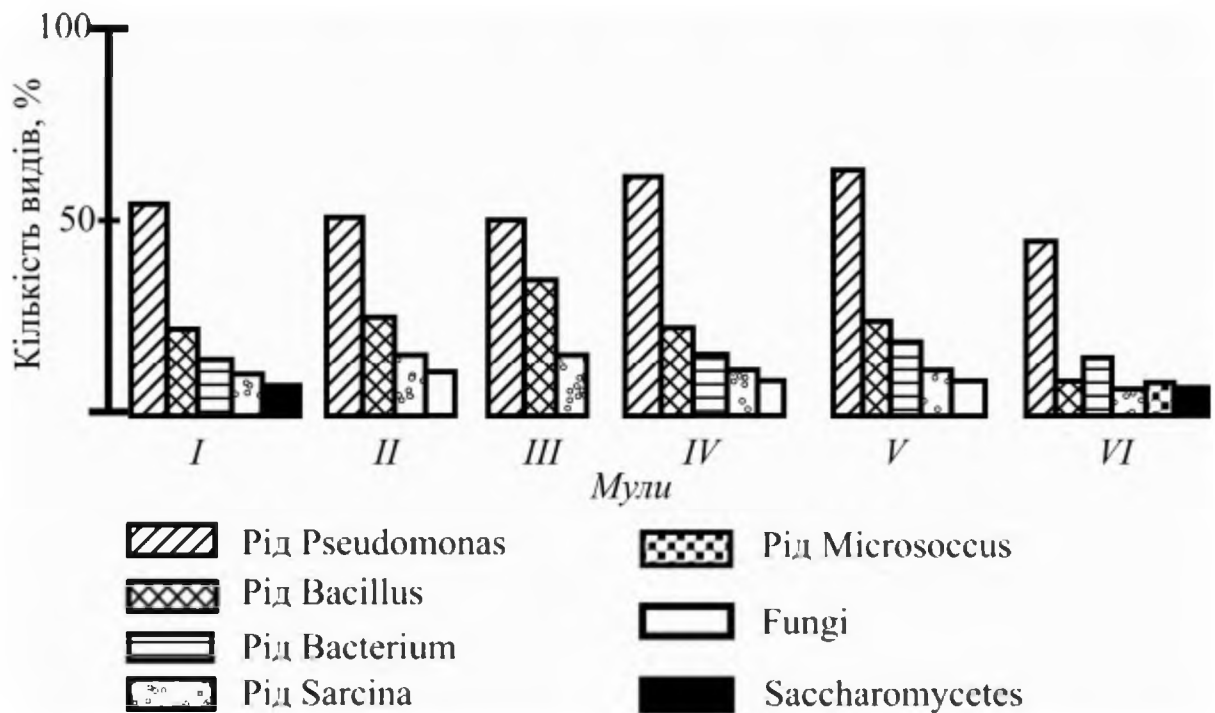


Рис.3.24. Співвідношення між різними групами мікроорганізмів активного мулу

Представники мікрофауни дуже чутливі до концентрації органічних сполук, кількості розчиненого кисню, наявності токсичних сполук. Тому в залежності від зміни ступені забруднення у процесі очистки води в активному мулі спостерігається перевага різних груп найпростіших. При сильному забрудненні води органічними домішками в активному мулі розвиваються у великій кількості із саркадових дрібні амеби (*Amoeba limax* та інші.), безбарвні джгутикові (*p.Bodo*, *Oicomonas* та інші.). Інфузорії при несприятливих умовах із вегетативних форм перетворюються у цисти, а при недостатці розчиненого кисню прикріплені форми переходять у рухому стадію. При гарній роботі аеротенка в активному мулі зустрічаються у великій кількості черевовійкові інфузорії: *Aspidisca*, *Stylonichia*, *Euplotes*; круговійкові: *Vorticella convallaria*,

Opercularia. Якщо спостерігається дефіцит поживних речовин (мул, що голодує), відбувається зменшення розмірів інфузорій і вони починають інцистуватися. У активному мулі, перевантаженому органічними домішками розвиваються інфузорії, що смокчуть (Suctoria).

У активному мулі у період завершення окислення органічних речовин і протікання процесу нітрифікації розвиваються у великій кількості прикріплені інфузорії (наприклад, *Caschesium*), черепашкові (*Arcella*) і крупні голі амеби. Часто зустрічаються коловратки (*Philodina*, *Notommata* та інш.) (рис.3.25). Водні кліщі і рачки (циклопи) розвиваються в голодуючому мулі. Здатність окремих груп мікрофауни розвиватися при визначених умовах використовується для проведення гідробіологічного аналізу.

При мікроскопуванні активного мулу або біоплівки дається характеристика видового і кількісного складу мікроорганізмів, визначається їх життєдіяльність. У табл.3.8 наведені дані про ступінь розвитку різних груп найпростіших при різній роботі очисних споруд.

За результатами гідробіологічного аналізу визначається режим роботи споруди, навантаження по органічним речовинам, встановлюється факт попадання промислових стічних вод, що містять токсичні речовини. При характеризуванні слід враховувати інтенсивність розвитку індикаторних форм мікроорганізмів.

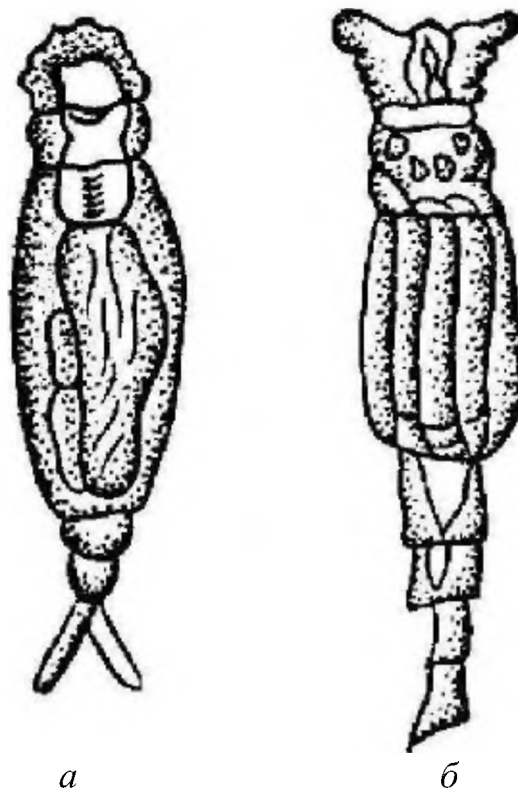


Рис.3.25. Коловратки:
а – р.*Notommata*; б – р.*Philodina*

Аналіз кривих росту для бактерій та інших мікроорганізмів показує, які мікроорганізми супровідні до певної фази розвитку бактеріальної мікрофлори активного мулу. Так, фаза затримки росту бактерій в активному мулі поєднується у ньому з перевагою у ньому амеб і джгутикових. У логарифмічній фазі з найпростіших найбільший розвиток отримують джгутикові, збільшується кількість вільно плаваючих інфузорій. Фаза відмирання бактерій (ендогенна) відповідає закінченню розкладання органічної речовини.

Чисельність бактерій зменшується у результаті відмирання через недостачу поживних речовин і споживання їх найпростішими. У цій фазі з найпростіших переважають прикріплені інфузорії, присутні вільноплаваючі коловратки. Окислення клітинного матеріалу відмираючих бактерій іде паралельно з процесом нітрифікації (нітрифікуючий мул). Роль найпростіших зводиться до поїдання бактерій, а також до споживання завислих речовин.

Таблиця 3.8. Ступінь розвитку різних груп найпростіших при роботі очисних споруд

Організми	Характеристика роботи біологічного окисника		
	дуже погана	задовільна (нітрифікація слабка)	гарна (нітрифікація міцна)
Амеби	переважають	одиничні екземпляри	відсутні
Інфузорії	відсутні	переважають рівновійкові	переважають круго- і черевовійкові
Коловратки		переважають	переважають

Процес мінералізації органічних речовин може порушуватися у присутності токсичних сполук, ПАР, важких металів та інш. Біологічна токсичність домішок виробничих стічних вод оцінюється за зміною дегідрогенозної активності. Дегідрогеназа – окисно-відновний фермент, який приймає участь у процесі дихання. Вона дуже чутлива до дії токсичних сполук. За ступеню пригнічення активності дегідрогенази у мікроорганізмів активного мулу або біоплівки можна зробити висновок про вплив цих сполук на їх життєдіяльність. Визначення проводяться у присутності індикаторів, які змінюють забарвлення під дією дегідрогенази.

Здатність активного мулу до осадження характеризується муловим індексом. Ця величина визначається за об'ємом мулу, який утворюється після 3-хвилинного відстоювання рідини, що містить 3 мг/л мулу. Співвідношення між об'ємом (мл) або і масою сухої речовини, що міститься в 1 г мулу,

називається муловим індексом. При гарній роботі аеротенку муловий індекс складає 100-120 мл/г. Підвищення мулового індексу до 159-200 мл/г свідчить про порушення роботи аеротенку. Біологічна очистка рахується повною, якщо БСК_{повн} очищеної стічної води складає менше 20 мг/л, і неповною, якщо БСК_{повн} перевищує 20 мг/л. Повна біологічна очистка може проводитися у двох режимах: звичайна аерація (до початку нітрифікації і мінералізації активного мулу) і тривала аерація (повне окислення), при якому частково мінералізується активний мул і відбувається процес нітрифікації. Поняття повної біологічної очистки є умовним, так як частина сполук, що біологічно окислюють і не окислюються у цих умовах, залишається у очищеній воді.

Біохімічні процеси розкладання органічних речовин у біофільтрі здійснюється мікроорганізмами біологічної плівки, що формується на зернах загрузки у період його дозрівання. Населення біоплівки представлено тими ж групами мікроорганізмів, що і в біоценозі активного мулу. Але в ній більш широко представлені зелені, синьо-зелені та діатомові водорості, а також гриби, черви, личинки комах. Ступінь розвитку різних груп мікроорганізмів у біофільтрі визначається складом стічних вод, умовами обробки води. Видовий склад біоплівки схильний до сезонних коливань. Водорості розвиваються у верхніх шарах, але діатомові можуть зустрічатися і в нижчих шарах завантаження. Найпростіші розвиваються переважно у верхніх шарах (у не зрошуваній зоні) і у нижніх. Бактерії населяють усі шари завантаження біофільтру.

3.8.4. Очищення стічних вод і основні характеристики активного мулу

Основну роль в очищенні стічних вод відіграють процеси перетворення речовини, які відбуваються усередині клітин мікроорганізмів. Ці процеси закінчуються окиснюванням речовини з виділенням енергії і синтезом нових речовин з витратою цієї енергії.

У зв'язку з цим мають значення основні закономірності росту колоній мікроорганізмів, які входять у контакт з поживними речовинами рідини. У загальному вигляді процес росту мікроорганізмів у часі відображається кривою рис.3.26. У залежності від швидкості виділяють декілька фаз росту мікроорганізмів.

Фаза I - лаг (), фаза адаптації, яка спостерігається відразу після введення мікроорганізмів у контакт в поживним середовищем, і у якій практично не відбувається приросту біомаси. Тривалість цієї фази залежить як від природи органічних речовин і ступеню адаптованості мікроорганізмів до них, так і від умов, у які вони вносяться;

Фаза II – фаза експоненціального росту мікроорганізмів, у якій надлишок поживних речовин і відсутність продуктів обміну речовин сприяють підтримці максимально можливої у даних умовах швидкості розмноження клітин, що визначається лише біологічною сутністю процесу їх відтворення;

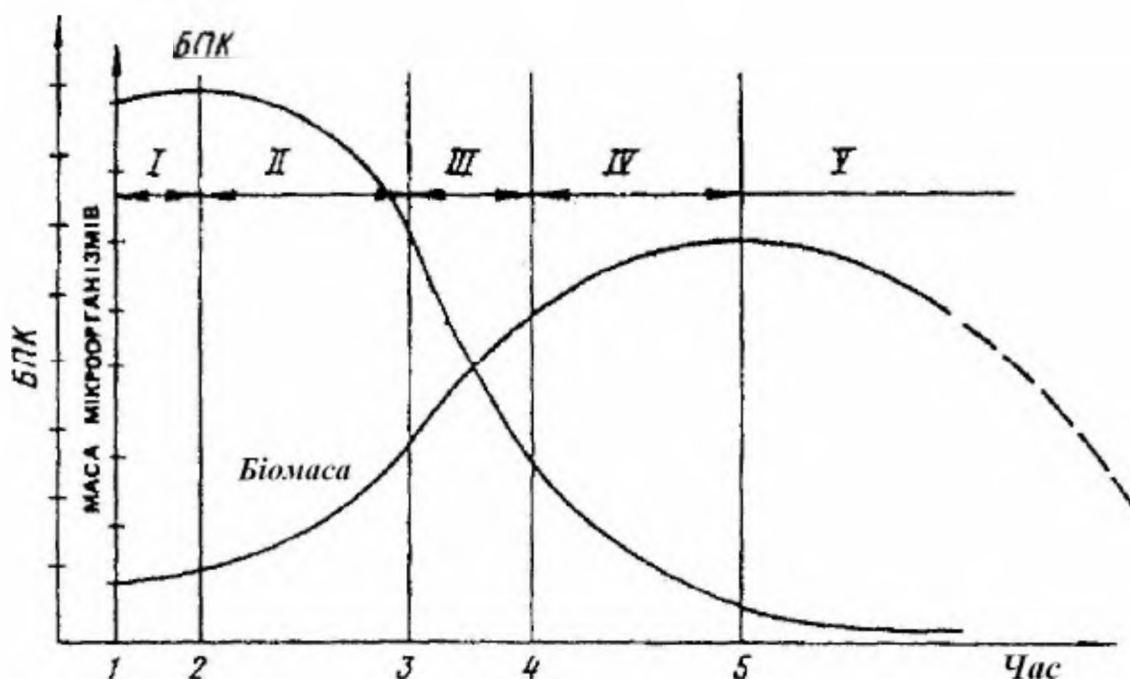


Рис.3.26. Залежність приросту біомаси в аеробних умовах від концентрації поживних речовин

Фаза III – фаза сповільненого росту, у якій швидкість біомаси починає стримуватися в міру виснаження поживних речовин і накопичення продуктів метаболізму у культуральному середовищі;

Фаза IV – фаза нульового росту, у якій спостерігається стаціонарний стан у кількості біомаси, яке свідчить про рівновагу між наявністю поживних речовин і накопиченню біологічною масою;

Фаза V – фаза ендогенного дихання, в якій через недостачу живлення починається відмирання і розпад клітин, яке призводить до зниження загальної кількості біомаси у біологічному реакторі.

З рис.3.26 видно, що відмічені фази росту мікроорганізмів відповідає динаміці зміни концентрації поживних речовин, виражених через БСК. Отже, можна зробити наступні надто важливі для технічної реалізації процесу висновки:

- при біологічній очистці частина забруднень, що містяться у стічних водах, трансформується в біологічну масу; розчинені і інертні завислі органічні речовини у результаті метаболічної активності мікроорганізмів і сорбційної здатності активного мулу перетворюватися в біологічну масу і легко відокремлюється від очищеної води;

- тривалість вилучення і окиснення органічних забруднень, які містяться в стічній воді коротше, чим триваліше маса мікроорганізмів знаходиться у контакті з ними;

– при падінні вмісту органічних речовин очищеної води нижче певної межі, життєдіяльність мікроорганізмів продовжується за рахунок накопичених поживних речовин або їх власної маси.

Крива росту, яка ґрунтується на кількісній оцінці біомаси, дає гарне уявлення про динаміку перетворення маси забруднень у біологічну масу мікроорганізмів, вона не відображає фізіологічних змін, які відбуваються у клітинах на різних стадіях розвитку біомаси у цілому.

Якщо у фазах II і III відбувається бурхливий ріст біомаси, культура «омолоджується», і в ній переважають нові клітини, то у фазі IV спостерігається перевага відмирання клітин над їх ростом. Фізіологічний стан клітин не залишається постійним у різних фазах росту біомаси і характеризується їх різною метаболічною активністю.

Біоценоз активного мулу – це багатокомпонентна система, швидкість і якість формування якої залежить від складу стічних вод, проектних параметрів очисних споруд і дотримання технологічного режиму процесу очищення. Кількість і якість активного мулу визначають такими показниками як доза мулу, вік, муловий індекс, зольність, швидкість приросту. Структура добре сформованого здорового активного мулу представлена пластівцями з густиною $1,1-1,4 \text{ г/см}^3$ і розміром від 53-212 мкм. Площа поверхні одного граму такого мулу дорівнює 100 м^2 . Більшість бактерій, які беруть участь у формуванні активного мулу, є гетеротрофами. Це представники мікрофлори водойм, а також кишкового людини та тварин.

Необхідний вік, висока метаболічна активність і седиментаційна здатність досягаються підтриманням необхідної кількості біомаси у аераційній споруді за рахунок виведення з нього її приросту і забезпеченням відповідної тривалості контакту біомаси з забрудненнями.

Слід відзначити, що співвідношення між кількістю живлення і масою мікроорганізмів у біологічному реакторі є важливою характеристикою, яка визначає умови перебігу у ньому біохімічних процесів. Відповідно до аераційних споруд ця характеристика має назву «*навантаження забруднень на мул*». Вона визначає кількість забруднень на одиницю маси мулу за одиницю часу і виражається у мг або г забруднення (ХПК БПК) на 1 г сухої речовини або мулу за 1 годину, одну добу. В останні роки навантаження забруднень розраховують не на 1 г сухої речовини мулу, а на 1 г сухої беззольної речовини мулу, яка дозволяє враховувати його метаболічну активність. Це пов'язано з тим, що в активному мулі присутньо біля 25-35% по масі мінеральних речовин, які не беруть участь у біохімічних процесах.

Масу мулу в аераційній споруді виражають через його концентрацію у муловій суміші у грамах сухої речовини мулу на 1 л або у 1 м^3 мулової суміші. Концентрацію активного мулу, яку підтримують в експлуатаційному режимі аераційної споруди, називають «*дозою активного мулу*» a_i або «*робочою дозою*». Таким чином, середнє навантаження на активний мул по забрудненням, які виражені через БСК, можна представити:

$$q_i = \frac{L_{en}}{a_i(1-s)t_{at}},$$

де L_{en} – БПК, які надходять у аераційну споруду стічної рідини, мг/л або г/м³;

s - зольність мулу, долі одиниці;

a_i - доза мулу, яка виражається у г/л, якщо БСК виражена у мг/л, і у г/м³, якщо БСК виражена у г/м³;

t_{at} – тривалість перебування рідини у аераційній споруді.

Тоді навантаження на мул виражаються у грамах БСК, що надходить на 1 г беззольної речовини сухого мулу за 1 годину.

Однак середнє навантаження на мул ще не означає, що кількість забруднень, які надійшли у споруду, буде вилучена активним мулом. У біологічно очищеній стічній воді може залишатися кількість забруднень, яка залежить від глибини очистки стічної води. При повній біологічній очистці після відділення активного мулу ця кількість забруднень складає 12-20 мг/л за БСК_{повн}. Різниця між БСК_{повн}, яка надходить у аераційну споруду, і БСК'_{повн}, яка виходить з неї, називається вилученою БСК_{повн}. Її відношення до маси мулу і тривалості аерації є питомою швидкістю вилучення забруднень очищуваної води, яку виражають у мг або г БСК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу за 1 годину і визначають експериментально:

$$\rho_i = \frac{(L_{en} - L'_{ex})}{a_i(1-s)t_{at}}.$$

Якщо навантаження на мул носить фізичний, то питома швидкість вилучення забруднень відображає біохімічну сутність процесу споживання забруднень і окиснення активним мулом, який перебуває у конкретних технологічних умовах. Питома швидкість вилучення забруднень залежить від хімічної природи забруднень, їх концентрації у стічній воді, навантаження забруднень на активний мул, глибини їх вилучення, ступеню адаптованості активного мулу до забруднень, температури стічних вод, гідродинамічних умов у аераційному спорудженні. Середнє навантаження на мул і питома швидкість очистки пов'язані між собою. Це означає, якщо навантаження на мул велике, то активний мул не впорається і не може забезпечити очистку. Якщо навантаження на мул мале, то активний мул зазнає нестачу живлення і недовантаження має місце самоокиснення активного мулу і падіння робочої дози мулу в аеротенку.

З формул (g_i) і (p_i) видно, що середнє навантаження на мул, і питома швидкість очистки можуть підтримуватися на певному рівні при дотриманні постійності утворення $a_i t_{at}$, тобто дози мулу на тривалість його дії на

забруднення. При цьому, збільшуючи дозу мулу у споруді і пропорційно скорочуючи тривалість перебування мулової суміші в аераційному спорудженні можливо було б зменшити його об'єми. Як жива біологічна система активний мул потребує певного об'єму. У залежності від таких факторів, як характер забруднень, навантаження на мул, дози мулу, тривалості відстоювання, об'єм, який займає мул, змінюється у широких межах. Для можливості порівняння значень цього показника, які отримані при різних технологічних режимах, уведено стандартизоване поняття мулового індексу I_i , який визначається об'ємом, мл, що відповідає на 1 г сухої речовини активного мулу після 30-хвилинного відстоювання мулової суміші. Значення мулового індексу залежить від концентрації активного мулу в муловій суміші і характеризує седиментаційну здатність активного мулу, тобто схильність мулу до осідання. Після завершення процесу очистки води (вилучення і окиснення забруднень із стічної води) активний мул повинен бути відділений від очищеної води.

У більшості систем очистки води в аеротенках, які застосовуються наразі, процес відокремлення активного мулу відбувається гравітаційним шляхом, відстоюванням, при якому активний мул осаджується на дно відстійної споруди і ущільнюється, після чого направляється в аераційну споруду. Якщо мул буде погано осаджуватися у відстійних спорудах, то його винесення з очищеною водою погіршує якість очищеної води. Якщо встановити високу концентрацію мулу в аераційній споруді, то при переході мулової суміші у споруду для відокремлення мулу шляхом його осадження останній поступово виноситися разом з очищеною водою, тоді в аераційній споруді встановиться концентрація активного мулу, відповідна муловому індексу. Мул, який добре осідає, має муловий індекс від 60-90 до 120-150 мл/г в залежності від технологічного режиму роботи аераційних споруд і складу стічних вод. Як перевантаження, так і недовантаження активного мулу за забрудненнями приводять до різкого збільшення мулового індексу, який називається «спуханням» мулу (рис.3.27), і виноситься з очищеною стічною водою.

Отже, дозу мулу слід розглядати як оптимальну концентрацію активного мулу в аераційній споруді, яка складається під впливом різних факторів, які характеризують той чи інший технологічний режим роботи аераційних споруд, споруд муловідоокремлення. У цьому зв'язку середні значення дози мулу в аераційних спорудах можуть коливатися у межах 3-5 г/л – при продовженні аерації; 3-4 г/л – при низьких навантаженнях на мул; 2,5-3,5 г/л – при середніх і 2-3 г/л – при високих навантаженнях.

Чим вище значення робочої дози мулу в аераційній споруді, тим вище окиснення цієї споруди. Під нею розуміється кількість забруднень, які вилучаються в одиницю часу масою активного мулу, яка перебуває в одиниці об'єму споруди. Отже окиснювальну потужність виражають у кілограмах вилучених забруднень, що виноситься на 1м^3 споруди за добу. Тому

окиснювана потужність споруди відображає його пропускну спроможність за масою забруднень при забезпеченні умов ефекту очистки.

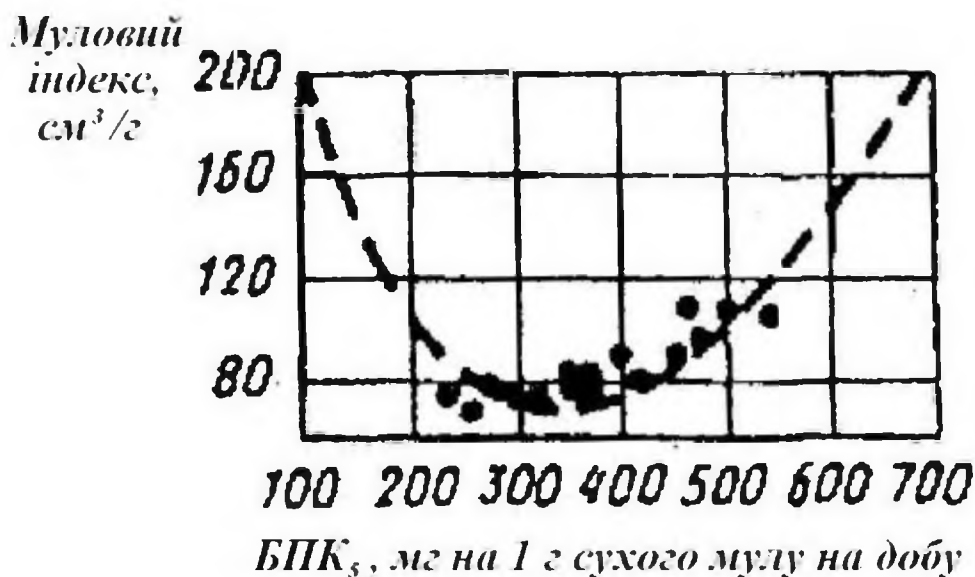


Рис.3.27. Залежність мулового індексу від навантаження на активний мул

Ще однією важливою характеристикою метаболічної активності мулу є вік мулу, під яким розуміється середня тривалість його перебування у спорудах біологічної очистки. Оскільки частина органічних забруднень, які споживаються мулом, іде на побудову нових бактеріальних клітин, активний мул розвивається, і його маса збільшується. Це збільшення називається приростом мулу, і його виражають в одиницях концентрації, тобто в мг/л або г/л. Експериментально встановлено, що у масу приросту мулу включається біля 25-30% БСК_{повн}, яка вилучається у споруді, і біля 75-80% завислих речовин, які надійшли у нього. Оскільки в аеротенку може підтримуватися лише певна для даних умов концентрація мулу, то маса мулу, яка приростає, повинна своєчасно видалятися з системи біологічної очистки. А якщо ні, то вона буде виноситися з потоком очищеної води, погіршуючи якість очистки. Цю масу мулу називають надлишковим активним мулом на відміну від маси мулу, яка повертається із споруди муловідокремлення в аераційний резервуар і що отримала назву циркуляційного активного мулу. Постійний приріст і видалення надлишкового мулу із системи біологічної очистки поступово оновлюють мулову масу в аераційній споруді. Чим вище приріст мулу, тим більша кількість надлишкового активного мулу, тим швидше оновлюється мул і тим менше його вік. Вік мулу описується формулою:

$$B_u = \frac{[(W_{\text{аер}} + W_{\text{кан}})a_i + W_{\text{від.з}}a_i']}{P_p \cdot Q},$$

де $W_{\text{аер}}$, $W_{\text{кан}}$, $W_{\text{від.з}}$ – об'єми відповідно аеротенків, каналів, відстійних зон споруд муловідокремлення, м^3 ;

a_i – середня концентрація активного мулу у муловій суміші в аеротенках і каналах, г/л (кг/м^3);

a_i' – середня концентрація активного мулу у відстійній зоні споруд муловідокремлення, г/л (кг/м^3);

Q – витрати води, яка очищується, $\text{м}^3/\text{доба}$;

P_p – приріст активного мулу, г/л (кг/м^3).

При високій тривалості перебування мулу в біологічній системі у ньому може виявитися висока частка мінералізованого мулу або мулу, яка самоокиснюється. Це приведе до високої зольності мулу і відповідному зниженню його метаболічної активності. При низькій тривалості перебування мулу в біологічній системі у ньому може виявитися висока частка «неактивної», механічно включеної в мул маси забруднень, що також викликає зниження його метаболічної активності.

Дослідження по експлуатації аераційних споруджень показує, що припустима ступінь метаболічної активності мулу забезпечується при його віці в 2-5 доби.

3.8.5. Розкладання органічних речовин в анаеробних умовах

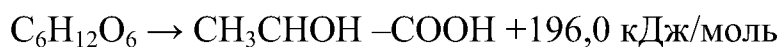
Для обробки надлишку активного мулу і осадів первинних відстійників піддають спеціальній обробці для запобігання їх загниванню, покращенню структури, зменшення об'єму і полегшенню їх зневоднення. Ця обробка полягає в частковому біохімічному розкладанні органічних речовин в анаеробних умовах або в їх збродженні. При цьому основу біохімічних процесів розкладання органічних речовин складають різні види бродіння. До основних видів бродіння відносяться спиртове, молочно-кисле, метанове.

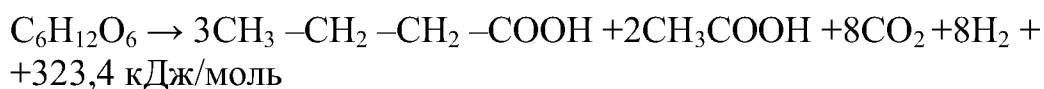
У якості похідних матеріалів використовують різноманітні органічні речовини – вуглеводи, спирти, органічні кислоти, амінокислоти піримідинові. Кінцевим продуктом бродіння є органічні кислоти (молочна, оцтова, янтарна та ін.). Спирти (етилловий, пропиловий, бутиловий, діоксид вуглецю (CO_2) і водень (H_2)). Тип бродіння визначається виходом основного кінцевого продукту.

Маслянокисле бродіння.

Особливістю цього виду бродіння є утворення масляної, оцтової кислот, вуглекислого газу і водню. Воно здійснюється маслянокислими бактеріями (*Clostridium butyricum*). При цьому можуть утворюватися побічні продукти ацетон, бутиловий спирт. Вони зброджують прості і складні вуглеводи (целюлозу, глюкозу, пектинові речовини), солі органічних кислот.

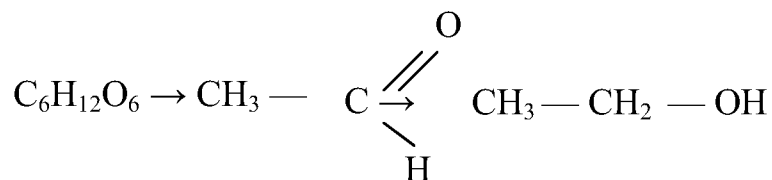
Схема маслянокислого бродіння:





Бродіння відбувається через стадії утворення піровиноградної кислоти з наступним її перетворенням. Джерелом азоту для маслянокислих бактерій є пептин, амінокислоти і амонійні солі, деякі із бактерій використовують вільний азот. Вуглеводи для них є джерелом енергії і вуглецю. Збудниками маслянокислого бродіння є облигатні анаероби. Це крупні, рухливі спороутворюючі палички довжиною 3-10 мкм і діаметром 0,5-1,5 мкм. Оптимальна температура для їх розвитку складає 35-37⁰С, рН6-8.

Спиртове бродіння. При спиртовому бродінні молекули глюкози в результаті ферментативних реакцій перетворюються в оцтовий альдегід, а потім в етиловий спирт за схемою:



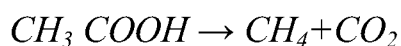
Метанове бродіння є складний процес, який відбувається при участі декількох груп мікроорганізмів. Направленість біохімічних процесів і розвиток визначених груп метаноутворюючих мікроорганізмів визначаються хімічним складом субстрату, який розкладається температурними умовами і навантаженням на споруду по органічній речовині.

Сутність основних закономірностей метанового бродіння полягає в збродженні органічних кислот, спиртів, що утворюються на першій стадії бродіння, з виділенням метану і діоксиду вуглецю. Одночасно відбувається відновлення діоксиду вуглецю воднем до метану. Для метанового бродіння характерна участь води або утворення її в процесі біохімічних реакцій. Основні біохімічні процеси, які відбуваються з утворенням метану виражаються рівняннями:

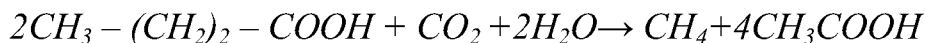
а) бродіння органічних (жирних) кислот



мурашина
кислота



оцтова
кислота

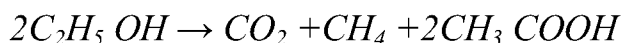


масляна
кислота

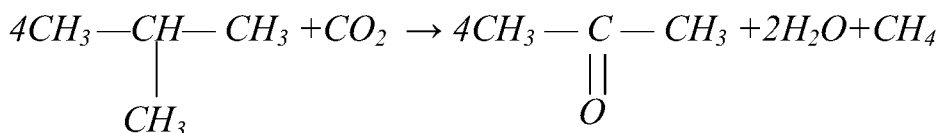
б) спиртів



метиловий
спирт



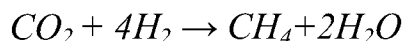
етиловий
спирт



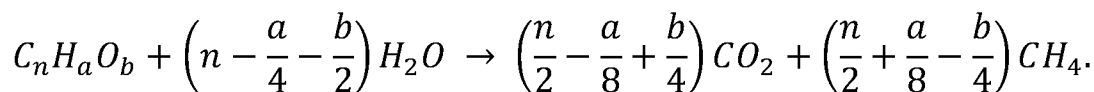
пропанол-2

ацетон

в) відновлення CO_2 воднем



Біля 70-50% метану утворюється з оцтової кислоти, а решта із диоксиду вуглецю, водню та інших сполук. Загальне емпіричне рівняння метанового бродіння з водою для речовин, що містять вуглець, водень і кисень, має вид:



Основними збудниками метанового бродіння є такі види бактерій (паличковидні і кокові форми): *Methanobacterium sohoquenti*, *Methanococcus mazci*, *Methanosarcina methanica*, зброджуючі солі органічних кислот; *Methanobacterium omelianskil* зброджуючі спирти; *Methanococcus vannielii*, що викликають відновлення діоксиду воднем. Метанове бродіння викликається як органотрофними мікроорганізмами так і літотрофними при участі ферменту феродоксину, вітаміну B_{12} . Коферменти НАД і НАДФ інгібують ці реакції. Процеси утворення метану використовуються мікроорганізмами в

енергетичному обміні. Метанове бродіння відбувається у нейтральному або слабколужному середовищі.

Розкладання азотовмістних органічних сполук в анаеробних умовах.

У анаеробних умовах нітрати у результаті ферментативних перетворень можуть відновлюватися до вільного азоту. Цей процес називається денітрифікацією. Денітрифікуючі бактерії широко поширені у водоймищах і в ґрунті. Енергетичними збудниками процесу денітрифікації є *Bacterium denitrificans*, *Pseudomonas fluorescens*. Відновлювати нітрати можуть деякі фітробактерії (*Thiobacillus denitrificans*). Кисень нітратів при цьому іде на утворення сульфатів, а джерелом енергії є процес окиснення елементарної сірки до сульфатів і відбувається за схемою:



Питання для самоконтролю

1. У чому полягає суть біологічного очищення стічних вод?
2. Характеристика мікроорганізмів. Конструктивний і енергетичний обмін.
3. Функції біомолекул у живих організмах.
4. Хімічний склад мікроорганізмів.
5. Які основні фізико-хімічні властивості ферментів і механізм їх дії?
6. Від яких факторів залежить швидкість ферментативних реакцій?
7. Назвіть методи біологічного очищення стічних вод.
8. Як впливають різні фактори (вміст кисню, біогенних елементів і токсичних речовин, рН середовища, температури тощо) на ефективність процесів біологічного очищення стічних вод?
9. Що таке активний мул і біоплівка і як їх використовують для очищення води?
10. Назвіть технологічні схеми біологічного очищення стічних вод.
11. У чому полягає суть аеробного очищення стічних вод?
12. Розкладання органічних речовин в анаеробних умовах.
13. Назвіть основні біологічні очисні споруди для біологічного очищення.
14. Охарактеризуйте систему сапробності і способи визначення індексу сапробності.
15. Методи знезараження вод після біологічного очищення.

Розділ 4. Обробка осадів стічних вод

4.1. Склад і властивості осадів стічних вод

У процесі очистки стічних вод утворюються осади, неоднакової за хімічним складом і фізичними властивостями.

Найбільш складною проблемою при очищенні стічних вод є обробка та утилізація осаду.

До основних видів осадів, які підлягають обробці належать: сирий осад з первинних відстійників, який являє собою суспензію неоднорідного складу, органічна частина якої становить 75-80%, вологість – 93,5-96%; активний мул з вторинних відстійників, який має відносно однорідний склад, - більше 98% часток мулу мають крупність менше 1 мм. Його органічна частина становить 70-75%, вологість дорівнює 99,2-99,6%.

Кінцева ціль обробки осадів стічних вод полягає в перетворенні їх шляхом проведення ряду послідовних технологічних операцій у нешкідливий продукт, який не викликає забруднення природного навколишнього середовища.

В залежності від способу очищення стічних вод і умов формування розрізняють осади первинні і вторинні.

До первинних осадів належать грубодисперсні домішки, які перебувають у твердій фазі і виділяються з води такими механічними способами очищення: проціджуванням, седиментацією, фільтрацією, флотацією, осадженням у відцентровому полі.

До вторинних осадів належать домішки, які перебувають у воді у вигляді колоїдів, молекул та іонів, які у процесі фізико-хімічного і біологічного очищення води або обробки первинних осадів утворюють тверду фазу. Класифікація осадів наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Класифікація осадів стічних вод

Групи осадів	Типи осадів	Споруди та обладнання, які відокремлюють осади
1	2	3
Первинні осади		
I	Осади грубі (відходи)	Решітки, сита
II	Осади важкі	Пісковловлювачі
III	Осади плаваючі	Жировки, відстійники
IV	Осади сирі, виділені зі стічної води у результаті механічного очищення	Відстійники первинні, освітлювачі

Продовження табл.4.1

1	2	3
Вторинні осади		
V	Осади сирі, виділені зі стічної води після біологічного або фізико-хімічного очищення	Відстійники вторинні, флотатори
VI	Осади зброджені, що пройшли обробку у анаеробних перегнивачах, метантенках, та осади стабілізовані в аеробних стабілізаторах	Септики, двох'ярусні відстійники, освітлювачі, перегнивачі, метантенки, аеробні стабілізатори
VII	Осади ущільнені, піддані згущенню до межі текучості (до вологості 85-90%)	Ущільнювачі: гравітаційні, флотажні, сепаратори
VIII	Осади зневоднені, піддані згущенню до вологості 40-80%	Мулові майданчики, вакуум-фільтри, центрифуги, фільтр-преси
IX	Осади сухі, піддані термічному сушінню до вологості 5-40%	Сушарки: барабанні, вальцеві, з киплячим шаром, із зустрічними струменями

Склад осадів за розміром частинок відзначається великою неоднорідністю. Розміри частинок коливаються від 10 мм і більше до частинок колоїдної і молекулярної дисперсності.

Первинні осади. Первинні осади - це грубі осади, які затримуються решітками.

До їх складу належать крупні завислі і плаваючі речовини органічного походження.

Важкі осади затримують пісколовками. До їх складу входять пісок, деякі мінерали, цегла, вугілля, бите скло.

Плаваючі осади затримуються жироловками.

Сирі осади затримуються первинними відстійниками.

У побутових стічних водах ці осади являють собою драглеподібну, в'язку суспензію з кислуватим запахом. Органічні речовини швидко загнивають.

Вторинні осади. До вторинних осадів належить активний мул, який затримується вторинними відстійниками після аеротенків. Він являє собою біоценоз мікроорганізмів і найпростіших, має властивість флокуляції.

Активний мул належить до тонких суспензій, які складаються за масою на 98% із частинок менше 1 мм, і має вологість 99,2-99,7%.

Зброджені осади в анаеробних умовах. Структура осаду, збродженого у метантенках, двох'ярусних відстійниках та інших спорудах дрібна і однорідна, колір - майже чорний або темно-сірий, осади відзначаються високою текучістю.

У метантенках відбувається розкладання осаdів, яке супроводжується виділенням газу - метану (CH₄).

Осади з аеробних стабілізаторів. Слід відмітити, що ступінь розкладання органічних речовин в результаті аеробної стабілізації значно менший, ніж при анаеробних процесах. Після аеробної стабілізації осади ущільнюються у відстійниках до вологості 96-98%. Бактерії колі завдяки аеробній стабілізації гинуть до 95%, але яйця гельмінтів залишаються живими, отже, осади після аеробної стабілізації необхідно знезаражувати.

Слід зазначити, що осади міських стічних вод містять різні форми бактерій, велику кількість яєць гельмінтів. Завдяки термофільному зброdженню, термогравітаційному або термофлотаційному ущільненню осаdів яйця глистів повністю гинуть. До основних характеристик осаdів належать: хімічний склад, вологість, зольність, питомий опір, форми зв'язку матеріалу з водою.

Хімічний склад осаdів. За хімічним складом осади поділяються на три групи: мінерального походження, органічного походження, зольність яких менша ніж 10%, та осади з речовинами органічного і мінерального походження, в яких зольність складає від 10 до 60%.

Загальний хімічний склад осаdів міських стічних вод, та їх мінеральної частини наведений у табл.4.2 і 4.3 відповідно.

Таблиця 4.2. Загальний хімічний склад осаdів, % до абсолютної сухої речовини

Типи осаdів	Зола	α-целюлоза	Геми-целюлоза	Білки, гуміти*	Жири	Загальний азот	Фосфор
Первинні сирі	15-35	5,5-5	5-7	15-21	18-26	3,2-3,8	1,4-2,5
Первинні зброdжені у метантенках:							
мезофільний процес;	28-40	2,8-9	5,8-9	35	7,6-9	3-4,3	2,4-4,8
термофільний процес	40-42	1,6	6,0	28	9	3,8	4,9
Активний мул із вторинних відстійників після аеротенків	25-30	0,8-2	2,6-2,2	30-35	7,11-14	7,3-6,8	5,4

* Примітка: У сирих осадах в основному присутні білкові речовини, а у зброdжених - гумінові сполуки.

Таблиця 4.3

Хімічний склад мінеральної частини осадів, % до абсолютної сухої речовини

Типи осадів	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	ZnO	CuO	NiO	Cr ₂ O ₃
Первинні сирі	8,4-55,9	0,3-18,9	3,0-13,9	11,8-35,9	2,1-4,3	0,7-3,4	0,8-4,2	1,8-7,5	0,1-0,6	0,1-0,8	0,2-2,9	0,8-3,1
Активний мул	7,6-33,8	7,3-26,9	7,2-18,7	8,9-16,7	1,4-11,4	0,8-3,9	1,9-8,3	1,5-6,8	0,2-0,3	0,1-0,2	0,2-3,4	0-2,4
Зброджена суміш	27,3-35,7	8,7-9,3	11,4-13,6	12,5-15,6	1,5-3,6	1,8-2,8	2,6-4,7	3,0-7,2	0,1-0,3	0,2-0,3	0,2-1,0	1,3-1,9

Вологість. Вологість характеризує вміст маси вод в 100 кг осаду. Баланс сирого осаду визначається за формулою:

$$M_{\text{сир.о.}} = M_{\text{сух.р.}} + M_{\text{вод.}}$$

де $M_{\text{сир.о.}}$ – маса сирого осаду, кг;

$M_{\text{сух.р.}}$ – маса абсолютно сухої речовини осаду, кг;

$M_{\text{вод.}}$ – маса води, кг.

Вологість осаду W , %, характеризується відношенням маси води до загальної маси сирого осаду

$$W = \frac{M_{\text{вод.}}}{M_{\text{сир.о.}}} \cdot 100$$

Початкова вологість вихідного осаду W_r , %, визначається за формулою:

$$W_r = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \cdot 100,$$

де W_r – початкова вологість вихідного осаду, %;

m_1 – маса чашки із сирим осадом, г;

m_2 – маса чашки із сухим осадом, г;

m_3 – маса пустої фарфорової чашки, г.

Зольність. Зольність – це величина, яка характеризує вміст в осаді мінеральних домішок.

Зольність осаду Z , % визначається за формулою:

$$Z = \frac{(m_4 - m_5)}{(m_6 - m_5)} 100,$$

де Z - зольність осаду, %; m_4 - маса тиглю з прожареним осадом, г; m_5 - маса пустого тиглю, г; m_6 - маса тиглю з наважкою висушеного осаду, г.

Питомий опір осаду. Питомий опір осаду є узагальненим показником його фільтрації і представляє собою опір одиниці маси твердої фази, що відкладається на одиниці площі фільтру, яка дорівнює одиниці.

Питомий опір осаду, см/г визначається шляхом дослідження і розраховується за формулою:

$$r = \frac{2PF^2}{\eta C} \cdot b,$$

де P – вакуум, при якому відбувається фільтрація, мм.рт.ст.;

F – площа фільтруючої поверхні, см²;

η – в'язкість фільтрату, пз;

C – концентрація осаду, г/см³;

b – параметр, який залежить від умов досліду

$$b = \frac{\tau}{V^2},$$

де τ – тривалість фільтрації, хв;

V – об'єм фільтрату, що утворюється, см³.

Величина питомого опору фільтрації характеризує зміни складу і властивостей осаду, вибір методу його обробки і відповідних очисних споруд, здатність осаду до вологовіддачі при зневодненні методами фільтрування під дією вакууму або тиску.

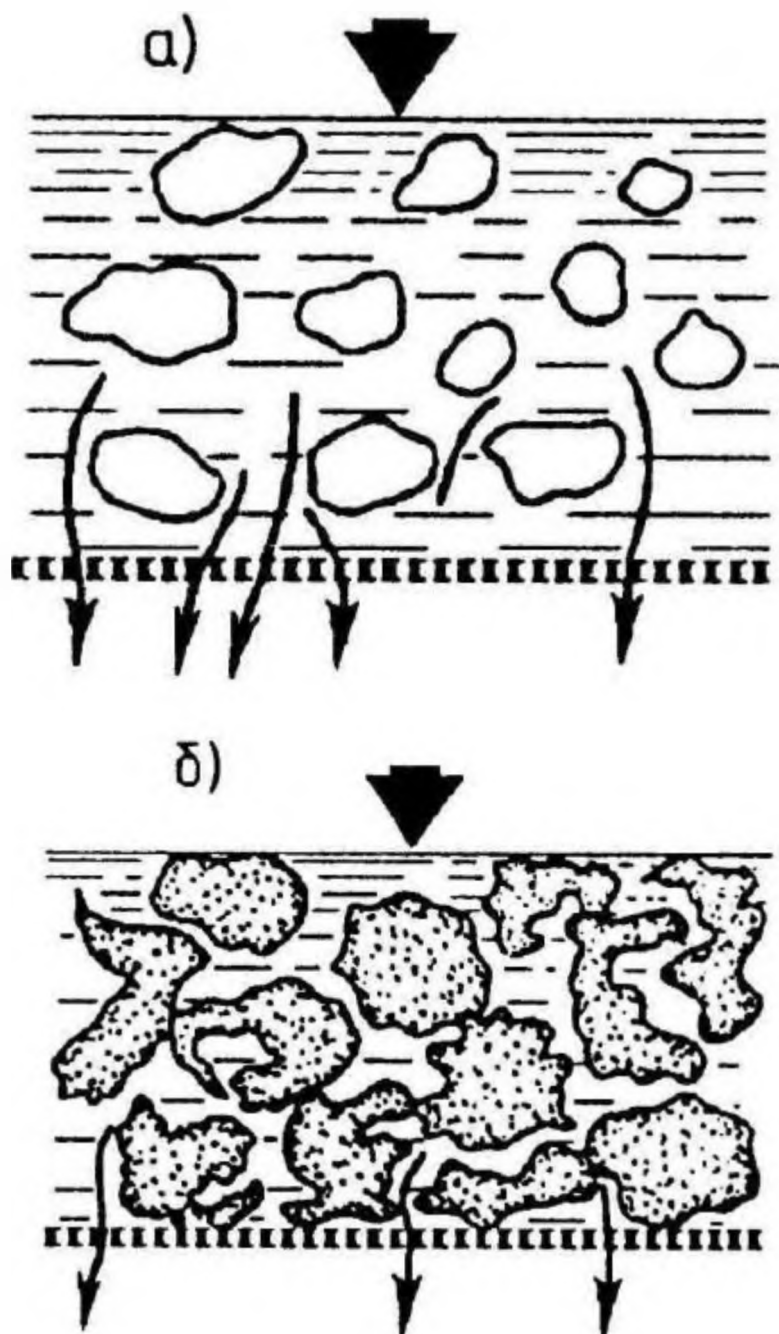
Зменшення величини питомого опору фільтрації свідчить про покращення вологовіддачі.

Питомий опір фільтрації залежить від типу осаду, його концентрації, ступеню зневоднення, температури, дози завантаження, способу перемішування в метантенках, гранулометричного складу його твердої фази.

Зі збільшенням розміру частинок твердої фази питомий опір осаду знижується. Виділення з осадів великих фракцій твердої фази призводить до збільшення їх питомого опору.

При збільшенні перепаду тиску пори у структурі осаду зменшуються, що викликає збільшення опору фільтрації.

Для багатьох видів органічних осадів існує "критичний тиск", вище якого пори кеку звужуються настільки, що фільтрація є неможливою. На рис.4.1 наведені схеми структур різних типів осадів.



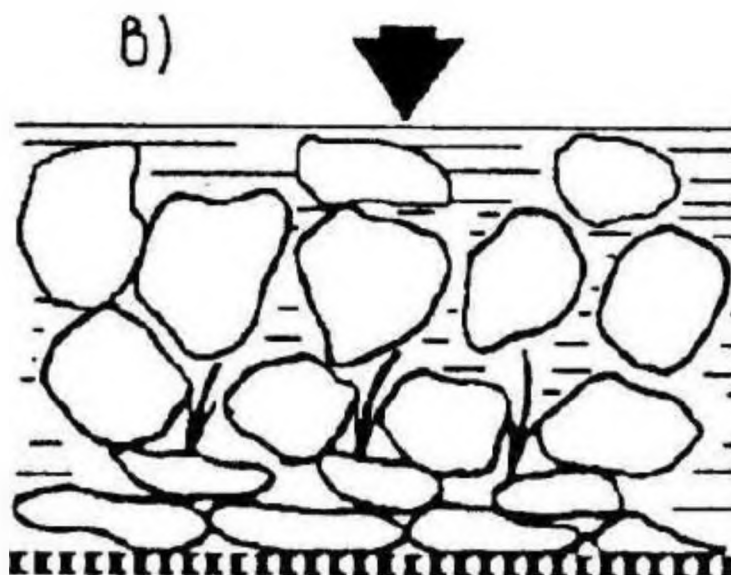


Рис.4.1. Схеми структур різних типів осадів:

a – легко фільтруючий осад; *б* – осад з великим питомим опором; *в* – стискуєчий осад.

У таблиці 4.4 наведені характеристики деяких осадів міських стічних вод.

Таблиця 4.4. Деякі характеристики осадів міських стічних вод

Вид осаду	Кількість осаду на 1 людину на добу		Вологість, %	Зольність сухої речовини, %	Питомий опір $\cdot 10^{-10}$, см/г
	сухої речовини, г	за об'ємом вологого осаду, л			
1	2	3	4	5	6
Відходи з решіток (прозорі 16 мм)	4-6	0,02	70-80	7-8	-
Пісок з пісколовок	3	0,02	60	80-90	-
Сирий осад первинних відстійників	25-40	0,5-0,8	93-95	15-30	50-500
Зброджений осад первинних відстійників в мезофільних умовах	30	0,4-0,7	93-96	28-40	350-1800
Сирий активний мул (ущільнений)	20-32	0,7-1,1	97	25-30	150-5000
Зброджений в мезофільних умовах активний мул	15-25	0,3-0,6	94-96	35-40	2300

Продовження табл.4.4.

1	2	3	4	5	6
Суміш осаду первинних відстійників і активного мулу (ущільненого)	45-70	0,6-2,3	93-97	20-30	200-1200
Те ж, скинений в мезофільних умовах	30-45	0,4-2,2	92-98	35-40	1200-1600
Те ж, скинений в термофільних умовах	30-45	0,75-1,5	96-97	40	1400-10000
Аеробно стабілізований активний мул (ущільнений)	15-25	0,3-0,6	97	30-35	4000-6000

Форми зв'язку матеріалу з водою

У основі класифікації форм зв'язку води з матеріалом, яку запропонував П.О. Ребіндер, є природа утворення зв'язку і енергії взаємодії між ними. Усі форми зв'язку води були поділені на три групи: хімічну, фізико-хімічну і фізико-механічну. У відповідності з цією класифікацією розрізняють наступні види зв'язаної води: хімічно зв'язана [вода], адсорбційно зв'язана [вода], вода макро- і мікрокапілярів; осмотично зв'язана вода, яка вільно утримується каркасом тіла (імобілізаційна [вода]).

Хімічні зв'язки	Фізико-хімічні зв'язки			Фізико-механічні зв'язки	
Дуже міцні і руйнуються тільки при хімічному впливу або при нагріві	Адсорбційна або волога гідратації	Осмотична	Структурна	Капілярна або зв'язок у мікрокапілярах	Волога змочування або зв'язок у макрокапілярах

Хімічно зв'язана вода. Хімічно зв'язана вода - це вода, яка уходить до складу гідратів і кристалогідратів. У цих сполуках реалізується іонний і молекулярний зв'язок речовин осаду з водою.

Знаючи тиск дисоціації гідратів у залежності від температури можна розрахувати вільну енергію зв'язку води і відповідні теплові ефекти, використовуючи залежність тиску насиченої пари вільної води від температури.

Так, для кристалогідратів сульфату міді при температурі 25°C ($P_s = 23,8 \text{ мм Нг}$) маємо наступні значення величини теплових ефектів і вільної енергії зв'язку:

для	$\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$P = 7,8$	$A = 2,74 \cdot 10^{10} \text{ ерг/моль}$
для	$\text{CuSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$P = 5,6$	$A = 3,60 \cdot 10^{10} \text{ ерг/моль}$
для	$\text{CuSO}_4 + 1\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$	$P = 0,8$	$A = 8,40 \cdot 10^{10} \text{ ерг/моль}$

де A - тепловий ефект, ерг/моль ; P - вільна енергія зв'язку.

Із наведених даних видно, що зі зменшенням молекул води у кристалогідраті вільна енергія зв'язку зменшується, а тепловий ефект, навпаки, зростає.

Адсорбційно зв'язана вода. Адсорбційно зв'язана вода - це вода, яка адсорбується на поверхні матеріалу з утворенням мономолекулярного шару різної товщини.

Адсорбційно зв'язана вода залежить від гідрофільних, проміжних і гідрофобних поверхонь. Ця відмінність зв'язана з утворенням крайового кута змочування, його величиною або товщиною мономолекулярного адсорбційного шару.

Крайовий кут характеризує сили взаємодії молекул рідких, твердих та газоподібних речовин між собою і є мірою змочування.

Якщо $0 < \theta < 90^\circ$, то рідина змочує речовину. У цьому випадку сили зчеплення між молекулами рідини і твердого тіла більше сил зчеплення між молекулами твердого тіла і газу, тому рідина розтікається по поверхні (рис.4.2, *а*). Це явище називається *змочуванням*, а поверхня - *ліофільною*. При $\theta = 0$ рідина необмежено розтікається по поверхні твердого тіла (явище повного змочування). При $90^\circ < \theta < 180^\circ$ (рис. 4.2, *б*) має місце *незмочування*. Молекулам твердого тіла енергетично вигідніше взаємодіяти з молекулами газу, ніж з молекулами рідини, у результаті чого рідина відштовхується від поверхні твердого тіла, яка у цьому випадку називається *ліофобною*. При $\theta = 180^\circ$ має місце повне незмочування.

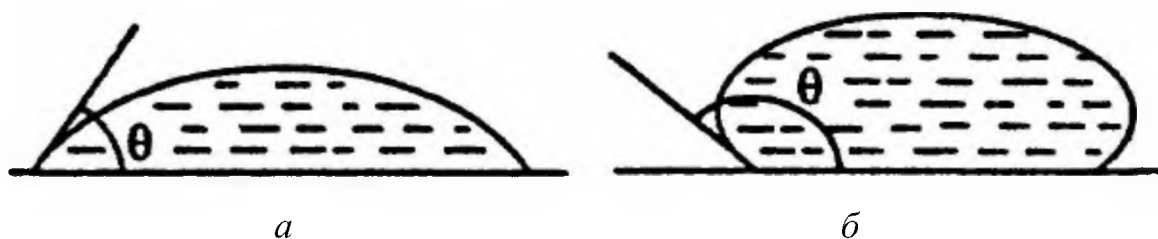


Рис.4.2. Часткове змочування (*а*) і незмочування (*б*)

Прагнення скривленої поверхні рідини до скорочення приводить до виникнення тиску Δp , додаткового до зовнішнього. Величина надлишкового тиску Δp визначається за *формулою Лапласа*:

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

де R_1 і R_2 - радіуси кривизни двох взаємно перпендикулярних січень поверхні рідини. Для сферичної поверхні $R_1 = R_2 = R$, отже:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}.$$

Сумарна сил поверхневого натягу завжди направлена до центру кривизни. Тому у випадку угнутої угору поверхні надлишковий тиск негативний, а у випадку випуклої угору - позитивний (рис.4.3).

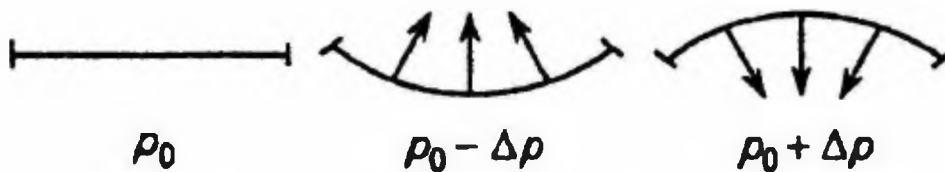


Рис.4.3. Тиск над прямою та зігнутими поверхнями розподілу "рідина - газ":

p_0 - тиск над плоскою поверхнею; Δp - величина надлишкового тиску, додаткового до того, який зазнає рідина з плоскою поверхнею.

Вибіркове змочування було досліджено Ребіндером.

Для вивчення змочування різних поверхонь їх приводили у зіткнення з полярною водою і будь-яким неполярним вуглеводнем.

Якщо між водою і неполярним вуглеводнем, нанесеними на поверхню, крайовий кут змочування з боку води менший 90° ($\cos \theta > 0$), то поверхня називається *гідрофільною*.

Вибіркове змочування водою спостерігається, коли різниця полярностей між водою і твердою речовиною менша, ніж між вуглеводнем і твердою речовиною (кварц, скло, гіпс, силікати, крохмаль, сульфати):

$$\sigma_{\text{Т-Г}} > \sigma_{\text{Т-Р}} \quad (\sigma_{\text{Т-Г}} - \sigma_{\text{Т-Р}} > 0).$$

Якщо ж тверде тіло краще змочується неполярним вуглеводнем, тобто якщо крайовий кут змочування з боку води більший 90° ($\cos \theta < 0$), то поверхня називається *гідрофобною*.

Різниця полярностей між вуглеводнем і твердою речовиною менша, ніж між водою і твердою речовиною (тальк, сірка, графіт, вугілля):

$$\sigma_{T-\Gamma} < \sigma_{T-P} (\sigma_{T-\Gamma} - \sigma_{T-P} < 0).$$

Крапля рідини, нанесена на поверхню, може залишатися на певній її ділянці, і система знаходитиметься у рівновазі відповідно до закону Юнга або ж розтікатиметься по поверхні. Умова розтікання рідини ($dG < 0, dS > 0$): $W_a > 2\sigma_{P-\Gamma}$ або $W_a > W_k (W_k = 2\sigma_{P-\Gamma})$.

Таким чином, розтікання відбувається у випадку, коли робота адгезії перевищує роботу когезії рідини, що розтікається, якщо її міжмолекулярні зв'язки руйнуються в результаті адгезії:

$$f = \sigma_{T-\Gamma} - \sigma_{P-\Gamma} - \sigma_{P-T}; \quad f = W_a - W_k,$$

де f - коефіцієнт розтікання; σ - поверхневий натяг.

При $f > 0$ рідина розтікається по поверхні, при $f < 0$ - не розтікається.

Капілярно(-)зв'язана вода. Капілярно зв'язана вода - це вода, яка міститься у капілярах і здатна утворювати меніски.

Явище поверхневого натягу обумовлює *капілярний ефект* - зміна висоти рівня рідини у вузьких трубках (капілярах) або зазорах. Ефект змочування (незмочування) спричиняє те, що поверхня рідини у капілярі, опущеному у стічну воду, має угнуту (випуклу) форму. Такі зігнуті поверхні називають *менісками*. У першому випадку сили надлишкового тиску направлені угору (до центру кривизни) і забезпечують підняття рідини у капілярі у порівнянні з рівнем рідини у посудині (рис.4.4, а), а у другому - униз, у зв'язку з чим рівень рідини у капілярі знижується (рис.4.4, б).

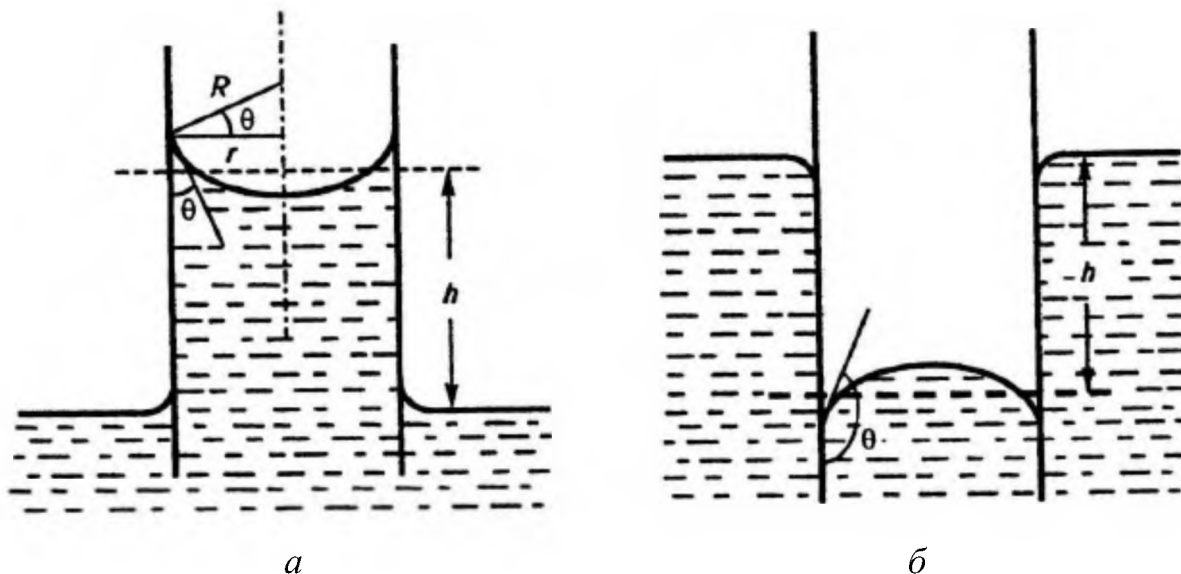


Рис.4.4. Капілярний ефект у випадку змочування (а) і незмочування (б) рідиною стінок капіляру

У рівновазі надлишковий тиск Δp врівноважується гідростатичним тиском

$$\rho gh = \frac{2\sigma}{R}$$

де ρ - щільність рідини;

h - різниця рівнів рідини в об'ємі стічної води і капілярі;

σ - поверхневий натяг на межі «рідина – газ»;

R - радіус кривизни меніску.

З рис.4.4 видно, що

$$R = \frac{r}{\cos\Theta}.$$

Підставивши цей вираз у попередню формулу і виразивши h , отримуємо формулу Жюрена:

$$h = \frac{2\sigma\cos\Theta}{\rho gr}.$$

Осмотично зв'язана вода. Осмотично зв'язана вода на відміну від енергетичного зв'язування води хімічними або молекулярними силами у розведених розчинах слабо зв'язана з осадам, тобто ентропійно. Згідно закону Рауля з ідеально-розведених розчинів відносно пониження тиску пари розчинника над розчином розчиненої речовини дорівнює мольній частці:

$$\frac{P_s - P}{P_s} = n_1 = 1 - n_0,$$

де n_0 - мольна частка розчиненої речовини;

P_s - тиск насиченої пари розчинника;

P - тиск насиченої пари розчинника над розчином.

Різниця між цими величинами ($P_s - P$) називається відносним зниженням тиску пари над розчином і залежить від концентрації розчиненої величини.

Розрізняють вільну воду, яка утримується у дисперсній структурі, включаючи і воду в капілярах пористого тіла. Це спостерігається у тому випадку, коли дисперсне тіло цілком занурене у надлишок рідини в умовах двофазної системи "тверде тіло - рідина", якщо відсутня газова фаза у складі системи.

Обробка осадів, які утворюються у результаті очищення стічних вод складається з таких технологічних процесів: ущільнення, стабілізації, кондиціонування, зневоднення, знешкодження, знезараження та утилізації. На рис.4.5 наведена схема процесів обробки осадів стічних вод.

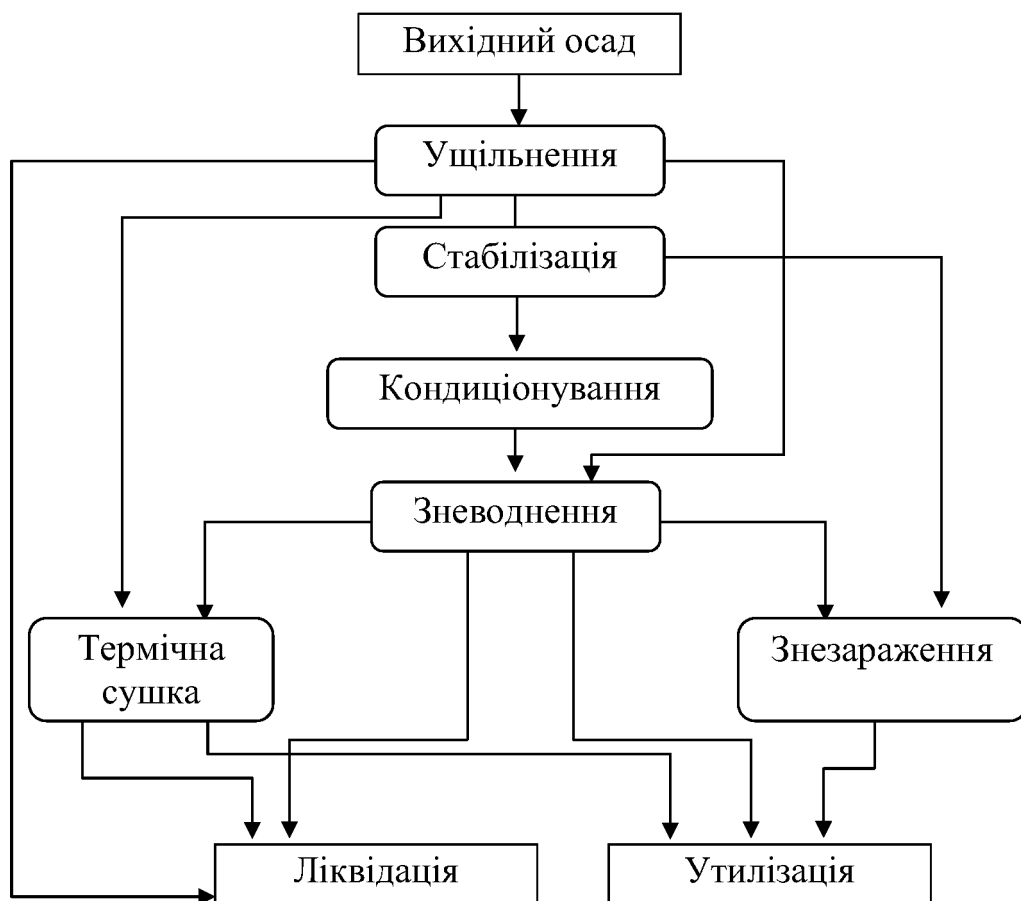


Рис.4.5. Схема процесів обробки осадів стічних вод

4.2. Ущільнення мулу і осадів стічних вод

Ущільнення осадів стічних вод здійснюється з метою зниження їхньої вологості. Відомо, що чим більше зменшується вологість осаду, тим менше будуть витрати на подальшу обробку осадів, а саме: механічне зневоднення, збродження, термічну сушку, спалювання. Ущільнення осадів здійснюють наступними способами: гравітаційною флотацією, центрифугуванням, фільтрацією.

Ефективність ущільнення осадів тим або іншим способом залежить від складу і властивостей осаду, форми зв'язку води, а також від подальшого їх використання.

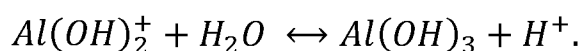
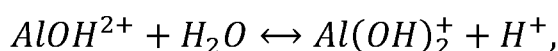
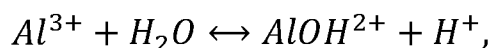
Гравітаційне ущільнення застосовують для надлишкового активного мулу і зброджених осадів. Цей спосіб ущільнення відрізняється від інших способів

ущільнення простотою і економічністю. Тривалість ущільнення дорівнює 4-24 години, вологість при цьому досягається до 87-97%.

Тому з метою зниження тривалості ущільнення, зниження вологості осаду, зменшення виносу завислих речовин застосовують слідуючі заходи: коагуляцію, перемішування, спільне ущільнення різних видів осадів.

Наприклад, при використанні процесу коагуляції застосовують коагулянти сульфат алюмінію $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, сульфат заліза (II) $Fe_2SO_4 \cdot 7 H_2O$ (залізний купорос), хлорид заліза (III) $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, гідроксохлорид алюмінію $AlOHCl_2$, метаалюмінат натрію $NaAlO_2$ та ін.

У процесі розчинення у воді вони гідролізують, утворюючи малорозчинні основи. Гідроліз цих солей відбувається ступінчасто:



Для забезпечення ефективної дії коагулянтів потрібен їхній повний гідроліз з утворенням важкорозчинних гідроксидів, які зв'язуються з колоїдними частками осаду.

При використанні сумішей $Al_2(SO_4)_3$ і $FeCl_3$ у співвідношеннях від 1:1 до 1:2 досягається кращий результат коагулювання, ніж при роздільному використанні реагентів. Відбувається прискорення осадження осаду і ущільнення суттєво підвищується.

Для покращення ущільнення деяких осадів стічних вод, які містять дрібнодисперсні частки, до осаду додають активний мул. Перемішування за допомогою різного виду мішалок також сприяє ущільненню частинок осаду і швидкому їхньому осадженню.

Для ущільнення надлишкового активного мулу застосовують вертикальні або радіальні мулоущільнювачі гравітаційного типу (рис.4.6).

У радіальних мулоущільнювачах використовують низько градієнтні перемішувачі, які установлюють на мулових скребочках. При цьому знижується вологість до 97,3%, а на вертикальних до 98%. Це приводить до більшого зменшення об'єму осаду.

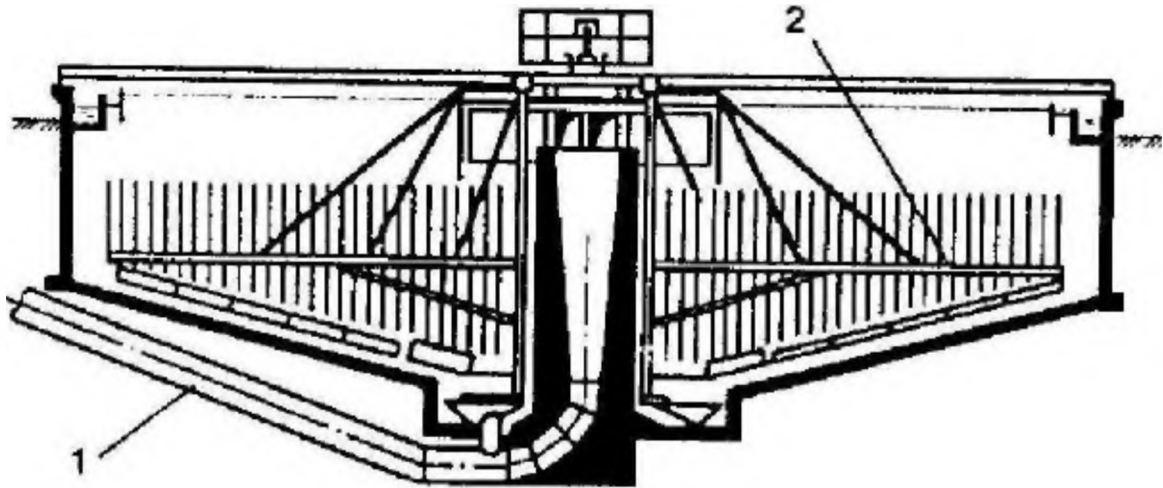


Рис.4.6. Радіальний мулоущільнювач із стержневою мішалкою: 1 – підвідний трубопровід; 2 – мулоскребок із вертикальною решіткою.

Ущільнення активного мулу приводить до різкого зростання його питомого опору. Причиною цього є збільшення кількості зв'язаної води завдяки підвищенню концентрації активного мулу. На ступінь ущільнення активного мулу впливає тип ущільнення, його склад, який залежить від складу стічних вод, ступеня очистки, умов підготовки активного мулу та інше. Активний мул при неповній біологічній очистці ущільнюється значно краще і швидше, ніж при повній біологічній очистці. Мулова суміш із аеротенків ущільнюється швидше, ніж активний мул із вторинних відстійників. Пониження вмісту органічних речовин у твердій фазі активного мулу приводить до покращення його ущільнення. Цьому сприяє збільшення об'ємної маси активного мулу.

Крім гравітаційного методу ущільнення застосовують флотацію для ущільнення різних видів суспензій.

Перевагою цього методу є те, що порівняно з гравітаційним ущільненням осадів тривалість його значно менша, ущільнення більш глибоке, дозволяє запобігти загниванню активного мулу, а головне, його можна регулювати шляхом зміни параметрів.

При застосуванні методу флотації використовують імполярну, електро- і напірну флотацію. Найбільше поширення одержала напірна флотація.

При напірній флотації застосовують безпосереднє насичення ущільненої суспензії повітрям, або використовують робочу рідину. Повітря подається під тиском 0,4 МПа. Коли у флотаційному резервуарі знижується тиск, бульбашки повітря флотують тверді частки осаду і виносять їх на поверхню. При флотаційному способі швидкість ущільнення осаду в 10-15 разів більше ніж при гравітаційному способі. На рис.4.7 приведений флотаційний мулоущільнювач.

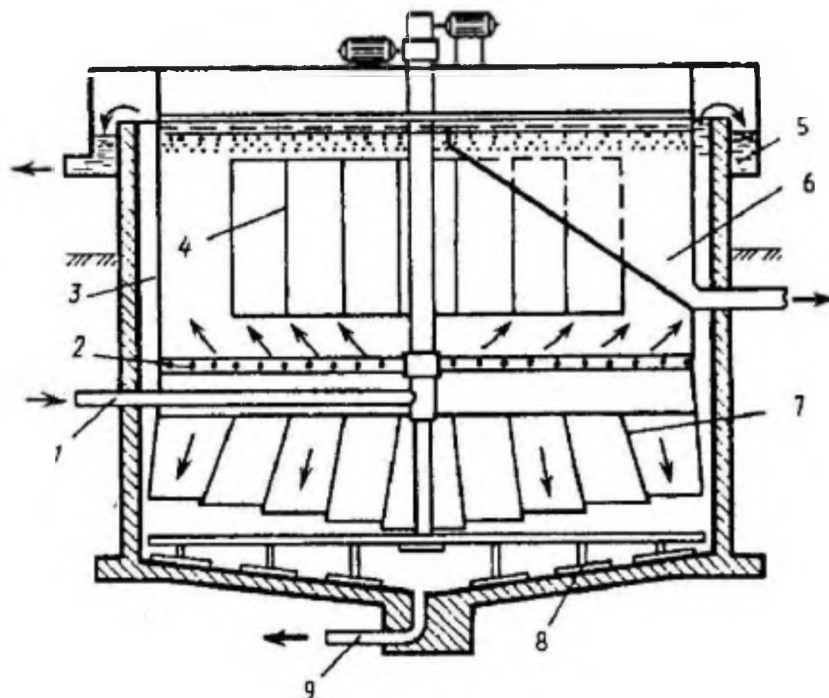


Рис.4.7. Флотаційний мулоущільнювач: 1 – подача мулової суміші; 2 – обертовий дірчатий розподільник; 3 – периферійна перегородка; 4 – концентричні перегородки; 5 – кільцевий водовідведений лоток; 6 – мулозбірний лоток; 7 – конічні перегородки; 8 – скребкове обладнання; 9 – відвід осаду, спорожнення ущільнювача.

Для інтенсифікації флотаційного процесу мулоущільнювача і підвищення концентрації осаду застосовують поліелектроліти.

Для розділення суспензій застосовують центрифугування в наступних апаратах – гідроциклонах, центрифугах і сепараторах. Слід зазначити, що швидкість розділення суспензій в гідроциклонах у 10-20 разів, а в центрифугах і сепараторах більш як у 1000 разів більше, ніж при гравітаційному ущільненні. Для ущільнення активного мулу і сирого осаду застосовують рідинні сепаратори з тарільчатими вставками (рис.4.8).

Фільтрування використовують як метод механічного зневоднення осадів, а для згущення застосовується рідко.

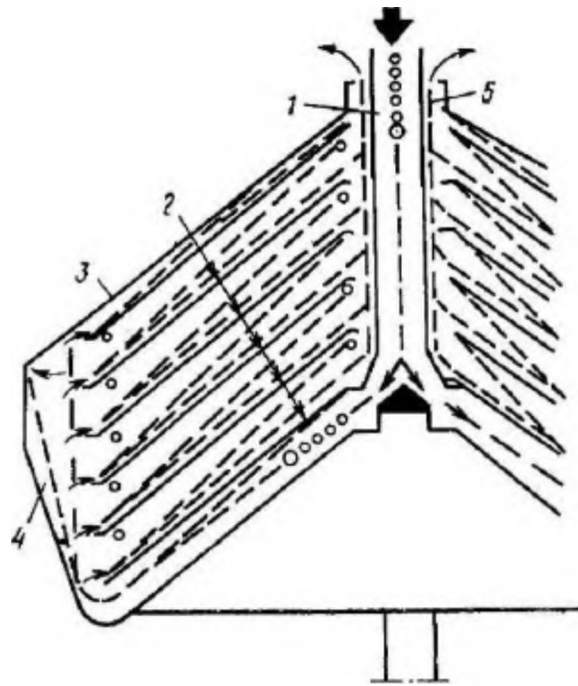


Рис.4.8. Схема установки тарільчатого сепаратора: 1 – живильна труба; 2 – тарілки; 3 – ротор; 4 – збірник кеку; 5 – зливна труба.

4.3. Анаеробне збродження і аеробна стабілізація осадів стічних вод

Високі концентрації органічних речовин викликають здатність сирого осаду й активного мулу швидко загнивати, а висока бактеріальна забрудненість і наявність яєць гельмінтів викликає небезпеку виникнення інфекції.

Стабілізація здійснюється з метою забезпечення процесу гниття осадів. Сутність стабілізації осадів полягає в зміні їх фізико-хімічних характеристик, при яких відбувається пригнічування життєдіяльності гнильних бактерій.

Стабілізація осадів досягається мінералізацією органічних речовин за допомогою анаеробного метанового збродження та аеробним окисненням поживних речовин.

Анаеробне зброджування. Анаеробне зброджування органічних речовин стічних вод застосовують для сирих осадів із первинних відстійників, надлишкового активного мулу та їх суміші.

У процесі метанового анаеробного збродження основним продуктом розпаду органічних речовин є метан.

Анаеробний розпад відбувається у дві фази: кислу і лужну. У кислій фазі збродження складні органічні речовини осаду і мулу під дією позаклітинних бактеріальних ферментів спочатку гідролізуються до більш простих: білки – до пептидів і амінокислот, жири – до гліцерину і жирних кислот, вуглеводи – до простих цукрів; далі утворюються кінцеві продукти – органічні кислоти. У другій фазі лужного або метанового збродження із органічних кислот утворюються метан і вугільна кислота. Процес здійснюється метановими бактеріями, які є строгими аеробами. Швидкість розпаду органічних речовин залежить від їхньої

хімічної будови, температури, дози завантаження, вологості осаду та інших факторів. У залежності від температурних умов використовують два типи температурних режимів збродження: мезофільний при температурі 30-35⁰С і термофільний при температурі 52-55⁰С. Термофільний процес здійснюється приблизно у 2 рази інтенсивніше мезофільного і забезпечує повне знезараження осадів. Анаеробна стабілізація реалізується у септиках, децентрових відстійниках і метантенках (рис.4.9).

Метантенки – це споруди, в яких створюються оптимальні умови для анаеробного розкладання органічних речовин осаду стічних вод. Метантенки обладнані герметичними перекриттями, системами підігріву, перемішування і відводу газу. Період збродження залежить від температурного режиму і кількості органічної речовини (або вологості осаду), які не надходять у метантенк. Ця залежність наведена в табл.4.5.

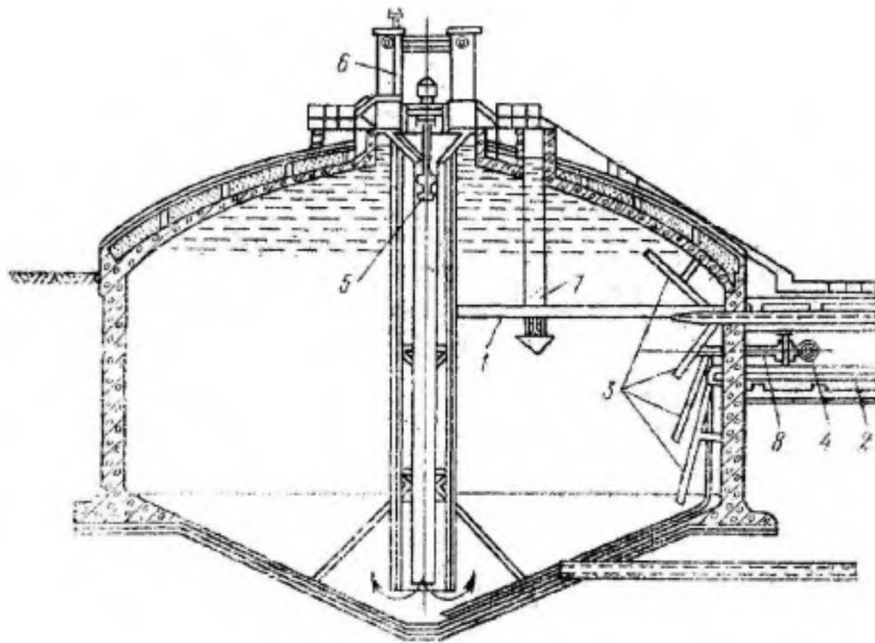


Рис.4.9. Метантенк:

1 – трубопровід для загрузки свіжого осаду і активного мулу; 2 – трубопровід для вивантаження збродженого осаду з конусної частини метантенка; 3 - трубопровід для видалення мулової води і вивантаження збродженого осаду з різних горизонтів; 4 – паровий інжектор для підігріву збродженої маси; 5 - пропелерна мішалка; 6 – труба для випуску газу; 7 – переливна труба; 8 – термометр опору

Таблиця 4.5. Показники роботи метантенків

Кількість органічних речовин, % від маси сухої речовини	Період зброджування, діб, при режимі	
	мезофільному	термофільному
7	14,2	7,14
6	12,5	6,25
5	11,1	5,55
4	10	5
3	9,1	4,54

Аеробна стабілізація. Сутність аеробної стабілізації полягає в біологічному окисненні поживних речовин мікроорганізмів у присутності розчиненого кисню. У цих умовах відбувається розвиток найбільш життєстійких видів бактерій за рахунок відмирання інших.

Процес біохімічного окиснення внутрішньоклітинного субстрату в аеробних умовах відбувається в одну стадію:



Він може реалізовуватися у відкритих спорудах, аеротенках, що суттєво спрощує споруди і запобігає ускладненням, притаманним метантенкам. При аеробній стабілізації відбувається розпад органічної частини осадів до 50%, із них жирів біля 70%, білків 30%. Ступінь розпаду залежить від складу вихідного осаду і періоду стабілізації. При цьому вміст вуглеводів не зменшується. Це обумовлено утворенням поліцукридів у клітинах мікроорганізмів паралельно з розпадом позаклітинних вуглеводів. Аеробна стабілізація відбувається у мезофільних умовах при температурі 10-42⁰С. Термофільна аеробна стабілізація можлива при температурі 42-70⁰С. Цей режим здійснюється за рахунок тепла, яке виділяється у результаті біологічних процесів. Він забезпечує прискорення процесу, при якому період аерації скорочується до 2 діб, стерильність осаду, покращення його седиментаційних властивостей і зниження споживання кисню. Тривалість аеробної стабілізації для неущільненого активного мулу 7-10 діб з метою забезпечення розпаду беззольної речовини до 20-30%. Для суміші сирого осаду та надлишкового мулу період стабілізації складає 10-12 діб при глибині розпаду 30-40%.

У відповідності з кінетичними закономірностями біохімічного окиснення при аерації осадів спостерігається зниження швидкості споживання кисню, що пов'язане із розпадом його загниваючих компонентів, які обумовлюють колоїдну структуру і високий питомий опір фільтрації (ПОФ), що визначає параметри збезводнення осадів. Окиснення цих компонентів приводить до руйнування колоїдної структури осадів і до значного зниження ПОФ.

Показано, що швидкість аеробного окиснення легкозаймаючих компонентів осадів знижується до визначеного моменту, після якого вона практично залишається постійною. Наступна тривалість аерації приводить до кризи бактеріальних клітин, супроводжується зниженням біомаси і активного мулу і підвищує його зольність, але не знижує кількості легкозаймаючих компонентів, які визначають його стабільність.

Слід відмітити, що зниження швидкості споживання кисню при аерації осаду приводить до падіння питомого опору фільтрації (рис.4.10). До кінця процесу окиснення субстратів осаду питомий опір стає мінімальним.

Аеробна стабілізація покращує властивість осаду віддавати воду, забезпечує їх неповне знезараження. Ефективність і тривалість процесу аеробної стабілізації осадів залежить від співвідношення осаду і активного мулу, кількості і концентрації органічних речовин, інтенсивності аерації, температури і вимог технологічного ефекту (максимального підвищення зольності і покращення водовіддачі). На життєдіяльність мікроорганізмів-аеробів, чинять вплив мікроеlementи, які знаходяться в стічних водах, солі важких металів і токсичні хімічні сполуки.

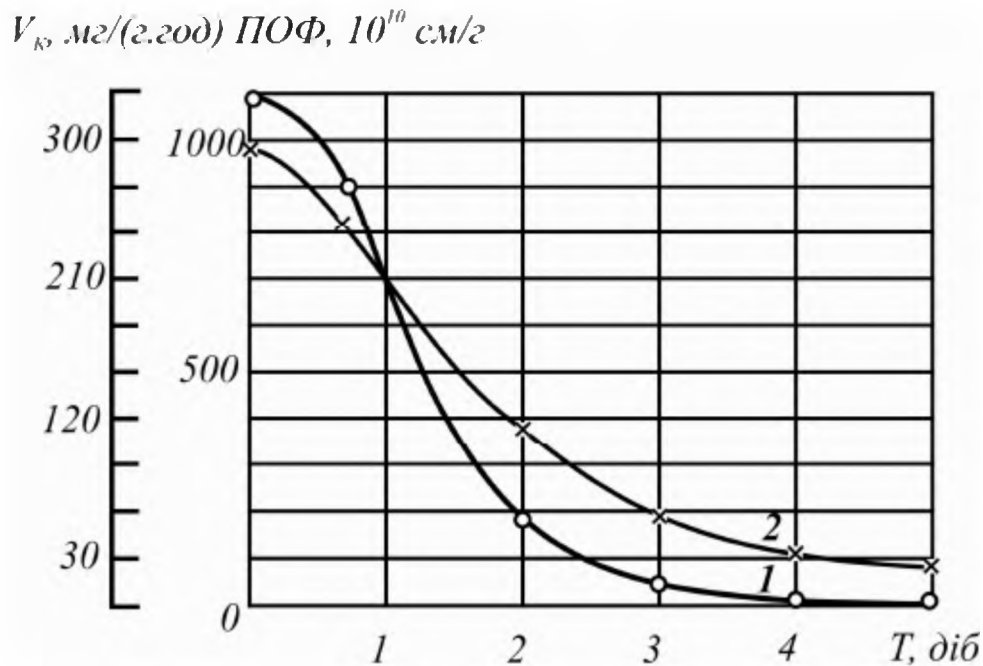


Рис.4.10. Швидкість споживання кисню активним мулом і ПОФ в процесі аеробної стабілізації суміші осадів:

1 – ПОФ; 2 – швидкість споживання кисню

4.4. Кондиціонування

Кондиціонування здійснюється з метою підготовки осадів стічних вод до механічного зневоднення. Кондиціонування – це вид обробки осадів, який сприяє зміні його структури і покращенню властивості віддавати воду. Кондиціонування здійснюють реагентними і безреагентними способами. Найбільш поширеним методом є реагентний спосіб обробки осадів.

Сутність реагентної обробки полягає в процесі коагуляції осаду, яка здійснюється з використанням реагентів мінерального і органічного походження. Із мінерального походження використовують солі заліза, алюмінію [$FeSO_4$, $(Fe_2(SO_4)_3)$, $Al_2(SO_4)_3$], вапно та відходи, які містять $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$. Ці солі додають до осаду у вигляді 10% розчину. Найбільш ефективними реагентами є хлорне залізо (5-8%) в суміші з вапном (15-30%) (від маси сухої речовини осаду).

Крім коагулянтів використовують синтетичний флокулянт, поліакриламід (ПАА), який забезпечує високу ефективність кондиціонування.

Якщо осад містить велику кількість органічних речовин, а зольність складає 25-50%, то використовують тільки катіонні флокулянти. При зольності осаду 65-70% застосовують аніонні флокулянти. Витрата флокулянтів значно менша у порівнянні з коагулянтами, тому вартість обробки осадів скорочується на 30%.

До безреагентних методів обробки відносяться: теплова обробка, заморожування, відтавання, рідкофазне окиснення.

Теплова обробка осаду здійснюється при температурі 170-200 °С в автоклавах протягом 1 години. При цьому частково руйнуються усі основні класи органічних речовин, які входять до складу осаду. Відбувається гідроліз макромолекул до простих складових. Білки гідролізуються до амінокислот, жири – до вільних жирних кислот і стиролів, крохмаль – до нижчих пентозів. Глибина розпаду речовин залежить від температури обробки. Легше відбувається розпад крохмалю, трудніше – жирів. При розпаді органічних речовин одна частина осаду переходить у розчин, а інша ущільнюється і фільтрується.

При тепловій обробці суттєво покращується фільтровальні властивості осадів. Тому зневоднені осади мають вологість 40-70%. Ступінь розпаду органічних речовин залежить від виду осаду і температури.

Заморожування і відтавання. Метод заморожування і відтавання полягає в тому, що при заморожуванні частина зв'язаної води переходить у вільну, відбувається коагуляція твердих часток осаду і знижується його питомий опір. Осади при відтаванні утворюють зернисту структуру і їхня вологовіддача підвищується. Заморожування проводять при температурі від -5 до -10 °С протягом 50-120 хв. Для заморожування використовують аміачні холодильні машини.

Після відтавання осад ущільнюється, а далі підсушується на мулових майданчиках. Ущільнення осаду має вологість 80-85%.

4.5. Механічне зневоднення осадів

Осади стічних вод використовують в народному господарстві, тому їх необхідно зневоднювати. Осади зневоднюють на мулових майданчиках і механічним способом. Найбільш простим способом є підсушення осаду в природних умовах на мулових майданчиках.

Мулові майданчики представляють собою ділянки землі (корти), з усіх боків оточені земляними валами. Мулові майданчики влаштовують на природ-

них ґрунтах. Якщо ґрунтові води залягають на глибині до 1,5 м фільтрат відводять через спеціальний дренаж із труб. Робоча глибина площадок 0,7-1 м. Площа мулових майданчиків залежить від кількості і структури осаду, характеру ґрунту і кліматичних умов. Мулову воду після ущільнення направляють на очисні споруди. При цьому вологість зменшується до 75-80%, об'єм і маса зменшується в 4-5 разів. Такий осад можна транспортувати.

Мулові майданчики-ущільнювачі споруджують глибиною до 2 м з водонепроникними стінами і дном, обладнані трубчатим дренажем, укладеним у дренажні канали. Принцип їхньої дії заснований на розшаруванні осаду при відстоюванні, а рідину періодично відводять з різних глибин над шаром осаду, а осад видаляють спеціальними машинами.

Широке застосування отримало зневоднення осадів стічних вод у штучних умовах – механічне зневоднення на вакуум-фільтрах, фільтр-пресах, центрифугах. Осад, оброблений механічним зневодненням, називається кеком. Він має вологість 55-80 %, зменшується в об'ємі в 7-15 разів.

Для механічного зневоднення осадів застосовують вакуум-фільтри безперервної дії типу БОУ, на яких можна обробляти осади різних видів.

Вакуум-фільтри являють собою горизонтально розташований циліндричний барабан, покритий фільтруючою тканиною. Барабан, занурений приблизно на 1/3 в корито, в яке завантажуються осад, повільно обертається на цапфах.

Зброджений осад, вивантажений з метантенків, перед подачею на вакуум-фільтри попередньо обробляється (рис.4.11): промивається технічною водою з розрахунку 2-4 м³ води на 1 м³ осаду впродовж 15-20 хв і продувається повітрям в об'ємі 0,5 м³ на 1 м³ суміші осаду і води. Потім ця суміш направляється в ущільнювачі, де протягом 12-24 год ущільнюється осад і відокремлюється вода. Мулова вода, яка містить 1000-1500 мг/л завислих речовин і має БПК_{повн} 600-900 мг/л, направляється на очисні споруди.

З ущільнювача осад вологістю 94-95% виводиться плунжерними насосами. Перед подачею на вакуум-фільтр осад підлягає коагулюванню. Як реагенти застосовують хлорне або сірчанокиисле залізо і вапно у вигляді 10 %-вого розчину. Середня частка заліза становить 4-6 % маси сухої речовини осаду, а вапна – 10-15 %. Частки осаду об'єднуються пластівцями гідроксиду заліза у великі агрегати. В результаті такої обробки питомий опір осаду значно знижується й осад легше віддає воду.

Крім вакуум-фільтрів для зневоднення осадів стічних вод застосовують центрифуги. Перевагою методу центрифугування є простота, економічність і керованість процесом. При центрифугуванні осадів застосовують флокулянти. Використання флокулянтів сприяє збільшенню пропускної спроможності центрифуг, осад після зневоднення (кек) має меншу вологість, рідка фаза, що утворюється при центрифугуванні (фугат), має менше забруднення.

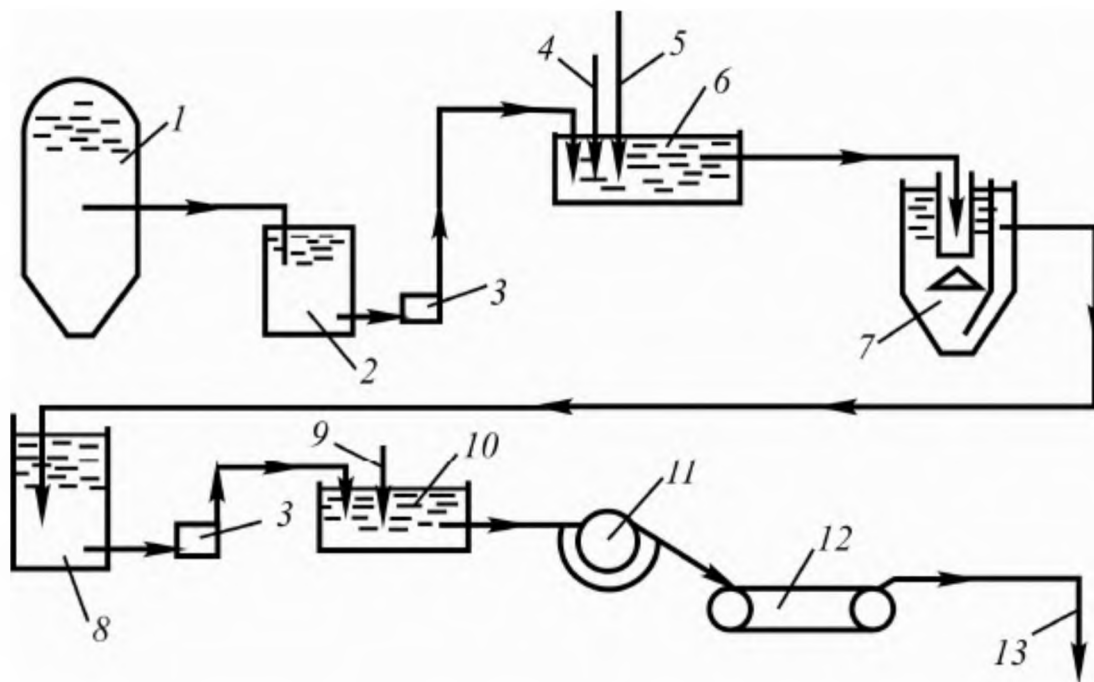


Рис.4.11. Схема підготовки осаду до механічного збезводнення:

1 – метантенк; 2 – збірний резервуар; 3 – плунжерний насос; 4 – подача води; 5 – подача стислого повітря; 6 – промивання осаду; 7 – ущільнювач; 8 – резервуар ущільненого осаду; 9 – подача коагулянту; 10 – відділення коагулювання; 11 – вакуум-фільтр; 12 – конвеєр; 13 – подача у відділення термічного сушіння.

Основними елементами центрифуги (рис.4.12) є конічний ротор із суцільними стінками і порожнинний шнек, що обертаються в одну сторону, але з різними швидкостями. В результаті відцентрової сили частки осаду відкидаються до стінок ротора та переміщуються до отвору в роторі. Унаслідок різниці швидкостей обертання збезводнений осад (кек) і рідка фаза, що утворилася (фугат), виводиться через отвори, розташовані в протилежних кінцях ротора.

На центрифугах зневоднюються суміші сирого осаду і активного мулу, яка була зброджена в анаеробних умовах метантенка.

При зневодненні осадів міських стічних вод на центрифугах застосовують високомолекулярні флокулянти катіонного типу. Оскільки при роботі центрифуг без флокулянтів вміст завислих речовин у фугаті збільшується з 500 до 3000 мг/л.

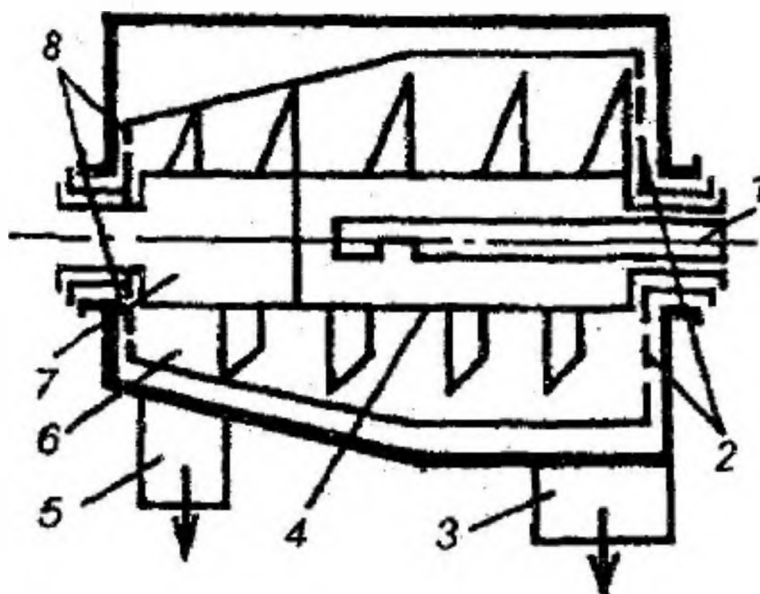


Рис.4.12. Центрифуга:

1 – трубопровід для подачі осаду; 2 – отвори для вивантаження фугату; 3 – бункер для вивантаження фугату; 4 – отвір для надходження осаду в ротор; 5 – бункер для вивантаження кеку; 6 – ротор; 7 – шнек; 8 – отвори для вивантаження кеку.

Технологічна схема процесу зневоднення осаду на центрифугі включає регулюючу ємність, вузол приготування хімічного реагенту і центрифугу.

Осади рівномірно протягом доби подаються в приймальний резервуар, які попередньо обробляються на мацераторі для затримання забруднень. Далі за допомогою ексцентрикових насосів перекачується на центрифуги, куди дозується спеціальними дозуючими насосами синтетичний високомолекулярний катіонний флокулянт, що забезпечує високоефективне зневоднення.

Робота центрифуг характеризується наступними показниками: продуктивністю, ефективністю затримки сухої речовини і вологістю зневодненого осаду (кеку), а також показниками забруднень фугату завислими речовинами на $\text{БПК}_{\text{повн}}$, що залежить від характеристики осаду, який зневоднюється.

Фугат після центрифугування має такі показники: концентрація завислих речовин – 350-500 мг/л, $\text{БПК}_{\text{повн}}$ – 500 мг/л і далі відправляється у первинні відстійники очисних споруд без додаткової обробки.

Для зневоднення осадів стічних вод крім вакуум-фільтрів і центрифуг використовують фільтр-преси. Їх застосовують для оброблення стиснених аморфних осадів. Порівняно з вакуум-фільтрами після обробки на фільтр-пресах одержують осади з меншою вологістю. Фільтр-преси застосовують в тих випадках, коли осад спрямовують після зневоднення на сушку або спалювання, або для утилізації з мінімальною вологістю.

Розрізняють рамні, камерні, мембранно-камерні, стрічкові, барабанні і винтові (шнекові) фільтр-преси.

Фільтр-преси ФПАКМ (фільтр-прес автоматизований камерний модернізований) знаходять широке розповсюдження і мають площу поверхні фільтрування 2,5-50 м².

Фільтр складається з декількох фільтрувальних плит і фільтруючої тканини, яка протягнута між ними за допомогою направляючих роликів. Підтримуючі плити зв'язані між собою вертикальними опорами, які сприймають навантаження від тиску всередині фільтрувальних плит. У натягнутому стані тканина підтримується за допомогою гідравлічних пристроїв. На рис.4.13 представлена схема фільтр-преса ФПАХМ.

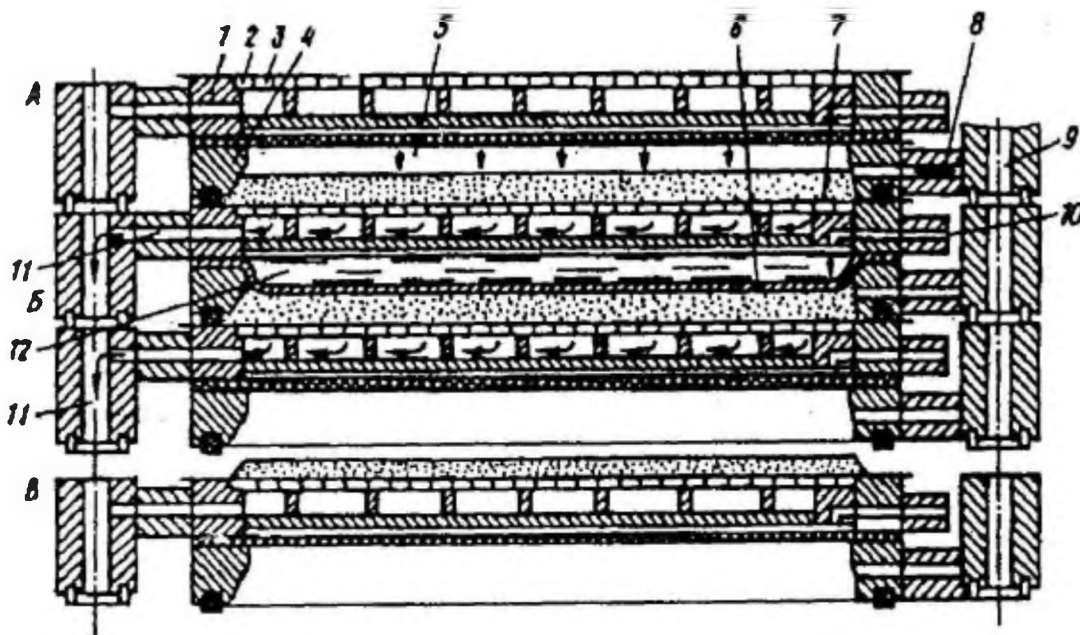


Рис.4.13. Схема фільтр-преса ФПАХМ:

1 – верхня частина плити; 2 – перфорований лист; 3 – камера для прийому фільтрату; 4 – нижня частина плити у вигляді рами; 5 – камера для осаду; 6 – еластична водонепроникна діафрагма; 7 – фільтрувальна тканина; 8, 10 – канали; 9 – колектор для подачі осаду; 11 – колектор для відводу фільтрату і повітря; 12 – порожнина для води.

У камеру по колектору подаються осади і повітря (положення А). По каналам фільтрат і повітря відводиться в колектор. Потім осад віджимається діафрагмою, для цього у порожнину нагнітається вода від тиском (положення Б). Після цього розсуваються плити (положення В), пересувається фільтрувальна тканина і кек знімається з її ножами, тканина промивається і очищується в камері регенерації тканини.

Пропускна спроможність фільтр-пресів і вологість кеку при зневодненні осадів міських стічних вод залежить від виду оброблюваного осаду.

При фільтр-пресування подачу осаду проводять під тиском 0,6 МПа; витрата стиснутого повітря на просушку осаду – 0,2 м³/х на 1 м² фільтрувальної

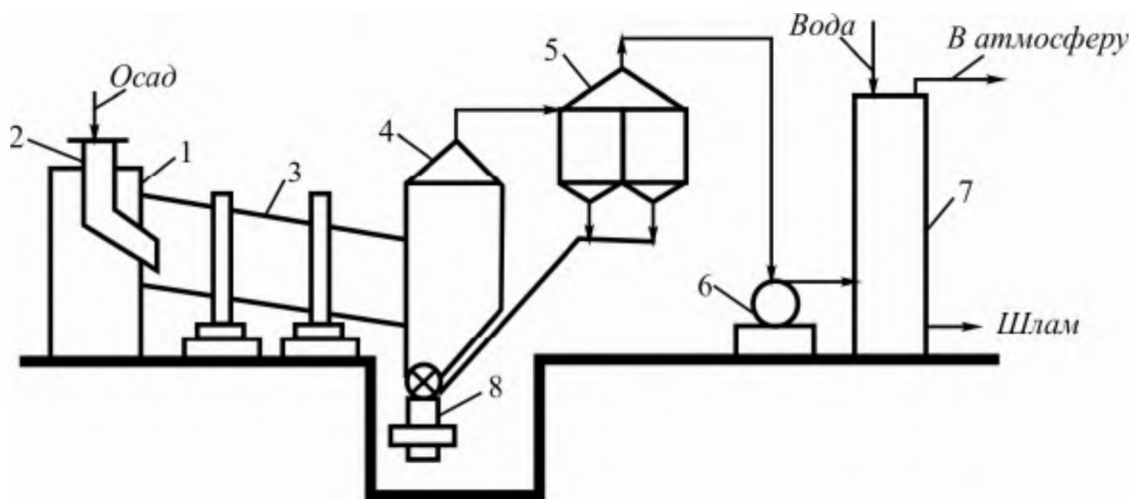
поверхні; тиск стиснутого повітря – 0,6 МПа; витрата промивної води – 4 л/х на 1 м² поверхні; тиск промивної води – 0,3 МПа.

4.6. Термічна сушка осадів

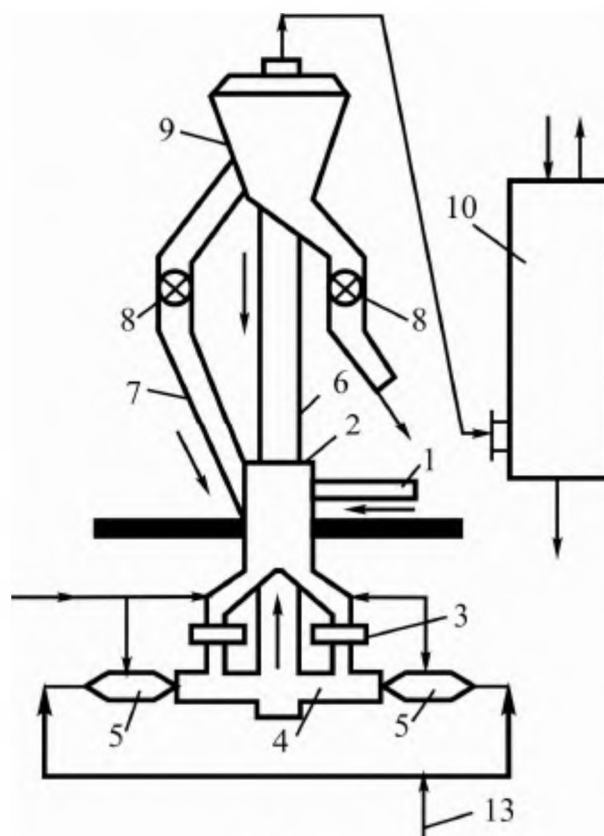
Термічне сушіння зневодненого осаду застосовується для його знезараження, зменшення маси і підготування до утилізації. Осад після термічного сушіння не гниває, вільний від гельмінтів та патогенних мікроорганізмів, зовнішньо сухий і сипучий. Для термічної обробки механічно зневоднених осадів використовують сушарки різних конструкцій: сушарки, де шар матеріалу, який підсушується, залишається нерухомим (барабанні, багатоподові, стрічкові та ін.); сушарки, в яких частки матеріалу переміщуються і перемішуються потоком сушильного агента (з киплячим шаром, із зустрічними струменями та ін.).

Вологість осаду після сушіння 20-30%. Тривалість сушіння - не більше 35 хв.

Для сушіння застосовують конвективні сушарки: барабанні, із зустрічними струменями, з киплячим шаром, розпилювальні. Найчастіше застосовують димові гази при 500-800°C. Для термічного сушіння зневоднених осадів стічних вод застосовують барабанні сушарки (рис.4.10, а, б). Сушильний барабан діаметром 1-3,5 м і довжиною 6-27 м встановлюють під кутом 3-40°. Барабан обертається зі швидкістю 1,5-8 об/хв. Для рівномірного розподілу осаду усередині барабану встановлюють насадки. Висушений матеріал видаляють транспортером. Гази, що відходять після очищення в циклоні і скрубєрі, викидають в атмосферу. Вологість осадів до сушіння - 80%, після сушіння - 30-35%. Продуктивність сушарок по вологості - від 0,3 до 15 т/год. Питома витрата тепла 4600-5000 кДж на 1 кг води, що випаровується. Основними недоліками барабанних сушарок є їх громіздкість, велика металоємність і високі капітальні й експлуатаційні витрати. Останнім часом використовують сушарки з зустрічними струменями. Зневоднений осад транспортером подають у прийомну камеру, туди ж повертають частину висушеного осаду. Суміш шнековими живильниками рівномірно розподіляють у розгінні труби, куди з великою швидкістю (100-400 м/с) надходять гарячі гази, що виходять із сопел камер згоряння. Осад захоплюється потоком газу і викидається в сушильну камеру. У сушильній камері обидва потоки зіштовхуються, відбувається здрібнювання часток осаду, збільшення сумарної поверхні тепло- і масообміну, що забезпечує інтенсивне сушіння осаду. Із сушильної камери газова суспензія попадає в сепаратор, де відбувається досушування осаду й одночасний розподіл газової суспензії. Осад видаляють у бункер готової продукції, а газ очищають у скрубєрі.



а)



б)

Рис.4.10. Сушарки для сушки осадів

а) - з барабанною сушаркою: 1 – топка; 2 – завантажувальна труба; 3 – сушильний барабан; 4 – розвантажувальна камера; 5 – батарейний циклон; 6 – димосос; 7 – скрубер; 8 – транспортер сухого осаду;

б) – із сушаркою з зустрічними струменями: 1 – стрічковий транспортер; 2 – приймальна камера; 3 – шнековий живильник; 4 – сушильна камера з роз-

гінними трубами; 5 – камера згоряння; 6 – вертикальний стояк; 7 - трубопровід для ретура; 8 – шлюзові затвори; 9 – сепаратор; 10 – скруббер.

Продуктивність сушарок по вологості, що випаровується, складає 3-5 т/год. Питома витрата тепла $\sim 3,8$ КДж на 1 кг води, що випаровується. Вологість осаду, що надходить у сушильну камеру, 60-65%, а висушеного осаду - 30-35%. Розпилювальні сушарки застосовують для сушіння дуже вологих осадів. Попередньо висушений активний мул концентрацією 50-80 г/л подають у верхню частину сушарки, куди з топки надходять гази при температурі 350°C. Сушіння осаду відбувається з великою швидкістю до вологості 8-10%. Гази очищають у батарейному циклоні.

Висушений мул по пневмопроводу через циклон надходить у бункер. Продуктивність сушарок - від 2 до 15 т/год по волозі, що випаровується.

Спалювання осадів. Спалювання осадів проводиться у тих випадках, коли їх утилізація неможлива, а також якщо відсутні умови для складування. При спалюванні обсяг осадів зменшується у 80-100 разів. Димові гази містять CO_2 , пари води й інші компоненти. Теплотворна здатність осадів різна. Активний мул має теплоту згоряння 15-19 КДж на 1 кг сухої речовини. Необхідно враховувати також токсичність осадів.

Процес спалювання осадів можна розділити на наступні стадії: нагрівання, сушіння, відгін летких речовин, спалювання пальної органічної частини і прожарювання для вигорання залишків вуглецю. На нагрівання залишку, а потім його сушіння витрачається основна кількість тепла й основний час. Осади спалюють у печах киплячого шару, багатоподових, барабанних, циклонних і розпилювальних.

Піч киплячого шару являє собою футерований циліндр із повітророзподільними ґратами. На ґрати насипають шар піску товщиною 0,8-1 м (розмір часток - 0,6-2,5 мм). Псевдозріджений шар утвориться при продуванні газів через розподільні ґрати. Подаваний у піч осад інтенсивно перемішується розпеченим піском і згоряє. Процес горіння - не більше 1-2 хв.

Багатоподові печі являють собою футерований циліндр діаметром 6-8 м. Топковий простір печі поділяється на 7-9 горизонтальних подів. У центрі печі є вертикальний обертовий порожній вал, на якому радіально укріплені гребкові пристрої. Осад подають у верхню камеру печі, і він рухається вниз через отвори, які є у кожному поді. У верхніх камерах осад підсушується, а в середніх - згоряє. Печі відрізняються простотою обслуговування і стійкістю роботи при коливаннях кількості і якості оброблюваних осадів.

Барабанні печі являють собою обертовий похилий барабан з виносною топкою, де спалюють рідке чи газоподібне паливо. Зневоднений осад завантажують із протилежного кінця барабана і спалюють у зоні горіння. Перевагою цих печей є невелика запиленість газів, що відходять, можливість спалювати осади з великою зольністю і вологістю.

Циклонні і розпилювальні печі застосовують для спалювання в розпилювальному стані рідких чи дрібнодисперсних твердих осадів.

У останній час використовують печі для спалювання мулу у киплячому шарі. Мул подається у піч на шар піску, де він просушується, стирається і згорає при 590-780°C. Димові гази надходять у теплообмінник, де охолоджуються повітрям, яке подається повітродувкою з теплообмінника. Нагріте повітря подається у піч для створення псевдозрідженого шару і підтримки горіння. Димові гази після теплообмінника надходять у циклон, де відокремлюються тверді частки, а потім - у поверхневий абсорбер, зрошуваний водою. Очищені гази викидають в атмосферу. Вода з абсорбера надходить у відстійник, де відокремлюється зола. Її осад у вигляді пульпи направляється на вакуум-фільтр. Фільтрат і вода з відстійника повертається в абсорбер. Отримана зола використовується як мінеральне добриво для виготовлення будівельних матеріалів.

4.7. Знезараження і знешкодження осадів стічних вод

Осади стічних вод містять високу концентрацію органічних речовин, які викликають загнивання сирого осаду й активного мулу. Крім того, висока бактеріальна забрудненість і наявність яєць гельмінтів викликає небезпеку виникнення інфекції. Тому осади стічних вод необхідно знешкоджувати і знезаражувати для запобігання процесу їхнього життя.

Одним із методів знезараження і знешкодження осадів є аеробна стабілізація в аеробних мінералізаторах. Цей метод придатний для надлишкового мулу, так як він через високу вологість і велику концентрацію білків зброджується в метантенках (рис.4.7), і повністю забезпечує їх теплом за рахунок спалювання утвореного газу. У процесі розпаду органічних речовин осаду основним продуктом розпаду є метан. Зброджування осаду слід проводити в термофільному режимі, оскільки цей процес закінчується у 2 рази швидше мезофільного і забезпечує повну дегельмінтизацію осаду.

Знезараження рідких осадів здійснюють нагріванням до температури біля 100 °C, що за декілька хвилин сприяє загибелі яєць гельмінтів і відмиранню патогенних мікроорганізмів. При термічному режимі 52-56°C протягом 5 хвилин гинуть більшість патогенних бактерій, при температурі 62-71 °C до 30 хвилин відмирають віруси. Тому термічна пастеризація небезпечних у санітарному відношенні осадів є обов'язковою стадією для їхньої обробки. Для цього використовують ефективні технологічні схеми установок безперервної пастеризації рідких осадів. Вона дозволяє здійснювати безперервну пастеризацію осаду при температурі 65°C протягом 30 хвилин у трубчатих теплообмінниках.

Хімічне знезараження рідких і зневоднених осадів здійснюється у тих випадках, якщо їх використовують у сільському господарстві в якості добрива. Для хімічного знезараження осадів застосовують вапно, аміак, тіазан, формальдегід і мочевину. Ці речовини запобігають розвитку патогенних мікроорганізмів і підтримують стабільність осадів.

4.8. Утилізація осадів

Утилізація осадів стічних вод передбачає вилучення і використання цінних речовин. Активний мул використовується як кормовий продукт. Осади мінерального походження застосовуються для виготовлення будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві як заміник керамзиту. Осади органічного походження використовуються у теплоенергетиці в якості замітника бензину, для одержання технічних жирів.

Головним чином осади стічних вод використовуються у сільському господарстві як орґано-мінеральні, азотно-фосфатні добрива, які містять мікроелементи, необхідні для розвитку рослин.

При застосуванні вапна у технологічній обробці осадів одержують вапняні добрива.

У таблиці 4.6 наведений вміст основних поживних речовин в осадах стічних вод, % маси сухої речовини.

Таблиця 4.6. Основні поживні речовини в осадах стічних вод

Поживні речовини	Сирий осад	Активний мул	Зброджений осад	Суміш осадів первинних відстійників і активного мулу
Азот (N)	1,6-4	2,4-6,5	1,7-6	2-5
Фосфор в перерахунку на P_2O_5	0,6-5,2	2,3-8	0,9-6,6	1-6
Калій в перерахунку на K_2O	0,1-0,6	0,3-0,4	0,2-0,5	0,2-0,5

Із таблиці 4.6 видно, що найбільш цінним органічним добривом, багатим азотом і фосфорним ангідритом, є активний мул, кількість якого у осадах коливається у широких межах. Це залежить від різного складу осадів стічних вод.

Мінеральна частина осадів містить сполуки кальцію, кремнію і заліза, а також ряд мікроелементів.

Вміст удобрювальних мікроелементів, мг на 1 кг сухої речовини осаду, наведений у таблиці 4.7.

Дослідження Я. В. Пейве показали, що мікроелементи підвищують швидкість багатьох біохімічних реакцій, які відбуваються у рослинах. Наприклад, мідь підвищує урожайність зернових культур на болотних і піщаних ґрунтах нечорноземної смуги. Марганець сприяє підвищенню урожайності цукрового буряку, кукурудзи та інших культур. Недостатня кількість заліза і цинку порушує життєдіяльність рослин, а саме плодкових, винограду і бавовни. Бор підвищує урожайність кормових бобів, льону, цукрового буряку, гороху, люцерни,

овочевих і плодових культур. Мікроелементи також сприяють засвоюванню рослинами органічних речовин із осадів.

Таблиця 4.7. Удобрювальні елементи стічних вод на 1 кг сухої речовини

Мікроелемент	Вміст, мг
Бор	15
Кобальт	2-114
Марганець	60-715
Мідь	55-3200
Молібден	0,5-11
Цинк	40-5000

У якості добрива можуть використовуватися тільки ті осади, у яких після їх обробки забезпечено знищення патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів, а також забезпечено їх незагниття.

Для використання осадів як органічних добрив застосовують термічне сушіння з одночасною їх грануляцією. Термічне сушіння забезпечує одержання нешкідливих речовин, які не мають неприємного запаху і містять такі цінні продукти для добрива, як азот, фосфор, мікроелементи, а також вапно.

При здійсненні термічного сушіння осадів останні можуть утилізуватися безпосередньо на станціях аерації як паливо. Зола, яка утворюється при спалюванні, може бути утилізована для підлужування ґрунту, а також у якості матеріалу для інтенсифікації процесу зневоднення осадів, як наповнювач при виготовленні будівельних конструкцій та ін.

Окрім використання осадів як добрив, застосовуються й інші методи їх утилізації. До цих методів відносяться приготування із активного мулу кормових домішок до раціонів харчування сільськогосподарських тварин, одержання із активного мулу вітаміну B₁₂ і амінокислот, одержання цінних продуктів при сухій перегонці осадів.

Активний мул містить сирий протеїн (34,2-37,2% маси сухої речовини), жироподібні речовини (10-14,7%), вітамін B₁₂ (2,1-11 мг/кг сухої речовини), амінокислоти та інші речовини.

Згущення активного мулу в сепараторах і його подальше термічне сушіння дозволяє одержувати сухий продукт, який за своїми харчовими цінностями є близьким до кормових продуктів.

Питання для самоконтролю

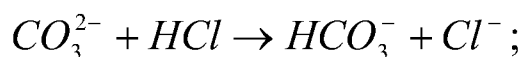
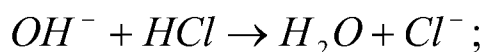
1. Який склад осадів стічних вод? За якою ознакою класифікують осади стічних вод?
2. Який хімічний склад осадів?
3. Які характерні показники осадів?

4. Які існують форми зв'язку води з матеріалом?
5. Сутність методу ущільнення мулу і осадів стічних вод.
6. Сутність анаеробної і аеробної стабілізації.
7. Дати загальну характеристику процесу сушки і зневоднення осадів.
8. У чому полягає метод знезараження осадів?
9. Сутність процесу утилізації.

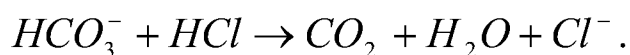
Приклади визначення деяких показників якості води

Визначення лужності природної води з двома індикаторами

Одним з показників якості води є її лужність. Розрізняють загальну лужність, яка обумовлена наявністю у воді іонів OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} і бікарбонатну, яка обумовлена наявністю у воді тільки іонів HCO_3^- . Для визначення лужності води застосовують титриметричний метод, користуючись двома індикаторами фенолфталеїном, який має pH переходу індикатора в інтервалі $pH=8,4-10,2$, метилоранжем перехід pH в інтервалі $3,4-4,1$. При титруванні води HCl в присутності фенолфталеїну визначають OH^- , $1/2 CO_3^{2-}$ -іони. При цьому відбуваються такі реакції:



Титрування з фенолфталеїном відбувається до $pH=8,4$, іони HCO_3^- не титруються. HCO_3^- -іони далі титрують HCl в присутності метилоранжа до $pH=3,6$.



На основі даних титрування з двома індикаторами розраховують масу (мг/л) окремо кожного з іонів, що знаходяться в досліджуваній воді (HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^-).

1. Якщо V_{HCl} при титруванні з фенолфталеїном дорівнює нулю тоді у воді присутні тільки іони HCO_3^- і їх масу (мг/л) розраховують за формулою:

$$m_{HCO_3^-} = \frac{V_{HCl} \cdot C_{HCl} \cdot 61 \cdot 1000}{V_{H_2O}},$$

де V_{HCl} - об'єм кислоти HCl , який пішов на титрування, мл;

C_{HCl} - концентрація HCl , ммоль /л;

V_{H_2O} - об'єм досліджуваної води, мл;

61 – молярна маса еквівалента HCO_3^- ,

1000 – коефіцієнт перерахунку г у мг.

$$M_{eHCO_3^-} = \frac{m_{HCO_3^-}}{1} = 61 \text{ г / моль};$$

2. Якщо V_{HCl} при титруванні з двома індикаторами дорівнює $2V_{HCl, 2ind}$ при титруванні з фенолфталеїном (рис.1), тоді у воді присутні тільки іони CO_3^{2-} . Масу (мг/л) цих іонів розраховують за формулою:

$$m_{CO_3^{2-}} = \frac{2V_{HCl \text{ ф-ф}} \cdot C_{HCl} \cdot 30 \cdot 1000}{V_{H_2O}},$$

де 30 – молярна маса еквівалента CO_3^{2-} , $M_{eCO_3^{2-}} = \frac{m_{CO_3^{2-}}}{2} = 30 \text{ г / моль}$.

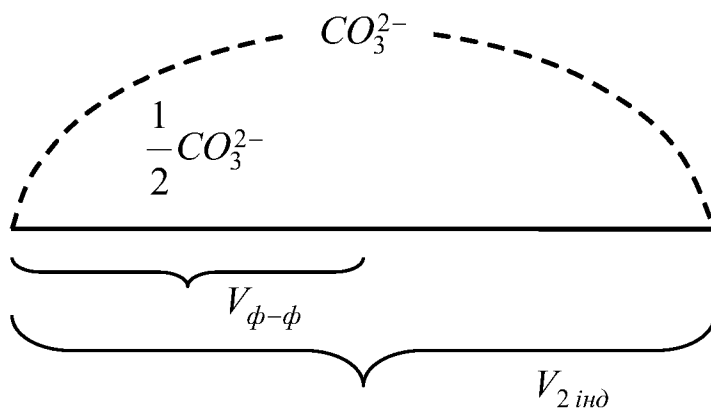


Рис.1.

3. Якщо V_{HCl} при титруванні з двома індикаторами більше $2V_{HCl \text{ ф-ф}}$ з фенолфталеїном (рис.2), тоді крім іонів CO_3^{2-} у воді присутні також іони HCO_3^- .

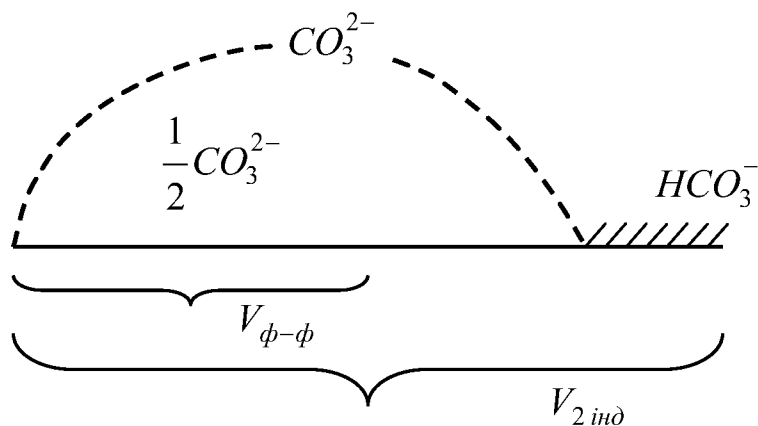


Рис.2.

Масу HCO_3^- -іонів розраховують за формулою:

$$m_{HCO_3^-} = \frac{(V_{2ind} - 2V_{HCl \phi-\phi}) \cdot C_{HCl} \cdot 61 \cdot 1000}{V_{H_2O}},$$

де 61 – молярна маса еквівалента $M_{eHCO_3^{2-} CO_3^{2-}}$,

$$M_{eHCO_3^-} = \frac{m_{HCO_3^-}}{1} = 61 \text{ г / моль.}$$

Масу CO_3^{2-} -іонів (мг/л) розраховують за формулою:

$$m_{CO_3^{2-}} = \frac{2V_{HCl \phi-\phi} \cdot C_{HCl} \cdot 30 \cdot 1000}{V_{H_2O}}.$$

4. Якщо V_{HCl} при титруванні досліджуваної води в окремих пробах з метилоранжем дорівнює V_{HCl} з фенолфталеїном, тоді у воді присутні тільки іони OH^- . Масу OH^- іонів (мг/л) розраховують за формулою:

$$m_{OH^-} = \frac{V_{HCl} \cdot C_{HCl} \cdot 17 \cdot 1000}{V_{H_2O}},$$

де 17 – молярна маса еквівалента M_{eOH^-} ,

$$M_{eOH^-} = \frac{M_{OH^-}}{1} = 17 \text{ г / моль.}$$

Якщо V_{HCl} з двома індикаторами менше $2V_{HCl \phi-\phi}$ з фенолфталеїном, тоді у воді присутні іони OH^- і CO_3^{2-} .

Для визначення об'єму HCl , який пішов на титрування кожного з іонів, користуються схемою, яка наведена на (рис.3).

$$V_{HCl CO_3^{2-}} = (V_{HCl 2ind} - V_{HCl \phi-\phi}) \cdot 2.$$

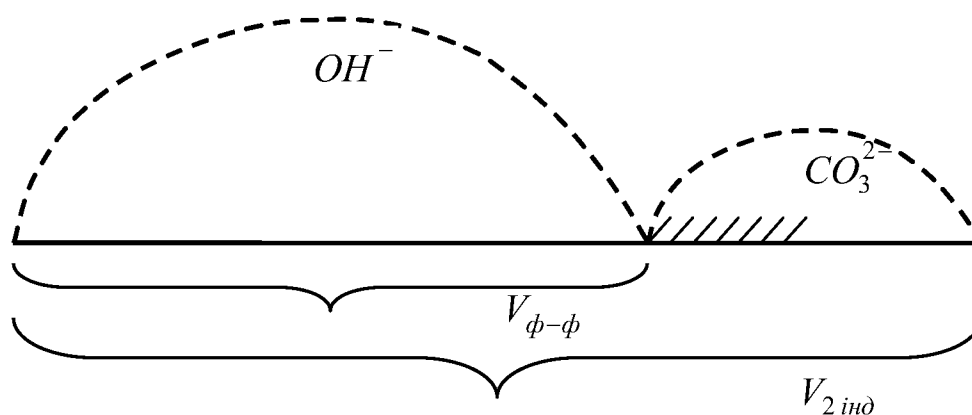


Рис.3.

Масу CO_3^{2-} -іонів (мг/л) розраховують за формулою:

$$m_{CO_3^{2-}} = \frac{(V_{HCl\ 2ind} - V_{HCl\ \phi-\phi}) \cdot 2 \cdot C_{HCl} \cdot 30 \cdot 1000}{V_{H_2O}},$$

$$V_{HCl\ OH^-} = V_{2ind} - (V_{2ind} - V_{\phi-\phi}) \cdot 2,$$

$$V_{2ind} - (V_{2ind} - V_{\phi-\phi}) \cdot 2 = V_{2ind} - 2 \cdot V_{2ind} - 2 \cdot V_{\phi-\phi} = 2V_{\phi-\phi} - V_{2ind}.$$

Масу OH^- -іонів (мг/л) розраховують за формулою:

$$m_{OH^-} = \frac{(2V_{HCl\ \phi-\phi} - V_{HCl\ 2ind}) \cdot C_{HCl} \cdot 17 \cdot 1000}{V_{H_2O}}.$$

Вищенаведені дані представлені у вигляді таблиці.

Таблиця 1

№ з/п	Дані титрування	Які іони можуть бути присутніми			Значення
		HCO_3	CO_3^{2-}	OH^-	
1	$V_{HCl\ \phi-\phi} = 0$	+	-	-	$4 < pH = 8,4$
2	$V_{2ind} = 2V_{\phi-\phi}$	-	+	-	$4 < pH > 8,4$
3	$V_{ind} > 2V_{\phi-\phi}$	+	+	-	$4 < pH > 8,4$
4	$V_{метилоранж} = V_{\phi-\phi}$	-	-	+	$pH > 8,4$
5	$V_{2ind} < 2V_{\phi-\phi}$	-	+	+	$pH > 8,4$

Визначення окисно-відновних потенціалів природних вод

Потенціал, який виникає у напівелементі в результаті окисно-відновної реакції називається окисно-відновним.

Окисно-відновний потенціал E_h розраховують за рівнянням Нернста:

$$\varphi_{ox/red} = \varphi_{ox/red}^0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{a_{ox}}{a_{red}},$$

де $\varphi_{ox/red}^0$ - стандартний окисно-відновний потенціал;

n - число електронів, які беруть участь в окисно-відновній реакції;

a_{ox} - активність окисної форми;

a_{red} - активність відновленої форми;

ox - окисна форма;

red - відновлена форма.

Окисно-відновний потенціал (E_h) або редокс-потенціал є важливою величиною природних вод, оскільки визначає можливість проходження реакцій окиснення та відновлення. В процесах окислення та відновлення можуть утворюватись більш або менш токсичні інгредієнти природних вод, наприклад, $NO_3^- \rightarrow NO_2^-$, $Cr(VI) \rightarrow Cr(III)$, а зміна ступеня окиснення цих компонентів може впливати на їх міграцію у водному середовищі.

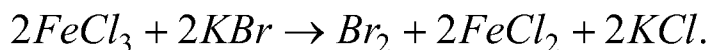
Величина редокс-потенціалу виражається в мілівольтах (мВ) і для природних вод значення E_h коливається від -400 до +700 мВ. Вона визначається сукупністю всіх процесів у воді за участю елементів, які мають змінну валентність. За цим показником природні води поділяють на три основні види геохімічних станів:

- окислювальний – з характерним значенням $E_h > +(100-150)$ мВ, у воді достатня кількість розчиненого кисню, а хімічні елементи знаходять, переважно, у вищих ступенях окиснення;

- перехідний окисно-відновний – з характерним значенням E_h +(100-0) мВ, нестійким геохімічним режимом і змінним вмістом розчиненого у воді кисню та сірководню. В цих умовах можуть протікати як реакції окиснення, так і реакції відновлення;

- відновлювальний – з характерними від'ємними значеннями E_h . В таких водах елементи знаходяться, переважно, в нижчих ступенях окиснення, а вода часто містить сірководень.

Приклад. Оцінити, чи буде $FeCl_3$ окиснювати бромід калію KBr ?



Стандартні окисно-відновні потенціали для пар:

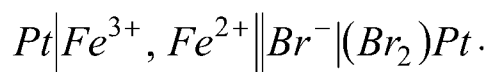
$$\varphi_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 = 0,771B,$$

$$\varphi_{Br_2/2Br^-}^0 = 1,065B.$$

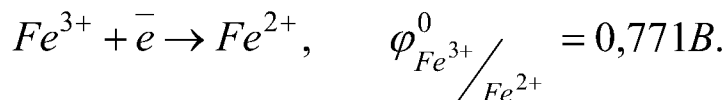
Розв'язання.

Запишемо схематично гальванічний елемент, який складається з феро-фери електроду $Fe^{3+}, Fe^{2+}|Pt$ і бромного електроду $Pt(Br_2)|Br^-$.

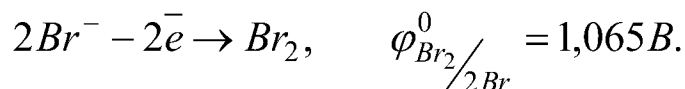
Гальванічний елемент записують умовно так:



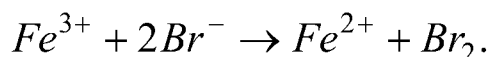
На феро-фери напівелементі відбувається реакція відновлення:



На бромному напівелементі відбувається процес окиснення:



Склавши електродні рівняння одержуємо вигляд:



Для оцінки можливості протікання окисно-відновної реакції необхідно розрахувати електрорушійну силу (ЕРС) гальванічного елемента.

Величину ЕРС гальванічного елемента можливо розрахувати за різницею стандартних окисно-відносних потенціалів феро-фери і бромного електродів

$$EPC = \varphi_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 - \varphi_{Br_2/2Br}^0 = 0,771 - 1,065 = -0,294B.$$

Негативне значення ЕРС показує, що хлорид заліза $FeCl_3$ не буде окиснювати бромід калію KBr .

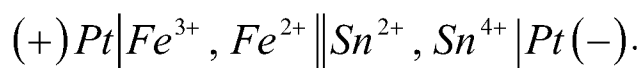
Приклад. Визначити чи можливо відновити Fe^{3+} розчином $SnCl_2$, якщо

$$[Sn^{4+}] = [Sn^{2+}] \text{ і } [Fe^{3+}] = [Fe^{2+}].$$

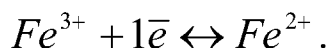
Розв'язання.

Запишемо гальванічний елемент, який складається з феро-фери електроду $Fe^{3+}, Fe^{2+} | Pt$ і електроду станум (+2) і станум (+4).

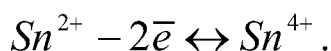
Гальванічний елемент запишемо:



На феро-фери напівелементі відбувається реакція відновлення:



На півелементі відбувається процес окиснення:



Запишемо значення потенціалів для окисно-відновних електродів:

$$\varphi_{Sn^{4+}/Sn^{2+}} = \varphi_{Sn^{4+}/Sn^{2+}}^0 + \frac{0,059}{n} \lg \left[\frac{Sn^{4+}}{Sn^{2+}} \right],$$

$$\varphi_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = \varphi_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 + \frac{0,059}{n} \lg \left[\frac{Fe^{3+}}{Fe^{2+}} \right].$$

$$\varphi_{Sn^{4+}/Sn^{2+}}^0 = 0,15B, \quad \varphi_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 = 0,771B.$$

Обчислюємо потенціали окисно-відновних електродів (електроду станум (+2) і станум (+4)).

$$\varphi_{Sn^{4+}/Sn^{2+}} = 0,15 + \frac{0,059}{2} \lg 1 = 0,15B,$$

$$\varphi_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = 0,771 + \frac{0,059}{1} \lg 1 = 0,771B.$$

$$EPC = \varphi_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 - \varphi_{Sn^{4+}/Sn^{2+}}^0 = 0,771 - 0,15 = 0,621 \text{ В}.$$

Позитивне значення ЕРС елемента свідчить, що розчин $SnCl_2$ буде відновлювати Fe^{3+} до Fe^{2+} .

ДОДАТКИ

СТАНДАРТНІ ЕЛЕКТРОДНІ ПОТЕНЦІАЛИ МЕТАЛІВ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ

Електрод	E^0, B	Електрод	E^0, B
Li^+ / Li	-3,045	Sn^{4+} / Sn	+0,130
Rb^+ / Rb	-2,925	Sb^{3+} / Sb	+0,240
K^+ / K	-2,925	Re^{3+} / Re	+0,300
Cs^+ / Cs	-2,923	Bi^{3+} / Bi	+0,317
Ra^{2+} / Ra	-2,916	Co^{3+} / Co	+0,330
Ba^{2+} / Ba	-2,906	Cu^{2+} / Cu	+0,345
Sr^{2+} / Sr	-2,888	Tc^{2+} / Tc	+0,400
Ca^{2+} / Ca	-2,866	Ru^{2+} / Ru	+0,450
Na^+ / Na	-2,714	Cu^+ / Cu	+0,520
Ac^{3+} / Ac	-2,600	Ti^{2+} / Ti	-1,630
La^{3+} / La	-2,522	Ti^{3+} / Ti	-1,208
Ce^{3+} / Ce	-2,483	Mn^{2+} / Mn	-1,192
Y^{3+} / Y	-2,372	V^{2+} / V	-1,175
Mg^{2+} / Mg	-2,363	Nb^{3+} / Nb	-1,100
Sc^{3+} / Sc	-2,077	V^{3+} / V	-0,868
Th^{4+} / Th	-1,899	Cr^{2+} / Cr	-0,852
Be^{2+} / Be	-1,847	Zn^{2+} / Zn	-0,763
U^{3+} / U	-1,798	Cr^{3+} / Cr	-0,744
Hf^{4+} / Hf	-1,700	Ca^{3+} / Ca	-0,560
Al^{3+} / Al	-1,662	Fe^{2+} / Fe	-0,440
Cd^{2+} / Cd	-0,403	$Hg_2^{2+} / 2Hg$	+0,850
In^{3+} / In	-0,338	Ag^+ / Ag	+0,799
Ti^{3+} / Ti^{2+}	-0,368	Rh^{3+} / Rh	+0,800
Tl^+ / Tl	-0,336	Pb^{4+} / Pb	+0,840
Co^{2+} / Co	-0,277	Os^{2+} / Os	+0,850
Ni^{2+} / Ni	-0,234	Hg^{2+} / Hg	+0,852
Mo^{3+} / Mo	-0,200	Pd^{2+} / Pd	+0,915
Sn^{2+} / Sn	-0,136	Pt^{2+} / Pt	+0,963
Pb^{2+} / Pb	-0,126	Ir^{3+} / Ir	+1,150
Fe^{3+} / Fe	-0,037	Au^{3+} / Au	+1,498
$2H^+ / H_2$	0,000	Au^+ / Au	+1,691

СТАНДАРТНІ ВІДНОВНІ ПОТЕНЦІАЛИ ДЕЯКИХ ОКИСНО-ВІДНОВНИХ СИСТЕМ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ

Система	φ^0 , В
$AgCl + e = Ag + Cl^-$	+0,222
$Br_2 + 2e = 2Br^-$	+1,087
$BrO_3^- + 3H_2O + 6e = Br^- + 6OH^-$	+0,610
$Cl_2 + 2e = 2Cl^-$	+1,359
$2HClO + 2H^+ + 2e = Cl_2 + 2H_2O$	+1,630
$ClO_3^- + 6H^+ + 6e = Cl^- + 3H_2O$	+1,450
$ClO_3^- + 3H_2O + 6e = Cl^- + 6OH^-$	+0,630
$CrO_4^{2-} + 4H_2O + 3e = Cr^{3+} + 8OH^-$	-0,125
$CrO_4^{2-} + 4H^+ + 3e = CrO_2^- + 2H_2O$	+0,945
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e = 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1,333
$CrO_4^{2-} + 4H_2O + 3e \rightarrow Cr(OH)_3 + 5OH^-$	-0,13
$Cr_4^{2-} + 8H^+ + 3e \rightarrow Cr^{3+} + 4H_2O$	1,477
$CrO_2 + 4H^+ + e \rightarrow Cr^{2+} + 2H_2O$	1,188
$Cu^{2+} + e = Cu^+$	+0,158
$F_2 + 2e = 2F^-$	+2,870
$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$	+0,771
$Fe(CN)_6^{3-} + e = Fe(CN)_6^{4-}$	+0,356
$FeO_4^{2-} + 8H^+ + 3e = Fe^{3+} + 4H_2O$	+1,700
$2H^+ + 2e = H_2$	0,000
$H_2 + 2e = 2H^-$	-2,251
$H_2O_2 - 2e = O_2 + 2H^+$	-0,682
$H_2O_2 + 2e = 2OH^-$	+0,880
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e = 2H_2O$	+1,776
$J_2 + 2e = 2J^-$	+0,536
$HJO + H^+ + 2e = J^- + H_2O$	+0,990
$Br_2 + 2e \rightarrow 2Br^-$	+1,065
$2J_3^- + 12H^+ + 10e = J^- + 6H_2O$	+1,190
$JO_3^- + 3H_2O + 6e = J^- + 6OH^-$	+0,260
$MnO_2 + 4H^+ + 2e = Mn^{2+} + 2H_2O$	+1,228
$MnO_4^{2-} + 4H^+ + 2e = MnO_2 + 2H_2O$	+2,257
$MnO_4^- + e = Mn_4^{2-}$	+0,564
$MnO_4^- + 2H_2O + 3e = MnO_2 + 4OH^-$	+0,600
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e = Mn^{2+} + 4H_2O$	+1,507
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e = MnO_2 + 2H_2O$	+1,692

Система	φ^0 , В
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1,51
$MnO_2 \downarrow + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1,23
$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn^0$	-1,03
$NO_3^- + 3H^+ + 2e^- = HNO_2 + H_2O$	+0,940
$NO_3^- + 2H^+ + 2e^- = NO_2^- + H_2O$	+0,838
$NO_3^- + 2H^+ + e^- = NO_2 + H_2O$	+0,772
$HNO_2 + H^+ + e^- = NO + H_2O$	+1,004
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- = NO + 2H_2O$	+0,957
$2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- = N + 6H_2O$	+1,240
$NO_3^- + 10H^+ + 8e^- = NH_4^+ + 3H_2O$	+0,880
$Ni(OH)_3 + e^- = Ni(OH)_2 + OH^-$	+0,490
$O_3 + 2H^+ + 2e^- = O_2 + H_2O$	+2,075
$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	0,682
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	0,40
$O_2 + 4H + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1,228
$P + 3H_2O + 3e^- = PH_3 + 3OH^-$	-0,890
$H_3PO_4 + 2H^+ + 2e^- = H_3PO_3 + H_2O$	-0,276
$Pb^{4+} + 2e^- = Pb^{2+}$	+1,694
$Sn^{4+} + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}$	+0,15
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	+1,82
$PbO_2 + 4H + 2e^- = Pb^{2+} + 2H_2O$	+1,455
$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- = PbSO_4 + 2H_2O$	+1,685
$PtCl_6^{2-} + 2e^- = PtCl_4^{2-} + 2Cl^-$	+0,720
$S + 2e^- = S^{2-}$	+0,480
$S + 2H^+ + 2e^- = H_2S$	+0,144
$SO_4^{2-} + H_2O + 2e^- = SO_3^{2-} + 2OH^-$	-0,932
$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- = SO_2 \cdot H_2O + H_2O$	+0,170
$SO_4^{2-} + 8H^+ + 6e^- = S + 4H_2O$	+0,357
$SO_4^{2-} + 8H^+ + 8e^- = S^{2-} + 4H_2O$	0,149
$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e^- = H_2S + 4H_2O$	+0,310
$S_2O_8^{2-} + 2e^- = 2SO_4^{2-}$	+2,010
$Tl^{3+} + 2e^- = Tl^+$	+1,280
$V^{3+} + e^- = V^{2+}$	-0,255

Амінокислоти, що входять до складу білків

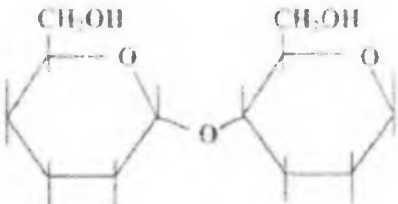
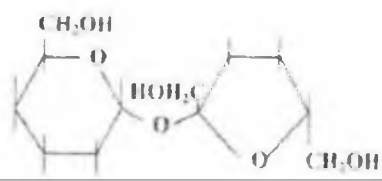
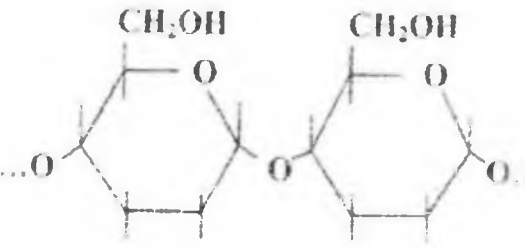
Назва	Міжнародний символ	Структура формула	pI
1	2	3	4
Амінокислоти з неполярними R-групами			
Аланін	Ala (A)	$\text{H}_3\text{C}-\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} \right]$	6,02
Валін	Val (V)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} \end{array} - \left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} \right]$	5,97
Лейцин	Leu (L)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}_2- \end{array} \left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} \right]$	5,98
Ізолейцин	Ile (I)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C}-\text{H}_2\text{C} \end{array} - \left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} \right]$	6,02
Метіонін	Met (M)	$\text{H}_3\text{C}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} \right]$	5,75
Пролін	Pro (P)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\left[\begin{array}{c} \text{N}^+\text{H}_2 \\ \\ \text{CH}-\text{COO}^- \end{array} \right] \\ \diagup \\ \text{H}_2\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}_2 \end{array}$	6,10
Триптофан	Trp (W)	$\text{Indole ring}-\text{CH}_2-\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} \right]$	5,88
Фенілаланін	Phe (F)	$\text{Phenyl ring}-\text{CH}_2-\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} \right]$	5,98

Амінокислоти з полярними незарядженими R-групами			
Гліцин	Gly (G)	$\begin{array}{c} \text{H} - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	5,97
Серин	Ser (S)	$\text{HO} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$	5,68
Треонін	Thr (T)	$\text{H}_3\text{C} - \text{CH} - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_3^+$	6,53
Цистеїн	Cys (C)	$\text{HS} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$	5,02
Тирозин	Tyr (Y)	$\text{OH} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$	5,65
Аспарагін	Asn (N)	$\text{H}_2\text{N} - \text{C}(=\text{O}) - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$	5,41
Глутамін	Gln (Q)	$\text{H}_2\text{N} - \text{C}(=\text{O}) - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$	5,65
Амінокислоти з негативно зарядженими R-групами			
Аспарагінова кислота	Asp (D)	$^-\text{OOC} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$	2,97
Глутамінова кислота	Glu (E)	$^-\text{OOC} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+$	3,22
Амінокислоти з позитивно зарядженими R-групами			

Лізин	Lys (K)	$\text{N}^+\text{H}_3-(\text{CH}_2)_4-\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}\right]$	9,74
Аргінін	Arg (R)	$\text{NH}_2-\underset{\text{N}^+\text{H}_2}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{HN}-(\text{CH}_2)_3-\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}\right]$	10,76
Гістидін	His (H)	$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\left[\begin{array}{c} \text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}\right] \\ \quad \\ \text{H}^+\text{N} \quad \text{NH} \\ \backslash \quad / \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	7,58

НАЗВА І СТРУКТУРНІ ФОРМУЛИ ВУГЛЕВОДІВ

Група вуглеводів	Структурна формула	Значення
1	2	3
Моносахариди	Глюкоза Гексоза $ \begin{array}{c} \text{CHO} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{OH}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} $ D-глюкоза (лінійна форма) $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{H} \quad \text{O} \quad \text{OH} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H} \quad \text{OH} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$ β D-глюкоза (кільцева форма) $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{H} \quad \text{O} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H} \quad \text{OH} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$ α D-глюкоза (кільцева форма)	Центральне значення в обміні вуглеводів в якості енергоносія
Моносахариди	Фруктоза Гексоза $ \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \end{array} $ β D-фруктоза (кільцева форма)	
	Рибоза Пентоза $ \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \end{array} $ β D-рибоза (кільцева форма)	Складова частина рибонуклеїнової кислоти (РНК)

Моносахариди	Дезоксирибоза Пентоза  β D-дезоксирибоза (кільцева форма)	Складова частина дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК)
Дисахариди	Мальтоза (солодовий цукор)  Молекула мальтози, яка складається з двох залишків молекул α-глюкози	Важливий продукт гідролітичного розщеплення крохмалю
Дисахариди	Сахароза (буряковий, тростняковий цукор) 	Дисахарид, який має найбільше значення; запасна речовина деяких рослин; важлива транспортна форма вуглеводів в рослинах
Полісахариди	Крохмаль (складові частини: амілоза, амілопектин)  Фрагмент молекули амілози, який складається з залишків α-глюкози	Важлива запасна речовина рослинних клітин; продукт харчування

ХІМІЧНИЙ СКЛАД АКТИВНОГО МУЛУ І ДЕЯКИХ КОРМОВИХ ПРОДУКТІВ У % ДО АБСОЛЮТНО СУХОЇ МАСИ

Джерела активного мулу і кормові продукти	Протеїн	Жироподібні речовини	Клітковина	БЕР (безазотисті екстрактивні речовини)	Зольність	Азот
Люблінська станція аерації (Москва)	34,2	10		4,92	32,6	5,46
Курянівська станція аерації (Москва)	40,5	14,4		2,7	27,8	6,5
Стоки Запорізького гідролізного заводу	49,7	1,4	9,5	39,4	15,6	-
Стоки целюлозно- паперових заводів	17-40	2,5-8	21-41	22-59	15-37	2,7-4,7
Стоки заводу деревоволокнистих плит	35,6	-		41,3	9,4	5,7
Стоки заводів синтетичних жирних кислот і спирту	24-30	3,7		0,8	3	3,9-4,8
Стоки Лисичанського хімкомбінату	46,7	3,8		-	16,6	7,5
Кормові дріжджі	44,6	0,5	1,5	53,4	8,3	-
М'ясо-кісткова мука	37,2	14,4	-	48,4	32,9	-
Рибна мука	59,4	1,9	-	38,7	25,7	-
Соняшниковий шрот	38,9	2,5	15,2	43,4	6	-
Трав'яна конюшинна мука	13,1	4,2	23,2	54,5	7,2	-
Горох	21,7	1,5	4,3	72,5	2,6	-
Ячмінь	10,9	5,4	5,2	78,5	3	-

**РІВНОВАЖНА КОНЦЕНТРАЦІЯ КИСНЮ, РОЗЧИНЕНОГО У ВОДІ,
ПРИ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ І ТИСКУ**

Темпе- ратура, °C	Розчинений кисень, мг/л									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	14,65	14,61	14,57	14,53	14,49	14,45	14,41	14,37	14,33	14,29
1	14,25	14,21	14,17	14,13	14,09	14,05	14,02	13,98	13,94	13,9
2	13,86	13,83	13,79	13,75	13,71	13,68	13,64	13,6	13,56	13,53
3	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,2	13,17
4	13,13	13,1	13,05	13,03	13	12,96	12,93	12,89	12,86	12,82
5	12,79	12,76	12,72	12,69	12,66	12,52	12,59	12,56	12,53	12,49
6	12,46	12,43	12,4	12,36	12,33	12,3	12,27	12,24	12,21	12,18
7	12,14	12,11	12,08	12,05	12,02	11,99	11,96	11,93	11,9	11,87
8	11,84	11,81	11,78	11,75	11,72	11,7	11,67	11,64	11,61	11,54
9	11,55	11,52	11,49	11,47	11,44	11,41	11,38	11,35	11,33	11,3
10	11,27	11,24	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03
11	11	10,98	10,95	10,93	10,9	10,87	10,85	10,82	10,8	10,77
12	10,75	10,72	10,7	10,67	10,65	10,62	10,6	10,57	10,55	10,52
13	10,5	10,48	10,45	10,43	10,4	10,38	10,36	10,33	10,31	10,28
14	10,26	10,24	10,22	10,19	10,17	10,15	10,12	10,1	10,08	10,08
15	10,03	10,01	9,99	9,97	9,95	9,92	9,9	9,88	9,86	9,84
16	9,82	9,79	9,77	9,75	9,73	9,71	9,69	9,67	9,65	9,63
17	9,61	9,58	9,56	9,54	9,52	9,5	9,48	9,46	9,44	9,42
18	9,4	9,38	9,36	9,34	9,32	9,3	9,29	9,27	9,25	9,23
19	9,21	9,19	9,17	9,15	9,13	9,12	9,1	9,08	9,06	9,04
20	9,02	9	8,98	8,97	8,95	8,93	8,91	8,9	8,88	8,86
21	8,84	8,82	8,81	8,79	8,77	8,75	8,74	8,72	8,7	8,65
22	8,67	8,65	8,63	8,62	8,6	8,58	8,56	8,55	8,53	8,52
23	8,5	8,48	8,46	8,45	8,43	8,42	8,4	8,38	8,37	8,35
24	8,33	8,32	8,3	8,29	8,27	8,25	8,24	8,22	8,21	8,19
25	8,18	8,16	8,14	8,13	8,11	8,1	8,08	8,07	8,05	8,04
26	8,02	8,01	7,99	7,98	7,96	7,95	7,93	7,92	7,9	7,83
27	7,87	7,86	7,84	7,83	7,81	7,8	7,78	7,77	7,75	7,74
28	7,72	7,71	7,69	7,68	7,66	7,65	7,64	7,62	7,61	7,59
29	7,58	7,56	7,55	7,54	7,52	7,51	7,49	7,48	7,47	7,45
30	7,44	7,42	7,41	7,4	7,38	7,37	7,35	7,34	7,32	7,31

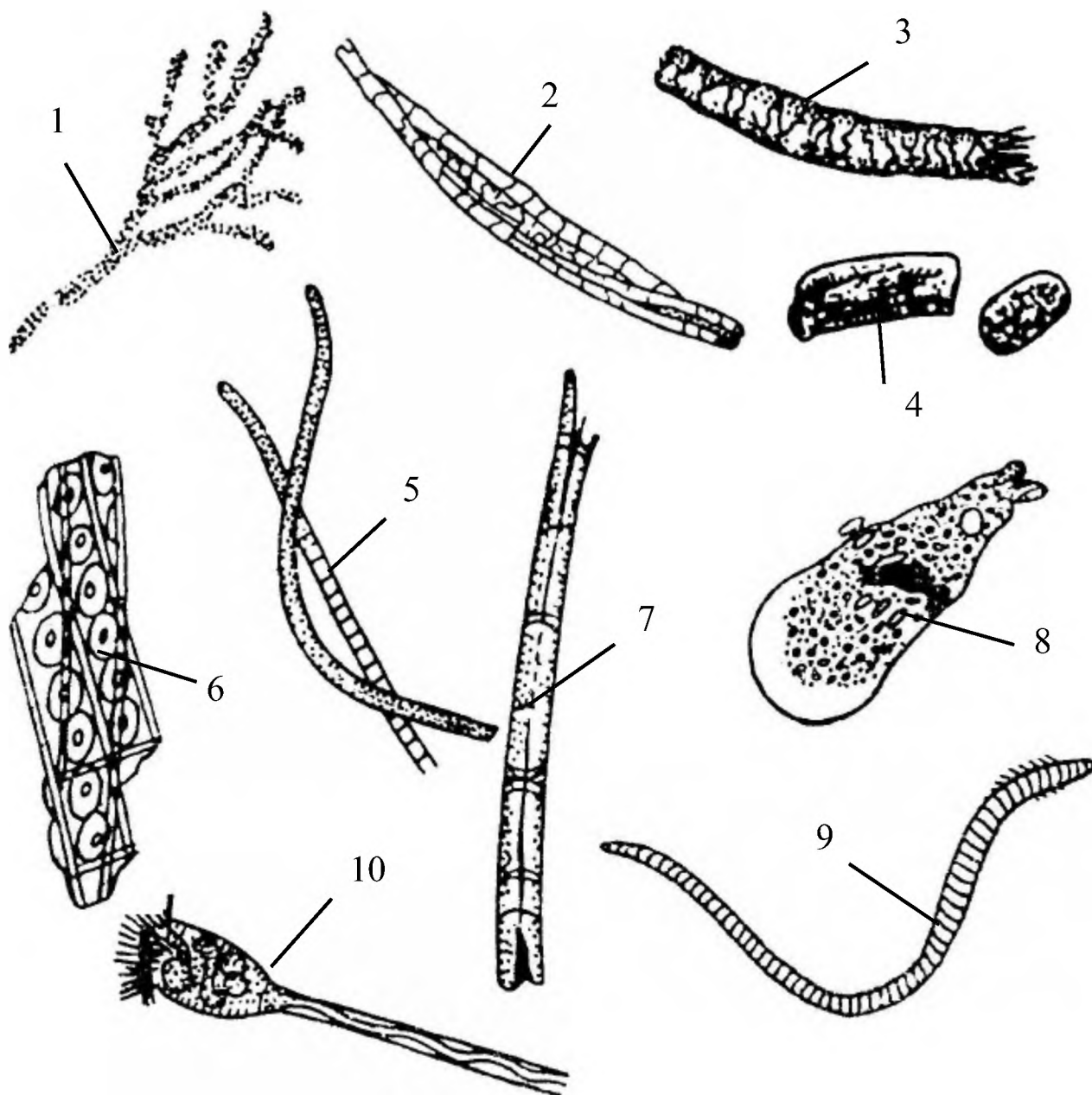


Рис. . Показові організми полісапробної зони:

1 – водяна бактерія; 2 – бавовнопаперове волокно; 3 – шерстяне волокно;
4 – мишачі волокна; 5 – сіркобактерія; 6 – волокно хвойного дерева; 7 – льонове
волокно; 8 – корненіжка амеби; 9 – малощетинковий черв'як; 10 – інфузорія
сувійка (протист).

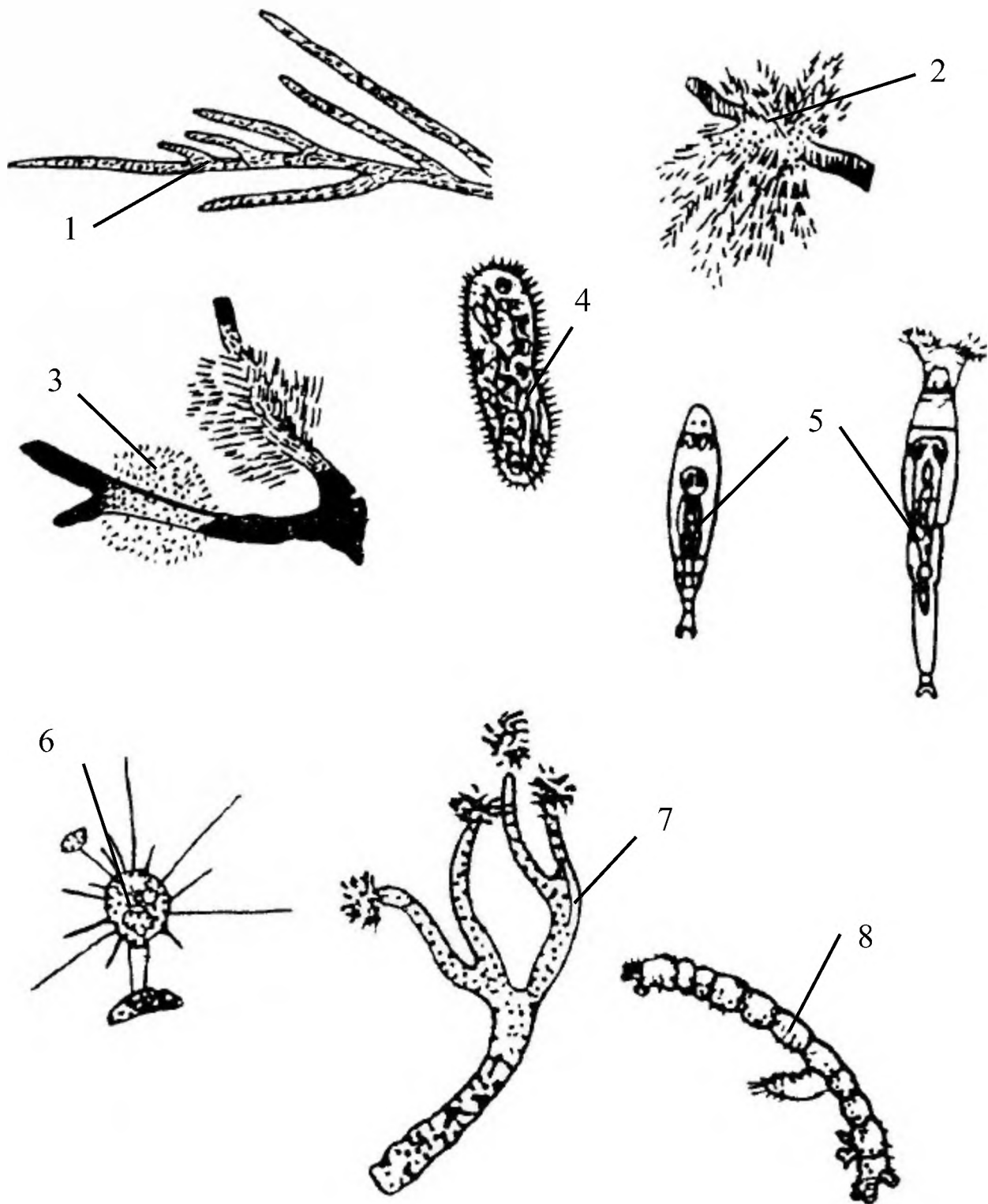


Рис. . Показові організми α – мезосапробної зони:

1 – гриб *Fusarium aquaeductuum*; 2 – гриб *Fusarium aquaeductuum*; 3 – ниткуваті бактерії *Sphaerotilus natans*; 4 – інфузорія (протист) *Paramecium caudatum*; 5 – коловертка *Rotifer vulgaris*; 6 – радіолярія *Podophrya fixa*; 7 – колоніальний джгутиконосець *Antophrysa vegetans*; 8 – личинка комара *Chironomus larve*.

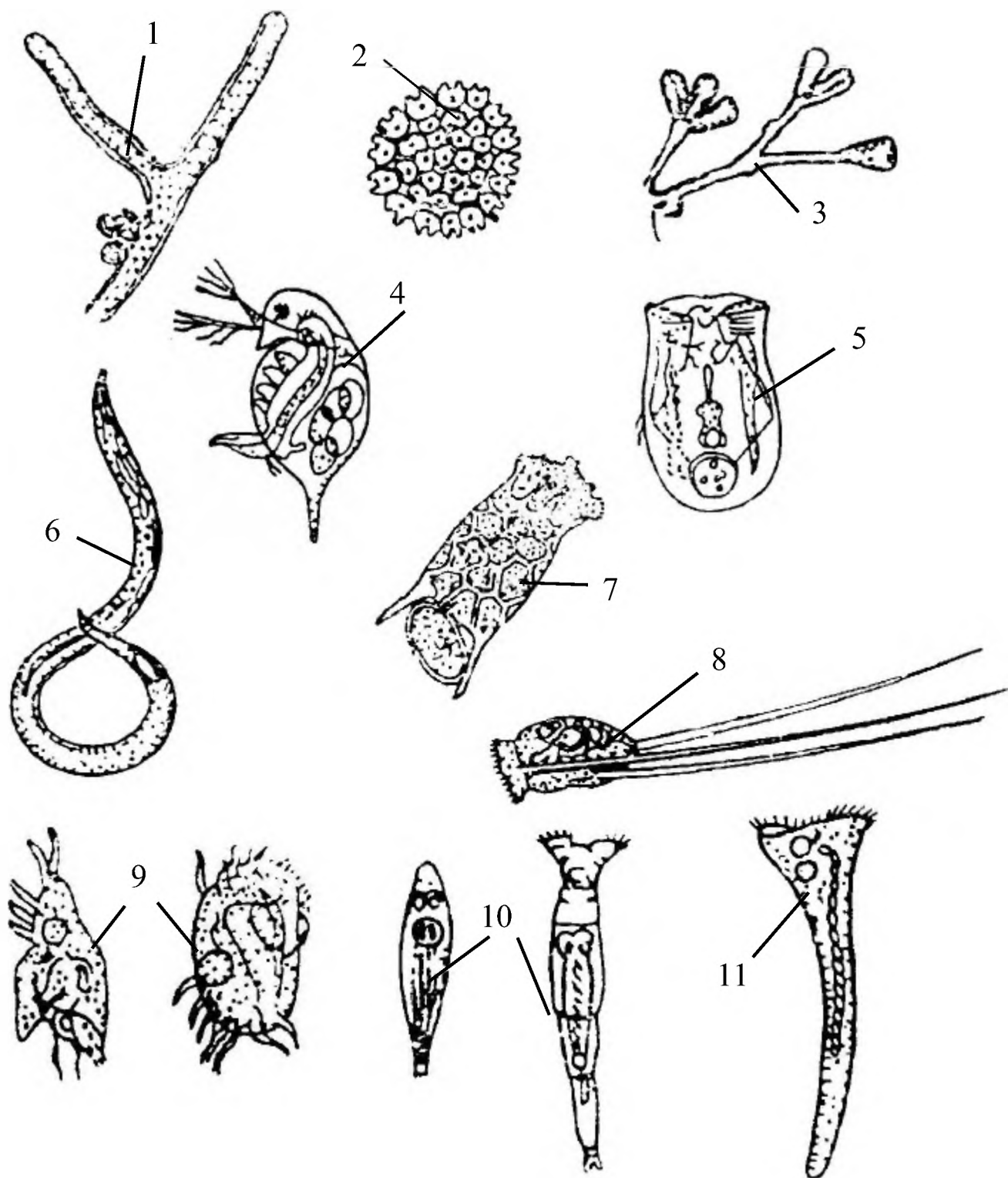


Рис.. Показові організми β -мезосапробної зони:

1 – ниткувата зелена водорість; 2 – колоніальна зелена водорість;
 3 – колоніальна діатомова водорість; 4- ракоподібне; 5 – коловертка; 6 –
 круглий черв'як; 7 – коловертка; 8 - коловертка; 9 – інфузорія (протист); 10 -
 коловертка; 11 – інфузорія (протист).

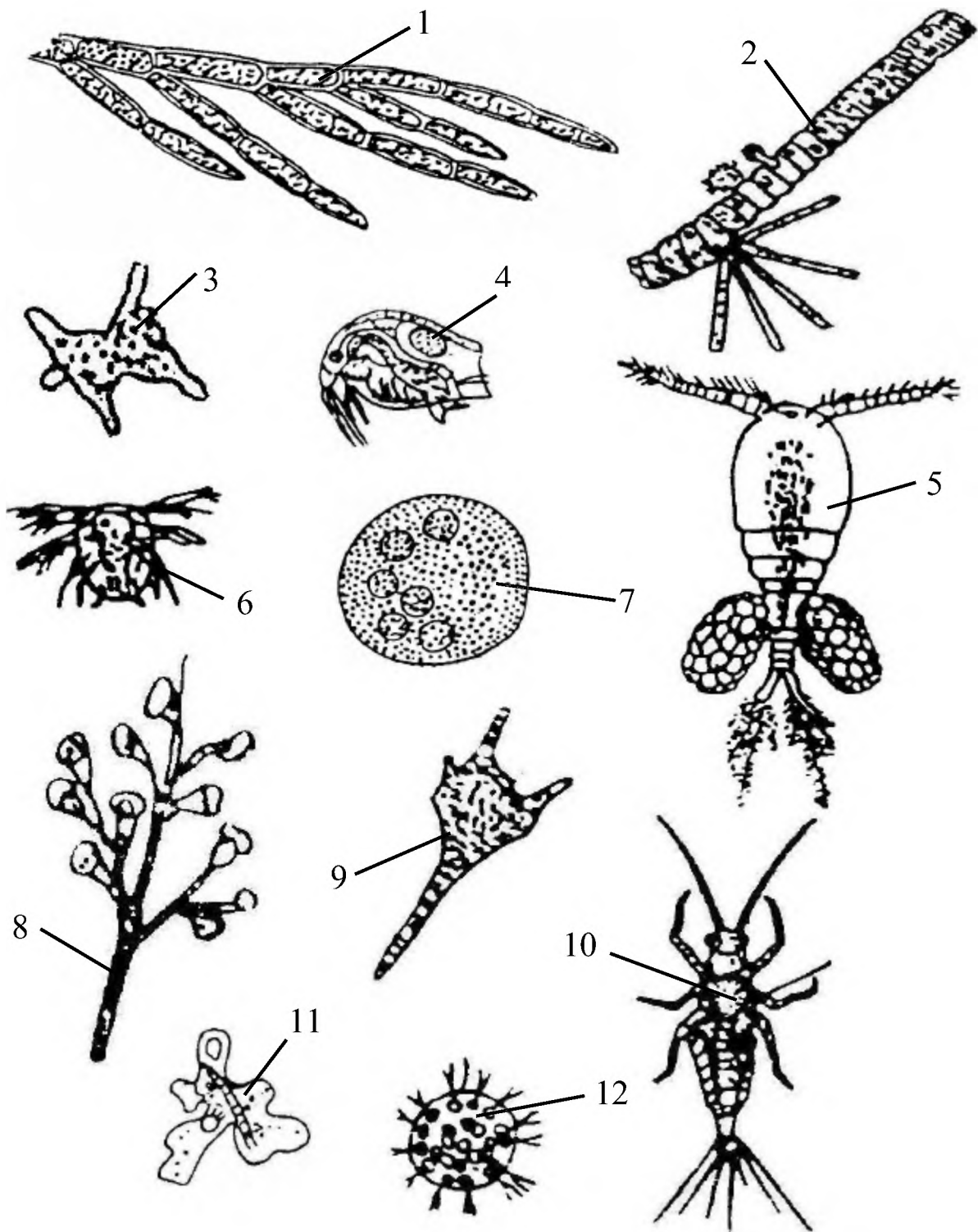


Рис.. Показові організми олігосапробної зони: 1 – зелена водорість; 2 – зелена водорість; 3 - зелена водорість; 4 – ракоподібне; 5 - ракоподібне; 6 – личинка ракоподібного; 7 – колоніальна зелена водорість; 8 – колоніальна інфузорія; 9 – джгутиконосець; 10 – личинка комахи; 11 – кореніжка амеби; 12 – колоніальний джгутиконосець (протист).

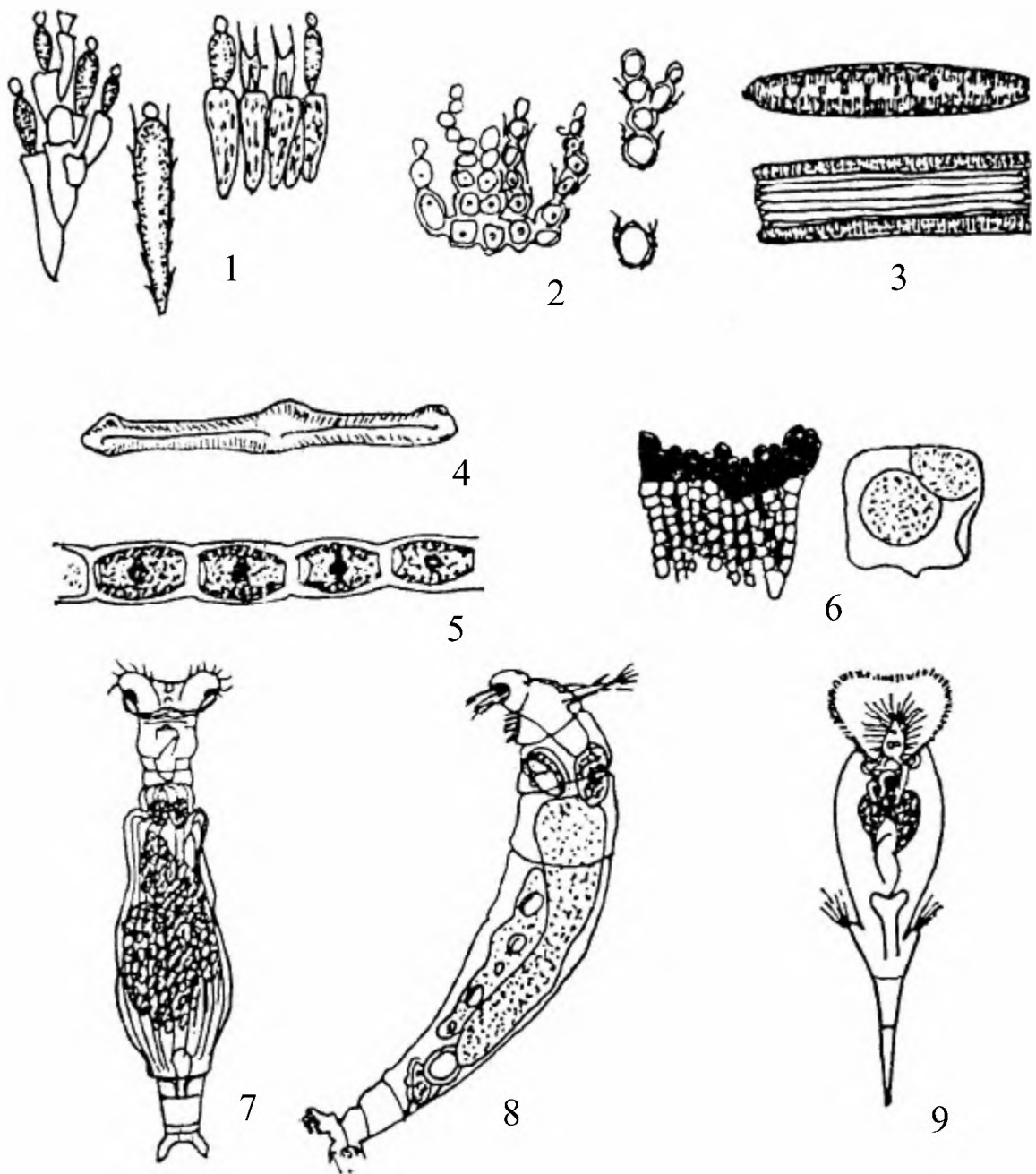


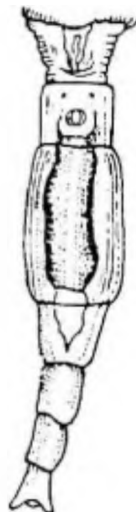
Рис. . Показові організми ксеносапробної зони.

Ціанобактерії: 1- *Chamaesiphon fuscus*; 2 – *Chamaesiphon polonicus*.
 Водорості: 3 – *Diatoma hiemale*; 4 – *Pinnularia gibba*; 5 – *Microspora amoena*;
 6 – *Lithoderma fontanum*.
 Коловертки: 7 – *Otostephanos annulatus*; 8 – *Philodinavus paradoxus*;
 9 – *Microcodon ciavus*.

Індикаторні найпростіші активного мулу



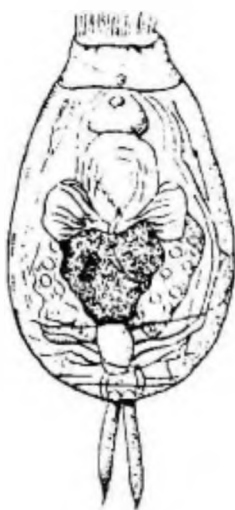
Opercularia glomerata,
Колонія 450 мкм



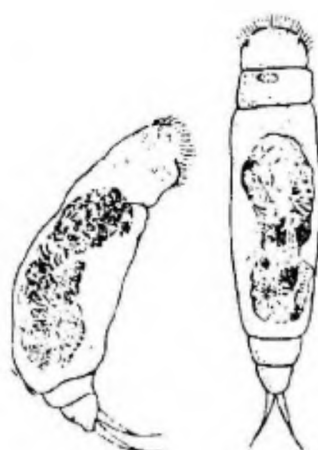
Philodina roseola
200 мкм



Callidina vorax
400 мкм



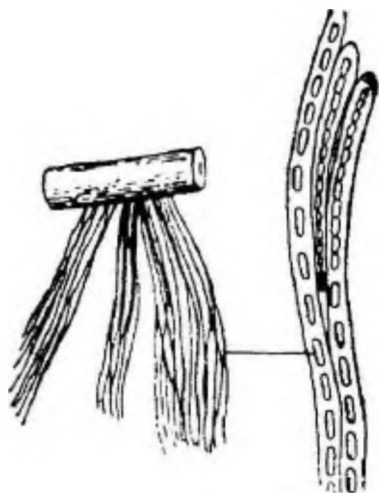
Cathypna luna
200 мкм



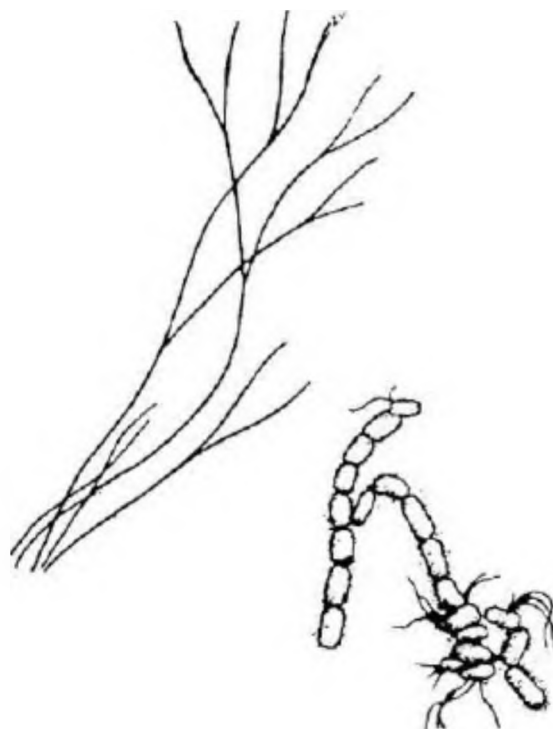
Notommata ansata
200 мкм



Nematoda
5-10 мм



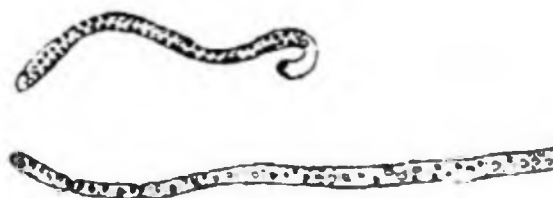
Sphaerotilus natans



Cladothrix dichotoma.
Товщина нитки 3-10 мкм



Beggiatoa alba.
Сіркобактерії



Thiothrix nivea. Сіркобактерії.
Товщина нитки 3-4 мкм



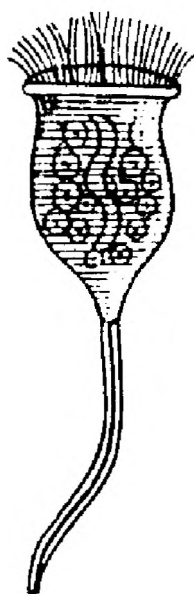
Zoogloea ramigera



Oicomonas mutabilis.
Довжина 17 мкм



Vorticella microstoma
60-110 мкм



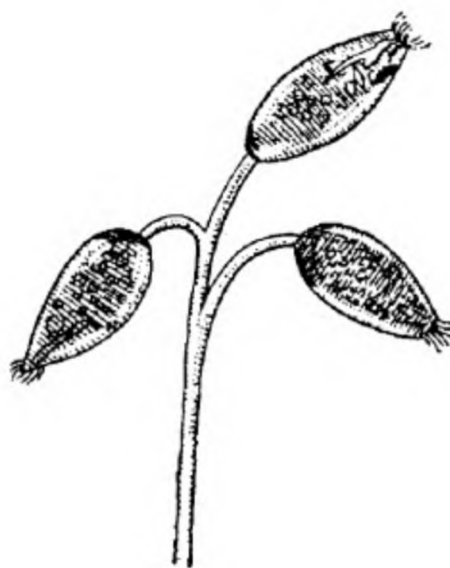
Vorticella convallaria
60-120 мкм



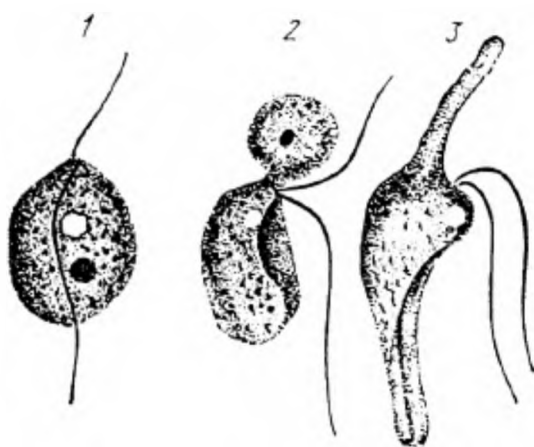
Carchesium spectabile
90-110 мкм



Epistylis plicatilis
80-120 мкм



Opercularia coarctata



Bodo globosus 13-22 мк (1)

Bodo edax (2)

Bodo caudatus (3)



Hyalodiscus limax

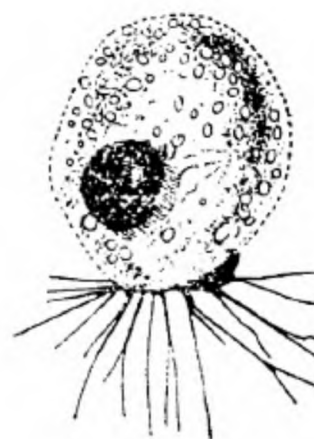
10-15 мкм



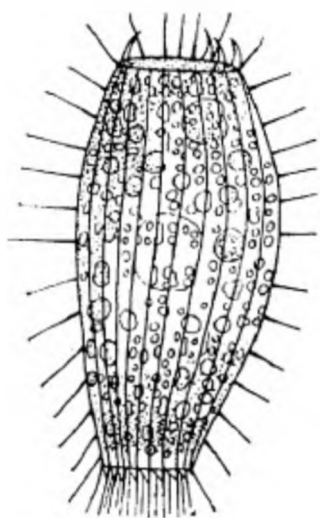
Amoeba proteus
200-1100 vrv



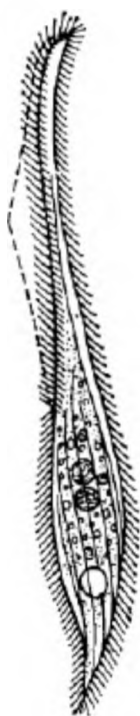
Arcella vulgaris
48-150 мкм



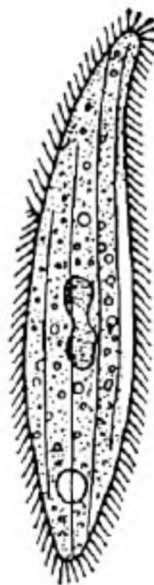
Pamphagus hyalinus
30-40 мкм



*Coleps
uncinatus*
60 MKM



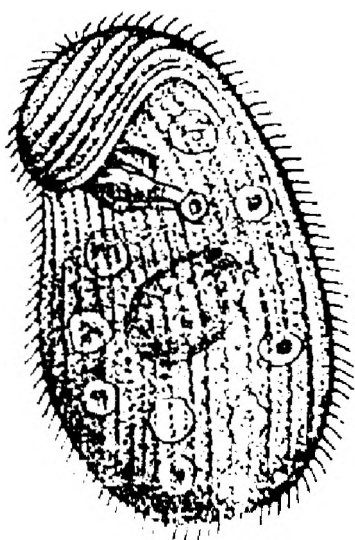
*Litonotus
anser*
400-1000 MKM



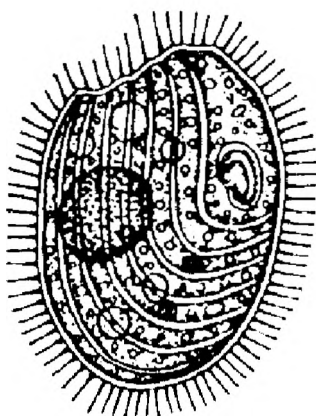
*Litonotus
lamella*
60-90 MKM



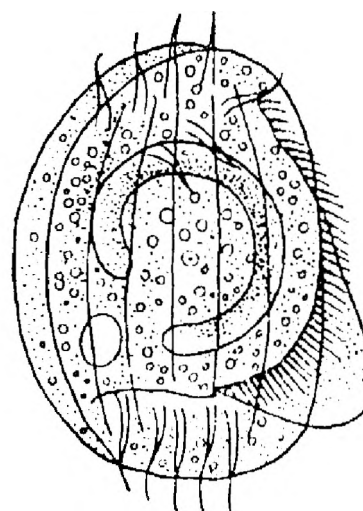
*Amphileptus
carchesii*
160 MKM



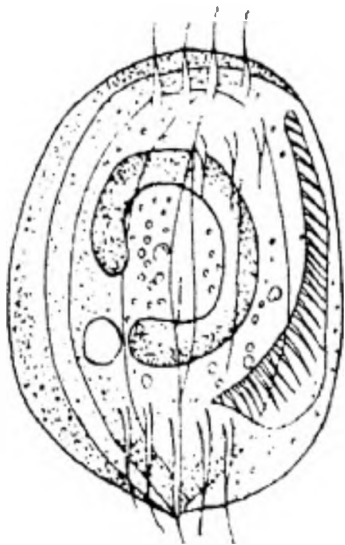
Colpidium colpoda
90-120 MKM



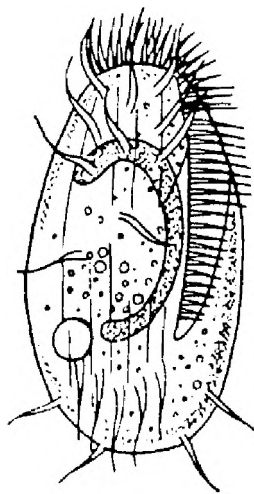
*Cinetochilum
margaritaceum*
30-45 MKM
243



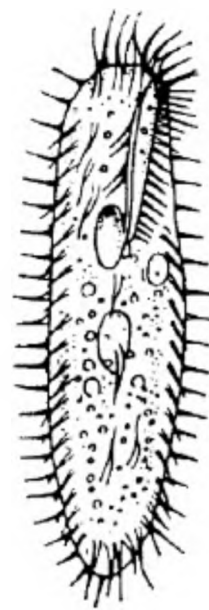
Aspidisca costata
30-40 MKM



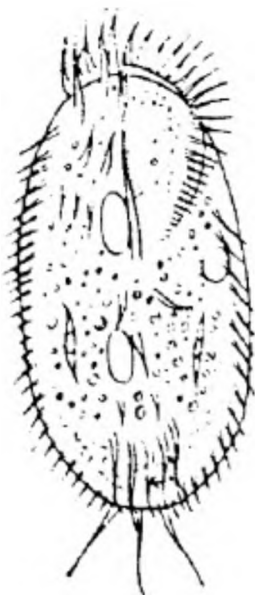
Aspidisca turrida
20-28 MKM



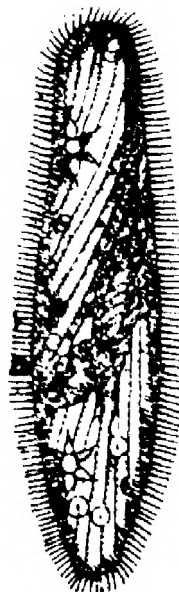
Euplotes haron
80 MKM



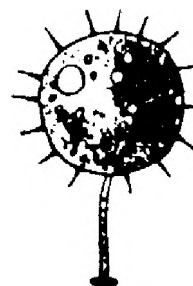
Oxytricha pellionella
80-100 MKM



Stylonychia
pustulata
180-220 MKM



Paramecium
caudatum
120-330 MKM



Podophrya fixa
10-28 MKM

Визначення основних технологічних показників активного мулу і осадів очисних споруд

Визначення вологості

У порцелянову чашку для випарювання, попередньо зважену з точністю до 0,01 г, наливають у кілька прийомів (добре перемішуючи) 100 мл осаду. Чашку з осадом зважують на технічних вагах. Потім її вміст випарюють на водяній бані, сушать у сушильній шафі 30 хв при температурі 105°C, охолоджують до кімнатної температури та зважують.

Обробка результатів. Вологість осаду, %, визначають за формулою:

$$X = (b - d) 100 / q,$$

де q - наважка осаду, г;

b, d - маса чашки з осадом відповідно сирим і сухим, г.

Прискорене визначення вологості

Принцип методу полягає у висушуванні невеликої наважки осаду між двома потужними лампами.

Хід роботи: дві електричні лампи з відбивачами з білої жерсті, виготовлені у вигляді конусів, закріплюють штативи у вертикальній площині. Між лампами розміщують азбестову сітку. Відстань між лампами визначають дослідним шляхом так, щоб час нагрівання відповідав оптимальній температурі азбестової сітки (див.таблицю)

Час, с	Температура, °C	Час, с	Температура, °C
0	20	180	118
30	37	210	128
60	53	240	139
90	71	270	145
120	87	300	160
150	105		

Перед початком роботи пристрій прогрівають протягом 5 хв. Наважку осаду масою 10 г розподіляють рівним шаром по плоскому дну алюмінієвої чашки. Ставлять чашку з наважкою на азбестову сітку між лампами та висушують протягом 20 - 30 хв. Після цього знімають її із сітки та покривають годинниковим склом. У разі конденсації вологи на склі наважку сушать ще 1 - 2 хв. Після закінчення висушування пробу охолоджують під склом 1,5 - 2 хв і зважують.

Обробка результатів. Вологість осаду, %, визначають за формулою

$$X = (a - b) 10,$$

де a, b – маса чашки з осадом відповідно сирим і висушеним, г.

Визначення гігроскопічної вологості

Хід роботи: скляний бюкс з кришкою висушують протягом 2 год у сушильній шафі при температурі 105 °С та охолоджують в ексикаторі. У скляний бюкс зважують 1 г середньої проби повітряно-сухого осаду з точністю до 0,0001 г.

Наважку висушують протягом 5 год у сушильній шафі при температурі 105 °С, розміщуючи бюкс з наважкою на одній висоті з кінцем термометра. Після висушування бюкс закривають кришкою, охолоджують в ексикаторі та зважують.

Обробка результатів. Гігроскопічну вологість осаду, %, визначають за формулою

$$p = (a - b) 100 / q,$$

де q – наважка осаду, г;

a, b – маса бюкса з осадом відповідно до і після висушування, г.

Визначення зольності

Хід роботи: фарфоровий тигель прожарюють при температурі 600 °С у муфельній печі, охолоджують в ексикаторі та зважують. У тигель зважують 1 г середньої проби повітряно-сухого осаду з точністю до 0,0001 г.

Тигель з наважкою прикривають кришкою та ставлять у витяжній шафі на електричну плитку з азбестовою сіткою для озолення осаду. Озолення ведуть обережно, щоб осад частково не відлетів з газами, утворюваними під час згоряння проби. Після закінчення озолення тигель прожарюють до постійної маси в муфельній печі при температурі 600 °С, охолоджують в ексикаторі та зважують. Одночасно визначають гігроскопічну вологість.

Зольність осаду виражають у процентах щодо абсолютно сухої речовини.

Обробка результатів. Зольність осаду, %, визначають за формулою

$$X = (b - c) 100 \cdot 100 / [q (100 - p)],$$

де p - гігроскопічна вологість осаду, %;

b, c - маса тигля відповідно з наважкою після прожарювання і порожнього, г;

q - наважка осаду, г.

Визначення дози активного мулу в об'ємних частках

Хід роботи: активний мул старанно перемішують у склянках та розливають у циліндри. Фіксують час, після 30 хв відстоювання у циліндрах вимірюють об'єм, що його займає активний мул.

Результати виражають в об'ємних частках (відсотках).

Визначення дози активного мулу в масових частках

Хід роботи: у сушильну шафу ставлять відкриті бюкси та кладуть на трикутник беззольні фільтри, попередньо складені вчетверо. Фіксують час,

коли температура встановлюється на 105 °С та висушують протягом 1 год, потім підвищують температуру до 120 °С і знов висушують протягом 30 хв. У шафі фільтри вкладають у бюкси, закривають, охолоджують в ексикаторі та через 30 хв зважують.

Відміряють 50 або 100 мл суміші рідини з мулом з таким розрахунком, щоб кількість сухої речовини у пробі не перевищувала 0,3 - 0,4 г. Вкладають мідну сітку у воронку Бюхнера і щільно притискають змочений фільтр до стінок воронки. З'єднують колбу Бунзека з водоструминним насосом і переносять мул з циліндра на фільтр, розподіляючи рівномірно по поверхні фільтра. Обполіскують циліндр невеликими порціями дистильованої води, приливаючи її після того, як вся рідина пройде через фільтр для запобігання збовтування мулу. Обережно виймають сітку з фільтром. Ставлять бюкси та сітки з фільтрами у сушильну шафу, фіксують час, коли температура підніметься до 105 - 120 °С, висушують 60 - 30 хв. Обережно викладають фільтри з осадом у бюкси, закривають їх, переносять у ексикатор і зважують.

Обробка результатів. Віднімаючи від маси бюкса з фільтром та висушеним осадом початкову масу бюкса з фільтром, отримують значення сухих речовин активного мулу в міліграмах на літр.

Визначення швидкості осідання активного мулу

Хід роботи: в циліндр вносять 100 мл суміші рідини з активним мулом, в якому міститься 0,3 г сухої речовини. Дають відстоятись та відзначають в мілілітрах об'єм, що його займе мул через певні проміжки часу (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 та 30 хв).

Обробка результатів. На осях координат відкладають значення об'ємів у мілілітрах та часу в хвилинах, будують криві швидкості осідання мулу.

Швидкість осідання мулу визначають при постійній концентрації мулу - умовно при 3 г/л. Об'єми мулу вимірюють в одному циліндрі.

Визначення мулового індексу

Муловий індекс дорівнює об'єму в мілілітрах, що його займає 1 г сухої речовини активного мулу через 30 хв відстоювання в циліндрі.

Хід роботи: пробу суміші стічної води з активним мулом старанно збовтують, наливають до позначки у циліндрі місткістю 100 мл і відстоюють протягом 30 хв. Фіксують об'єм, зайнятий мулом, у мілілітрах та визначають сухі речовини активного мулу в грамах.

Обробка результатів. Муловий індекс, мл/г, визначають за формулою

$$I=V/q$$

де V – об'єм активного мулу, мл;

q – сухі речовини мулу, г.

Визначення піску в осадах стічних вод

Принцип методу: частинки піску в осадах стічних вод перебувають у вільному стані або покриті плівкою з органічних речовин стічної рідини, що

найчастіше спостерігається для самої дрібної фракції піску. Отже, для визначення кількості піску в осадах мають бути виділені піщинки у вільному стані та піщинки, тісно пов'язані з органічною частиною осаду. Для цього осад слід енергійно перемішувати.

Даний метод визначення піску в осадах стічних вод полягає у розбавленні осаду водою і наданні всій масі обертального руху, завдяки якому пісок відокремлюється від осаду і випадає на дно чашки.

Хід роботи: в мензурку в п'ять - шість прийомів відбирають 250 - 500 мл осаду залежно від передбачуваного вмісту піску, кожного разу добре збовтуючи вміст мензурки.

Далі з мензурки осад переносять у порцелянову чашку місткістю 1000 мл і додають водопровідну воду в об'ємі, що дорівнює об'єму взятого осаду. Причому частиною води кілька раз обполіскують мензурку, щоб змити пісок зі дна. Вміст чашки перемішують протягом 3 хв дерев'яною лопаткою, після чого залишають у спокої на 3 хв. Потім рідину переносять у другу порцелянову чашку такого само об'єму. На дні першої чашки залишається осад чорного кольору у вигляді невеликого горбика, що складається головним чином з піску та деякої кількості органічної речовини.

У першу чашку з осадом наливають трохи води, осад перемішують і верхній шар із легкими завислими частинками переносять у другу чашку. Пісок з першої чашки невеликою кількістю води змивають у зважену чашку місткістю 100 мл.

Розбавлений осад, перенесений у другу чашку, знову перемішують протягом 3 хв, потім відстоюють 3 хв, рідину зливають, а вдруге виділений пісок переносять у ту саму зважену чашку місткістю 100 мл. Надлишок води випаровують на водяній бані, осад висушують у сушильній шафі протягом 2 год, зважують на технічних вагах. Потім прожарюють протягом 30 хв у муфельній печі і знову зважують.

Обробка результатів. Кількість піску, %, перераховують на сухі речовини осаду за формулою

$$X=a \cdot 100 \cdot 100 / (V \cdot c),$$

де а - маса отриманого прожареного піску, г;

V - об'єм осаду, взятий для аналізу, мл;

с - сухі речовини в 100 г осаду, г.

Гідробіологічний аналіз активного мулу

Під час мікроскопування свіжих проб активного мулу з бактерій можна розрізнити лише колоніальні скупчення, зооглеї, нитчасті бактерії, гіфи грибів. Повнішої ідентифікації бактерій та грибів досягають спеціальними методами. Найпростіші та безхребетні організми можуть бути визначені при безпосередньому мікроскопуванні.

До складу організмів активного мулу у разі роботи аеротенків у стандартних умовах входять такі: бактерії, найпростіші, коловертки, черви, мікроводорості тощо. В умовах стабілізації активного мулу розвиваються часто нижчі рачки, водяні кліщі.

У метантенках активний мул складається зі специфічних метаногених бактерій.

На біофільтрах склад організмів різноманітніший: водорості, найпростіші, коловертки, ракоподібні, черви, личинки комах тощо. У активних мулах, що нормально працюють, можна зустріти понад 60 різних видів організмів, але у деяких пробах кількість видів може не перевищувати 10 - 15 .

Бактеріям належить основна роль у процесах вилучення органічних речовин зі стічної рідини. Найпоширеніші короткі грамнегативні безспорові палички, що належать до роду *Pseudomonas*. Постійно присутні у всіх типах очисних споруд представники родів *Bacterium*, *Micrococcus*, *Sarcina*, *Bacillus*.

Бактерії здатні швидко пристосовуватись до несприятливих навколишніх умов. Вилучаючи та перетворюючи токсичні сполуки, вони вивільняють від них стічну рідину, роблячи її придатною для інших організмів. Крім того, переводячи розчинену органічну речовину у речовину свого тіла, бактерії відкривають доступ для організмів, не здатних до засвоєння розчинених речовин.

Також в очисних спорудах присутні нітрифікуючі бактерії та сіркобактерії.

Гриби належать до активних мінералізаторів, тому у процесах очищення гриби відіграють істотну роль. На очисних спорудах зустрічаються в основному гриби *Fusarium*, *Nematosporangium*.

Масовий розвиток грибів у біофільтрі утруднює проходження рідини через біофільтр, а в аеротенку перешкоджає осадженню мулу у вторинному відстійнику. З цієї причини масовий розвиток грибів у очисних спорудах каналізації небажаний.

Водорості дуже поширені у біологічних ставках. Іноді спостерігається масовий розвиток водоростей на зрошувальних полях, полях фільтрації та на поверхні біофільтра. Водорості сприяють звільненню стічних вод від сполук азота та фосфора, збагачують навколишнє середовище киснем.

Досить численні в активному мулі найпростіші (Protozoa). До них належать мікроскопічні одноклітинні організми, єдина клітина яких виконує всі життєві функції. Класифікація найпростіших базується на способах руху. До найпростіших належать класи саркодових - ті, що рухаються за допомогою цитоплазматичних виростів, джгутикові – за допомогою джгутиків (нитковидних виростів зовнішнього шару цитоплазми) та інфузорії - за допомогою війок.

Роль найпростіших, які живляться бактеріями та завислими речовинами, полягає у сприянні освітленню води та у певному обмеженні кількості бактерій. Вони також виконують функцію індикаторних організмів. З інтенсивності

розвитку тих чи інших форм можна робити висновки щодо якості очищення стоків.

Коловертки (Rotatoria) - багатоклітинні організми, що досягають 2,5 мм в довжину. Мають сильну мускулатуру; їх легко відрізнити від найпростіших за сильними скороченнями тіла, вільними рухами, навіть якщо їх розміри іноді збігаються з розмірами найпростіших. Тіло складається з трьох відділів: груди (або тулуб) з панциром, голова та нога для прикріплення до субстрату. Коловертки дуже чутливі до змін зовнішніх умов, тому можуть бути віднесені до індикаторних організмів.

Індикаторні організми активного мулу.

1. Нитчасті бактерії *Sphaerotilus* - часто зустрічаються в активному мулі, особливо при очищенні стоків з високим вмістом вуглеводів (крохмалепатокові, гідролізні, текстильні тощо). Нитчасті бактерії утворюють довгі нитки при уповільненому протіканні рідини і, навпаки, дрібнішають при сильному механічному перемішуванні у спорудах. У регенераторі нитчасті бактерії деградують через механічне подрібнення та нестачу живлення. Масове накопичення нитчастих в аеротенку викликає вспухання мулу.

2. Сіркобактерії розвиваються у присутності сірковмісних органічних речовин, особливо при недостатній аерації. З цієї причини масовий розвиток сіркобактерій і відкладення краплинок сірки в їхніх клітинах є свідченням погіршення процесу очищення.

3. Плісняві гриби утворюють розгалужені нитки, розділені на клітини, або поодинокі клітини. Найчастіше розвиваються у кислому середовищі у промислових стоках, де відсутні інші організми.

4. Зооглеї являють собою драглеподібну масу різної форми і консистенції, в яку вкраплені бактеріальні клітини куле- та паличкоподібної форми.

5. Поява в аеротенку великої кількості дрібних амеб - ознака неякісного очищення, що спостерігається при перевантаженнях. Невелика кількість великих амеб зустрічається у мулі, що нормально працює. *Amoeba* *limax* є показником погіршення очищення. Поява в активному мулу *A. radiosa* свідчить про якісне очищення.

6. Поява великої кількості дрібних джгутикових свідчить про погіршення роботи очисних споруд, що пов'язано з нестачею кисню або з перевантаженням. Так, джгутикові роду *Oicomonas* та *Vodo* у дуже значних кількостях зустрічаються у перевантаженому мулі. Поодинокі екземпляри - в мулі, що нормально працює. Джгутикові мають розміри близько 10 мкм, тому їх добре видно у мікроскоп лише при значному збільшенні.

7. Інфузорія *Opercularia* часто зустрічається на очисних спорудах: у мулі, що нормально працює; війки розкриті, рух їх активний; за несприятливих умов – війкова зона замкнута.

Vorticella microstoma розвивається у перевантаженому мулі з недостатнім вмістом розчиненого кисню.

Vorticella convallaria - характерні представники мулу, що нормально працює, при регенерації зустрічаються групами; чутливі до токсичних речовин. При нестачі розчиненого кисню відриваються від стебла і утворюють особливу вільно плаваючу форму.

Epistylis зустрічається у значних кількостях у нітрифікуючому мулі.

Paramecium caudatum, *Glaucoma scintillans* пристосовані до існування в умовах низького вмісту кисню, тому характерні для мулу, що працює незадовільно.

Oxytricha, *Stylonichia*, *Aspidisca* - майже завжди присутні в активному мулі, що найчастіше є позитивною ознакою для оцінки якості мулу.

У перевантаженому мулі у значній кількості фіксують *Podophrya* та *Tokophrya*. Ці форми паразитують на інших інфузоріях.

8. Коловертки перебувають в активному стані при достатньому забезпеченні розчиненим киснем у нітрифікуючому мулі. Опиняються у стисненому стані за несприятливих умов (за різкої зміни складу стоків), у разі зниження концентрації розчиненого кисню втрачають рухомість, витягаються і поступово відмирають.

9. Водяні кліщі зустрічаються на біофільтрах, а в аеротенках - у голодуючому мулі при низькому навантаженні.

Характеристика мулів.

1. Мул, що працює задовільно, - характеризується значною різноманітністю найпростіших за видовим складом при невеликому кількісному переважанні якогось з видів. Постійна наявність *Aspidisca*, *Zoogloea*. Всі організми досить рухомі в активному стані. Мул швидко осідає у вигляді великих важких пластівців. Вода над мулом прозора.

Мул з регенератора:

а) за якісної регенерації - кількісне переважання прикріплених інфузорій *Epistylis plicatilis* та *Vorticella convallaria* над інфузоріями, що вільно плавають; збільшення кількості прикріплених інфузорій та зооглей порівняно з мулом у аеротенку; організми рухомі; пластівець мулу великий, добре осаджується, вода над мулом прозора; зникає сірка у клітинах сіркобактерій;

б) за глибокої регенерації - переважання великих інфузорій, що вільно плавають; збільшення розмірів *Vorticella* та *Opercularia*; розпадання пластівця мулу на дрібні ті частинки, вода над мулом має дрібну каламуть, що не осідає.

2. Голодуючий мул - характеризується наявністю найпростіших дрібних розмірів, організми стають прозорими, вакуолі їх зникають. Зооглеї та пластівці мулу прозорі. Вода над мулом має дрібну каламуть, що не осідає.

3. Нітрифікуючий мул - постійна наявність у помітній кількості коловерток *Philodina*, *Callidina* та ін. Кількісне переважання прикріплених інфузорій, *Vorticella convallaria*, великих амеб. Можлива присутність у великій кількості щетинконогих червів. Мул спливає після осадження.

4. Перевантажений мул - мала якісна різноманітність видів при кількісному переважанні двох-трьох. Велика кількість безбарвних джгутикових, дрібних амеб та інфузорій. Присутні іноді у помітній кількості *Podophrya*, *Vorticella microstoma*, *Opercularia*. Також зустрічаються нитчасті бактерії *Sphaerotilus*. Мул забруднений різноманітними включеннями: органічні аморфні частинки, м'язові волокна, сміття, залишки відходів. Пластівці мулу темні, щільні. Вода над мулом з опалесценцією.

5. Мул у разі скиду промислових стоків, неадаптований. Характеризується зменшенням різноманітності видів, переважають один-два. Зменшення розмірів організмів, особливо *Vorticella convallaria* та *Opercularia*, при збільшенні їх загальної кількості або при різкому зменшенні загальної кількості залежно від ступеня токсичності стоків. Нерухомий стан війок інфузорій; замкнутий війчастий диск *Opercularia*, переважання коловерток та червів. Мул дрібний, забруднений включеннями промислових стоків, може мати забарвлені частинки, осаджується погано. Вода над мулом каламутна.

6. Мул у разі нестачі кисню. *Vorticella* роздуваються у вигляді кулі, деякі лопаються та щезають, *Opercularia* із замкнутим війчастим диском, нерухомі. Коловертки нерухомі, застигли у витягнутому стані, такі, що відмирають. Велика кількість різноманітних джгутикових. З інфузорій переважають *Paramecium caudatum*, дуже витривалі у разі нестачі кисню і здатні активно плавати у мулі, що гніє. Пластівці мулу розпадаються. Вода над мулом каламутна.

Принцип методу: гідробіологічний аналіз доповнює технологічний контроль якості очищення та роботи споруд біологічного комплексу. Мікроскопуванням активного мулу визначають групи, види чи підвиди організмів - індикаторів забруднень, оцінюють їх кількісні співвідношення, фізіологічний стан та на основі цих характеристик формують висновки про стан активного мулу та його здатність до перетворення забруднень.

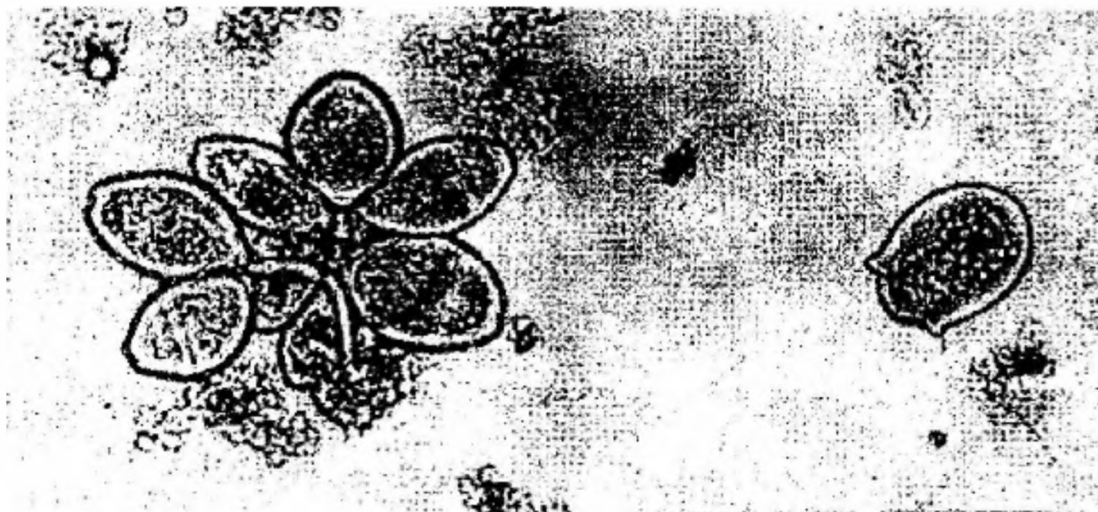
Відбір проб: проби на аналіз відбирають окремо з кожної споруди: аеротенка, регенератора, вторинного відстійника, біофільтра тощо.

Рідку пробу, відібрану ковшем, переливають у широкогорлу банку, заповнюють її на половину об'єму та не закривають пробкою. негайно переносять у лабораторію та здійснюють аналіз не пізніше ніж через 20 - 30 хв з моменту відбору проби (протягом 1 - 2 хв пробу, не закриту пробкою, можна зберігати у холодильнику).

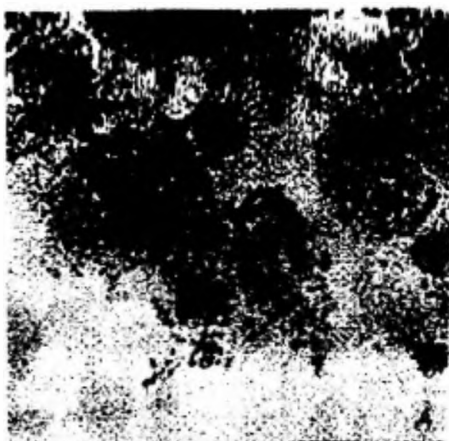
Для відбору проб із дна споруди використовують склянку, закриту пробкою. Відкривають склянку на заданій глибині під водою за допомогою тросика, прикріпленого до пробки.

Проби з біофільтрів відбирають скребками на різній глибині завантаження.

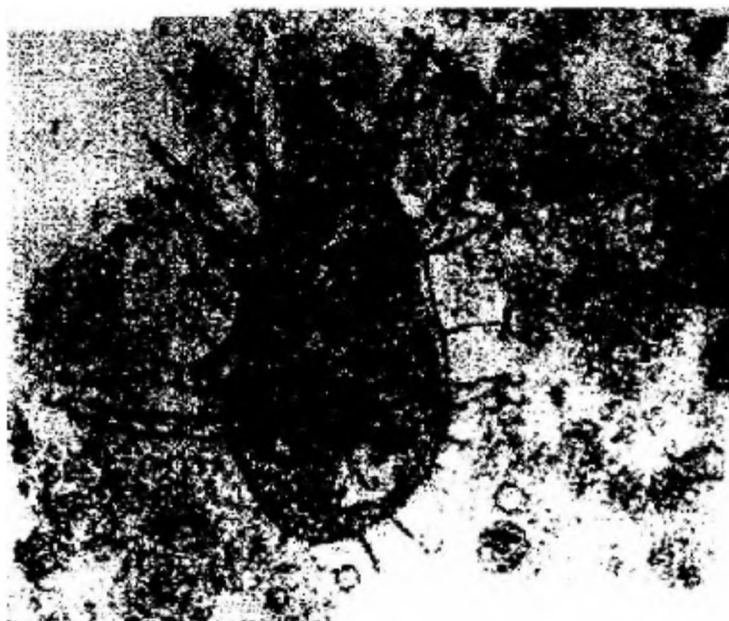
Зразу ж після доставки проб з аераційної споруди в лабораторію підливають з кожної проби 100 мл у циліндр для визначення об'єму мулу через 30 хв відстоювання та дози мулу.



Opercularia glomerata в активному мулі



Інфузорії в активному мулі: А – *Podophrya*; Б - *Tokophrya*



Кліщ з активного мулу



Рачок з біофільтра

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ ТА ВИЗНАЧЕНЬ

Аеро ... (грец. аер - повітря) — частина складних слів, що означає «повітряний».

Аероби (аеро... та грец. bios - життя), організми аеробні — організми, здатні жити і розвиватися лише за наявності в середовищі вільного молекулярного кисню (всі рослини, гриби, більшість тварин).

Аеробіонти (аеро... та біонти) — організми, що живуть на суходолі, тобто наземні організми, мешканці аеробіосфери.

Азотфіксуючі бактерії (від азот – хімічний елемент і фіксація) – бактерії, що фіксують (зв'язують) азот, необхідний для життєдіяльності рослинних організмів (напр., бактерії роду *Clostridium*, *Azotobacter* та ін.).

Акарициди (від гр. akari - кліщ та ...цид(и)) — хімічні засоби захисту рослин, що застосовуються для знищення шкідливих кліщів.

Алергени (від алергія та ...ген(и)) - речовини (як органічного, так і неорганічного походження), що викликають алергію (наприклад, білки, мікроорганізми, тил, пилок рослин, продукти харчування, ліки, продукти хімічного виробництва).

Алергія (від гр. allos — інший та ergon — дія) — підвищена чутливість організму людини та тварин до впливу алергенів. Останнім часом алергічні захворювання почастишали у зв'язку із забрудненням довкілля, внаслідок вимушеного контакту людини зі шкідливими хімічними речовинами в побуті й на виробництві.

Альгологія (від лат. alga - водорість, морська трава та грец. logos -учення, наука), **фікологія** - розділ ботаніки, що вивчає водорості: їх поширення, видовий склад, фізіологію, життєві цикли, роль у біоценозах та шляхи їх практичного використання. Альгологія тісно взаємодіє з екологією.

Аміак (від лат. (sal) ammoniacus, букв. - амонова сіль) - безбарвний газ із різким задушливим запахом. Утворюється під час гниття органічних речовин. У промисловості аміак добувають синтезом із азоту й водню. Застосовується для виробництва азотної кислоти, добрив (сечовини), соди, вибухових речовин; рідкий аміак використовується в холодильних установках. Водний розчин аміаку називається нашатирним спиртом. Аміак може становити загрозу для здоров'я людини: спричиняє запалення шкіри й слизових оболонок, захворювання легень і дихальних шляхів.

Амоніфікація (віл лат. ammoniacum — аміак та ...фікація) — процес розкладання мікроорганізмами білків та інших азотовмісних органічних речовин до кінцевою продукту - аміаку. Амоніфікація - один із найважливіших етапів кругообігу азоту в природі: внаслідок амоніфікації важкозасвоюваний азот органічних сполук рослинних і тваринних решток переходить у доступну для рослин форму.

Анаболізм (від грец. anabolē – накидаю, підйом) – сукупність хімічних

процесів, що протікають в організмі і внаслідок яких утворюються складові елементи клітини і тканин з накопиченням енергії. **А.** є складовою частиною обміну речовин і взаємозв'язаний з протилежним процесом – катаболізмом або дисиміляцією. Прикладом **А.**, що має планетарне значення є фотосинтез. **А.** те саме, що й асиміляція.

Анаероби (ан... та аероби), організми анаеробні — організми, здатні жити та розвиватися за відсутності вільного кисню (багато видів бактерій, молюски, деякі гриби, водорості, найпростіше та ін.).

Антагонізм у біології (від грец. antagonisma — суперечка, боротьба) — тип суперечності між організмами, що виражається в боротьбі за існування. Найчіткіше проявляється між хижаком і його здобиччю, між паразитом і хазяїном.

Антибіотики (від грец. anti — проти та biote — життя) — речовини мікробного, рослинного або тваринного походження та їхні синтетичні аналоги й похідні, здатні вибірково пригнічувати ріст і розмноження бактерій, вірусів та інших мікроорганізмів. Описано понад 3000 антибіотиків (наприклад, стрептоміцин, тетрациклін, пеніцилін).

Антисептики (від грец. anti - проти та septikos — гнильний) — хімічні речовини, що запобігають розвитку бактерій в організмі; застосовуються для боротьби з патогенними мікроорганізмами (наприклад, йод, хлор, перманганат калію).

Антициклон (від грец. anti — проти та циклон) — область підвищеного тиску в атмосфері діаметром від кількох сотень до кількох тисяч кілометрів із циркуляцією повітря за годинниковою стрілкою в Північній півкулі й проти - у Південній півкулі. В області розвитку антициклона спостерігається малохмарна, мало- або безвітряна погода.

Антропо... (від грец. antropos - людина) — частина складних слів, що означає: такий, що стосується людини, людський.

Антропогенне навантаження — реєстрований рівень прямого чи опосередкованого впливу діяльності людини на природу в цілому або її екологічні компоненти чи елементи (ландшафти, ресурси природні, види рослин і тварин і т.ін.).

Багатоклітинні рослинні організми (Metaphyta) – організми рослин, тіло яких складається з багатьох якісно нерівноцінних клітин. Характерною особливістю Б.р.о. є те, що клітини об'єднані у вищі структурні комплекси (тканини, органи), пристосовані до виконання певних життєво важливих функцій у цілісному рослинному організмі.

Базальний (від грец. b́asis - основа) – розміщений біля основи, тобто на морфологічно нижньому кінці.

Бактерициди (від *бактерії* та ...*цид(и)*) - речовини, здатні вбивати *бактерії* та інші мікроорганізми (наприклад, хімічні сполуки — фенол, спирт, формалін, перекис водню, а також антибіотики, фітонциди тощо). Засто-

совуються для стерилізації, дезінфекції (посуду, приміщень, продуктів), як антисептичні засоби, для хіміотерапії.

Бактерії (від грец. *baktérion* - паличка) – мікроскопічні одноклітинні організми, що не мають чітко оформленого ядра. За класифікацією, запропонованою канадським бактеріологом Р.Мюрреєм (1984), в основу якої покладено будову оболонки клітини, Б. становлять царство *Procarvotae* з 4 відділами.

Бензол - основа хімічної структури всіх речовин класу ароматичних вуглеводнів. Бензол - високотоксична безбарвна горюча рідина, слабкорозчинна у воді, важко піддається розкладанню; суміш бензолу із повітрям вибухонебезпечна. Забруднення довкілля відбувається внаслідок викидів бензолу в атмосферу (наприклад, із газами вихлопними автомобілів) та скидів бензоловмісних промислових стічних вод. Однозначно встановлено канцерогенність бензолу для людини: спричиняє захворювання крові (лейкоз) і ушкоджує хромосоми.

Бензпірен — найвідоміша речовина з групи поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ). Бензпірен - дуже поширений канцероген: міститься в газах вихлопних автомобілів, у тютюновому диму, в диму коптилень, у харчових продуктах, обсмажених на решітці, в неочищених газах коксохімічних підприємств, у відпрацьованих моторних оливах. Потрапивши в організм людини, спричиняє захворювання на рак легень. Концентрація бензпірену береться за еталонну одиницю в разі оцінювання сукупного канцерогенного забруднення довкілля всіма ПАВ.

Бентос (грец. *benthos* - глибина), організми бентосні — сукупність організмів, які мешкають на дні водойм або в товщі донного ґрунту. Бентос складається з автотрофів (водорості) рідше – вищі рослини та гетеротрофи (найпростіші, черви, п'явки, молюски, ракоподібні та ін.) Розрізняють фітобентос та зообентос.

Біоаккумуляція (від біо... та акумуляція) - 1) процес нагромадження з часом в організмі (або окремих органах) певних речовин, які надходять із довкілля (наприклад, багато видів їстівних грибів здатні до нагромадження важких металів, зокрема кадмію); 2) нагромадження в ґрунті хімічних елементів, органічних і неорганічних речовин у результаті розкладання решток тварин і рослин. Сприяє збільшенню кількості гумусу.

Біогаз — газ, що утворюється в результаті анаеробного розпаду органічних решток на дні водойм, у гної, в спеціальних установках за участі специфічних мікроорганізмів. Біогаз складається з метану, пропану, вуглекислого газу, аміаку та інших газів і без очищення може використовуватись як паливо.

Біогенні елементи (від *біо...* та *...генний*) — хімічні елементи, що постійно входять до складу всіх організмів, необхідні для їхньої життєдіяльності й вибірково поглинаються з довкілля. Найважливіші біогенні елементи - кисень (становить 70 % маси організмів), вуглець (18 %), водень (10 %), азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірка, хлор, натрій, залізо та ін.

Біогенні речовини - 1) речовини, що утворюються в процесі життєдіяльності й у результаті розкладання решток організмів і становлять осадові породи (наприклад, крейда, вапняк, сапропель то ін.); 2) розчинні солі, життєво необхідні для організмів (солі фосфору, азоту, калію, кальцію, сірки, магнію).

Біоіндикатори (від *bio...* та пізньолат. *indicator* — показчик), **вид індикаторний** — організми, види або угруповання, наявність, кількість або інтенсивний розвиток яких є показником певних природних процесів або умов довкілля. Наприклад, хвощі — індикатори кислих ґрунтів. За допомогою біоіндикаторів можна оцінити ступінь забруднення довкілля, здійснювати постійний контроль (екологічний моніторинг) його якості та змін. Наприклад, за складом фауни та флори водойми, чисельним співвідношенням їх представників судять про характер забруднень, придатність води для пиття й господарських цілей, ефективність роботи очисних споруд.

Біокорозія (від *bio...* та лат. *corrosio* — роз'їдання), біоруйнування — процес пошкодження (руйнування) металів, бетону та інших субстратів у результаті життєдіяльності організмів, переважно мікроорганізмів.

Біолюмінесценція (від *bio...*, лат. *lumen* - світло та *...escent* — суфікс, що означає слабку дію), **світіння організмів** - видиме світіння організмів (або їхніх окремих тканин), пов'язане з процесами їхньої життєдіяльності. Біолюмінесценція виникає в спеціальних світлоносних органах унаслідок ферментативного окиснення певних ліпідів (люциферинів). Біолюмінесценція спостерігається в деяких бактерій, грибів, безхребетних тварин, риб. Найпоширеніша серед морських організмів.

Біомаса (від *bio...* та лат. *massa* — грудка, шматок) — кількість живої речовини на одиниці площі або об'єму місцеперебування в момент спостереження. Загальна біомаса, визначається сумою біомас усіх популяцій, що населяють даний біогеоценоз. Найчастіше за одиницю біомаси беруть 1 г сухої (рідше — сирої) органічної речовини на 1 м². У біосфері біомаса рослин (фітомаса) становить 97...99 %, біомаса тварин (зоомаса) — лише 1...3 %. Визначення біомаси необхідне під час вивчення біологічної продуктивності, а також прогнозування результатів господарської діяльності людини.

Біометрія (від *bio...* та грец. *metreo* - вимірюю) - наука про застосування математичних методів (варіаційної статистики) для вивчення явищ життя або організмів.

Біометрія (від грец. *bíos* – життя і *metréō* - вимірюю) – наука, що методами математичної статистики вивчає певні ознаки організмів, органів чи окремих їх частин у процесі життєдіяльності.

Біонт [від грец. *bion* (*biontos*) — той, що живе] — окремий організм (індивід або особина), що в ході еволюції пристосувався до життя в певному середовищі (біотопі). Розрізняють аеро-біонтів (населяють суходіл і повітря),

гідробіонтів (мешканці водойм), геобіонтів (живуть у ґрунті), паразитів (живуть в інших організмах) і т. ін. Організми, здатні жити в різних умовах, називають еврибіонтами, тих, які мешкають лише в строго певних умовах, — стенобіонтами.

Біопошкодження - небажана з погляду людини зміна (погіршення) властивостей та якостей різних матеріалів, споруд, кормів, продуктів харчування під впливом організмів, які поселяються в них. До біопошкодження належать пошкодження тканин, паперу, деревини грибами й комахами, пліснявіння продуктів, руйнування цегляних і бетонних споруд коренями рослин, обростання каналів, днищ суден і т. ін.

Біорізноманітність — сукупність типів відмінностей об'єктів органічного світу (універсуму) будь-якого простору (території, акваторії, планети), що визначаються на підставі вибраного критерію. Біорізноманітність видова — сукупність усіх видів організмів, що населяють нашу планету, тобто загальний генофонд Землі. Біорізноманітність генетична — сукупність генофондів різних популяцій одного виду. Біорізноманітність екосистемна — сукупність екосистем планети на всіх рівнях, починаючи з біогеоценотичного. Біорізноманітність — найбільша цінність з екологічних, генетичних, соціологічних, економічних, наукових, освітніх, рекреаційних та естетичних позицій. Біорізноманітність — найважливіша умова еволюції і збереження систем життєзабезпечення біосфери.

Біота (грец. biote – життя) — живе населення екосистеми будь-якого рангу. На відміну від біоценозу, види, що входять до складу біоти, можуть не мати екологічних зв'язків. Проте здебільшого одну і ту саму сукупність організмів можна розглядати і як біота (з позицій біогеографії), і як біоценоз (з позицій екології).

Біотоп (біо... та грец. topos – місце) — однорідний за факторами абіотичного середовища простір у межах біоценозу з усім комплексом абіотичних компонентів (ґрунтом, повітрям, кліматом та ін.). Біотоп – неорганічний компонент біогеоценозу.

Біохімічна стійкість органічної речовини – показник, що визначається співвідношенням перманганатної та біхроматної окиснюваності води. Якщо воно менше 40%, то у водоймі превалює свіжа мало трансформована органічна речовина типу білків та жирів; якщо понад 40% - стійкі у біохімічному відношенні органічні речовини (гумус, феноли та ін.). Визначається також співвідношенням БСК₅ і біхроматної окиснюваності води: якщо воно дорівнює 0,02-0,03, то у водоймі превалює гумус планктону та ґрунтів; 0,3-0,5 – органічна речовина, що утворюється в процесі самоочищення та з залишків померлих організмів; 0,8-1,2 – органічна речовина фітопланктону; понад 1,2 - органічна речовина побутових та промислових забруднень, яка нестійка у біохімічному відношенні.

- Біохімічне спостереження кисню (БСК)** – показник інтенсивності аеробної деструкції (розкладання) органічних речовин мікроорганізмами протягом певного часу (1 доби, 3 доби, 5 діб, 20 діб; відповідно позначають БСК₁, БСК₃, БСК₅, БСК₂₀ або БСК_{повне}). Одиниця вимірювання – мгО₂/л. Незамінний показник для якісної і кількісної характеристики розчинених органічних речовин, розрахунків біопродуктивності водойм, спостереження за роботою очисних споруд та ін.
- Біоценоз** (біо + грец. *koīnos* - загальний) — історично складена сукупність популяцій різних видів рослин, тварин, мікроорганізмів, які населяють певний біотоп. Організми в біоценозі - рослини (продуценти), тварини (консументи) та мікроорганізми (редуценти) – пов'язані складними біотичними взаємозв'язками. У взаємодії з середовищем проживання біоценози утворюють біогеоценоз. Сукупність рослин, що населяють біоценоз, становить фітоценоз, тварин – зооценоз.
- Біоцид** (від *біо...* та *...цид*) — цілковите знищення всього живого та екосистем на великій території (отрутами, гербіцидами, напалмом, бомбардуваннями, як було, наприклад, в Індокитаї).
- Біоциди** (від *біо...* та *...цид(и)*) - загальна назва хімічних препаратів, які використовуються для боротьби з бур'янами, хворобами та шкідниками сільськогосподарських рослин. Розрізняють: акарициди (засоби проти кліщів); альгіциди (проти водоростей); бактерициди (проти бактерій); фунгіциди (проти грибів); гербіциди (проти бур'янів); інсектициди (проти комах); нематоциди (проти червів); родентициди (проти гризунів); вірициди (проти вірусів). Їх застосування завжди негативно впливає на екосистеми та здоров'я людини.
- Біоцикл** (від *біо...* та грец. *kuklos* - круг), життєва область — найбільший екологічний підрозділ біосфери. Виділяють три біоцикли: море, суша та внутрішні (внутрішньоматерикові) водойми. Кожний біоцикл поділяється на біохори, що включають біотопи. Наприклад, біотопи піщаних, глинистих, кам'янистих пустель об'єднуються в біохор пустель, який разом із біохорами лісів, степів та інших становить біоцикл суші.
- Біхроматна окиснюваність води (БОВ, БВ)** – показник, що характеризує загальний вміст у воді легко- та важко окиснюваних мікроорганізмами речовин (відповідно нестійкі та стійкі до окиснення речовини). Визначається кількістю кисню, витраченого на окиснення органічних речовин під дією сильного окиснювача – біхромату калію. Одиниця вимірювання – мгО/л.
- Бродіння** — процес анаеробного ферментативного розкладання органічних речовин (насамперед вуглеводів), що здійснюється різними мікроорганізмами (дріжджами, бактеріями, деякими грибами), за якого виділена енергія використовується для біосинтезу життєво важливих білків, амінокислот тощо. Процеси бродіння відбуваються також у рослин, тварин

і людей. Бродіння відіграє обов'язкову роль у кругообігу речовин і перетворенні енергії в природі.

Буферність ґрунту (від англ. buff - пом'якшувати поштовхи) — здатність ґрунту зберігати практично сталою реакцію середовища (рН) у разі дії кислот і лугів. Так, чорноземи мають буферність 5...8 (пісок — усього 1). Буферність ґрунту — один із важливих показників стабільності та продуктивності екосистеми.

Важкі метали - метали з великою густиною (понад 8000 кг/м³). До них належать свинець, мідь, цинк, нікель, кадмій, кобальт, сурма, олово, вісмут, ртуть. Деякі важкі метали в певних кількостях необхідні для людського організму (цинк, мідь), інші - високотоксичні (кадмій, ртуть, свинець). Важкі метали потрапляють у довкілля з водами стічними, газами вихлопними автомобілів, унаслідок процесів горіння й т. д. Залучаючися до кругообігу речовин і нагромаджуючися в середовищі природному, спричиняють його забруднення й становлять серйозну загрозу для здоров'я людини. Отруєння важкими металами посідають третє місце після отруєнь пестицидами й нітратами.

Випромінювання видиме, світло - електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль 780...380 нм, яке здатне безпосередньо викликати зорове відчуття. Становить близько половини всієї променистої енергії сонячної, що надходить на Землю. З випромінюванням видимим пов'язані найважливіші біологічні процеси живих систем; у рослин забезпечує процес фотосинтезу.

Випромінювання інфрачервоне (від лат. infra — нижче, під), **теплове випромінювання** — електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль 770...31 нм. Джерело випромінювання інфрачервоного - нагріті тіла. На випромінювання інфрачервоне припадає близько 50 % енергії випромінювання сонячного. В певних дозах позитивно впливає на низку життєво важливих процесів (наприклад, обмін речовин) і функціонування різних систем організму (нервової, ендокринної та ін.). Надлишок випромінювання інфрачервоного може спричинити опіки, захворювання шкіри, очей тощо.

Випромінювання йонізуюче, радіація йонізуюча - електромагнітне (випромінювання ультрафіолетове, рентгенівське й гамма-випромінювання) та корпускулярне (альфа-, бета-випромінювання, нейтронне та ін.) випромінювання, що спричиняє йонізацію середовища. Випромінювання йонізуюче великої інтенсивності небезпечне для життя людини та інших організмів. Викликає мутації, променеву хворобу тощо. Від випромінювання йонізуючого космічних променів біосферу захищає озоновий шар.

Відходи побутові - всі відходи сфери споживання, які утворюються в житлових кварталах, організаціях і установах, торговельних підприємствах і т. д., відходи опалювальних установок у житлових будинках, сміття з вулиць,

будівництв, ремонтів будинків тощо. Існує тенденція збільшення кількості відходів побутових, що загострює проблему їх вивезення, поховання або утилізації на сміттєпереробних чи сміттєспалювальних заводах.

Відходи тверді — промислово-побутові відходи, котрі не можна видалити системами каналізації і які підлягають вивезенню з подальшим похованням або частковою утилізацією (наприклад, пакувальні матеріали, вже непридатні побутові й промислові прилади, папір, консервні банки, бите скло, сміття, старий одяг і взуття, уламки будматеріалів тощо). В містах відходи тверді щороку становлять понад 1000 кг на душу населення.

Вода — найважливіший елемент глобальної екосистеми й фактор екологічний для всього живого на Землі. Вода - невід'ємна й основна складова будь-яких організмів, що забезпечує обмін речовин (живлення, виділення, дихання). За участі води відбуваються численні процеси в екосистемах (обмін речовин, тепла). Вода Світового океану - основний кліматоутворювальний фактор, головний акумулятор енергії сонячної. Вода - головний біотоп Землі — займає понад 70 % її площі. Вода - один із найважливіших видів мінеральної сировини, основний ресурс природний, що споживається людством. Запаси води на земній кулі величезні — $1,46 \cdot 10^9 \text{ км}^3$. Проте це переважно гірко-солоня морська вода. Прісна вода становить лише 2% загальної її кількості, причому 85% її зосереджено в льодовиках, і тільки 1% прісної води містять річки, озера й води підземні. За відношенням до води рослини й тварини поділяються на: вологолюбних (*гігрофіти* й *гігрофіли*), таких, що живуть в умовах помірної вологості (*мезофіти* й *мезофіли*), посухлюбних (*ксерофіти* й *ксерофіли*) та водяних (*гідрофіти* й *гідробіонти*).

Води ґрунтові — води підземні верхнього водоносного горизонту, що залягають над першим водоупорним шаром гірських порід. Води ґрунтові - одне з джерел водопостачання. Утворюються головним чином за рахунок просочування вологи опадів атмосферних, надходження вод річок, озер, ставків, каналів, штучних водосховищ.

Води підземні — води, що містяться у верхній частині земної кори в рідкому, твердому й газоподібному стані. Заповнюють пори й проміжки уламкових порід (пісків, галечників), тріщини в скельних породах (гранітах, пісковиках), карстові порожнини в розчинних породах (вапняках, доломітах, гіпсах). Є напірні й безнапірні води підземні. За мінералізацією води підземні поділяються на прісні, мінералізовані й розсоли. Води підземні - джерело водопостачання; в посушливих районах використовуються для зрошення: мають лікувальні властивості. За характером використання поділяються на питні, технічні, промислові, мінеральні, і термальні. Води підземні - важливий фактор екологічний: спричиняють заболочування й підтоплення територій, зсуви, осідання ґрунтів під інженерними спорудами, ускладнюють гірські виробки тощо.

Води поверхневі — води, які постійно або тимчасово знаходяться на земній поверхні в різному вигляді: річки й тимчасові водотоки, озера, водосховища, болота, льодовики, а також сніговий покрив.

Води стічні — води, які були у виробничо-побутовому або сільсько-господарському використанні, а також ті, що пройшли забрудненою територією; промислові сільськогосподарські, комунально-побутові, зливові й т. п. стоки. В Україні більш як половину загального скиду таких вод становлять води стічні житлово-комунальних підприємств, що містять, крім залишків їжі, також фекалії, мийні засоби, які важко піддаються очищенню й знезараженню. Промислові води стічні залежно від галузі виробництва мають різний хімічний склад. Води стічні становлять велику загрозу здоров'ю людини й мешканцям водного середовища. Для їх знезараження й очищення застосовують різні методи: механічні, хімічні, біологічні.

Всесвітній фонд охорони природи (ВФОП) — міжнародна організація, яка опікується проблемами охорони живої природи та екосистем.

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) — спеціалізована установа ООН, основне завдання якої — досягнення всіма народами високого рівня здоров'я. ВООЗ організовує боротьбу з хворобами, їх ліквідацію, здійснює епідеміологічний нагляд, опікується підготовкою й удосконаленням науково-медичних працівників тощо. ВООЗ розглядає екологічну освіту як важливу частину програми з оздоровлення довкілля.

Вуглеводні шкідливі — органічні сполуки, молекули яких побудовані з атомів вуглецю й водню. Вуглеводні - основа структури органічної хімії. В результаті заміщення атомів водню атомами хлору утворюються хлоровані вуглеводні (наприклад, інсектицид ДДТ). Вуглеводні - горючі речовини, здатні утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші. Вуглеводні з невеликим числом атомів вуглецю мають наркотичну дію й можуть призвести до звикання (токсикоманії). Численні циклічні вуглеводні є сильними канцерогенами (наприклад, циклогексан, бензол). Дуже шкідливі також сажа (оскільки добре адсорбує забруднювачі), ненасичені (олефінові) Вуглеводні (етилен та ін.), що становлять 35 % загальної кількості вуглеводневих викидів, і є однією з причин утворення смогів. Ароматичні вуглеводні, парафіни, нафтени, бензпірен містяться в газах вихлопних автомобілів, випарах бензинів. Гексан може викликати важкі ураження нервової системи. В групі ненасичених вуглеводних виражені канцерогенні властивості має бутадієн. Насичені вуглеводні (переважно метан) є продуктом метаболізму деяких мікроорганізмів, що використовуються для добування біогазу.

Гази вихлопні — автомобільні гази, що містять близько 200 шкідливих для *біоти* компонентів, найнебезпечніші з яких — чадний газ, бензпірен, оксиди азоту й діоксид сірки, сполуки свинцю та ртуті, альдегіди. В разі систематичного впливу газів вихлопних у рослин, наприклад, порушується

процес фотосинтезу, в людей і тварин підвищується сприйнятливість до різних хвороб (у т. ч. ракових).

Гази димові — гази, що утворюються під час спалювання різних видів палива (вугілля, нафта, торф, гази природні). Містять багато шкідливих речовин, у т.ч. радіоактивні елементи, тому їх необхідно піддавати очищенню. Викиди газів димових в атмосферу — причина кислотних дощів.

Гази оптично активні — гази природного і штучного походження, які вибірково поглинають промені оптичного діапазону (від ультрафіолетових до інфрачервоних). Містяться в атмосфері Землі, гази оптичні істотно впливають на температурний режим газової оболонки і, відповідно, поверхні планети. Добре відомі оптичний ефект озону в озоносфері, який поглинає «жорстке» *випромінювання ультрафіолетове* Сонця, поглинання вуглекислим газом довгохвильового теплового *випромінювання* нагрітої Сонцем земної поверхні. Парниковий ефект можуть спричинити оксиди азоту, діоксид сірки, метан, бутан, хлорфторвуглеводні та ін. за прогресуючого збільшення їхньої концентрації в атмосфері. Періодично багато різних газів (вуглекислий, сірчистий, оксиди азоту, вуглецю, сірководень, аміак, сполуки фтору, хлору, метан, шкідливі вуглеводні та ін.) надходить в атмосферу з діючих вулканів, гейзерів, під час лісових і степових пожеж, спалювання викопного палива.

Гази природні — невідновлювані горючі вуглеводневі гази, що утворюються в земній корі. Основний компонент природних газів - метан (близько 98 %); до складу входять також бутан, пропан, ізобутан і пентан.

Гелофіти (грец. helos – болото) та фіто (грец. phyton – растение) – болотяні трав'янисті рослини (напр., очерет, рис, осоки).

Геном (нім. Genom, від грец. Genos - походження) – сукупність хромосом, які містять одиниці спадковій інформації – гени.

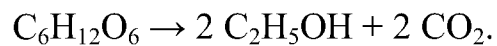
Гео... (грец. ge - земля) — частина складних слів, що означає земний, такий, що належить Землі, тощо.

Геобіонти (гео... та біонти) — організми, що населяють ґрунт (напр. черви, кроти).

Гетеротрофні організми (від грец. heteros – інший і trophé - живлення) – організми, які нездатні самостійно виробляти органічні речовини, а для живлення використовують готові органічні сполуки (напр., паразитні рослини, зокрема петрів хрест лускатий, бактерії, гриби та ін.).

Гліколіз (шлях Ембдена – Мейєргофа) – центральний шлях катаболізму глюкози, сукупність ферментативних реакцій, в результаті яких шестивуглецева молекула глюкози $C_6H_{12}O_6$ розщеплюються до двох тривуглецевих молекул піровиноградної або молочної кислоти. Гліколіз є шляхом катаболізму глюкози, в якому кисень не бере безпосередньої участі, проте за рахунок наявності в гліколізі окислювально-відновлювальних реакцій, у результаті гліколітичного розщеплення глюкози генерується дві молекули АТФ. Гліколіз є різновидом бродіння –

біохімічного процесу, за рахунок якого забезпечують свою потреба в енергії у формі АТФ більшість існуючих на Землі анаеробних організмів або аеробів при функціонуванні в умовах недостатнього забезпечення молекулярним киснем. Поширеним типом бродіння в анаеробів є утворення з глюкози етилового спирту – процес, що каталізується ферментами дріжджів і широко використовується для виробництва алкогольних напоїв:



Гранично допустимий скид (ГДС) — максимальна маса забруднювачів, що дозволена до надходження у водний об'єкт із водами стічними й наступного відведення з нього за одиницю часу для забезпечення норм якості води в контрольному пункті. Встановлюється з урахуванням ГДК забруднювальної речовини в місцях водокористування, асимілювальної здатності.

Гранично допустимий викид (ГДВ) - обсяг (кількість) забруднювачів, що надходять в атмосферу, водойми, ґрунт за одиницю часу з виробничо-господарських об'єктів, перевищення якого негативно впливає на довкілля й загрожує здоров'ю людини. Екологічно доцільно встановлювати ГДВ для кожного підприємства або джерела забруднення.

Гранично допустимий рівень (ГДР) - вилив на людину факторів довкілля - шуму, вібрації, забруднювачів, температури тощо - періодично або протягом усього її життя (прямо чи опосередковано — через екосистеми), який не спричиняє соматичних або психічних розладів, а також змін стану здоров'я, працездатності, поведінки, що виходять за межі пристосувальних реакцій.

Гранично допустима доза (ГДД) - кількість шкідливої речовини, поглинання або вплив якої не має згубних наслідків для організму або екосистеми.

Гранично допустима залишкова кількість (ГДЗК) - певна кількість шкідливих речовин у харчових продуктах і організмах, що здатні до кумуляції в ланках ланцюга живлення. Чітко нормуються відповідними інстанціями.

Гранично допустима концентрація (ГДК) — максимальна кількість шкідливої речовини (забруднювача) в одиниці об'єму або маси водного, повітряного або ґрунтового середовища, яка практично не впливає на здоров'я людини. Встановлюється в законодавчому порядку або рекомендується як норматив. Останнім часом, нормуючи ГДК, виходять не лише з впливу концентрації забруднювачів на здоров'я людини, а й з їхнього впливу на диких тварин, рослини, гриби, мікроорганізми, природні угруповання в цілому, а також на клімат, прозорість атмосфери та санітарно-побутові умови життя.

Гранично допустиме навантаження (ГДН) — максимальне значення господарського чи рекреаційного навантаження на середовище природне, що встановлюються з урахуванням ємності середовища, його ресурсного

потенціалу, здатності до саморегуляції та відтворення з метою охорони довкілля від забруднення, виснаження й руйнування.

Гриби (Mycetalia) – окреме царство організмів, для якого характерними ознаками є: відсутність в клітинах хлорофілу й крохмалю; наявність в оболонці хітину; запасними речовинами є глікоген, волютин, ліпіди, жири; вегетативне тіло (міцелій, або грибниця) складається з гіфів; гетеротрофний спосіб живлення тощо. Царство Г. включає відділи: слизовики (Mухомycota) і гриби (Mycota, або Mycophyta).

Грунт - органомінеральний продукт багаторічної спільної діяльності різних організмів, води, повітря, сонячного тепла й світла. Найпридатніший для життя рослин і багатьох тварин верхній родючий шар літосфери. Грунт складається з мінеральних, органічних, органомінеральних елементів, що перебувають у хімічному взаємозв'язку. Грунт - один із найважливіших ресурсів природних нашої планети, гігантська екосистема, що справляє, поряд зі Світовим океаном, вирішальний вплив на біосферу. Грунт бере активну участь у кругообігу речовин та енергії в природі, підтримує газовий склад атмосфери Землі. Грунт - біотичний адсорбент і нейтралізатор забруднювачів. Збереження ґрунту - найважливіша умова забезпечення й підтримання екологічної рівноваги в біосфері.

Гумус (від лат. humus — земля, ґрунт), **перегній** — органічна темнозабарвлена речовина, що утворюється в результаті розкладання рослинних і тваринних решток або продуктів життєдіяльності організмів. Гумус має унікальну здатність утримувати воду й біогенні елементи. Від кількості гумусу залежить родючість ґрунту.

ДДТ (дихлородифенілтрихлорометилметан) — широко відомий інсектицид із групи хлороорганічних пестицидів, синтезований іще 1874 р. Масове застосування ДДТ (з 1943 р.) — типовий приклад непродуманого впровадження нових технологій без урахування всіх можливих наслідків. З'ясувалося, що ДДТ — хімічна стійка сполука з періодом природного напіврозпаду 49 років, здатна нагромаджуватися в ґрунті й воді. З ґрунту й із водою пестицид надходив у ланцюги живлення. На кожному наступному трофічному рівні його концентрація збільшувалася в десятки й тисячі разів. Потрапляючи в таких дозах до людини, ДДТ спричиняв у неї захворювання нервової системи, серця, печінки. Підвищений уміст препарату виявляли навіть у жіночому молоці. Таким чином, ДДТ виявився токсичним довгоіснуючим пестицидом із вираженою кумулятивною дією, мутагеном і згодом канцерогеном. Хоча ДДТ було заборонено практично в усьому світі, проте й нині його знаходять навіть у полярному льоду, а вміст препарату в тканинах людини в середньому вдвоє перевищує ГДК.

Деградація (від лат. degradatio — зниження, рух назад) — 1) спрощення будови й функцій організмів унаслідок зміни умов існування; 2) збіднення, виродження, погіршення, втрата якості (наприклад, зниження родючості ґрунту, необоротні зміни ландшафту).

Деградація ґрунту — поступове погіршення властивостей ґрунту, що супроводжується зниженням умісту гумусу, порушенням ґрунтової структури та зниженням родючості. Може зумовлюватися природними причинами (наприклад, зміною клімату, насуванням лісу чи сухого степу на чорнозем) або господарською діяльністю людини (недотримання правил агротехніки).

Дезінфекція (фр. *des...* - від... - префікс, що означає видалення, знищення або відсутність чогось, та лат. *inficere* — псувати, заражати) — знищення хвороботворних мікроорганізмів спеціальними засобами й методами (фізичними, хімічними, біологічними).

Декларація про довкілля й розвиток — документ, прийнятий Конференцією ООН із питань довкілля й розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992), в якій брали участь глави 179 держав світу. Це сукупність принципів, які визначають права народів на розвиток та їхні обов'язки щодо збереження нашого спільного дому - Землі. В документі заявлено, що єдиний шлях забезпечення довгострокового економічного прогресу - його узгодженість з охороною довкілля. Це може бути досягнуто лише в тому разі, якщо країни світу розпочнуть нове й рівноправне співробітництво, укладуть міжнародні договори, які захистять цілісність навколишнього середовища в глобальних масштабах і системи економічного розвитку. Люди мають право на здорове й плідне життя в гармонії з природою. Мир, економічний розвиток і охорона довкілля взаємопов'язані й неподільні.

Денітрифікація (від лат. *de...* - префікс, що тут означає завершення дії, та нітрифікація) — мікробіологічний процес відновлення денітрифікуючими бактеріями окиснених сполук азоту (нітратів, нітритів) до газоподібних азотистих продуктів (молекул азоту, оксиду азоту й діоксиду азоту). Денітрифікація замикає цикл азоту й перешкоджає нагромадженню його оксидів, які у високих концентраціях токсичні.

Детергенти (від лат. *detergeo* - перу) - синтетичні поверхнево-активні речовини, що широко використовуються як мийні засоби, емульгатори. Детергенти - небезпечні для людини, тварин і рослин хімічні забруднювачі водойм, ґрунту, токсичні, стійкі проти деструкції біологічної.

Детрит (від лат. *detritus* - стертий) - сукупність завислих у воді та осілих на дно водойми нерозкладених органомінеральних частинок (утворюється з відмерлих рослин, тварин та їхніх виділень). Бере участь в утворенні донних відкладів. Детрит відіграє важливу роль у кругообігу органічної речовини й слугує їжею для багатьох пелагічних і донних тварин.

Діоксид сірки — безбарвний газ із різким запахом. Потрапляючи в атмосферу, наприклад із викидами ТЕС та автомобільних двигунів, сполучається з атмосферною вологою й утворює дрібні краплини сірчистої кислоти, які переносяться вітрами у вигляді кислотного туману й випадають на землю кислотними дощами, що спричиняють загибель лісів, деградацію рослинності, отруєння водойм, як наслідок - збіднення тваринного світу, захворю-

вання людей. У природі діоксид сірки трапляється у вулканічних газах та в газах природних.

Діоксини - найнебезпечніші із забруднювачів довкілля, що виробляються людиною (утворюються як домішки під час виробництва, обробки та спалювання будь-яких хлорованих вуглеводнів). Об'єднують дві групи хлоровмісних сполук на основі дибензодіоксину й дибензофурану. Діоксини - надзвичайно стійкі речовини. Вони нагромаджуються із загрозливою активністю в довкіллі, переносяться повітряними потоками на величезні відстані, становлячи небезпеку для водойм та людства. Мають канцерогенну, тератогенну й мутагенну дію. Добре розчиняються в жирах і нагромаджуються в ланцюгах живлення. Подібно до ДДТ, виявляються повсюдно, в т. ч. в рибі, в багатих на жири продуктах харчування тощо.

Довкілля, навколишнє середовище - сукупність елементів неживої та живої природи, що оточує організм.

Ендопембранна система (від грец. *endon* – всередині і лат. *membrana* – оболонка, перетинка) – система, до якої належать мембрани клітини: плазмалема, тонопласт, ендоплазматичний ретикулум, диктіосоми і ядерна оболонка.

Ендоосмос (від грец. *endon* – всередині і *ōsmós* - тиск) – процес надходження води і розчинених речовин із зовнішнього середовища в клітину осмотичним шляхом.

Ерозія (від лат. *erosio* - роз'їдання) - руйнування гірських порід, ґрунту чи будь-яких інших утворень зі зміною властивостей і цілісності їхньої поверхні. Причинами ерозії можуть бути природні агенти (вода, вітер, льодовики) та фактори антропогенні (забруднення довкілля, знищення лісу, перевипас худоби та ін.). Ерозія - один із головних факторів формування й зміни рельєфу.

Ерозія ґрунту водна - процес руйнування ґрунту водними потоками (талими, зливовими й дощовими водами). Зазвичай виникає на пересіченій місцевості: найінтенсивніше проявляється в гірських районах. Розрізняють ерозію ґрунтову, водну, поверхневу або площинну (змивання з пологістих схилів), що сприяє згладжуванню нерівностей рельєфу, та лінійну (утворення вибоїн, яругів, балок, долин), що призводить до розчленування земної поверхні. Швидкість утворення яругів залежить від крутизни схилу, характеру ґрунту, природно-кліматичних умов. Найнебезпечніші форми ерозії ґрунту водної у горах — селі та зсуви, що виникають унаслідок знищення гірських лісів, перевипасу худоби, яка своїми копитами розбиває рослинний і ґрунтовий покрив. При ерозії ґрунтовій і водній урожайність на змитих ґрунтах знижується в 10...12 разів, погіршується якість зерна; відбуваються замулювання водойм, їх евтрофікація тощо.

Живлення рослин – процес поглинання і засвоєння рослинами з навколишнього середовища речовин, необхідних для підтримання їх

життєдіяльності. Поглинання та засвоєння речовин (див. Анаболізм) і розпад поживних речовин та їх виділення (див. Катаболізм) становлять обмін речовин (див. Метаболізм) – основу життєдіяльності рослинних організмів. Необхідні речовини для синтезу органічних сполук рослини переважно поглинають у формі CO_2 і H_2O . За способом Ж. рослинні організми поділяють на автотрофи і гетеротрофи.

Життєвий цикл – сукупність фаз розвитку, при завершенні яких організм досягає зрілості і стає здатним давати початок наступному поколінню.

Заболочування ґрунту - процес, пов'язаний зі змінами водного режиму ґрунту внаслідок застою вод поверхневих або підняття вод ґрунтових. Супроводжується зміною рослинного й тваринного складу, режиму хімічних реакцій, погіршенням агрономічних властивостей ґрунтів, зниженням продуктивності лісів. Заболочування ґрунту часто є наслідком неправильної агротехніки.

Забруднення антропогенне - забруднення, яке виникає в результаті господарської діяльності людей, у т. ч. їх прямого або опосередкованого впливу на склад та інтенсивність забруднення природного, що в сукупності призводить до порушення рівноваги в природі. Рівень забруднення антропогенного не завжди можна контролювати ГДК, ГДВ та ін. нормативами.

Забруднення ґрунту - надходження в ґрунт різних забруднювачів (нагромадження пестицидів, незасвоєних мінеральних добрив, відходів тваринництва, рільництва, промисловості, патогенних організмів, нафтопродуктів та ін.), що не розкладаються в процесі самоочищення ґрунту й змінюють його фізико-хімічні і біологічні властивості. Це значно знижує родючість ґрунту, технологічну, поживну й санітарно-гігієнічну цінність вирощуваних рослин та якість інших природних об'єктів.

Забруднення довкілля — надходження в середовище природно-антропогенне будь-яких забруднювачів у кількостях, що спричиняють зміну властивостей компонентів природи та (або) шкідливо впливають на біоту, в т. ч. на людину.

Забруднення середовища - привнесення в якесь середовище природне чи середовище антропогенне або виникнення в ньому нових, не характерних для нього фізичних, хімічних чи біологічних речовин, агентів, що шкідливо впливають на організми, або перевищення природного середньобагаторічної рівня концентрації зазначених агентів у середовищі. Забруднення класифікують так: за походженням - забруднення природне, забруднення фонове й забруднення антропогенне; забруднення матеріальне, забруднення енергетичне; за об'єктами - забруднення водойм, забруднення атмосфери, забруднення біосфери, забруднення ґрунту й т. д.; за джерелами - забруднення біологічне, забруднення механічне, забруднення фізичне, забруднення хімічне; за тривалістю дії — тимчасове, постійне; за масштабом поширення - забруднення регіональне, глобальне,

локальне; за характером — забруднення навмисне, забруднення супутнє, забруднення аварійно-випадкове.

Заповідник — виділена державою територія або акваторія, в межах якої охороняються природні об'єкти, що становлять особливу екологічну, генетичну, наукову, чи культурну цінність (типові або рідкісні ландшафти, еталонні ділянки середовища природного, рідкісні геологічні утворення, угруповання рослин і тварин із характерним генофондом та ін.). Заповідники беруться під охорону закону. На території заповіднику категорично забороняються всі види господарської діяльності (полювання, риболовля, вилов тварин, заготівля сіна, збирання трав, грибів, плодів), туризм, застосування будь-яких хімічних засобів, шумові дії. В Україні налічується 24 заповідники.

Засолення ґрунту — процес нагромадження у верхніх шарах ґрунту надлишку шкідливих для організмів легкорозчинних солей. У результаті утворюються солонці й солончаки. В землеробстві велику небезпеку становить вторинне засолення зрошуваних земель. Засолення зазнає 50 % площі всіх зрошуваних земель світу.

Землетрус — підземні поштовхи й коливання земної поверхні більшої чи меншої сили, що виникають унаслідок раптових змішень і розривів у земній корі або у верхній частині мантиї та передаються на великі відстані у вигляді пружних коливань. Місце виникнення поштовхів називається осередком (гіпоцентром) землетрусу, розташовану над ним ділянку земної поверхні — епіцентром. Землетрус - грізне й зазвичай непередбачуване стихійне лихо, важливий фактор екологічний, що порушує формування середовища, змінює структури й місцеперебування біоценозів, часто має катастрофічні наслідки для людей.

Зигота (від грец. *zygōtós* – з'єднання до купи) – диплоїдна клітина, що утворюється внаслідок злиття чоловічої і жіночої статевих клітин (гамет).

Знезараження води — санітарно-технічні заходи, спрямовані на знищення в питній воді хвороботворних мікроорганізмів. Залежно від якості води, її хімічного складу, технічних умов водогінних споруд, санітарної та епідеміологічної ситуації використовують той чи інший метод знезараження води. Найчастіше воду хлорують, озонують, обробляють іонами міді, срібла, ультразвуком, випромінюванням ультрафіолетовим та гамма-випромінюванням.

Знешкодження відходів - обробка відходів виробництва (промислових та сільськогосподарських) з утворенням порівняно нешкідливих сумішей, що не справляють токсичної дії на організми та їхнє середовище проживання.

Зона (під грец. *zone* - пояс) - територіально-класифікаційна категорія, одиниця ландшафтно-географічної класифікації земної поверхні, що характеризується певними якісними ознаками (клімат, ґрунт, рослинність і т. д.); певна смуга, простір, пояс.

- Зоо...** (від грец. *zoon* — тварина, жива істота) — частина складних слів, що вказує на зв'язок із тваринним світом.
- Зообентос** (від зоо... та бентос) — сукупність тварин, що мешкають на дні або в ґрунті водойм. До складу зообентосу входять представники майже всіх груп водяних тварин — від найпростіших до риб.
- Зоопланктон** (від зоо... та планктон) — тваринний компонент планктону — сукупність тварин, що населяють товщу води, які зазвичай не здатні протистояти перенесенню течіями (наприклад, найпростіші, коловертки, медузи).
- Зоофаги** (від зоо... та ...фаг(и)) — організми, котрі харчуються тваринами (наприклад, комахоїдні рослини, деякі комахи, риби, більшість плазунів і земноводних, хижі птахи й звірі).
- Імунітет рослин** - несприйнятливість або часткова стійкість рослин до хвороб і шкідників та продуктів їхньої життєдіяльності. Проявом імунітету рослин є їхня стійкість і витривалість. Розрізняють імунітет рослин природний, або вроджений (виникає й закріплюється в процесі еволюції), та набутий, або штучний (виникає після перенесення рослиною хвороби або внаслідок введення ослабленої чи вбитої культури збудника, а також у разі застосування антибіотиків і фітогормонів, що інактивують збудників хвороб).
- Інвазія** (від лат. *invasio* — вторгнення, напад) — 1) зараження організму тваринами-паразитами; 2) проникнення в угруповання нових, не характерних для нього видів.
- Інгібітори** (від лат. *inhibeo* — затримую, зупиняю) — природні або синтетичні речовини, що пригнічують ферментативні реакції та інші клітинні процеси (перенесення речовин, передавання нервових імпульсів, біосинтез білків тощо). Природними інгібіторами в організмі є продукти обміну речовин. У широкому розумінні інгібітори — речовини, що гальмують складні біологічні процеси (наприклад, інгібітор росту рослин) або хімічні реакції (наприклад інгібітор корозії металів). Деякі забруднювачі довкілля також можуть бути інгібіторами (наприклад, пестициди, важкі метали).
- Індикатор** (від пізньолат. *indicator* — покажчик) — фізичне явище, хімічна речовина або організм, наявність, кількість чи зміна стану, що свідчать про характер або зміну властивостей довкілля.
- Індикатор забруднення** - фізичний, хімічний чи біологічний індикатор, що сигналізує про наявність, кількісну чи якісну зміну складу забруднювачів у довкіллі.
- Інсектициди** [від лат. *insectum* - комаха та ...цид(и)] — хімічні препарати, що призначені для боротьби з комахами — шкідниками сільськогосподарських рослин і паразитами тварин (наприклад, хлорофос, карбофос). За ступенем токсичності для людини й тварин поділяються на сильнодійні, високо-, середньо- й малотоксичні.
- Інсоляція** (від лат. *insolo* — виставляю на сонце) — опромінення земної поверхні радіацією сонячною. Залежить від висоти стояння Сонця над

горизонтом, висоти місцевості над рівнем моря, її експозиції. Залежно від стану довкілля, тривалості та інтенсивності інсоляції, її прояви можуть бути як позитивними, так і негативними для людини.

Кадастр (від фр. *cadastre* — реєстр) — систематизоване зведення відомостей про об'єкти чи явища. Містить фізико-географічну характеристику, класифікацію, дані про динаміку, картографічні й статистичні матеріали, екологічно-соціально-економічну оцінку об'єкта чи явища, рекомендації щодо його використання, охорони тощо. Кадастр складають періодично або шляхом неперервних спостережень за відповідним об'єктом. Розрізняють кадастр водний, кадастр детеріораційний, кадастр земельний, кліматичний, кадастр лісовий, ґрунтовий, ландшафтний, мінеральних ресурсів, медико-географічний, кадастр особливо охоронюваних природних об'єктів і територій, рекреаційний, промисловий, тваринного світу, рослинного світу та ін.

Кадмій - сріблясто-білий м'який метал, який добувається попутно з цинкових руд. Належить до важких металів. Застосовується для виготовлення захисних покриттів, в акумуляторах, ядерній енергетиці. Кадмій та його сполуки справляють мутагенну, тератогенну та канцерогенну дію на організми. Біологічний період напіврозпаду кадмію - 19 років. Його ГДК-0,001 мг/л. Підвищений уміст кадмію спостерігається в морських фосфоритах, морських рослинах і кістках риб, у деяких поліметалічних рудах, а також у сигаретах.

Каналізація (від лат. *canalis* - труба, жолоб) - комплекс інженерних споруд, обладнання й санітарних заходів, що забезпечують збирання й відведення вод стічних населеного пункту або підприємства до очисних споруд, а також їх очищення й знезараження перед утилізацією або скиданням у водойму чи водотік. Належить до екологічно небезпечних об'єктів (у разі аварії).

Канцерогени [від лат. *cancer* — рак та ...*ген(u)*] — речовини або фізичні агенти, що спричиняють за певних умов утворення злоякісних пухлин. Відомо більш як 500 речовин із канцерогенним ефектом. Основними джерелами викидів, що містять канцерогени, є підприємства термічної переробки вугілля й нафти, авто- й авіатранспорт та ін.

Карантин (від іт. *quaranta giorni* — сорок днів) — система, державних і місцевих запобіжних заходів, які дають змогу не допустити проникнення на територію держави, регіону й поширення в їхніх межах інфекційних захворювань із осередка епідемії, а також небажаних видів (шкідників, бур'янів, збудників хвороб рослин і тварин), що становлять небезпеку для живих організмів. До карантинних захворювань належать чума, холера, віспа, малярія, сибірка, ящур та ін.

Карболін — червоно-бура рідина із запахом дьогтю, яку добувають із кам'яновугільного дьогтю; нерозчинна у воді. Містить феноли, антрацен, фенатрен та ін. сполуки. Застосовується як засіб захисту деревини від

гниття й у садівництві — для обприскування фруктових дерев. Карболін — канцероген, сильно подразнює шкіру й дихальні шляхи.

Каротиноїди (від лат. *carota* – морква і грец. *éidos* - вигляд) – група пігментів жовтого, жовтогарячого, оранжевого або червоного забарвлення, нерозчинних у воді, але розчинних у жирах і жиророзчинниках. До К. належать каротин, ксантофіл, фукоксантин, ліконін, криптоксантин та ін. В хлоропластах і хромопластах містяться каротин, ксантофіл, у плодах помідорів – ліконін, в зернівці кукурудзи – криптоксантин тощо.

Карст (нім. *Karst*, за назвою плато Крас на Балканах) — сукупність явищ, пов'язаних із розчиненням водою гірських порід (вапняки, пісковики, доломіти, крейда, гіпси, кам'яна сіль) та утворенням у них порожнин (проваль, печер, улоговин, вирв тощо). Карст негативно впливає на циркуляцію й режим вод підземних і вод поверхневих. Антропогенні порушення поверхні літосфери посилюють карстові явища.

Катаболізм (від грец. *katabolē* – скидання вниз) – сукупність реакцій, що супроводжуються розпадом складних органічних сполук клітини, вивільненням енергії і її запасанням у формі АТФ. К. взаємозв'язаний з протилежним процесом в обміні речовин – анаболізмом. К. те саме, що й дисиміляція.

Квота (від пізньолат. *quota* — частина, частка) — встановлений законодавчою або міжнародною угодою ступінь використання ресурсу природного або норма якогось впливу на довкілля (наприклад, забруднення певною речовиною). Обчислюється для кожного користувача (підприємства або країни) як частка від загальної суми такого використання або впливу всіма країнами, підприємствами й т. д.

Кислоти — хімічні сполуки, що дисоціюють у водному розчині з утворенням іонів водню. Чим вища концентрація цих іонів, тим сильніша кислота (сірчана, нітратна, соляна) й тим менше значення *pH*. Кислоти можуть спричинити сильні хімічні опіки шкіри та очей. У газах димових, що утворюються під час спалювання палива, містяться оксиди азоту й діоксид сірки, які реагують із водою, що присутня в повітрі атмосферному, утворюючи нітратну й сірчану кислоти.

Кислотні дощі - опади атмосферні, що містять значну кількість сірчаної кислоти, менше — нітратної, хлороводень та ін. Утворюються в результаті забруднення атмосфери діоксидом сірки, оксидами азоту та інших речовин унаслідок спалювання кам'яного вугілля, мазуту на ТЕС та інших промислових підприємствах. Хімічні речовини, взаємодіючи з краплинами дощу, утворюють кислоти, потім солі кислот, що ще більше посилює їхню токсичну дію. Кислотні дощі негативно впливають на довкілля, значно збільшується кислотність ґрунту, води, що спричиняє загибель лісів, мешканців водойм, руйнуються споруди, архітектурні пам'ятки тощо. Щорічні викиди оксидів азоту й діоксиду сірки у світі досягають 300 млн т.

Клімат [від грец. klima (klimatos) — нахил (земної поверхні до сонячних променів)] — багаторічний режим погоди в даній місцевості, що визначається географічними умовами (широтою, висотою над рівнем моря, віддаленістю від океану, рельєфом суші, характером підстильної поверхні), а також антропогенним впливом та іншими факторами. Ці фактори визначають широтну зональність і сприяють формуванню місцевих варіантів клімату. В основу кліматичного районування Землі покладено поділ території на пояси, зони та області з більш або менш однорідними кліматичними умовами. Клімат — один із визначальних факторів екологічних, факторів середовища, що істотно впливають на водний режим, ґрунт, рослинний покрив та інші природні компоненти, всі без винятку організми. У зв'язку з глобальними антропогенними змінами клімату на планеті необхідне співробітництво всіх країн світу в реалізації глобальної стратегії захисту клімату, викладеної в Конвенції ООН про зміни клімату (1992), суть якої зводиться до такого: треба стабілізувати концентрацію газів, що спричиняють парниковий ефект в атмосфері, на рівні, який не створював би загрозового дисбалансу в світовій кліматичній системі.

Клітина (лат. cellula, грец. - kýtos) — універсальна саморегулююча і самовідновлююча елементарна структурна одиниця рослин і тварин, якій властиві всі ознаки живого. К. складається з цитоплазми, ядра, оболонки, органоїдів, вакуоль і включень.

Клітинна оболонка (клітинна стінка) рослин (лат. membrana cellulae) — продукт життєдіяльності протопласту, що надає клітині певної форми, захищає її внутрішній вміст від пошкоджень, а також бере участь у поглинанні, проведенні і виділенні речовин. У К.о. містяться різні за формою і будовою пори та перфорації, через які здійснюється обмін між протопластами суміжних клітин та з навколишнім середовищем.

Клітинні включення — непостійні компоненти рослинної клітини, що виникають або зникають в процесі її життєдіяльності. До К.в. належать запасні речовини (крохмальні та алеїронові зерна, олії), кристалічні утворення (кристалічний пісок, поодинокі кристали, друзи, рафіди) та ін. кінцеві продукти.

Клітинні органоїди (від грец. órganon — орган і éidos - вигляд) — постійні структурні елементи цитоплазми, які виконують життєво важливі функції. Розрізняють К.о. мембранні (ендоплазматичний ретикулум, апарат Гольджі, мітохондрії, лізосоми, сферосоми) та безмембранні (рибосоми і мікротрубочки).

Консументи (від лат. consumo — споживаю) — організми (всі тварини, частина мікроорганізмів, сапрофіти й паразитичні рослини), які живляться безпосередньо або через інші організми готовою органічною речовиною, синтезованою автотрофами. Розрізняють консументи первинні (рослинної організми) та консументи вторинні (м'ясоїдні організми). Консументи відіграють велику роль у кругообігу речовин біологічному, пере-

даючи нагромаджену продуцентами частину енергії сонячної ланцюгами живлення.

Контроль за навколишнім середовищем — система заходів (глобального, регіонального й локального рівня), що передбачає спостереження за станом і зміною характеристик особливо важливих для біоти й людини компонентів середовища (повітря, води, фону радіоактивного тощо), зіставлення добутих даних із нормативами, стандартними характеристиками, виявлення джерел і факторів негативних змін та інформування керівних органів про стан довкілля.

Конференція ООН із питань довкілля й розвитку - зустріч глав 179 держав світу за участі 18 тис. представників громадських, урядових, наукових, ділових та інших організацій, що відбулася в 1992 р. у Ріо-де-Жанейро (Бразилія) й на якій було прийнято п'ять основних документів: Декларацію про довкілля й розвиток, Порядок денний XXI століття; Заяву про принципи управління, захисту й постійного розвитку всіх видів лісів; Рамкову конвенцію про зміни клімату; Конвенцію про біорізноманітність. Ці документи є проектом стійкого економічного, соціального та екологічного розвитку світової спільноти, який має забезпечити безпечне майбутнє планети в третьому тисячолітті.

Ксантофіл ($C_{40}H_{56}O_2$) (від грец. *xantós* – жовтий і *phýllon* – листок) – жовтий пігмент із групи каротиноїдів, що міститься у хлоропластах та хромопластах рослин.

Ксенобіотики (від грец. *xenos* — чужий та *biote* — життя) - будь-які чужорідні для організмів і біосфери речовини (пестициди, важкі метали, пластмаси, препарати побутової хімії та інші забруднювачі), які, потрапляючи в довкілля в значних кількостях, можуть порушити нормальний перебіг природних процесів у біосфері, в т. ч. спричинити захворювання й загибель організмів.

Кумулятивна отрута — отрута (наприклад, ДДТ), що нагромаджується в ланцюгах живлення.

Кумулятивні властивості — здатність хімічних речовин нагромаджуватися в тканинах і органах рослин і тварин, підсилюючи свій негативний вплив на організм.

Кумуляція забруднення (від лат. *sumulatio* — збільшення, скупчення) — додавання шкідливого ефекту від дробного багаторазового впливу забруднювачів (наприклад, збільшення концентрації пестицидів у ланцюгах живлення).

Лізосоми (від грец. *lysis* – розчинення і *sōma* - тіло) – одномембранні органоїди клітини з високим вмістом гідролітичних ферментів. Л. невеликі (0,5 – 2 мкм) округлі тільця, що беруть участь в розщепленні поживних речовин.

Люмбрициди [від лат. *lumbricus* - глист, дощовий черв'як та ...цид(и)] — загальна назва препаратів для боротьби з червами, насамперед парази-

тичними, що застосовуються як з профілактичною метою, так і для ліквідації паразитів у заражених особин.

Магнітна буря - короткочасна зміна магнітного поля Землі під впливом корпускулярного випромінювання сонячного, що різко змінює добовий хід елементів земного магнетизму. Істотно впливає на життєдіяльність організмів.

Магнітне поле землі — природне електромагнітне силове поле, виникнення якого зумовлене джерелами, що знаходяться в Землі та навколоземному просторі. Під його впливом відбувалася багатовікова еволюція організмів на нашій планеті.

Мікроелементи (від грец. *micrós* – малий і лат. *elementum* – первинна речовина) – хімічні елементи, що в малих кількостях необхідні для нормального розвитку рослин. До М. належать алюміній, бор, йод, кремній, фтор, барій, цинк, мідь, титан, молібден, кобальт та ін. Вміст М. коливається від тисячних до сотисятих відсотків.

Мікроскоп (від грец. *micrós* – малий і *skopéō* – спостерігаю, розглядаю) - оптичний прилад, за допомогою якого можна одержати збільшене зображення об'єктів, невидимих неозброєним оком. Розрізняють М.: світлові та електронні. Залежно від будови світлові мікроскопи бувають: біологічні, поляризаційні, люмінесцентні, стереоскопічні, фазовоконтрастні та ін. В електронних М. замість світла використовують швидкий потік електронів, а скляні лінзи замінені електромагнітними полями. Електронні М. дозволяють вивчати фіксовані об'єкти при збільшенні в сотні тисяч раз (до 1 мільона).

Мітоз або ділення ядра – це безперервний процес, який підрозділяється на чотири фази: профазу, метафазу, анафазу і телофазу.

Мітохондрії (від грец. *mitos* – нитка і *chondrion* - зернятко) – органоїди клітин рослинних і тваринних організмів округлої, паличкоподібної або ниткоподібної форми, що забезпечують вироблення, нагромадження і розподіл енергії в клітині.

Мицелій (грибниця) (від грец. *mýkēs* - гриб) – вегетативне тіло грибів, що складається з переплетених ниток, або гіф.

Моносахариди (від грец. *mónos* – один і *sákchar* - цукор) – органічні сполуки, що містять альдегідну або кетонугрупу, загальна формула яких $C_nH_{2n}O_n$ (де n - від 3 до 10). За числом атомів вуглецю М. поділяють на тріози, тетроза, пентози, гексози та ін., але найбільше значення мають пентози (арабіноза, ксилоза, рибоза) та гексози (глюкоза, галактоза, фруктоза).

Мул радіоактивний - донні відклади завислих у водній товщі частинок органічного і неорганічного походження (клітини водоростей, рослинні рештки, пил, продукти ерозії та ін.), які захопили із собою радіонукліди опадів атмосферних, аварійних викидів АЕС тощо. Переважання в мулі органічних речовин перешкоджає вимиванню й міграції радіонуклідів,

тому мул радіоактивний є джерелом забруднення радіоактивного довкілля, особливо після аварії на Чорнобильській АЕС.

Мульчування - вкривання поверхні ґрунту між сільськогосподарськими рослинами різними матеріалами — мульчею (торфом, соломою, тирсою, перегноем) для боротьби з бур'янами, захисту ґрунту від пересихання й перегрівання.

Муреїн – полісахарид, молекули якого сплетені з молекулами пептидів.

Мутагени [від. *мутації* та ...*ген(и)*]— будь-які агенти (фактори), які в разі впливу на організм збільшують частоту генних і хромосомних мутацій. До мутагенів належать кілька тисяч хімічних сполук (наприклад, пестициди, формалін, компоненти газів вихлопних), багато факторів фізичних (наприклад, випромінювання йонізуюче, високі й низькі температури), інші агенти (наприклад, деякі віруси).

Мутагенність — здатність якогось агента (фактора) спричиняти раптові спадкові зміни організму — мутації.

Мутації (від лат. *mutatio* — зміна) — раптові природні або штучно спричинені (мутагенами) зміни генотипу, що призводять до змін тих чи інших спадкових ознак організму. Являють собою матеріал для природного та штучного добору.

Мутуалізм (від лат. *mutuus* — взаємний) — форма симбіозу, вигідного для обох організмів різних видів, за якого жодна зі сторін не може існувати без іншої (наприклад, жуйні тварини й мікроорганізми їхнього рубця).

НАД - нікотинамідаденіндинуклеотид.

НАДФ – нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат.

Нафта — рідка горюча копалина, складна суміш вуглеводнів. Нафта — найважливіше енергетичне паливо сучасної промисловості. З неї дістають бензин, лігроїн, газ, оливи, парафін та ін. Проте нафта й нафтопродукти належать до найшкідливіших забруднювачів Світового океану, куди щорічно їх потрапляє 5...10 млн т., здебільшого в результаті втрат під час видобування нафти з морських родовищ, аварій танкерів, берегового стоку та з інших причин. Наслідок цього — довготривала шкода, що завдається тваринному світу й рослинному світові морів та океанів. На суходолі витікання з нафтопроводів спричиняють забруднення ґрунтів і вод ґрунтових.

Нафтова пляма — ділянка поверхні води, вкрита шаром нафти, який перешкоджає нормальній аерації водойми та випаровуванню води, спричиняє загибель гідробіонтів. За даними космічного екологічного моніторингу, близько чверті Світового океану тією чи іншою мірою забруднено нафтою та нафтопродуктами.

Нейстон (від грец. *neusteon* — здатний плавати) — сукупність організмів, які мешкають біля поверхневої плівки води, прикріплюються до неї або пересуваються по ній зверху чи знизу. До нейстонів належать найпростіші,

одноклітинні водорості, клопи — водоміри, личинки комарів, мальки риб та ін.

Нектон (від грец. nektos— плавний) - сукупність пелагічних тварин, які здатні активно плавати, протистояти течії і долати значні відстані (риби, кито-подібні, головоногі молюски та ін.). До нектонів належать також тварини, які розмножуються на суші, а живляться у воді (наприклад, ластоногі, пінгвіни, водяні черепахи).

Нематоциди [лат. Nematoda — власне круглі черви та ...цид(и)] — хімічні речовини (пестициди), призначені для знищення нематод — паразитів рослин.

Нестатеве розмноження – процес відтворення нових особин рослинних організмів з однієї клітини – спори без участі статевих клітин і без запліднення. Н.р. характеризується високою інтенсивністю розмноження та однорідністю потомства, яке несе всі ознаки материнської особини. Воно властиве нижчим рослинам – водоростям, лишайникам, а також грибам.

Нікотин (фр. nicotine, за ім'ям фр. дипломата Ж. Ніко, який ввіз у 1560 р. тютюн у Францію) — алкалоїд, що міститься в листках та насінні тютюну й махорки. Сильна отрута; гальмує діяльність нервової системи; за ступенем токсичності порівнянний із синильною кислотою. Тривале поглинання нікотину невеликими дозами під час паління спричиняє хронічне отруєння. Кількість нікотину, що міститься у водній витяжці з 4—6 сигарет, — смертельна доза для людини. Підвищена частота захворювання на рак легень у курців зумовлена вмістом у тютюновому димі смол та кадмію. Особливої шкоди нікотин завдає жіночому організмові. Щороку на Землі від хвороб, пов'язаних із палінням, помирає близько 1,5 мли людей.

Нітрати (від грец. nitron — азотнокисла сіль) — солі нітратної кислоти; сильні окиснювачі. Використовуються як мінеральні добрива. Екологічною проблемою нітрати стали у зв'язку з надмірним застосуванням азотних добрив. Надлишковий вміст нітратів у живій речовині спричиняє зниження якості товарної продукції та отруєння людей і тварин. Можливий також ендогенний синтез із нітратів канцерогенів в організмі тварин і людини. ГДД нітратів для людини — 265 мг/добу.

Нітрити (від грец. nitron — азотнокисла сіль) — солі азотистої кислоти, що мають як окисні, так і відновні властивості. В разі потрапляння в організм справляють не лише токсичну, а й канцерогенну дію. Тяжкі отруєння нітритами настають за дози 2 г.

Нітрифікація (від лат. nitrogenium — азот та ...фікація) — процес мікробіологічного перетворення в ґрунті й воді відновлених сполук азоту (аміаку, амонійних солей) в окиснені неорганічні (нітрати) — основну форму азотного живлення рослин. Нітрифікація — основний шлях утворення нітратів у природі; відіграє першорядну роль у кругообігу азоту в

біосфері. Нітрифікація свідчить про завершення процесів мінералізації в екосистемі.

Нітрифікуючі бактерії — група автотрофних мікроорганізмів, які здатні діставати енергію для своєї життєдіяльності за рахунок окиснення неорганічних сполук азоту (аміак та амонійні солі) до нітратів (наприклад, нітрозомонас, нітробактер).

Нітрозаміни — речовини, що можуть утворюватися в шлунково-кишковому тракті з нітратів та амінів або від початку містяться в певних продуктах, наприклад у м'ясних виробах, які оброблено засолювальною сумішшю. Нітрозаміни виявлено також у деяких косметичних засобах, у тютюновому димі. Багато нітрозамін містять сигарети, машинні оливи, ракетне паливо. Нітрозаміни належать до найсильніших канцерогенів.

Нода – пряма, на якій лежать фігуративні точки, що зображають склад усієї системи в цілому і склад окремих рівноважних фаз.

Ноосфера (від грец. noos — розум та sphaira — куля) — якісно новий стан біосфери, за якого розумова діяльність і праця людини стають визначальним фактором її розвитку. В.І.Вернадський - основоположник учення про ноосферу висунув гіпотезу про те, що біосфера Землі, перероблена, перебудована розумом людини та його працею закономірно й неминуче перейде у ноосферу; людина перебере на себе керування всіма процесами в біосфері, спрямує її розвиток у потрібне для себе русло. Нині біосфера насправді різко змінюється під впливом діяльності людини, дедалі більше замінюється техносферою, що супроводжується такими змінами середовища природного, які вже загрожують власне існуванню людини. Тому, якщо людство не почне регулювати свій тиск на природу і зважати на її закони біосфера може зберегтись, а цивілізація загине.

Норма санітарно-гігієнічна - якісно-кількісний показник стану навколишнього середовища, дотримання якого гарантує безпечні або оптимальні умови існування людини (наприклад, норма якості питної води, повітря).

Нукліди (від лат. nucleus — ядро) — атоми хімічних елементів із різним числом протонів і (або) нейтронів у ядрі. Відомо близько 1700 нуклідів, з яких 200 — стабільні, тобто мають стійке ядро, що визначає їхню постійну масу. В решти нуклідів ядра перебувають у нестійкому стані, спонтанно розпадаються, спричиняючи випромінювання радіоактивне. Нестійкі нукліди називають радіонуклідами.

Одноклітинні рослинні організми – рослинні організми, тіло яких складається з однієї клітини, пристосованої до виконання всіх життєво важливих функцій. О.р.о. зустрічаються лише у водоростей (напр., хлорела, хламідомонада та ін.).

Озон (від грец. ozon — пахучий) — модифікація кисню (O_3), синій газ із різким запахом, сильний окисник, добре розчинний у воді, вибухонебезпечний і токсичний. У природі утворюється в стратосфері з кисню (O_2) під час грозових розрядів та під впливом випромінювання ультрафіолетового

Сонця. Основна маса озону зосереджена на межі тропосфери й стратосфери (в озоносфері) на висотах 10...50 км із максимумом концентрації на висоті 20...25 км. Озоновий шар захищає біосферу від згубної дії «жорсткого» ультрафіолету (довжина хвилі 315... 100 нм).

Окисне фосфорилювання – процес, шляхом якого хімічна енергія, що вивільняється під час транспортування електронів упродовж дихального (електроно-транспортного) ланцюга мітохондрій, уловлюється та використовується для синтезу аденозинтрифосфату (АТФ) з аденозиндифосфату (АДФ) та неорганічного фосфату (Φ_n). Синтез АТФ з АДФ та неорганічного фосфату Φ_n отримав назву спряження дихання (електронного транспорту в мітохондріях) та окисного фосфорилювання. Феномен окисного фосфорилювання, а саме – синтез АТФ, спряжений з окисно-відновлювальними реакціями, незалежними від гліколізу, тобто клітинним диханням, був відкритий у 30-х роках минулого сторіччя одночасно Г.Калькаром (H.Kalckar) та В.О.Беліцером.

Оксид вуглецю — чадний газ (CO); утворюється в результаті неповного згоряння викопного палива в умовах нестачі кисню й за низької температури. В повітрі оксид вуглецю перетворюється на вуглекислий газ. У разі вдихання він блокує надходження кисню в кров, спричиняє головний біль, а за вищих концентрацій — навіть смерть. Такі екстремальні концентрації часто спостерігаються в районах підвищеного антропогенного навантаження на довкілля, в години пік на транспорті, за наявності смогу та ін.

Оксиди азоту — газоподібні монооксид (NO) та діоксид (NO_2) азоту; утворюються під час усіх процесів горіння в результаті сполучення азоту й кисню повітря. З діоксиду азоту утворюється нітратна кислота, що бере участь у формуванні опадів кислотних. Під впливом сонячного світла оксиди азоту утворюють фотооксиданти, до яких належить озон, токсичний пероксиацетилнітрат та ін. Оксиди азоту спричиняють гострі захворювання органів дихання.

Олігосахариди (олігозиди, голозиди) (від грец. oligos – нечисленний і sakchar - цукор) – полімерні вуглеводи, що складаються з кількох залишків моносахаридів. Розрізняють О.: дисахариди (біози); трисахариди (триози); тетрасахариди (тетрози); пентасахариди (пентози); гексасахариди (гексози); гептасахариди (гептози); октасахариди (октози); полісахариди, що містять більше 10 моносахаридів.

Опади атмосферні - вода в рідкому чи твердому стані (дощ, роса, сніг, град, туман), яка випадає з хмар або осаджується з повітря на земній поверхні. Опади атмосфери вимірюють товщиною шару води, що випала (в міліметрах). Часто разом з опадами атмосфери на землю потрапляють забруднювальні речовини, які шкідливо впливають на довкілля. На земній кулі випадає близько 1000 мм опадів на рік, у середніх широтах - 500...800

мм, у пустелях і високих широтах - менш як 250 мм на рік. Опادي атмосферні - одна з ланок кругообігу води в природі.

Опаци кислотні — опаци атмосферні (дош, сніг, туман), кислотність яких перевищує нормальне значення ($pH < 5,5$). Утворюються внаслідок забруднення атмосфери діоксидом сірки, оксидами азоту, хлороводнем та ін., що пов'язане з роботою ТЕС, транспорту, промислових об'єктів. Хімічні речовини, взаємодіючи з водяними парами, краплинами дощу, утворюють кислоти, потім солі кислот, що часто ще більше підсилює їхній токсичний вплив. Опаци кислотні спричиняють істотне закиснення середовища природного та помітні екологічні зміни на великих територіях, оскільки можуть випадати на значній відстані (до 1000 км) від джерела первинного забруднення атмосфери. Опаци кислотні вже призвели до деградації безлічі озер і ставків на планеті, загибелі лісів на великих площах, руйнування споруд, пам'яток архітектури, збільшення захворюваності людей на хвороби очей, органів дихання тощо. Внаслідок взаємодії опадів кислотних з ґрунтом гине ґрунтова мікрофлора, зокрема азотфіксатори. Такі ґрунти ущільнюються, погано пропускають вологу, що знижує їхню родючість. У разі підкиснення водойм зникають риба, жаби, комахи, зростає токсичність важких металів, присутніх у воді (свинцю, ртуті).

Опромінення організму - процес впливу на організм різних видів випромінювань (випромінювання інфрачервоного, випромінювання ультрафіолетового, випромінювань іонізуючих та ін.). Розрізняють зовнішнє і внутрішнє опромінення організму. За зовнішнього опромінення організму джерело випромінювання (ртутна лампа, рентгенівський апарат, ядерний реактор тощо) розташоване поза організмом. Внутрішнє опромінення організму відбувається в разі нагромадження радіоактивних речовин у клітинах. Ступінь опромінення організму залежить від дози опромінення поглинутої та виду випромінювання, а також фізіологічного стану організму. Розрізняють опромінення організму гостре (за короткий часовий інтервал), фракціоноване (сумарну дозу організм дістає кількома порціями), пролонговане (в разі значної тривалості), хронічне (постійне).

Організація Об'єднаних націй із питань освіти, науки й культури (ЮНЕСКО) - міжурядова організація, спеціалізований підрозділ ООН, до найважливіших напрямів роботи якої належать охорона довкілля й пам'яток культури, співробітництво в розв'язанні глобальних наук, проблем у галузі океанографії, геології тощо. ЮНЕСКО розробила й реалізує відому у світі наукову програму «Людина й біосфера» (МАН).

Організм (від лат. *organismus*) — будь-яке живе тіло (істота або рослина), індивід, особина. Кожний організм має унікальну генетичну структуру. Більшість організмів мають клітинну будову. Кожний організм взаємодіє з довкіллям, виступаючи як цілісна система. Всі організми поділяються на еукаріотів та прокаріотів. Основні властивості організмів: неперервний

обмін речовин із довкіллям, подразливість, здатність рости, розмножуватися, мінливість, спадковість та ін.

Організми індикаторні (від пізньолат. *Indicator* - показчик) - організми з вузькими межами екологічної пристосованості (стенобіонти), які своєю поведінкою, зміною фізіологічних реакцій або самою своєю наявністю свідчать про зміни в середовищі проживання або певні його характеристики.

Організми синантропні (від гр. *syn* — разом та *anthropos* - людина) — рослинні або тваринні організми, що живуть поряд із людиною (наприклад, таргани, міль, муха кімнатна, горобець домашній, бур'яни).

Організми стенотопні (від грец. *stenos* - вузький та грец. *topos* - місце) - тварини й рослини, які можуть жити лише в специфічних, дуже обмежених умовах довкілля (наприклад, рослини пустель, сфагнових боліт, серед тварин — піщаний удавчик, вівця дика).

Паразитизм — специфічна форма співжиття (симбіозу) організмів різних видів, з яких один (паразит) використовує іншого (хазяїна) як середовище проживання та джерело живлення, покладаючи на нього (частково або цілком) регуляцію відносин із довкіллям. Паразитизм - надзвичайно поширене в природі явище; його можна виявити в будь-якому біоценозі.

Педосфера (від грец. *pedon* - фунт та *sphaira* - куля) - ґрунт, покрив Землі, частина біосфери — продукт спільного впливу клімату, рослинності, тварин і мікроорганізмів на поверхневі шари гірських порід; середовище проживання ґрунтових організмів.

Перифітон — те саме, що й Обростання.

Пестициди [від лат. *pestis* - зараза та ...*цид(u)*], отрутохімікати — загальна назва хімічних препаратів для боротьби зі шкідниками й хворобами сільськогосподарських рослин, бур'янами, різними переносниками інфекційних захворювань людини й тварин. За призначенням пестициди поділяють на бактерициди, фунгіциди, нематоциди, інсектициди, акарициди, зооциди, гербіциди. В разі використання пестицидів неминучий їхній негативний вплив на екосистеми та здоров'я людини. Основні їхні властивості — леткість, здатність проникати крізь шкіру, нагромаджуватися в тканинах рослин, стаючи джерелом отруєння тварин і людини, зберігатися в середовищі природному. Тому застосування пестицидів регламентується законодавством.

Петрофіти [від грец. *petros* — камінь та ...*фіт(u)*], літофіти — рослини, пристосовані до життя на скелях і каменях (наприклад, деякі лишайники, мохи, папороті, водорості). Беруть участь у процесі ґрунтоутворення.

Пігменти (від лат. *pigmentum* – фарба, барвник) - забарвлені органічні сполуки, що входять до складу рослинних і тваринних клітин. Колір П. визначається наявністю в їх молекулах хромофорних груп, що забезпечують вибіркове поглинання світлових променів. Найчастіше П. містяться у пластидах рослинних клітин (хромопластах), рідше у клітинному сокові і відіграють

важливу роль у фотосинтезі (хлорофіли, каротиноїди, фікобіліни), у фото регуляторних процесах (фітохром), захищають рослинний організм від ультрафіолетових променів (каротиноїди, флавоноїди), визначають забарвлення органів рослин тощо.

Планктон (від грец. *planktos* - ширяючий, блукаючий та *on* — живе) — сукупність мікроскопічних організмів, які населяють водну товщу морів та прісноводних водойм і не здатні протистояти перенесенню їх течіями. До складу планктону входять рослини — фітопланктон і тварини — зоопланктон (водорості, найпростіші, деякі ракоподібні, молюски).

Пластиди (грец. *plástides*, від *plastós* – утворений, виліплений, оформлений) – забарвлені або безбарвні органоїди рослинної клітини, в яких відбуваються процеси біосинтезу. Залежно від забарвлення розрізняють три типи П.: хлоропласти (зелені П., в яких відбувається фотосинтез), хромопласти (жовто-оранжеві та червоні П., які беруть участь в обміні речовин) і лейкопласти (безбарвні П., в яких нагромаджуються крохмаль, білки та олії).

Плейстон (від грец. *pleystikos* — плавний та *on* — живе) — сукупність водяних організмів, які населяють поверхневий (до глибини 15 м) шар води, можуть триматися на поверхні води або перебувати в напівзануреному стані (наприклад, саргасові водорості, ряска, деякі медузи).

Поживні речовини - хімічні сполуки, необхідні для росту й розвитку організмів і доступні їм. Серед поживних речовин розрізняють макроелементи, тобто хімічні елементи, що потрібні в значних кількостях (вуглець, кисень, водень, азот, калій, кальцій, фосфор, залізо, сірка, магній), та мікроелементи, необхідні в малих або навіть мінімальних кількостях (бор, йод, кобальт, силіцій, нікель, мідь, цинк, молібден, манган). Рослини та інші автотрофи поглинають неорганічні речовини, з яких синтезують такі органічні сполуки, як білки, жири, вуглеводи. Тварини та інші гетеротрофи використовують готові органічні речовини.

Поле фільтрації (фр. *filtration*, від лат. *filtrum* — повсть) — ділянка землі (споруда), пристосована для природного біологічного очищення стічних вод шляхом фільтрації їх крізь ґрунтові горизонти. На полі фільтрації на відміну від полів зрошення, сільськогосподарські культури не вирощують.

Полівінілхлорид (ПВХ) — синтетичний полімер, що виробляється шляхом полімеризації вінілхлориду. З ПВХ виготовляють різноманітні вироби: труби, жалюзі, віконні рами, скатертини, настили для підлог, пакувальний матеріал, іграшки тощо. Особливу небезпеку становить спалювання ПВХ, оскільки при цьому утворюються діоксини та хлористий водень. Важкі метали, присутні в ПВХ як стабілізатори, утворюють у процесі спалювання леткі сполуки, що забруднюють ґрунти.

Полютант — те саме, що й Забруднювач.

Польовий метод — один з основних методів екології тварин та екології рослин, за якого піддослідні екземпляри вивчаються в їхньому природному середовищі.

Продуценти [від лат. *producens*(*producentis*) — той, що виробляє, створює] — організми автотрофні й хемотрофні (рослини та деякі бактерії), які синтезують органічні речовини з простих неорганічних за допомогою процесів фотосинтезу або хемосинтезу. Основні продуценти у водних і наземних екосистемах — зелені рослини. Становлять основу екологічної піраміди.

Радіопротектори (від радіо... та лат. *protector* — захисник), **радіозахисні речовини** — хімічні сполуки, що застосовуються для захисту біологічних об'єктів від випромінювань іонізуючих. Радіопротектори вводять до або під час опромінення організму, наприклад у разі променевої терапії. До ефективних радіопротекторів належать речовини, що містять сульфгідрильні групи, деякі аміни, гідросульфід, флавоноїди.

Радіостійкість, радіорезистентність - міра стійкості клітин і тканин або організму до дії випромінювань іонізуючих. Характеризується дозою випромінювання йонізуючого, яка спричиняє загибель певної частини опромінених клітин чи організмів. У цілому радіостійкість зменшується з ускладненням органічного світу: нижчі організми (наприклад, синьозелені водорості, бактерії) мають максимальну радіостійкість, вищі (в т. ч. людина) — мінімальну. Радіостійкість організмів можна дещо підвищити введенням перед опроміненням радіопротекторів.

Редуценти [від лат. *reducens* (*reducentis*) — той, що повертає назад, відновлює] — організми (переважно бактерії та гриби), які в процесі своєї життєдіяльності розкладають мертві органічні речовини до мінералів, котрі потім використовуються продуцентами. В наземних екосистемах особливе значення мають ґрунтові редуценти, які залучають у кругообіг речовин рештки відмерлих рослин і тварин. Редуценти беруть участь у процесі самоочищення середовища природного, використовуються в разі біологічного очищення стічних вод.

Репеленти [від лат. *repelless* (*repellentis*) — такий, що відштовхує, відганяє] — речовини природного або штучного походження, що застосовуються для відлякування комах, гризунів та інших тварин. Використовуються для захисту людей, тварин і рослин.

Рибонуклеїнові кислоти (РНК) (від рибоза і лат. *nucleus* - ядро) – речовини з групи нуклеїнових кислот, до складу яких входять рибоза, фосфорна кислота та азотисті основи – аденін, гуанін, цитозин і урацил. РНК входять до складу всіх організмів і беруть участь у біосинтезі білків. Відомо три типи РНК: транспортна (т-РНК), інформаційна (і - РНК), рибосомна (р-РНК).

Рибосоми (від рибоза і грец. *sóma* - тіло) – органоїди клітин рослин і тварин, що містять РНК і здійснюють біосинтез білка.

Ртуть - рідкий важкий метал, високотоксична речовина. Солі ртуті практично нелеткі, тому становлять небезпеку лише в разі їх потрапляння в організм - з їжею або крізь шкіру. Вони роз'їдають шкіру й слизові оболонки, спричиняють запалення ротової порожнини, біль у животі, колапс кровообігу і шок. Високотоксичними й підступними є органічні сполуки ртуті, оскільки їхня дія проявляється лише за кілька тижнів. Вони легко проникають у мозок, мають кумулятивний ефект. Високі дози ртуті призводять до смерті від гострої серцево-судинної недостатності. Ртуть сама по собі ні в організмі, ні в біотопах не дезактивується. Вона нагромаджується в ґрунтах або водоймах і потім мігрує ланцюгами живлення, поступово нагромаджуючись. З кругообігу речовин біологічного виключається тільки в результаті її винесення у Світовий океан і поховання в донних відкладах.

Рясність - кількість особин того чи іншого виду або угруповання, що припадає на одиницю площі або об'єму й визначається за певний період кількісними показниками або в балах спеціальними методами. Рясність характеризує ступінь участі кожного виду в угрупованні.

Сажа, технічний вуглець — твердий високодисперсний продукт неповного згоряння вуглеводнів, що є компонентами газів природних і промислових, нафти, вугілля. Містить канцерогенні речовини, добре адсорбує забруднювачі. Належить до небезпечних і шкідливих забруднювачів довкілля.

Самоочищення — сукупність природних процесів знешкодження забруднювачів, що надходять у середовище природне або в організми.

Самоочищення природних вод — сукупність взаємопов'язаних процесів, що ведуть у природних умовах до відновлення первісного стану водойми. Механізми самоочищення природних вод поділяються на фізичні, хімічні та біологічні. У самоочищенні природних вод беруть участь усі гідробіоти, але головну роль відіграють бактерії, потім гриби, найпростіші, водорості. Вони залучають забруднювальні речовини до обмінних процесів, руйнують або переводять в інші, не токсичні форми сполук.

Саморегуляція — здатність біологічної системи (на всіх рівнях організації живого) до відновлення стабільного рівня тих чи інших функцій після їхньої зміни.

Санітарний нагляд (від лат. *sanitas* — здоров'я) — форма адміністративного нагляду, що здійснюється державною санітарною інспекцією, яка спостерігає за гігієнічним станом атмосфери, водойм, населених пунктів і т. д.

Сапро... (від грец. *sapros* — гнилий) — частина складних слів, що вказує на зв'язок із гниттям, розкладанням.

Сапроби — те саме, що й Сапробіоти.

Сапробіоти [від сапро... та *біонт(и)*], **сапроби, організми сапробні** — організми, які проживають у водоймах, забруднених органічними речовинами. Завдяки здатності мінералізувати органічні речовини забруднень відіграють важливу роль у самоочищенні водойм. Сапробіоти —

біоіндикатори: їхній видовий склад і чисельність є показниками ступеня забруднення водою.

Сапробність — 1) насиченість природної води та донних відкладів водою органічними речовинами, здатними розкладатися; 2) сукупність фізіологічних властивостей водних організмів, що дають їм змогу жити в середовищі з підвищеним вмістом органічних речовин.

Сапротрофи (від герц. *sapros* – гнилий і *trophē* – їжа, живлення) – організми, які використовують для свого живлення рештки речовин мертвого тіла. С. належать до гетеротрофних організмів. До С. відносять бактерії, актиноміцети, гриби, а також деякі види водоростей та вищих рослин, в т.ч. паразити-сапрофіти.

Сапрофіти (від грец. *sapros* – гнилий і *phytón* – рослина) – рослини, які живляться готовими органічними речовинами відмерлих організмів. До С. належать деякі види водоростей (напр., хламідомонадові, протококові) та паразитичних квіткових рослин (напр., гніздівка звичайна та ін.).

Свинець — токсичний важкий метал. У природі трапляється повсюдно. Міститься в газах вихлопних автомобілів, свинцевих фарбах, матеріалах покриттів, ізоляцій та ін. Рівень концентрації свинцю у довкіллі постійно підвищується у зв'язку з антропогенними навантаженнями. Внаслідок глобального забруднення довкілля свинець став стабільним компонентом будь-якої рослинної та тваринної їжі й кормів. Особливу загрозу це становить для ще ненароджених і маленьких дітей. В організм людини потрапляє в основному з їжею та повітрям, що вдихається. В середньому в організмі людини міститься близько 120 мг свинцю, який розподілений по всіх органах, тканинах, кістках. Найбільша концентрація свинцю — в кістках (90 %), звідки він виводиться дуже повільно (десятьками років). Отруєння свинцем спричиняє тяжке захворювання — сатурнізм, за якого у хворого з'являються кволість, апатія, порушується пам'ять, відбувається фізична та розумова деградація.

Світіння організмів - те саме, що й Біолюмінесценція.

Симбіоз (від грец. *sumbíos* - співжиття) - співжиття двох організмів різних видів, з якого вони мають взаємну вигоду (напр., С. бобових рослин з бульбочковими бактеріями).

Система сапробності - групування організмів (бактерій, водоростей, личинок, комах, рачків) у водоймах за їхнім видовим складом та кількістю, що дає змогу судити про ступінь забруднення води. Система сапробності виконує, таким чином, функцію біоіндикації і використовується поряд із хімічними та біохімічними індикаторами для характеристики якості води.

Система стандартів у галузі охорони природи — комплекс взаємопов'язаних стандартів, спрямованих на збереження, відновлення та експлуатацію природних ресурсів раціональну.

Смерч — атмосферний вихор, що обертається (з віссю, близькою до вертикалі) зі швидкістю 50...100 м/с. Виникає в грозовій хмарі й поширюється до

земної поверхні. Має вигляд стовпа з лійкоподібним розширенням знизу вгору. Утворюється в умовах сильної нестійкості стратифікації в атмосфері в жарку пору року й переміщується зі швидкістю 10...20 м/с. Супроводжується грозою, дощем, градом; спричиняє величезні руйнування, особливо в населених пунктах, лісах. Розрізняють пилові, піщані та водяні смерчі.

Смог (англ. smog, від smoke — дим та fog — туман), туман фотохімічний — видиме сильне забруднення повітря, що характеризується поєднанням частинок пилу, краплин туману, газоподібних поллютантів і диму. Гранично шкідливий ступінь забруднення атмосфери. Головне джерело смогу — продукти згоряння вугілля, мазуту, солярної оливи, вихлопи автотранспорту. Смог викликає подразнення очей, горла, розвиток бронхіальної астми, емфіземи легень та ін., часто спричиняє передчасну смерть міських жителів.

Стено... (від грец. stenos — вузький, тісний) — частина складних слів, що означає: вузький, обмежений, дрібний, бідний, слабкий.

Стенобатні тварини (від стено... та грец. bantos — глибина) — водяні тварини, існування яких можливе тільки на певній глибині (за певного тиску води). До стенобатних тварин належать літоральна фауна, нейстон та абісальні тварини.

Стенобіонти [від стено... та біонт(и)], організми стенобіонтні — тварини й рослини, які можуть жити лише в певних умовах середовища, за незначних коливань температури, вологості, тиску, солоності, кислотності та ін. Серед стенобіонтів є симбіонти, мешканці великих морських глибин, печер, вологих тропічних лісів високогір'я.

Стронцій радіоактивний — радіоактивні ізотопи ^{89}Sr і ^{90}Sr , які утворюються в ядерних реакторах і належать до найнебезпечніших штучних радіонуклідів. Їхній фізичний період напіврозпаду — відповідно 50,5 доби та 28,5 року, біологічний — 11 років. Обидва ізотопи розпадаються, що супроводжується бета-випромінюванням. Стронцій радіоактивний за хімічними властивостями подібний до кальцію й заміщує його в кістковій тканині. Проходячи ланцюгами живлення (наприклад, ґрунт—рослина—корова—молоко—людина), стронцій радіоактивний нагромаджується в кістках, опромінюючи кістковий мозок. Наслідки — рак крові (лейкемія) та рак кісток.

Сукуленти (від лат. succulentus — соковитий) — багаторічні посухостійкі рослини, які здатні нагромаджувати воду в сильно розвиненій паренхімі листків або стебел (наприклад, алое, агави, кактуси). Зростають переважно в зонах аридних.

Талом (від грец. thallós- - гілка, пагін, паросток і лат. oma – суфікс, що означає сукупність) – вегетативне тіло нижчих рослин, яке не почленоване на органи (корінь, пагін).

Тилакоїди (від грец. týlos – здуття і éidos - вигляд) - замкнуті внутрішні хлорофіловмісні фотосинтезуючі мембрани хлоропластів.

- Токсиканти** (від грец. *toxicon* — отрута) — речовини, які, потрапивши в організм, можуть спричинити захворювання або відхилення в життєдіяльності.
- Токсини** (фр. *toxine*, від грец. *toxicon* — отрута), отрути — отруйні речовини (поліпептиди й білки), що їх виділяють отруйні рослини, паразити, патогенні бактерії, скорпіони, деякі змії, павуки; спричиняють токсикоінфекційні захворювання людини й тварин.
- Толерантність** (від лат. *tolerantia* — терпіння) — 1) здатність організмів успішно протистояти дії зовнішніх факторів (наприклад, високої температури, підвищеної концентрації солей) у певному інтервалі даного біотопу, 2) адаптованість видів до певних умов довкілля.
- Торф** (нім. *Torf*) — продукт неповного розкладання рослинних решток в умовах надлишкового зволоження, низької температури й дефіциту кисню, за яких ці рештки муміфікуються з частковою гуміфікацією. Торф утворюється в болотах. Нагромадження торфу може відбуватися тисячоліттями. Торф використовується як добриво, паливо, сировина для хімічної промисловості та ін.
- Транспірація** (від лат. *trans* — крізь та *spiro* — дихаю, видихаю) — фізіологічні випаровування води листками та іншими частинами рослин.
- Туки** — те саме, що й Мінеральні добрива.
- Туман** — скупчення продуктів конденсації водяної пари в приземному шарі атмосфери. Виникає внаслідок охолодження повітря від земної поверхні або випаровування з поверхні теплих водойм в охолоджене повітря.
- Туман токсичний** - скупчення газоподібних забруднювачів, частинок пилу та крапель туману в приземному шарі атмосфери.
- Тургор** (від пізньолат. *turgor* — набрякання, наповнення - напружений стан клітинної оболонки рослин, зумовлений тиском вмісту клітини. Тургорний стан клітини залежить від вмісту води. Якщо більше води всмоктала клітина, то більший її тургор. Завдяки Т. органи рослин набувають пружності і стійкості, а листки і трав'янисті стебла — вертикального або плагіотропного положення.
- Тургорний тиск** (від пізньолат. *turgor*- набрякання, наповнення) — тиск протопласта на клітинну оболонку зсередини. Т.т. завжди дорівнює протитиску клітинної оболонки на протопласт.
- ФАД** — флавінаденіндинуклеотид.
- Фактор** — в перекладі з латинської означає “той, що діє”, “той, що учиняє”, тобто — це сила, чинник, що рухає будь-який процес або явище.
- Фактори абіотичні** — сукупність неорганічних умов мешкання організму. Поділяються на хімічні (склад атмосфери, вміст в ній різних домішок, склад морських та прісних вод, донних відкладень, ґрунтів) і фізичні (температура повітря, води, ґрунту, барометричний тиск, переважний напрямок вітру, течія, інсоляція, характер субстрату, радіаційний фон та ін.)
- Фактори антропогенні** — сукупність факторів, що виникають протягом життєдіяльності людини.

- Фактори біотичні** – сукупність організмів, життєдіяльність яких впливає на інші організми, тобто які можуть служити для них їжею, бути середовищем мешкання (наприклад, хазяїн – для паразита), сприяти розмноженню (наприклад, комахи–опилювачі – для квіткових рослин), завдавати хімічного, механічного та іншого впливу.
- Фактори геохімічні** - особливості мінерального складу ґрунтів, ґрунтових розчинів і води у водоймах, що впливають на організми й біоценози.
- Фактори едафічні** - комплекс факторів, що зумовлені хімічними і фізичними особливостями ґрунту й істотно впливають на життя організмів (механічний склад, вологість, pH , аерація тощо).
- Фактори екологічні** — компоненти й умови довкілля, що впливають на організми, їхні угруповання та на саме середовище (температура, вологість, освітленість, вітер, склад ґрунту чи повітря, рельєф місцевості та ін.). Фактори екологічні поділяються на фактори абіотичні, фактори біотичні та фактори антропогенні.
- Фактори кліматичні** - 1) основні елементи клімату, енергія сонячна, що надходить на поверхню Землі, газовий склад і циркуляція повітряних мас, температура й вологість повітря, атмосферний тиск, опади та інші метеорологічні процеси; 2) особливості клімату, що впливають на господарські, біологічні та інші процеси.
- Фактори середовища** - органічні і неорганічні елементи довкілля, що зумовлюють зміни стану біологічної системи.
- Фауна** (від лат. Fauna — богиня лісів і полів, покровителька тварин у римській міфології) — сукупність усіх видів тварин, що сформувалась історично в певному зоогеографічному районі суходолу або акваторії чи на всій земній кулі. Поняття «Фауна» застосовують і щодо окремих таксонів тварин (орнітофауна, ентомофауна й т. д.). Залежно від місцеперебування тварин розрізняють водяну фауну (морську, прісноводну) та фауну суші (ґрунтову, наземну, лісову, степову й т. д.). Розрізняють також фауни сучасні й викопні. Фауна України представлена близько 45 тис. видами тварин.
- Феноли** — органічні сполуки ароматичного ряду; вихідний продукт для виробництва синтетичних смол та інших хімікатів. Феноли застосовують також як дезінфікуючі, антисептичні засоби, антиоксиданти. Феноли — небезпечні забруднювачі природного середовища. Хронічне отруєння фенолами спричиняє ураження печінки та нирок, впливає на спадковість.
- Фікологія** — те саме, що й Альгологія.
- ...Філ, ...фільний, ...фільність, ...філія** (від грец. *phileo* — люблю, *philia* — дружба, схильність) — частина складних слів, що означає: любов, схильність, прихильність до чогось.
- Філогенез** (від грец. *phylon* — рід, плем'я та *genesis* — походження, виникнення) — історичний розвиток як світу організмів у цілому, так і

окремих таксономічних груп: царств, типів, класів, рядів, родин, родів, видів.

Фільтратори (від лат. *filtrum* — букв. повсть) — *водяні тварини* (багато моллюсків, риб, ракоподібних та ін.), котрі добувають їжу шляхом активного проціджування великої кількості *води*, в якій у завислому стані знаходяться планктонні *організми* та *детрит*. Фільтратори (наприклад, мідії) відіграють велику роль в очищенні забруднених вод.

...Фіт(О)... (від грец. *phyton* — рослина) — частина складних слів, що вказує на зв'язок із рослинами або наукою про рослини — ботанікою.

Фітобентос (від фіто... та бентос), донна флора — сукупність рослин, що живуть на дні водойм (діатомові водорості, ламінарія, зостера, морська капуста та ін.).

Фітоєкоіндикатори [від фіто..., еко... та індикатор(и)] — рослинні індикатори екологічних режимів природних комплексів. До фітоіндикаційних ознак належать морфологічна будова, розміри, життєвість, фенологічний цикл рослин тощо.

Фітоіндикація — визначення умов довкілля за характером і станом рослинності.

Фітонциди [від фіто... та ...цид(и)] — біологічно активні речовини, що виділяються деякими рослинами (цибуля, часник, хрін, сосна, ялівець, цитрусові та ін.) і мають бактерицидні властивості.

Фітопланктон (від фіто... та планктон) — сукупність рослинних організмів, в основному водоростей, які вільно плавають у товщі води. Різноманітність видів, що входять до складу фітопланктону, а також його кількісний склад є індикаторами умов довкілля.

Фітофаги [від фіто... та ...фаг(и)] — рослиноїдні тварини (консументи першого порядку). В разі порушення стабільності екосистеми фітофаги (за спалаху їхньої чисельності) можуть завдати великої шкоди рослинам.

Фітоценоз (від фіто... та ценоз) — сукупність усіх продуцентів біоценозу; стійка сукупність рослинних організмів на порівняно однорідній ділянці, що перебувають у складних взаємозв'язках між собою, з тваринами та довкіллям. Усі фітоценози якоїсь місцевості створюють її рослинність.

Фітоценологія (від фітоценоз та грец. *logos* — учення) — наука, що вивчає рослинні угруповання (фітоценози).

Флора (від лат. *flora* — богиня квітів і весни в римській міфології) — історично складена сукупність усіх видів рослин на певній території (акваторії) чи ділянок рослинності (наприклад, флора України, Карпат, Криму). Розрізняють флору окремих континентів, морів, океанів, озер, річок, країн, регіонів і т. д. Флора України налічує близько 25 тис. видів рослин, із них майже 4,5 тис. видів вищих (у т. ч. понад 700 видів лікарських), 800 видів мохоподібних, приблизно 6 тис. видів грибів і водоростей та понад 1 тис. видів лишайників.

ФМН — флавінмононуклеотид.

- ...Фоб, ...фобний, ... фобія** (від грец. phobos — страх, боязнь) — частина складних слів, що означає: нетерпимий, ворожий, противник чогось.
- Фон природний** (фр.fond, від лат. fundus — дно, основа) — природна концентрація або ступінь впливу природних речовин чи агентів на організми.
- Фон радіоактивний** — інтенсивність випромінювань іонізуючих на певній території. Фон радіоактивний зумовлений наявністю в земній корі, ґрунті, повітрі, воді, організмах радіоактивних ізотопів природного й штучного походження, а також радіонуклідів, які безперервно утворюються під час взаємодії космічних променів з ядрами атомів середовища проживання. Останніми десятиріччями внаслідок потрапляння в довкілля відходів радіоактивних підприємств атомної промисловості, аварій на АЕС фон радіоактивний значно зріс на всій планеті, що позначається на екологічних властивостях середовища.
- Фон радіоактивний природний** — інтенсивність випромінювань іонізуючих, які утворюються розсіяними в природі численними природними радіонуклідами, що містяться в земній корі, приземних шарах повітря, ґрунті, воді, рослинах, продуктах харчування, організмах тварин і людини, а також космічних випромінювань.
- Формальдегід** (від лат. formica — мурашка) — безбарвний газ із різким подразливим запахом; вихідний продукт для одержання синтетичних смол; використовується для обробки тканин у текстильній промисловості, як дезінфікувальний засіб, як консервант. Міститься в газах вихлопних і тютюновому димі. Формальдегід здатний спричиняти алергічні реакції, припускають також його канцерогенність.
- Фото...** [від грец. phos (photos) — світло] — частина складних слів, що вказує на зв'язок зі світлом, дією світла.
- Фотооксиданти** (від фото... та грец. oxys — кислий) — загальна назва хімічних сполук, що утворюються в атмосфері під впливом сонячного світла з оксидів азоту та вуглеводнів. Фотооксиданти уражують систему дихання тварин і людини, поряд з іншими сполуками спричиняють загибель лісів.
- Фотосинтез** (від фото... та ф. synthesis — з'єднання, складання) — утворення з простих неорганічних сполук (наприклад, вуглекислого газу й води) складних органічних речовин зеленими рослинами, водоростями та деякими бактеріями з використанням енергії сонячного світла, яка поглинається хлорофілом та іншими фотосинтетично активними пігментами. В результаті фотосинтезу на Землі щороку утворюється до 200 млрд т сухої органічної речовини (близько половини припадає на фітопланктон морів та океанів), засвоюється до 200 млрд т вуглекислого газу й виділяється в довкілля 145 млрд т вільного кисню. Гектар зелених насаджень у середньому за 1 год очищує повітря від 8 кг вуглекислого газу. Доросле дерево за добу виділяє 180 л кисню. За рахунок фотосинтезу утворюється 90 % біомаси рослин.

Фотосинтетично активна радіація (ФАР) — частина енергії сонячної (в діапазоні довжин хвиль 380...750 нм), яка може використовуватися рослинами для фотосинтезу. Становить близько 50 % сумарної енергії випромінювання сонячного.

Фототрофні рослини (фототрофи) (від грец. *phōs*, род. відм. *phōtós* — світло і *iróphē* — їжа, живлення) — рослини, що синтезують органічні речовини з неорганічних за допомогою енергії світла (напр., всі зелені рослини).

Фреони, хладони — фторо- та хлоровмісні ненасичені вуглеводні, що широко застосовуються як хладагенти в холодильній техніці й наповнювачі аерозольних упаковок. Відомо більш як 40 фреонів. Вони мають складний механізм впливу на довкілля: досягаючи стратосфери, фреони руйнуються випромінюванням ультрафіолетовим; атоми хлору, що вивільнюються при цьому, взаємодіють з озоном і знижують його вміст в атмосфері. Фреони також перешкоджають розсіянню випромінювання інфрачервоного Землі в космічний простір, що негативно впливає на клімат планети.

Фтор (від грец. *phthoros* — загибель, руйнування) — газ із їдким запахом та сильною роз'їдаючою дією, надзвичайно реакційно активний, існує тільки у вигляді сполук, переважно мінеральних (флюорит, кріоліт та ін.). Підприємства алюмінієвої, цементної промисловості часто роблять викиди сполук фтору, істотно забруднюючи повітря. Ці забруднення досить токсичні, насамперед для рослин, а також спричиняють подразнення дихальних шляхів, хімічні опіки шкіри.

Фунгіциди [від лат. *fungus* — гриб та ...цид(II)] — хімічні препарати для боротьби з патогенними грибами.

Хемотрофи [від лат. *chemia* — хімія та ...*троф(u)*] — мікроорганізми, які синтезують органічні речовини з неорганічних за рахунок окиснення сірководню, *аміаку*, солей заліза та інших речовин, що містяться в *середовищі* — у воді, ґрунті (нітрифікуючі бактерії, водневі, сірко- та залізобактерії).

Хладони — те саме, що й *Фреони*.

Хлор (від грец. *chloros* — блідо-зелений) — жовто-зелений газ із їдким запахом. Використовується для виготовлення розчинників, деяких неорганічних хімікатів, як активна речовина у відбілювальних засобах, для *очищення та знезараження води* (хлорування). Хлор отруйний; сильно подразнює слизові оболонки й дихальні шляхи. Наслідки гострого отруєння хлору — запалення легень, легеневі кровотечі, набряк легень. *ГДК у повітрі* — 1 мкг/м³.

Хлоровані вуглеводні - загальна назва великого класу органічних хімічних сполук, до складу яких, крім вуглецю та водню, входить також *хлор*. Хлоровані вуглеводні широко застосовуються в промисловості, в побуті, зокрема як розчинники (наприклад, *чотирихлористий вуглець*), засоби *захисту рослин* (*ДДТ*, *ліндан* та ін.). Тому хлоровані вуглеводні нині трапляються повсюди в *довкіллі*: в питній *воді*, продуктах харчування, *повітрі*. В організмі людини вони нагромаджуються в головному мозку,

печінці, нирках, серці, статевих залозах і спричиняють (попри порівняно низький ступінь токсичності в разі гострого отруєння) хронічні порушення. Зумовлені хлорованими вуглеводними захворювання посідають друге місце серед професійних захворювань. Багато хлорованих вуглеводнів є *канцерогенами* й, можливо, *мутагенами*. Особливу проблему становить знищення хлорованих вуглеводнів, наприклад використаних розчинників у металообробній промисловості, а також поліхлорованих біфенілів із трансформаторів.

Хлорофіл (від грец. *chlōrós* - зелений і *phýllon* - листок) – пігмент рослин зеленого кольору, за участю якого відбувається фотосинтез. Х. міститься в хлоропластах вищих рослин і водоростей. За хімічною природою Х. являє собою складний ефір двохосновної хлорофілінової кислоти з двома спиртами – фітоном і метанолом. Розрізняють Х. а, b, c, d, бактеріохлорофіл і бактеріовіридин. Х. а ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) – синьо-зелений пігмент; Х. b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) – жовто-зелений пігмент.

Хромосоми – є органели клітинного ядра, які складаються із ДНК і білків гістонів.

«Цвітіння» води — природне явище, що зовні проявляється в зміні забарвлення й прозорості *води* у *водоймах* унаслідок інтенсивного розмноження мікроскопічних водоростей. Слабке та помірне «цвітіння» води корисне (водорості поглинають із *води* розчинені в ній органічні й неорганічні сполуки, насичують її киснем, слугують їжею для *водяних тварин*). Інтенсивне «цвітіння» води (т.з. *забруднення біологічне*) значно погіршує умови проживання у *водоймах*, особливо кисневий режим, негативно впливає на якість *води* й біологічну *продуктивність водойми*. Основна причина надмірного «цвітіння» води — порушення *екологічної рівноваги* у водних *екосистемах* унаслідок впливу *факторів антропогенних* та природних, серед яких найбільшої *шкоди* завдає надходження у *водойми* органічних *забруднювачів* і синтетичних мийних засобів.

Царство в біології — найвища таксономічна категорія в системі *організмів*, офіційно визнана Міжнародними кодексами ботанічної та зоологічної номенклатур, а також Міжнародним кодексом номенклатури *бактерій*. У *біогеографії* царство – найвищий ранг флористичного й фауністичного районування суші та *Світового океану*. Від стародавніх часів усі *організми* поділяли на два царства: рослини й тварини. Нині вважають за необхідне виділити *таксони* вищого рангу, ніж царство, — надцарства: *прокаріоти* й *еукаріоти*. Надцарство *прокаріот* включає в себе два царства: архебактерії та *бактерії*; надцарство *еукаріот* — три царства: гриби, рослини й тварини.

Цезій-137 — найнебезпечніший *радіонуклід*, період напіврозпаду якого становить 30 років. Бета-розпад супроводжується гамма- *випромінюванням*.

Целюбіоза (від лат. *cellula* – клітина, комірка і грец. *bíos* - життя) – органічна сполука, дисахарид ($C_{12}H_{22}O_{11}$), що складається із залишків двох молекул

глюкози. Ц. – основна структурна одиниця целюлози.

Целюлоза (від лат. *cellula* – клітина, комірка) – високомолекулярний полісахарид $(C_6H_{10}O_5)_n$, який є основною складовою частиною оболонки рослинних клітин. Ц. – хімічно стійка сполука, що не розчиняється у воді, кислотах, лугах і в органічних розчинниках, проте розкладається деякими бактеріями та грибами.

Ценоз (від гр. *κοινος* — разом, спільно, гуртом) — будь-яке *біотичне угруповання*. Розрізняють *зооценози*, *фітоценози*, *мікробоценози*. Зазвичай термін «ценоз» замінюють терміном *біоценоз*.

Цикл трикарбонових кислот (цикл лимонної кислоти, цикл Кребса) – циклічна послідовність ферментативних реакцій, у результаті яких ацетил-КоА ($CH_3-CO-S-CoA$) – продукт катаболізму основних видів метаболічного палива (вуглеводів, жирів, амінокислот), окислюється до двоокису вуглецю з утворенням атомів водню, які використовуються для відновлення первинних акцепторів дихального ланцюга мітохондрій – нікотинамідних або флавінових коефрментів. Цикл трикарбонових кислот (ЦТК) – це загальний кінцевий шлях окислювального катаболізму клітини в аеробних умовах. Реакції і ферменти ЦТК локалізовані в матриксі та внутрішній мембрані мітохондрій. Вони функціонально та біохімічно спряжені з мітохондріями електронно-транспортними ланцюгами, що використовують для відновлення атомів кисню відновлювальні еквіваленти від НАДН ($НАДН+H^+$) та ФАДН₂ або ФМНН₂ і утворюють АТФ у ході окисного фосфорилювання.

Цунамі (яп.) — хвилі великої довжини, що утворюються в *морях та океанах* унаслідок підводних *землетрусів* або вивержень *вулканів* на морському дні чи поблизу берегів. Швидкість поширення цунамі — 50...100 км/год, висота хвиль біля узбережжя — 10...50 м. Цунамі супроводжується катастрофічними руйнуваннями на узбережжі.

Штам (нім. *stamm* — стовп, плем'я, рід) — чиста *культура мікроорганізмів* одного *виду*, виділена з будь-якого *середовища*. Різні штами одного *виду*, виділені з різних *середовищ* або з одного *середовища* в різний час, можуть відрізнятися, наприклад *чутливістю до антибіотиків, випромінювання ультрафіолетового й т. д.*

Шельф (англ. *shelf*), материкова обмілина — поверхня та надра дна Світового океану до глибини 200 м, які примикають до берегів у межах кордонів морської держави. Природні багатства та ресурси мінеральні шельфа є власністю відповідної держави. Для континентального шельфу характерна висока біологічна продуктивність, зумовлена підвищеною освітленістю та прогріванням води. Згідно з Женевською Конвенцією 1958 р., прийнятою першою конференцією ООН з морського права, шельф визначено як поверхню і надра морського дна підводних районів, які прилягають до берега, але знаходяться поза зоною територіальних вод, до глибин 200 м, або за цією ж відстанню до того місця, до якого глибина таких вод дає

змогу вести розробку природних ресурсів цих районів. Аналогічне визначення може бути застосоване до островів, незалежно від того, якій державі вони належать.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Губський Ю.І. Біологічна хімія., Нова книга, київ-Вінниця, 2009.
2. Воронина Л.М., Денесенко В.Ф., Мадієвська Н.М., Кравченко В.М., Сахарова Т.С., Савченко Л.Г., Шоно Н.А., Біологічна хімія, Видавництво НФАУ, Харків, 2000.
3. Пляшук Л.Д., Гурець Л.Л. Процессы и аппараты природоохранных технологий. Теоретические основы., Университетская книга, Сумы, 2011.
4. Ивчатов А.Я. Химия воды и микробиология.-М.:ИНФРА-М, 2006.
5. Миронович Л.М., Біоорганічна хімія. Навч.посібник.-К.:Каравела, 2009.
6. Антипчук А.Ф. Очистка стічних вод, К.:2008.
7. Душкин С.С, Дегтярова Л.И. Водоподготовка и процессы микробиологии: Учеб.пособие. - К.: Вища шк., 1996.
8. Возная Н.В. Химия воды и микробиология.- М.: Высш.шк.
9. Запольский А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища шк., 2005.
10. Кульский Л.А., Левченко Т.М., Петрова М.В. Химия и микробиология воды.–К.: Вища шк., 1987.
11. Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Тлумачний словник. - Київ, «Либідь», 2004.
12. Физико-химическая очистка сточных вод/ Е.В.Алексеев.-М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 2007.
13. Яковлев С.В. Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий.-М.: Стройиздат, 1990.
14. Фармацевтична енциклопедія. Національний фармацевтичний університет/ -Київ.: Моріон, 2005.
15. Особенности конструкций иловых площадок// Наук.вісн.будівництва.- Харків ХДТУБА, ХОТВ, АБУ, 2002.-с.152-154.
16. Левченко Т.М., Петрова М.В. Химия и микробиология воды.-К.: Вища шк.,1987.
17. Смірнова Г.М., Епоян С.М., Корінько І.В., Пашкова С.П., Сорокіна В.Ю., Вевелер Г. Водовідведення і очищення стічних вод міста: Учебний посібник, Харків, «Каравела», 2003.
18. Проектування і розрахунок водопровідних очисних споруд систем господарсько-питного водопостачання з поверхневих водних джерел: Навч.посібник/С.М.Епоян, А.М.Колотило.- Х.,2006.
19. Промышленная микробиология/под общ.ред. проф. Н.С.Егорова.-М.: Высш.шк., 1989.
20. Реймерс Н.Ф., Природоиспользование.- М.: Мысль, 1990.
21. Теоретические основы очистки воды/ Н.И.Куликов, А.Я.Найманов, Н.П.Омельченко, В.Н.Чернышов, В.Н.Маслак, Н.И.Зотов.- Макеевка: ДГАСА, 1999.

22. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання: Підручник. – К.: Знання, 2009.
23. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод/ За загальною редакцією проф. Запольского А.К.- Київ, «Лібра», 2000.
24. Фізична і колоїдна хімія/ Л.І.Костржицький, В.М.Тіщенко, О.Ю.Калінков, О.М.Берегова.- Київ, «Центр учбової літератури», 2008.
25. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука, 2008.
26. Яковлев С.В., Волков Л.С., Воронов Ю.В., Волков В.Л. Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод.-М.: «Химия», 1999.
27. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод.- М.-Из-во АСВ, 2004.
28. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод.-М:Стройиздат, 1982.
29. Таубе П.Ф., Баранова А.Г., Химия и микробиология воды. – М.: Высш.шк., 1983.
30. О формах связи влаги с материалами в процессе сушки. Сб.Тезисы Всесоюзного научно-технического совещания по интенсификации процессов улучшения качества материалов при сушке в основных отраслях промышленности и сельского хозяйства/П.А.Ребиндер.-М-Л, 1958.